

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARMA SPİN-1 VE SPİN-2 ISING SİSTEMİNİN
DİNAMİĞİ**

**Tezi Hazırlayan
Ercan SAVAŞ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Bayram DEVİREN**

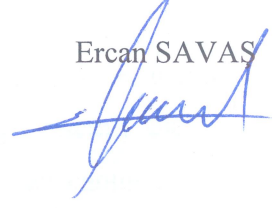
**Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Aralık 2019
NEVŞEHİR**

TEZ BİLDİRİM SAYFASI

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

Ercan SAVAS



TEŞEKKÜR

Öncelikle bana bu tez çalışma konusunu veren, çalıŐmalarımın her aŐamasında beni destek ve yardımlarıyla yönlendiren, büyük bir özen ve sabırla yol gösterip, her alanda ufkumun genişletilmesini sağlayan, her türlü bilgi ve tecrübesinden yararlandığım sevgili hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Bayram DEVİREN' e en içten teşekkürlerimi, sonsuz Őükran ve saygılarımı sunuyorum.

Tez yapım aŐamasının her anında yanımda olan Yunus ŐENER'e, benden maddi ve manevi yardımlarını esirgemiyerek bu günlere gelmemi önemli ölçüde rolü olan anneme, babama ve Seçkin abime, beni anlayıŐla karşılayan canım eŐim Benan'a ve ailem en küçük üyesi Asel Nisan'ıma teşekkürlerimi sunarım.

KARMA SPİN-1 SPİN-2 ISING SİSTEMİNİN DİNAMIĞI

(Yüksek Lisans Tezi)

Ercan SAVAŞ

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2019

ÖZET

Zamana bağlı salınımlı dış manyetik alan altında, kristal alan etkileşimli kinetik karma spin-1 ve spin-2 Ising sisteminin dinamik davranışları korelasyonlu etkin alan teorisi ve Glauber-tipi stokastik dinamik kullanılarak detaylıca araştırıldı. Sistemin etkin alan dinamik denklemlerinin zamanla değişimi Glauber geçiş oranları kullanılarak elde edildi ve bu denklemler çözülerek sistemdeki mevcut faz bölgeleri bulundu. 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 iki farklı düzlemde dış manyetik alanın sıcaklığa bağlı (h , T) ve sıcaklığın kristal alan (T , d) grafikleri sunuldu. Bu faz diyagramlarının, paramanyetik (p), ferrimanyetik (i), ferromanyetik (f) temel fazlarının yanında karma ($i+p$) ve ($p+f$) faz veya bölgeleri gözlemlendi. Elde edilen sonuçlar diğer karma spin sistemleriyle yapılan çalışmalarla karşılaştırılarak detaylıca açıklandı. Faz diyagramlarının özellikleri indirgenmiş kristal alan etkileşme parametrelerine kuvvetli bir şekilde bağlı olduğu bulundu. Ayrıca sistem üzerindeki korelasyonların etkisini gözlemleyebilmek için ortalama alan yaklaşıklığı ile elde edilen sonuçlar karşılaştırıldı ve bazı birinci derece faz geçiş çizgilerinin kaybolduğu bulundu. Elde edilen sonuçların bazı teorik ve deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu gözlemlendi.

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

Tez Danışman: Prof. Dr. Bayram DEVİREN
Sayfa Adeti: 46

DYNAMICS OF A MIXED SPIN-1 AND SPIN-2 ISING SYSTEM

(M. Sc. Thesis)

Ercan SAVAŞ

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2019

ABSTRACT

The dynamic behavior of the kinetic mixed spin-1 and spin-2 Ising system with crystal field interactions are examined in detail within the effective field theory with correlations and Glauber type stochastic dynamics in the presence of a time varying (sinusoidal) external magnetic field. The time evolution of the effective field dynamic equations of the system is obtained by using the Glauber-type stochastic dynamics. We employ the Glauber-type stochastic dynamics to construct a set of coupled dynamic effective field equations, and we solve these equations to find the phases in the system. We also investigate the thermal behavior of the dynamic order parameters to characterize the nature (first- or second-order) of the dynamic phase transitions (DPTs) and obtain the DPT points. The phase diagrams are presented in two different planes, i.e., the magnetic field via temperature (h, T) and temperature via crystal field (T, d). A comparison is made with the results of other kinetic mixed spin systems and the results are given in detail. The properties of these phase diagrams are found to be strongly depending on the crystal field interaction. We also performed a comparison with the mean-field prediction in order to point out the effects of correlations and found that some of the dynamic first-order phase lines, which are artifacts of the mean-field approach, disappeared. We find the results are in good agreement with some previous theoretical and experimental works.

Keywords: *Mixed spin-1 and spin-2 Ising model; Glauber-type stochastic Dynamics; Dynamic phase transition; Dynamic phase diagrams; Oscillating magnetic field.*

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Bayram DEVİREN

Pages: 46

İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	vii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	6
METOT VE MODELİN TANITIMI.....	6
2.1. Model.....	6
2.2. Glauber Dinamiği ve Ortalama-Alan Dinamik Denklemlerinin Elde Edilmesi.....	8
KARMA SPİN (1, 2) ISING SİSTEMİNİN NÜMERİK ÇÖZÜMÜ	16
3.1. Ortalama Alt Örgü Mıknatıslanmalarının Zamanla Değişimi.....	16
3.2 Dinamik Düzen Parametreleri ve Dinamik Faz Geçiş Noktaları	20
3.3. Dinamik mıknatıslanmalar, histeresis döngüsü alanları ve korelasyonların termal davranışı	21
3.4.(T/JC, h/JC)Düzleminde Dinamik Faz Diyagramları.....	27
BÖLÜM 4	36
SONUÇ VE TARTIŞMA	36
KAYNAKLAR	38
ÖZGEÇMİŞ	46

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

- Şekil 2.1.** Karma spin (1, 2) Ising sistemini tanımlayan basit kare örgünün şematik temsili: İçi boş ve dolu küreler sırasıyla spin-1 ve spin-2 manyetik atomlarını göstermektedir.....6
- Şekil 3.1.** Karma spin (1, 2) sistemi için ortalama alt örgü mıknatıslanmalarının $m_A(\xi)$ ve $m_B(\xi)$ zamanla değişimi. (a) Sistemde sadece paramanyetik (p) faz mevcuttur, ($d=-1.6$, $h=2.5$, $T=0.80$). (b) Sistemde sadece ferrimanyetik (i) faz mevcuttur, ($d=-1.6$, $h=2.5$, $T=0.80$). (c) Sistemde sadece ferromanyetik (f) faz mevcuttur, ($d=-2.50$, $h=3.0$, $T=0.20$). (d) Sistemde hem ferrimagnetik (i) ve hemde ferromagnetik (f) fazlar mevcuttur, ($d=-1.9$, $h=1.75$, $T=0.15$). (e) Sistemde hem ferrimagnetik (i) ve hemde paramagnetik (p) fazlar mevcuttur, ($d=-1.5$, $h=0.5$, $T=0.45$). (f) Sistemde hem ferromanyetik (f) ve hemde paramagnetik (p) fazlar mevcuttur. ($d=-1.75$, $h=0.80$, $T=0.55$).....19
- Şekil 3.2.** $d = 1.0$ ve $h = 2.0$ değerleri için M_A ve M_B 'nin sıcaklığa bağlı davranışı. $T_C=4.75$ değeri ferrimanyetik (i) fazdan paramanyetik (p) faza ikinci-derece faz geçiş sıcaklığını göstermektedir.....22
- Şekil 3.3.** $d = -1.9$ ve $h = 2.5$ değerleri için M_A ve M_B 'nin sıcaklığa bağlı davranışı. $T_C=0.925$ değeri ferromanyetik (f) fazdan paramanyetik (p) faza ikinci-derece faz geçiş sıcaklığını göstermektedir.....23
- Şekil 3.4.** $d = -1.6$ ve $h = 1.2$ değerleri için M_A ve M_B 'nin sıcaklığa bağlı davranışı. $T_t=1.25$ sıcaklık değerinde ferrimanyetik (i) fazdan paramanyetik (p) faza birinci-derece faz geçişi olmuştur.....24
- Şekil 3.5.** $d = -1.75$ ve $h = 0.5$ değerleri için M_A ve M_B 'nin sıcaklığa bağlı davranışı. $T_t=0.96$ sıcaklık değerinde ferromanyetik (f) fazdan paramanyetik (p) faza birinci-derece faz geçişi olmuştur.....25

- Şekil 3.6.** $d = -1.5$ ve $h = 0.5$ değerleri için için M_A ve M_B 'nin termal davranışları. (a) $m_A=2.0$, $m_B= 1.0$ başlangıç değerleri, (b) $m_A=0.0$, $m_B= 0.0$ başlangıç değerleri için elde edilmiştir. $T_t = 0.86$ değerine kadar karma i+p fazı mevcutken, $T_t = 0.86$ ile $T_C = 1.625$ arasında i fazı, $T_C = 1.625$ 'den büyük değerler için p fazı mevcuttur.....26
- Şekil 3.7.** Karma spin (1, 2) Ising sisteminde $d= 1.0$ değeri için (T, h) düzleminde dinamik faz diyagramı.....28
- Şekil 3.8.** Karma spin (1, 2) Ising sisteminde $d= -1.5$ değeri için (T, h) düzleminde dinamik faz diyagramı.....29
- Şekil 3.9.** Karma spin (1, 2) Ising sisteminde $d= -1.6$ değeri için (T, h) düzleminde dinamik faz diyagramı.....30
- Şekil 3.10.** Karma spin (1, 2) Ising sisteminde $d= -1.75$ değeri için (T, h) düzleminde dinamik faz diyagramı.....31
- Şekil 3.11.** Karma spin (1, 2) Ising sisteminde $d= -1.9$ değeri için (T, h) düzleminde dinamik faz diyagramı.....32
- Şekil 3.12.** Karma spin (1, 2) Ising sisteminde $d= -2.0$ değeri için (T, h) düzleminde dinamik faz diyagramı.....33
- Şekil 3.13.** Karma spin (1, 2) Ising sisteminde $d= -2.5$ değeri için (T, h) düzleminde dinamik faz diyagramı.....34
- Şekil 3.14.** Karma spin (1, 2) Ising sisteminde $d= -3.0$ değeri için (T, h) düzleminde dinamik faz diyagramı.....35

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Birbiriyle etkileşim içerisinde olan parçacıkları incelemek için kullanılan dengeli istatistik mekanik Gibbs istatistiğine dayanan gerçekten sağlam temeller üzerine kurulmuş bir teoridir. Dengeli istatistik fizikte dağılım teorisi, incelenen sistemdeki her bir parçacığın durumunun ilgili parçacıkların makroskopik durumu ile uyumlu olduğunu göz önünde bulundur. Ancak parçacık, enerji, olasılık gibi fiziksel niceliklerin denge durumunda olmamaları durumunda Gibbs dağılımı ile bir sistemi tanımlamak ve çözümlenmek imkânsızdır. Yani bu durumda sistemde denge durumu söz konusu değildir. Bu gibi dengeli istatistik mekaniğin yetersiz olduğu durumlarda dengede olmayan istatistik mekanik yöntemleri kullanılması gerekmektedir. Ancak istatistik fizik ve yoğun madde fiziğinde, aralarında çok kuvvetli etkileşim barındıran parçacıklardan oluşan sistemlerin istatistiksel olarak incelenmesi hem zor matematiksel problemleri içerir hemde bu problemlerin çözümlenmesi uzun zaman gerektirmektedir. Bu zor problemler, teorik fizikçileri ve matematikçileri hatta doğa bilim çalışan teoristiyenleri doğada mevcut bu sistemleri anlatan çok daha basit matematiksel modeller kurmaya ve çalışmaya yöneltmiştir. Özellikle son yıllarda bu problemleri aşabilmek için yaklaşık çözümlerin üretilmesinde modern çok çekirdekli bilgisayarların gücünden yararlanılmaktadır. Tabii bu yöntem ve çözümlenmelerde aranılan en temel özellik matematiksel kolaylıkları ihtiva etmesidir. Bu modellerden en başarılısı Wilhelm Lenz [1] tarafından önerilmiş ve öğrencisi Ernest Ising [2, 3] tarafından çözülen tek boyutta ferromanyetik faz dönüşümünü açıklamak kullanılan Ising modelidir. Bu model genel olarak manyetik sistemleri çözmek için ortaya atılmış fakat basit dönüşümlerle çok farklı sistemlere kolayca uygulanabilen ve günümüzde çok aktif olarak kullanılmakta olan bir modeldir. Ising modeli, akışkanlar sistemindeki örgü-gaz modeline benzeyen bir modeldir. Modelin iki boyutta kesin çözümü Onsager [4] tarafından yapılmıştır. Ising modelleri içinde en basit ve en yaygın olarak kullanılan model, spin-1/2 Ising modelidir. Bu model, akışkan konsantrasyonu, gazların soğurulması, ikili sıvı veya gazların faz geçişleri, ikili alaşımlardaki düzenli-düzensiz faz geçişleri, vb. gibi sistemlerin incelenmesinde kullanılmıştır [5, 6]. Ancak, termomanyetik ve moleküler

tabanlı kayıt sistemleri, telafi sıcaklıklarını varlığı, ferrimanyetik yapıya sahip karmaşık bileşikler, amorf yapıya sahip alaşımlar, seyreltik ferrimanyetik sistemler, moleküler tabanlı mıknatıslar, yarı-iletken alaşımlar, ferrimanyetik düzenlilik ve düzenli-düzensiz faz geçişleri gibi daha karmaşık fiziksel sistemlerin termodinamik davranışlarını incelemek için daha yüksek spinli veya karma spin Ising sistemleri gibi, daha fazla durumlu ve birden fazla düzen parametrelili bir model gerekmektedir. Karma spin Ising sistemleri ile ilgili çalışmalara 1980'li yıllarda başlanmış ve bu spin sistemleri zamanımızda da kullanılan ve kullanılmaya da devam edilen en önemli sistemler olmuşlardır.

Son yıllarda karma spin sistemleri istatistik fizikte ve yoğun madde fiziğinde aktif olarak en çok çalışılan konuların başında gelmektedir. Nedeni ise: (i) Bu çalışmaların, termomanyetik kayıt sistemleri gibi önemli teknolojik uygulama alanları ile ilgili olması [7], (ii) Bu sistemlerin, tek spinli sistemlere göre daha az simetriye sahip olmaları, (iii) Bu sistemlerin, moleküler tabanlı manyetik malzemelerin anlaşılabilmesine model oluşturmalarıdır [8]. (iv) Belirli şartlar altında bu sistemlerde kritik sıcaklıktan düşük bir sıcaklık değerinde toplam mıknatıslanmanın yok olduğu telafi sıcaklıklarının gözlenmesidir. Telafi sıcaklıklarının varlığı ise teknolojik uygulamalar için önemli bir özelliktir.

En iyi bilinen karma spin Ising sistemleri; spin $(1/2, 1)$, spin $(1/2, 3/2)$, spin $(1, 3/2)$, spin $(3/2, 5/2)$ ve spin $(1, 2)$ Ising sistemleridir. Bu karma spin sistemlerinin denge özellikleri, dengeli istatistik fizikte geliştirilen ve iyi bilinen kapalı form yaklaşımları ortalama alan yaklaşımı (MFA), küme varyasyon yöntemi (CVM), Bethe–Peierls yaklaşımı (BPA), Bragg-Williams (BW), kümesel değişim yaklaşımları, seriye açılım, transfer matris (TM), etkin-alan teorisi (EAT), Monte Carlo simülasyonu (MCS), renormalizasyon grup (RG) teknikleri vb. yöntemlerle kapsamlıca incelenmiştir [9-17]. Her iki alt örgüsünde tam sayılı spin içeren karma spin Ising sistemi spin $(1, 2)$ Ising sisteminin denge faz diyagramları üzerine ilk çalışma, Weng ve Li tarafından ayrık yol integral temsilli (discretized path-integral representation) çift yaklaşım yöntemi kullanılarak yapılmıştır [19]. Iwashita ve arkadaşları [20], dört-spin model yaklaşımını kullanarak karma spin-1 ve spin-2 Ising sisteminin mıknatıslanmasının sıcaklığa bağlılığını incelemişlerdir. Zhang ve arkadaşları [21], MC ve EAT kullanarak, tabakalı bal peteği örgüsü üzerinde karma spin-1 ve spin-2 sisteminin manyetik özelliklerini

detaylıca araştırmışlardır. Albayrak ve Yiğit [22] ise karma spin-1 ve spin-2 Ising ferromanyetik sisteminin kritik davranışlarını tekrarlılama bağıntılarını kullanarak incelemişlerdir. Wei ve arkadaşları [23] OAY ve MC simülasyonu hesaplamaları kullanılarak, farklı anizotropik karma spin-1 ve spin-2 Ising sisteminin manyetik özelliklerini araştırmışlardır. Deviren ve arkadaşları [24], enine manyetik alan varlığında ve yokluğunda bal peteği ve kare örgüsünde karma spin-1 ve spin-2 Ising sisteminin manyetik özelliklerini (mıknatıslanma, manyetik alınganlık, iç enerji, ısı sığası) korelasyonlu EAT kullanarak incelemişler ve sistemin faz diyagramını elde etmişlerdir. Ertaş karma spin-1 ve spin-2 hegzagonal Ising nanotel sisteminin histerisis ve telafi davranışının korelasyonunun EAT kullanarak incelemiştir [25].

Ising modeli kullanılarak karma spin sistemlerin denge özelliklerinin anlaşılması için yeterli sayıda çalışma yapılmasına rağmen, dinamik özellikleri için yeterli sayıda çalışma yapılmamıştır ve özellikle son yirmi yılda bu sistemlerin dinamik özellikleri üzerinde çalışılmaya başlanmıştır. Özellikle karma spin-1 ve spin-2 Ising sisteminin dinamik davranışının arkasında yatan mekanizma henüz tam olarak açıklanamamıştır. Bu alanda yapılan çalışmalardan, Keskin ve arkadaşları Glauber tipi stokastik dinamik ve orta alan yaklaşımı kullanarak kare örgüsü üzerinde bu sistemin manyetik özelliklerini incelemişlerdir [26], ayrıca bu çalışma yüksek lisans tezi olarak yayımlanmıştır [27]. Korkmaz ve Temizer birbirini tekrarlayan hegzagonal örgüde zaman bağılı salınımlı dış manyetik alan altında karma spin-1 ve spin-2 Ising modelinin dinamik telafi sıcaklığının Glauber tipi stokastik dinamik kullanarak çalışmışlardır [28]. Ayrıca Bu iki çalışmanın dışında bilgilerimiz dahilinde karma spin (1, 2) Ising modeli ile ilgili bir çalışma bulunmamaktadır. Bu tez çalışmasında dengede olamayan istatistik fizik yöntemleri kullanılarak kare örgü üzerinde karma spin (1, 2) Ising sisteminin dinamik davranışları korelasyonlu etkin-alan teorisi ve Glauber-tipi stohastik dinamik kullanılarak literatürde ilk defa detaylıca incelenecek ve elde edilen sonuçlar mevcut çalışmalarla karşılaştırılacaktır.

Bu noktada şunuda belirtmek gerekirk; dinamik faz geçişlerinin önemi ve bu alanda yapılan teorik ve deneysel çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenebilir. Dengesiz sistemlerdeki ilginç problemlerden birisi, dengesiz veya dinamik faz geçiş(DFG) sıcaklıklarının hesaplanması ve dinamik faz diyagramlarının elde edilmesidir. Dinamik faz geçişlerine 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. Dinamik faz geçiş sıcaklıkları ilk olarak, Glauber-tipi stokstik dinamik [29] kullanılarak, zamana bağlı salınımlı dış manyetik alan altında kinetik spin-1/2 Ising modelinin kararlı durumlarının OAY metodu ile incelenmesi sonucu bulunmuştur [30, 31]. Daha sonra, kinetik spin-1/2 Ising modeli için dinamik faz geçişleri, dinamik OAY metodu [32, 33] ve dinamik MC hesaplamaları ile incelenmiştir [34–44]. Tutu ve Fujiwara [45], Landau tipi potansiyelleri olan sistemlerde DFG sıcaklıklarını elde edebilecek sistematik bir metod geliştirmişler ve dinamik faz diyagramlarını sunmuşlardır. Tek boyutlu kinetik spin-1/2 Ising modelinde ki DFG'ler Glauber metoduyla incelenmiştir [46]. Son zamanlarda ise, spin-1 Blume-Capel (BC) [47, 48], spin-1 izotropik Blume-Emery-Griffiths (BEG) [49], spin-1 BEG [50, 51], spin-3/2 BC [52, 53], spin-3/2 izotropik BEG [54], spin-3/2 BEG [55, 56], spin-2 BC [57] ve spin-2 BEG [58] gibi Ising sistemleri, Heisenberg spin sistemleri [59–62], Co basıncının periyodik değişimi ile CO₂ oksidasyonu için Ziff-Gulari-Barshad modeli [63], XY modeli [64, 65] gibi daha karmaşık sistemlerde DFG sıcaklıkları elde edilmiş ve dinamik faz diyagramları sunulmuştur. Ayrıca, spin-1/2 Ising modeli korelasyonlu EAT ve Glauber-tipi stokstik dinamik kullanılarak incelenmiş ve modelin dinamik faz diyagramlarını elde edilmiştir [66-70]. DFG sıcaklıkları, deneysel olarak ilk defa, çok ince Co/Cu (001) ferromanyetik filmlerinde gözlenmiştir [71, 72]. Buna ilaveten, yakın zamanda ferroik sistemlerde (ferromagnet, ferroelektrik ve ferroelastik) [73], YbaCuO filmlerde [74], C₁₀E₃/D₂O sisteminde [75], aşırı ince Fe/Au(001) filmlerde [76, 77], [Co/Pt]₃ manyetik çok tabakalı sisteminde [78], ince polikristal Ni₈₀Fe₂₀ filmlerde [79], photoinduced faz geçişlerinde [80], yüksek sıcaklık Bi₂Sr₂CaCu₂O_y süperiletken bileşiminde [81] ve PEN (polietilen naftalin) nanobileşiklerinde [82] DFG sıcaklıkları gözlenmiştir.

Bu tez çalışmasında ise karma spin-1 ve spin-2 Ising sisteminin dinamik davranışları korelasyonlu etkin-alan teorisi ve Glauber-tipi stokstik dinamik kullanılarak incelenecektir. Sistemde mevcut olan fazları bulmak için etkin alan düzen parametrelerinin zamana bağlı davranışları incelenecektir. Daha sonra ortalama düzen parametrelerinin veya dinamik düzen parametrelerinin, indirgenmiş sıcaklığın bir fonksiyonu olarak davranışları incelenerek DFG sıcaklıkları tespit edilecek ve dinamik faz geçişlerinin doğası (kesikli veya sürekli yani birinci- veya ikinci-derece faz

geçişleri) karakterize edilerek sistemin dinamik faz diyagramları (T, h) düzlemlerde sunulacaktır. Burada T indirgenmiş sıcaklığı ifade ederken, h ise indirgenmiş dış manyetik alandır. Ayrıca kristal alanın sıcaklığa bağlı dinamik faz diyagramları (d, T) düzleminde sunulacaktır. Böylece, bu tezin temel amaçlarından birisi olan karma spin-1 ve spin-2 sisteminin dinamik faz geçişleri ve dinamik faz diyagramlarını yorumlamak mümkün olacaktır. Ayrıca bu sistemin dinamik histeresis döngü alanları ve dinamik korelasyon gibi iki dinamik manyetik özellikleri indirgenmiş sıcaklığın bir fonksiyonu olarak incelenecektir. Böylece hem faz geçiş sıcaklıklarının doğruluğu cevap fonksiyonları cinsinden kontrol edilmiş olacak hemde sistemle ilgili manyetik özellikler detaylıca incelenmiş olacaktır.

Bölüm 2’de ilk olarak sistemin model ve formülasyonu tanımlanacak ve bundan yararlanarak sistemin düzen parametreleri için ortalama alan denklemleri elde edilecektir. Elde edilecek olan bu diferansiyel denklemler Adams-Moulton kestirme ve düzeltme, Runge-Kutta, vb gibi nümerik yöntemlerle çözülecektir.

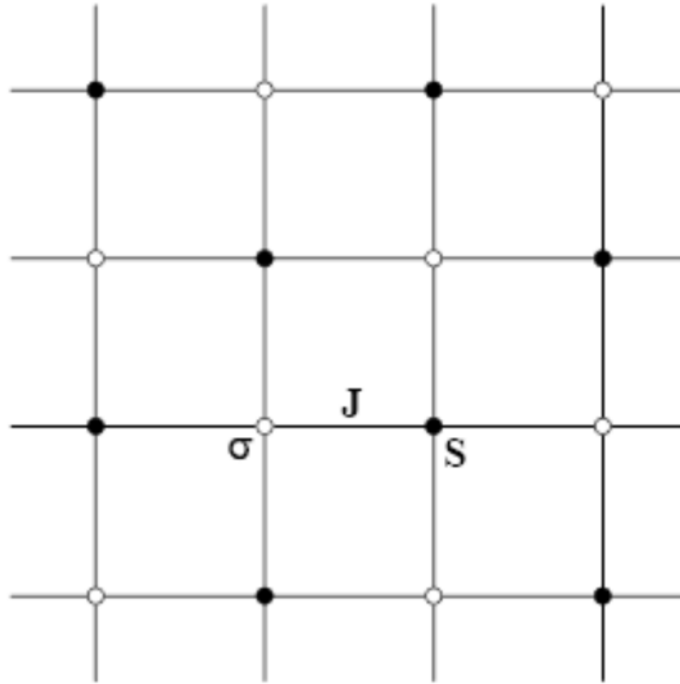
Bölüm 3’de karma spin-1 ve spin-2 Ising sisteminin dinamik davranışları ve sistemlerdeki mevcut olan fazları elde etmek için, ortalama mıknatıslanmanın zamana bağlı davranışları incelenecektir. Elde edilecek olan bu diferansiyel denklemler Adams-Moulton kestirme ve düzeltme, Runge-Kutta, vb gibi nümerik yöntemlerle çözülecek ve ortalama düzen parametrelerinin zamana göre değişimi kapsamlıca incelenerek sistemlerde oluşan fazlar tespit edilecektir. Dinamik düzen parametrelerini veren denklemler Adams-Moulton kestirme ve düzeltme ve Romberg integrasyon yöntemiyle beraber kullanılarak çözülecek ve dinamik düzen parametrelerinin indirgenmiş sıcaklığa göre değişimleri kapsamlıca incelenerek, sistemlerde meydana gelen dinamik faz geçişlerinin tabiatı (birinci- ve ikinci-derece) karakterize edilecek ve aynı zamanda DFG sıcaklıkları bulunacaktır. Ayrıca bu sistemin dinamik histeresis döngü alanları ve dinamik korelasyon gibi iki dinamik manyetik özellikleri indirgenmiş sıcaklığın bir fonksiyonu olarak bu bölümde incelenecektir. Daha sonrada hesaplanan DFG sıcaklıkları kullanılarak sistemlerin dinamik faz diyagramları (T, h) ve (d, T) düzlemlerinde sunulacaktır. Son bölümde ise, yapılan çalışmalar özetlenerek elde edilen sonuçların tartışması yapılmıştır.

BÖLÜM 2

METOT VE MODELİN TANITIMI

2.1. Model

Glauber-tipi stokastik dinamik temelli etkin alan teorisi (EAT) yöntemi, karma spin-1 ve spin-2 Ising sistemi gibi karmaşık spin sistemlerinin dinamik manyetik davranışlarını araştırmak için kullanılmaktadır. Bu modeller istatistik fizik ve yoğun madde fiziğinde en fazla kullanılan modellerden biridir. Bu model 40 yıldan beri çeşitli fiziksel sistemlerde meydana gelen çoklu kritik olayların incelenmesinde temel rol oynamaktadır. Giriş bölümünde de anlatıldığı gibi düşük spin değerlerine sahip Ising sistemleri üzerinde birçok çalışma yapılmasına rağmen yüksek spin değerlerine sahip Ising sistemleri üzerinde yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Karma spin sistemlerini Ising modeli ile tanımlamak için kullanılan en yakın kare örgü yapısıdır. Bu nedenle bu tez çalışmasında kullanılacak ve karma spin sistemini tanımlayan kare örgü yapılı şematik gösterim Şekil 2.1 deki gibi verilmektedir.



Şekil 2.1. Karma spin (1, 2) Ising sistemini tanımlayan basit kare örgünün şematik temsili: İçi boş ve dolu küreler sırasıyla spin-1 ve spin-2 manyetik atomlarını göstermektedir.

İlgilenilen model, alternatif olarak birbirini tekrarlayan iki alt tabaka A ve B' den oluşmaktadır. İçi boş olarak gösterilen küreler spin-1 manyetik atomlarına ait olan ilk alt tabaka (A), ± 1 ve 0 değerlerini almaktadır. İçi dolu renkli küreler ile gösterilen diğer alt tabaka B, $\pm 2, \pm 1, 0$ değerlerini almaktadır ve S spinleri spin-2 değerlerini almaktadır. En yakın komşu etkileşmelerini, kristal alan veya tek-iyon anizotropi terimini ve zamana bağlı dış manyetik alan terimini içeren karma spin (1, 2) Ising sisteminin Hamiltonyen ifadesi,

$$H = - J \sum_{\langle ij \rangle} \sigma_i S_j - D [\sum_i \sigma_i^2 + \sum_j S_j^2] - h(t) [\sum_i \sigma_i + \sum_j S_j] \quad (2.1)$$

biçiminde tanımlanmaktadır. Burada, $\langle ij \rangle$ toplamın en yakın komşu çiftler üzerinden olacağını ifade etmektedir. J manyetik atomlar arasındaki bilineer etkileşim parametresini göstermektedir. D kristal-alan veya tek iyon anizotropi etkileşme terimini ve h(t) ise zamana bağlı salınımlı dış manyetik alanı ifade etmektedir. Zamana bağlı salınımlı dış manyetik alan ifadesi,

$$h(t) = h_0 \sin(\omega t), \quad (2.2)$$

şeklindedir. Burada h_0 ve $\omega = 2\pi\nu$ sırasıyla salınımlı alanının genliği ve açısal frekansıdır. Sistem T_A mutlak sıcaklığında izotermal ısı banyosu ile etkileşim/temas halindedir.

2.2. Glauber Dinamiği ve Ortalama-Alan Dinamik Denklemlerinin Elde Edilmesi

İki tabakalı kare örgü üzerinde karma spin-1 ve spin-2 Ising sisteminin dinamik davranışını açıklayan etkin-alan dinamik denklemlerini elde etmek için Glauber dinamiği [37] kullanılacak ve master denklemden yararlanılacaktır. Sistem Glauber-tipi stokastik dinamiğe göre birim zamanda $1/\tau$ oranında değişim gösterir. S spinleri sabit kaldığı zaman, sistemin t zamanında, $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_N$ spin konfigürasyonuna sahip olduğu andaki ihtimaliyet fonksiyonu $P^\sigma(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_N; t)$ ile tanımlanır. σ spinleri sabit kaldığı zaman, sistemin t zamanında, S_1, S_2, \dots, S_N spin konfigürasyonuna sahip olduğu andaki ihtimaliyet fonksiyonu ise $P^S(S_1, S_2, \dots, S_N; t)$ ile tanımlanır. $W_i(S_i \rightarrow S'_i)$, i. spinin S_i durumundan S'_i durumuna, $W_j(\sigma_j \rightarrow \sigma'_j)$ ise j. spinin σ_j durumundan σ'_j birim zamandaki geçiş olasılığıdır. S spinlerinin biran için sabit kaldığı düşünülerek, σ spinleri için master denklemini;

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} P^\sigma(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_N; t) = & - \sum_i \left(\sum_{\sigma'_i \neq \sigma_i} W_i^\sigma(\sigma_i \rightarrow \sigma'_i) \right) P^\sigma(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_i, \dots, \sigma_N; t) \\ & + \sum_i \left(\sum_{\sigma'_i \neq \sigma_i} W_i^\sigma(\sigma'_i \rightarrow \sigma_i) \right) P^\sigma(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma'_i, \dots, \sigma_N; t), \end{aligned} \quad (2.3)$$

şeklinde yazılır. Genel kanonik dağılım ifadesinden faydalanılırsa olasılık yoğunluğu,

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

Burada $\beta = 1/k_B T$ 'dir ve k_B Boltzman faktörüdür. Daha sonra Hamiltonyen ifadesinin kullanılması ile $\Delta E^\sigma(\sigma_i \rightarrow \sigma'_i)$ değeri bulunur. $\Delta E^\sigma(\sigma_i \rightarrow \sigma'_i)$ spinler arası geçişte

sistemin enerjisindeki değişmedir. σ_i 'nın zaman içindeki beklenen değerindeki değişme ile daha önce bulunan $W_i^\sigma(\sigma_i \rightarrow \sigma_i')$ ve $\Delta E^\sigma(\sigma_i \rightarrow \sigma_i')$ 'ninde kullanılmasıyla, σ spinleri için etkin alan dinamik denklemleri elde edilir. Benzer işlemler yapılarak, S spinleri içinde etkin alan dinamik denklemi elde edilebilir.

Zamana bağlı salınımlı dış manyetik alan altında karma spin-1 ve spin-2 Ising modeli için sistemin dinamik davranışını açıklayan etkin-alan dinamik denklemleri, kare örgü üzerinde elde edilerek dinamik denklemleri elde edelim. Bu metot ilk kez Honmura ve Kaneyoshi [93] ile Kaneyoshi ve arkadaşları [94] tarafından tanımlandı. Korelasyonlu etkin-alan teorisinde, alt örgülerin ortalama mıknatıslanma ifadeleri,

$$\begin{Bmatrix} m_A \\ q_A \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \langle \sigma_i \rangle \\ \langle \sigma_i^2 \rangle \end{Bmatrix} = [A(a) + B(a)m_B + C(a)q_B + D(a)r_B + E(a)v_B]^4 \begin{Bmatrix} f_{m_A}(x)|_{x=0} \\ f_{q_A}(x)|_{x=0} \end{Bmatrix}, \quad (2.5)$$

$$\begin{Bmatrix} m_B \\ q_B \\ r_B \\ v_B \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \langle S_j \rangle \\ \langle S_j^2 \rangle \\ \langle S_j^3 \rangle \\ \langle S_j^4 \rangle \end{Bmatrix} = [1 + m_A \sinh(J \nabla) + q_A (\cosh(J \nabla) - 1)]^4 \begin{Bmatrix} f_{m_B}(x)|_{x=0} \\ f_{q_B}(x)|_{x=0} \\ f_{r_B}(x)|_{x=0} \\ f_{v_B}(x)|_{x=0} \end{Bmatrix}, \quad (2.6)$$

burada $m_A = \langle \sigma_i \rangle$, $q_A = \langle \sigma_i^2 \rangle$, $m_B = \langle S_j \rangle$, $q_B = \langle S_j^2 \rangle$, $r_B = \langle S_j^3 \rangle$ ve $v_B = \langle S_j^4 \rangle$ ile ifade edilen mıknatıslanma (m), kuadrupol (q), octupolar (r) ve hexadecapol (v) düzen parametreleridir. m ve r düzen parametreleri ile q ve v düzen parametrelerinin termal davranışı birbirine benzerlik göstermektedir [95]. $\langle \dots \rangle$ ise kanonik küme ortalamasını ifade etmektedir. Bu denklemlerde yer alan $f_{m_A}(x)$ ve $f_{q_A}(x)$ fonksiyonları spin-1 parçacıkları için kullanılan fonksiyonlar olup;

$$f_{m_A}(x) = \frac{2 \sinh[\beta(x+h)]}{2 \cosh[\beta(x+h)] + \exp(-\beta D)}, \quad (2.11)$$

$$q_{m_A}(x) = \frac{2 \cosh[\beta(x+h)]}{2 \cosh[\beta(x+h)] + \exp(-\beta D)}, \quad (2.12)$$

ile ifade edilirken $f_{m_B}(x)$, $f_{q_B}(x)$, $f_{r_B}(x)$ ve $f_{v_A}(x)$ fonksiyonları spin-2 parçacıkları için kullanılan fonksiyonlar olup;

$$f_{m_B}(x) = \frac{1}{2} \frac{4 \sinh[2\beta(x+h)] + 2 \sinh[\beta(x+h)] \exp(-3\beta D)}{\cosh[2\beta(x+h)] + \cosh[\beta(x+h)] \exp(-3\beta D) + \exp(-4\beta D)}, \quad (2.13)$$

$$f_{q_B}(x) = \frac{1}{2} \frac{8 \cosh[2\beta(x+h)] + 2 \cosh[\beta(x+h)] \exp(-3\beta D)}{\cosh[2\beta(x+h)] + \cosh[\beta(x+h)] \exp(-3\beta D) + \exp(-4\beta D)}, \quad (2.14)$$

$$f_{r_B}(x) = \frac{1}{2} \frac{16 \sinh[2\beta(x+h)] + 2 \sinh[\beta(x+h)] \exp(-3\beta D)}{\cosh[2\beta(x+h)] + \cosh[\beta(x+h)] \exp(-3\beta D) + \exp(-4\beta D)}, \quad (2.15)$$

$$f_{v_B}(x) = \frac{1}{2} \frac{32 \cosh[2\beta(x+h)] + 2 \cosh[\beta(x+h)] \exp(-3\beta D)}{\cosh[2\beta(x+h)] + \cosh[\beta(x+h)] \exp(-3\beta D) + \exp(-4\beta D)}, \quad (2.16)$$

şeklinde tanımlanır. Ayrıca bu denklemlerde yer alan $A(a)$, $B(a)$, $C(a)$, $D(a)$ ve $E(a)$ katsayıları spin-2 parçacıkları için kullanılan van der Waerden [96] özdeşliğinde yararlanılarak elde edilmiştir ve bu katsayılar aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} A(a) &= 1, \\ B(a) &= \frac{1}{6} [8 \sinh(J \nabla) - \sinh(2J \nabla)], \\ C(a) &= \frac{1}{12} [16 \cosh(J \nabla) - \cosh(2J \nabla) - 15], \\ D(a) &= \frac{1}{6} [\sinh(2J \nabla) - 2 \sinh(J \nabla)], \\ E(a) &= \frac{1}{12} [\cosh(2J \nabla) - 4 \cosh(J \nabla) + 3]. \end{aligned} \quad (2.17)$$

(2.5)-(2.10) eşitliklerinin çözümünde diferansiyel operatör tekniği kullanılmıştır. Bu eşitlikte $\exp(\alpha \nabla)f(x) = f(x + \alpha)$ şeklindeki bir matematiksel eşitlikten yararlanılarak açılımlar yapılacaktır. Buradaki $\nabla = \partial / \partial x$ diferansiyel operatördür. Ayrıca karma spin-1 ve spin-2 gibi yüksek ve karma spinli sistemler için bu denklemin bütün spin-spin korelasyonlarının tamamı hesaplandığında, problemin çözümü zorlaşır. Bu zorluğun üstesinden gelebilmek için korelasyonlar arasındaki etkileşmeyi indirgeyen bağlantısız (decoupling) yaklaşımıdır:

$$\langle \sigma_i \sigma_{i'}^2 \dots \sigma_{i^n}^4 \rangle \cong \langle \sigma_i \rangle \langle \sigma_{i'}^2 \rangle \dots \langle \sigma_{i^n}^4 \rangle \quad (2.18)$$

Buna göre $i \neq i' \neq \dots \neq i^n$ olmak üzere korelasyonlu etkin-alan teorisi birçok sisteme uygulanmıştır [97, 98]. Aslında bu yaklaşım, esas itibariyle hacim veya yoğun (bulk) probleminde Zernike yaklaşımına [99] tekabül etmektedir ve yüzey problemlerini içeren çok sayıda manyetik sisteme başarılı bir şekilde uygulanmıştır [97, 98, 100-103]. Şunuda belirtmek gerekirken, bu tez çalışmasında Hamiltonyen ifadesi denklem (2.1)'de görüldüğü gibi bikuadratik etkileşme parametresi (K) içermediğinden q (veya v) düzen parametrelerinin termal davranışları bu tez çalışmasında incelenmedi. Böylece bu tez çalışmasında yalnızca m düzen parametresinin termal davranışı incelendi. Eşitlik (2.5) ve (2.7)'nin sağ tarafı açılırsa,

$$m_A = a_0 + a_1 m_B + a_2 m_B^2 + a_3 m_B^3 + a_4 m_B^4 + a_5 m_B^5 + a_6 m_B^6 + a_7 m_B^7 + a_8 m_B^8 + a_9 m_B^9 + a_{10} m_B^{10} + a_{11} m_B^{11} + a_{12} m_B^{12} + a_{13} m_B^{13} + a_{14} m_B^{14} + a_{15} m_B^{15} + a_{16} m_B^{16}, \quad (2.19)$$

$$m_B = b_0 + b_1 m_A + b_2 m_A^2 + b_3 m_A^3 + b_4 m_A^4 + b_5 m_A^5 + b_6 m_A^6 + b_7 m_A^7 + b_8 m_A^8, \quad (2.20)$$

elde edilir. Burada a_i ($i = 0, 1, 2, \dots, 16$) ve b_j ($j = 0, 1, 2, \dots, 8$) katsayıları diferansiyel operatör tekniği kullanılarak,

$$a_0 = f_{m_A}(h); \quad (2.21)$$

$$a_1 = -1/3 (-f_{m_A}(h-2J) + 8 f_{m_A}(h-J) - 8 f_{m_A}(h+J) + f_{m_A}(h+2J));$$

$$a_2 = 1/24 (-250 f_{m_A}(h) + f_{m_A}((h-4J)) - 16 f_{m_A}((h-3J)) + 60 f_{m_A}((h-2J)) + 80 f_{m_A}((h-J)) + 80 f_{m_A}((h+J)) + 60 f_{m_A}((h+2J)) - 16 f_{m_A}((h+3J)) + f_{m_A}((h+4J)));$$

$$a_3 = -1/432 (-f_{mA}((h-6J)) + 24 f_{mA}((h-5J)) - 174 f_{mA}((h-4J)) + 56 f_{mA}((h-3J)) + 3375 f_{mA}((h-2J)) - 6336 f_{mA}((h-J)) + 6336 f_{mA}((h+J)) - 3375 f_{mA}((h+2J)) - 56 f_{mA}((h+3J)) + 174 f_{mA}((h+4J)) - 24 f_{mA}((h+5J)) + f_{mA}((h+6J))) ;$$

$$a_4 = 1/20736 (719478 f_{mA}(h) + f_{mA}((h-8J)) - 32 f_{mA}((h-7J)) + 312 f_{mA}((h-6J)) + 288 f_{mA}((h-5J)) - 23388 f_{mA}((h-4J)) + 124896 f_{mA}((h-3J)) - 101656 f_{mA}((h-2J)) - 360160 f_{mA}((h-J)) - 360160 f_{mA}((h+J)) - 101656 f_{mA}((h+2J)) + 124896 f_{mA}((h+3J)) - 23388 f_{mA}((h+4J)) + 288 f_{mA}((h+5J)) + 312 f_{mA}((h+6J)) - 32 f_{mA}((h+7J)) + f_{mA}((h+8J))) ;$$

$$a_5 = 1/10368 (-f_{mA}((h-8J)) + 40 f_{mA}((h-7J)) - 660 f_{mA}((h-6J)) + 4872 f_{mA}((h-5J)) - 9318 f_{mA}((h-4J)) - 58296 f_{mA}((h-3J)) + 249868 f_{mA}((h-2J)) - 308248 f_{mA}((h-J)) + 308248 f_{mA}((h+J)) - 249868 f_{mA}((h+2J)) + 58296 f_{mA}((h+3J)) + 9318 f_{mA}((h+4J)) - 4872 f_{mA}((h+5J)) + 660 f_{mA}((h+6J)) - 40 f_{mA}((h+7J)) + f_{mA}((h+8J))) ;$$

$$a_6 = -1/41472 (2250846 f_{mA}(h) + 5 f_{mA}((h-8J)) - 64 f_{mA}((h-7J)) - 1176 f_{mA}((h-6J)) + 27072 f_{mA}((h-5J)) - 175476 f_{mA}((h-4J)) + 371904 f_{mA}((h-3J)) + 58840 f_{mA}((h-2J)) - 1406528 f_{mA}((h-J)) - 1406528 f_{mA}((h+J)) + 58840 f_{mA}((h+2J)) + 371904 f_{mA}((h+3J)) - 175476 f_{mA}((h+4J)) + 27072 f_{mA}((h+5J)) - 1176 f_{mA}((h+6J)) - 64 f_{mA}((h+7J)) + 5 f_{mA}((h+8J))) ;$$

$$a_7 = -1/41472 (-15 f_{mA}((h-8J)) + 464 f_{mA}((h-7J)) - 4974 f_{mA}((h-6J)) + 15136 f_{mA}((h-5J)) + 71182 f_{mA}((h-4J)) - 521088 f_{mA}((h-3J)) + 1219178 f_{mA}((h-2J)) - 1208784 f_{mA}((h-J)) + 1208784 f_{mA}((h+J)) - 1219178 f_{mA}((h+2J)) + 521088 f_{mA}((h+3J)) - 71182 f_{mA}((h+4J)) - 15136 f_{mA}((h+5J)) + 4974 f_{mA}((h+6J)) - 464 f_{mA}((h+7J)) + 15 f_{mA}((h+8J))) ;$$

$$a_8 = 1/331776 (14980806 f_{mA}(h) + f_{mA}((h-8J)) + 1760 f_{mA}((h-7J)) - 43368 f_{mA}((h-6J)) + 366112 f_{mA}((h-5J)) - 1209124 f_{mA}((h-4J)) + 1198176 f_{mA}((h-3J)) + 2896168 f_{mA}((h-2J)) - 10700128 f_{mA}((h-J)) - 10700128 f_{mA}((h+J)) + 2896168 f_{mA}((h+2J)) + 1198176 f_{mA}((h+3J)) - 1209124 f_{mA}((h+4J)) + 366112 f_{mA}((h+5J)) - 43368 f_{mA}((h+6J)) + 1760 f_{mA}((h+7J)) + f_{mA}((h+8J))) ;$$

$$a_9 = 1/20736 (-10 f_{mA}((h-8J)) + 209 f_{mA}((h-7J)) - 948 f_{mA}((h-6J)) - 5839 f_{mA}((h-5J)) + 59060 f_{mA}((h-4J)) - 202467 f_{mA}((h-3J)) + 358364 f_{mA}((h-2J)) - 312067 f_{mA}((h-J)) + 312067 f_{mA}((h+J)) - 358364 f_{mA}((h+2J)) + 202467 f_{mA}((h+3J)) - 59060 f_{mA}((h+4J)) + 5839 f_{mA}((h+5J)) + 948 f_{mA}((h+6J)) - 209 f_{mA}((h+7J)) + 10 f_{mA}((h+8J))) ;$$

$$a_{10} = 1/82944 (-1727406 f_{mA}(h) + 19 f_{mA}((h-8J)) - 804 f_{mA}((h-7J)) + 9792 f_{mA}((h-6J)) - 45772 f_{mA}((h-5J)) + 85252 f_{mA}((h-4J)) + 46908 f_{mA}((h-3J)) - 574848 f_{mA}((h-2J)) + 1343156 f_{mA}((h-J)) + 1343156 f_{mA}((h+J)) - 574848 f_{mA}((h+2J)) + 46908 f_{mA}((h+3J))$$

$$+ 85252 f_{m_A}((h+4 J)) - 45772 f_{m_A}((h+5 J)) + 9792 f_{m_A}((h+6 J)) - 804 f_{m_A}((h+7 J)) + 19 f_{m_A}((h+8 J));$$

$$a_{11} = -1/20736 (-5 f_{m_A}((h-8 J)) + 35 f_{m_A}((h-7 J)) + 570 f_{m_A}((h-6 J)) - 6525 f_{m_A}((h-5 J)) + 29130 f_{m_A}((h-4 J)) - 72825 f_{m_A}((h-3 J)) + 109010 f_{m_A}((h-2 J)) - 87065 f_{m_A}((h-J)) + 87065 f_{m_A}((h+J)) - 109010 f_{m_A}((h+2 J)) + 72825 f_{m_A}((h+3 J)) - 29130 f_{m_A}((h+4 J)) + 6525 f_{m_A}((h+5 J)) - 570 f_{m_A}((h+6 J)) - 35 f_{m_A}((h+7 J)) + 5 f_{m_A}((h+8 J));$$

$$a_{12} = -1/165888 (-886050 f_{m_A}(h) + 37 f_{m_A}((h-8 J)) - 824 f_{m_A}((h-7 J)) + 5352 f_{m_A}((h-6 J)) - 13800 f_{m_A}((h-5 J)) - 2388 f_{m_A}((h-4 J)) + 120072 f_{m_A}((h-3 J)) - 395560 f_{m_A}((h-2 J)) + 730136 f_{m_A}((h-J)) + 730136 f_{m_A}((h+J)) - 395560 f_{m_A}((h+2 J)) + 120072 f_{m_A}((h+3 J)) - 2388 f_{m_A}((h+4 J)) - 13800 f_{m_A}((h+5 J)) + 5352 f_{m_A}((h+6 J)) - 824 f_{m_A}((h+7 J)) + 37 f_{m_A}((h+8 J));$$

$$a_{13} = 1/20736 (-29 f_{m_A}((h-7 J)) + 348 f_{m_A}((h-6 J)) - 1885 f_{m_A}((h-5 J)) + 6032 f_{m_A}((h-4 J)) - 12441 f_{m_A}((h-3 J)) + 16588 f_{m_A}((h-2 J)) - 12441 f_{m_A}((h-J)) + 12441 f_{m_A}((h+J)) - 16588 f_{m_A}((h+2 J)) + 12441 f_{m_A}((h+3 J)) - 6032 f_{m_A}((h+4 J)) + 1885 f_{m_A}((h+5 J)) - 348 f_{m_A}((h+6 J)) + 29 f_{m_A}((h+7 J));$$

$$a_{14} = 1/82944 (-59202 f_{m_A}(h) + 5 f_{m_A}((h-8 J)) - 44 f_{m_A}((h-7 J)) + 96 f_{m_A}((h-6 J)) + 476 f_{m_A}((h-5 J)) - 4004 f_{m_A}((h-4 J)) + 14196 f_{m_A}((h-3 J)) - 32032 f_{m_A}((h-2 J)) + 50908 f_{m_A}((h-J)) + 50908 f_{m_A}((h+J)) - 32032 f_{m_A}((h+2 J)) + 14196 f_{m_A}((h+3 J)) - 4004 f_{m_A}((h+4 J)) + 476 f_{m_A}((h+5 J)) + 96 f_{m_A}((h+6 J)) - 44 f_{m_A}((h+7 J)) + 5 f_{m_A}((h+8 J));$$

$$a_{15} = 1/41472 (-f_{m_A}((h-8 J)) + 14 f_{m_A}((h-7 J)) - 90 f_{m_A}((h-6 J)) + 350 f_{m_A}((h-5 J)) - 910 f_{m_A}((h-4 J)) + 1638 f_{m_A}((h-3 J)) - 2002 f_{m_A}((h-2 J)) + 1430 f_{m_A}((h-J)) - 1430 f_{m_A}((h+J)) + 2002 f_{m_A}((h+2 J)) - 1638 f_{m_A}((h+3 J)) + 910 f_{m_A}((h+4 J)) - 350 f_{m_A}((h+5 J)) + 90 f_{m_A}((h+6 J)) - 14 f_{m_A}((h+7 J)) + f_{m_A}((h+8 J));$$

$$a_{16} = 1/331776 (12870 f_{m_A}(h) + f_{m_A}((h-8 J)) - 16 f_{m_A}((h-7 J)) + 120 f_{m_A}((h-6 J)) - 560 f_{m_A}((h-5 J)) + 1820 f_{m_A}((h-4 J)) - 4368 f_{m_A}((h-3 J)) + 8008 f_{m_A}((h-2 J)) - 11440 f_{m_A}((h-J)) - 11440 f_{m_A}((h+J)) + 8008 f_{m_A}((h+2 J)) - 4368 f_{m_A}((h+3 J)) + 1820 f_{m_A}((h+4 J)) - 560 f_{m_A}((h+5 J)) + 120 f_{m_A}((h+6 J)) - 16 f_{m_A}((h+7 J)) + f_{m_A}((h+8 J));$$

ve

$$b_0 = f_{m_B}(h); \tag{2.22}$$

$$b_1 = 2 (-f_{m_B}((h-J)) + f_{m_B}((h+J)));$$

$$b_2=1/2 (-14 f_{mB}(h)+3 f_{mB}((h-2J))+4 f_{mB}((h-J))+4 f_{mB}((h+J))+3 f_{mB}((h+2J))) ;$$

$$b_3=1/2 (-f_{mB}((h-3J))-6 f_{mB}((h-2J))+15 f_{mB}((h-J))-15 f_{mB}((h+J))+6 f_{mB}((h+2J))+f_{mB}((h+3J))) ;$$

$$b_4=1/16 (246 f_{mB}(h)+f_{mB}((h-4J))+24 f_{mB}((h-3J))-28 f_{mB}((h-2J))-120 f_{mB}((h-J))-120 f_{mB}((h+J))-28 f_{mB}((h+2J))+24 f_{mB}((h+3J))+f_{mB}((h+4J))) ;$$

$$b_5=1/4 (-f_{mB}((h-4J))-4 f_{mB}((h-3J))+26 f_{mB}((h-2J))-36 f_{mB}((h-J))+36 f_{mB}((h+J))-26 f_{mB}((h+2J))+4 f_{mB}((h+3J))+f_{mB}((h+4J))) ;$$

$$b_6=1/8 (-110 f_{mB}(h)+3 f_{mB}((h-4J))-8 f_{mB}((h-3J))-12 f_{mB}((h-2J))+72 f_{mB}((h-J))+72 f_{mB}((h+J))-12 f_{mB}((h+2J))-8 f_{mB}((h+3J))+3 f_{mB}((h+4J))) ;$$

$$b_7=1/4 (-f_{mB}((h-4J))+6 f_{mB}((h-3J))-14 f_{mB}((h-2J))+14 f_{mB}((h-J))-14 f_{mB}((h+J))+14 f_{mB}((h+2J))-6 f_{mB}((h+3J))+f_{mB}((h+4J))) ;$$

$$b_8=1/16 (70 f_{mB}(h)+f_{mB}((h-4J))-8 f_{mB}((h-3J))+28 f_{mB}((h-2J))-56 f_{mB}((h-J))-56 f_{mB}((h+J))+28 f_{mB}((h+2J))-8 f_{mB}((h+3J))+f_{mB}((h+4J))) ;$$

şeklinde elde edilir. Glauber-tipi stokastik dinamik kullanılırsa, özellikle de Glauber geçiş oranları kullanılırsa, dinamik etkin-alan denklemleri,

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} m_A = & -m_A + a_0 + a_1 m_B + a_2 m_B^2 + a_3 m_B^3 + a_4 m_B^4 + a_5 m_B^5 + a_6 m_B^6 + a_7 m_B^7 + a_8 m_B^8 \\ & + a_9 m_B^9 + a_{10} m_B^{10} + a_{11} m_B^{11} + a_{12} m_B^{12} + a_{13} m_B^{13} + a_{14} m_B^{14} + a_{15} m_B^{15} + a_{16} m_B^{16}, \end{aligned} \quad (2.23)$$

$$\frac{d}{dt} m_B = -m_B + b_0 + b_1 m_A + b_2 m_A^2 + b_3 m_A^3 + b_4 m_A^4 + b_5 m_A^5 + b_6 m_A^6 + b_7 m_A^7 + b_8 m_A^8, \quad (2.24)$$

formunda elde edilir. Böylece sistemin dinamik etkin-alan denklemleri elde edilmiş oldu. Elde edilen bu dinamik etkin alan denklemlerinin genelde analitik çözümü yapılamaz. Gelecek bölümde bu denklemlerin, Adams-Moulton kestirme ve düzeltme yöntemi kullanılarak nümerik olarak çözülmesiyle ortalama düzen parametrelerinin zamana bağlı davranışları incelenerek sistemde mevcut olan fazlar elde edilecektir. Daha sonra, bu denklemleri Adams-Moulton kestirme ve düzeltme, ve Romberg integrasyon yöntemleri kullanılarak nümerik olarak çözülerek ve bir periyot içinde ortalama düzen parametrelerinin yani dinamik alt örgü mıknatıslanmaların davranışları sıcaklığın bir fonksiyonu olarak incelenerek, dinamik faz geçiş (DFG) sıcaklıkları tespit edilecek ve aynı zamanda dinamik faz geçişlerinin doğası (kesikli veya sürekli yani birinci- veya ikinci-derece faz geçişleri) karakterize edilecektir.

BÖLÜM 3

KARMA SPİN (1, 2) ISING SİSTEMİNİN NÜMERİK ÇÖZÜMÜ

3.1. Ortalama Alt Örgü Mıknatıslanmalarının Zamanla Değişimi

Sistemde mevcut fazları bulmak için denklem (2.23) ve (2.24) ile verilen etkin-alan (EAT) dinamik denklemlerin kararlı çözümleri farklı kristal alan (d), indirgenmiş yüksek manyetik alan genliğinde (h) ve indirgenmiş yüksek sıcaklıktaki (T) değerleri için incelenecektir. Denklem (2.23) ve (2.24)'nın devinimsiz çözümleri, periyodik bir fonksiyonun 2π periyodu için ξ 'nin periyodik bir fonksiyonu olacaktır, yani

$$m_A(\xi + 2\pi) = m_A(\xi), \quad (2.25a)$$

ve

$$m_B(\xi + 2\pi) = m_B(\xi) \quad (2.25c)$$

Ayrıca, aşağıdaki özelliklerin sağlanıp veya sağlanmama özelliklerine göre sistemde üç tip çözümden biri olabilir.

$$m_A(\xi + \pi) = -m_A(\xi), \quad (2.26a)$$

ve

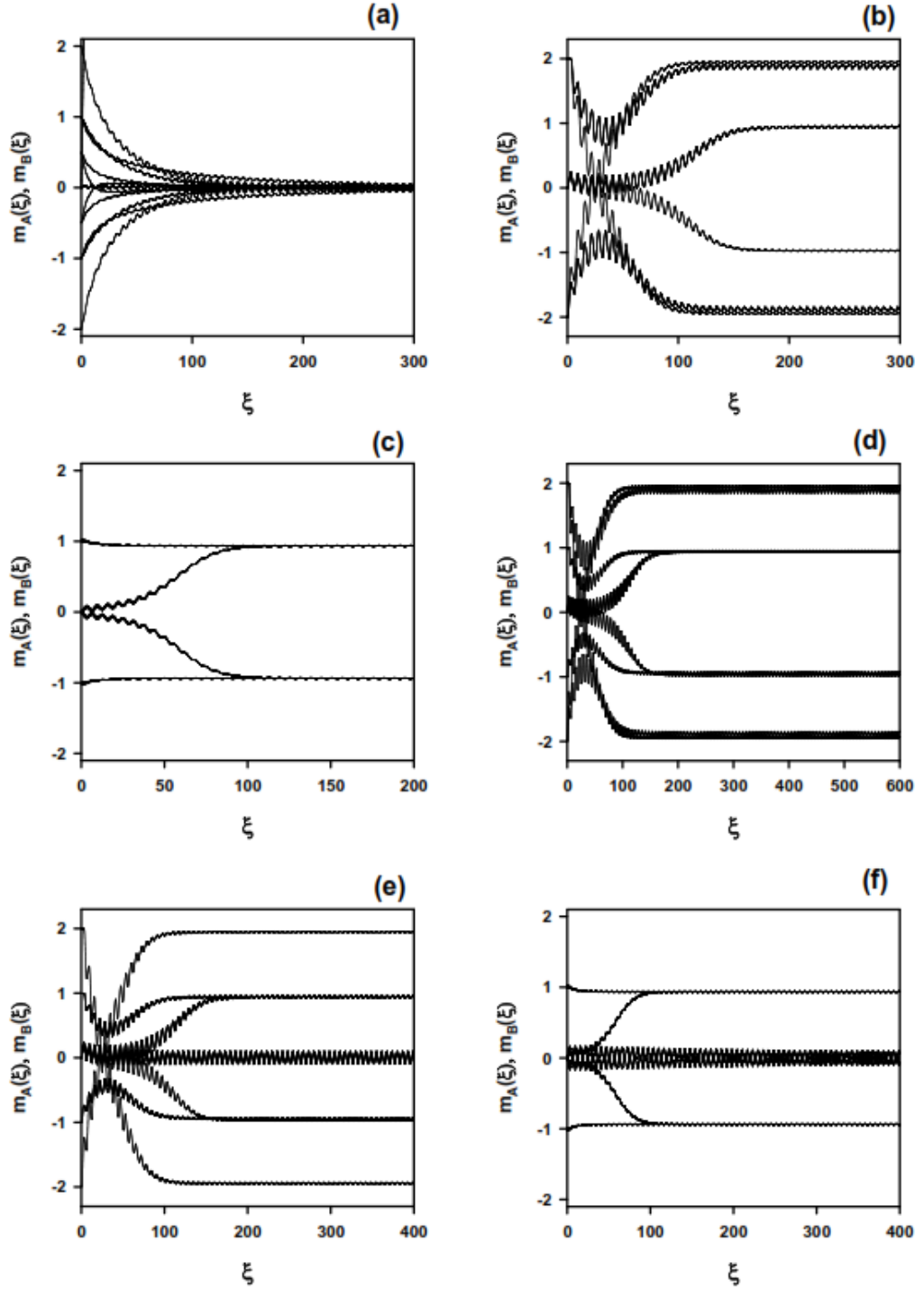
$$m_B(\xi + \pi) = -m_B(\xi) \quad (2.26c)$$

Bu çözümlerde ortalama alt örgü mıknatıslanmaları sırasıyla $m_A(\xi)$ ve $m_B(\xi)$ olarak çözülecektir. Buradaki denklem (2.26)'in birinci tip çözümü, simetrik çözüm olarak adlandırılır ve bu çözüm düzensiz veya paramanyetik (p) çözüme karşılık gelir. Bu çözümde, ortalama düzen parametreleri, yani ortalama alt örgü mıknatıslanmaları $m_A(\xi)$ ve $m_B(\xi)$ birbirine eşittir ve sıfır değeri civarında salınarak dış manyetik alana uyum gösterirler. İkinci tip çözümde, elde ettiğimiz çözüm (2.26) denklemlerine uymaz ve bu simetrik olmayan çözümdür, bu çözüm ferrimanyetik (i) çözüme karşılık

gelir. Bu çözümde $m_A(\xi)$ ve $m_B(\xi)$ birbirine eşit değildir ($m_A(\xi) \neq m_B(\xi)$) ve sıfır olmayan değerler etrafında salınırlar, yani $m_A(\xi) = \pm 1.0$, $m_B(\xi) = \pm 2.0$ etrafında salınırlar ve dış manyetik alana uymazlar. Üçüncü tip çözümde yine ikinci tip çözümde olduğu gibi (2.26) denklemlerine uymaz ve buda simetrik olmayan çözümdür, bu çözüm ferromanyetik (f) çözüme karşılık gelir. Bu çözümde $m_A(\xi)$ ve $m_B(\xi)$ birbirine eşittir ($m_A(\xi) = m_B(\xi)$) ve sıfır olmayan değerler etrafında salınırlar, yani $m_A(\xi) = m_B(\xi) = \pm 1.0$ etrafında salınırlar ve dış manyetik alana uymazlar. Bu çözümler, açık bir şekilde (2.23) ve (2.24) ile verilen ortalama-alan dinamik denklemlerin nümerik olarak çözülmesiyle görülür. (2.23) ve (2.24) numaralı denklemler, verilen parametreler ve başlangıç değerleri için Adams-Moulton kestirme ve düzeltme yöntemi kullanılarak çözülmesiyle sistemde paramanyetik (p), ferrimanyetik (i) ve ferromanyetik (f) temel fazlarının yanında i + f, i + p ve f + p karma fazları bulundu. Bu fazlara karşılık gelen bazı çözümler Şekil 3.1' de gösterilmiştir.

Şekil 3.1.(a)'da yalnızca simetrik çözüm elde edildi ve bundan dolayı sistemde sadece paramanyetik (p) faz mevcuttur. Bu durumda $m_A(\xi)$ ve $m_B(\xi)$ birbirine eşittir ve sıfır değeri civarında salınırlar ($m_A(\xi) = m_B(\xi) = 0$). Şekil 3.1.(b) ve Şekil 3.1.(c)'de simetrik olmayan çözümler elde edilmiştir. Şekil 3.1.(b)'de $m_A(\xi) = \pm 1.0$ civarında salınırken ve $m_B(\xi) = \pm 2.0$ değeri etrafında salınırlar, bu durumda sistemde ferrimanyetik (i) faz mevcuttur. Şekil 3.1.(c)'de alt örgü mıknatıslanmaları $m_A(\xi) = m_B(\xi) = \pm 1.0$ değerleri etrafında salınırlar. Bundan dolayı sistemde ferromanyetik (f) faz elde edilmiştir. Bu çözümler başlangıç değerlerine bağlı değildir. Şekil 3.1.(d)'de iki farklı çözüm elde edilmiştir ve sistemde i ve f fazları bir arada bulunmaktadır. İlk çözüm de $m_A(\xi) = \pm 1.0$ civarında salınırken ve $m_B(\xi) = \pm 2.0$ değeri etrafında salınmaktadır. Yani sistemde i fazı gözlenmektedir. İkinci çözümde ise $m_A(\xi) = m_B(\xi) = \pm 1.0$ civarında salınmaktadır, bu durumda sistemde ferromanyetik (f) faz gözlenmiştir. Sistemde bu iki fazın bir arada bulunmasından dolayı sistemde i + f karma fazı bulunduğu gözlenmiştir. Şekil 3.1.(e)'de iki farklı çözüm elde edilmiştir ve

sistemde p ve i fazları bir arada bulunmaktadır. İlk çözüm de $m_A(\xi)$ ve $m_B(\xi)$ ' ler sıfır değeri civarında salınırken sistemde paramanyetik (p) faz gözlenmiştir. İkinci çözümde ise $m_A(\xi) = \pm 1.0$ civarında salınırken ve $m_B(\xi) = \pm 2.0$ değeri etrafında salınırlar, bu durumda sistemde ferrimanyetik (i) faz gözlenmiştir. Sistemde bu iki fazın bir arada bulunmasından dolayı sistemde i + p karma fazı bulunduğu gözlenmiştir. Şekil 3.1.(f)'de yine iki farklı çözüm elde edilmiştir ama bu sefer sistemde p ve f fazları bir arada bulunmaktadır. Buradaki ilk çözüm de $m_A(\xi)$ ve $m_B(\xi)$ yine sıfır değeri civarında salınırlar ve bundan dolayı sistemde paramanyetik (p) faz elde edilmiştir. İkinci çözümde ise $m_A(\xi) = m_B(\xi) = \pm 1.0$ etrafında salınırlar. Yani sistemde ferromanyetik (f) faz elde edilmiştir. Sistemde iki farklı (f) ve (p) fazlarının bir arada bulunmasından dolayı f + p karma fazı da elde edilmiştir. Böylece, Şekil 3.1'de görüldüğü gibi sistemde p, i ve f temel fazlarının yanında i + f, i + p ve f + p karma fazları mevcuttur. Bir sonraki bölümde bu faz bölgeleri arasındaki dinamik faz sınırları belirlenecektir.



Şekil 3.1. Karma spin (1, 2) sistemi için ortalama alt örgü mıknatıslanmalarının $m_A(\xi)$ ve $m_B(\xi)$ zamanla değişimi. (a) Sistemde sadece paramanyetik (p) faz mevcuttur, ($d=1.0$, $h=4.0$, $T=5.0$). (b) Sistemde sadece ferrimanyetik (i) faz mevcuttur, ($d=-1.6$, $h=2.5$, $T=0.80$). (c) Sistemde sadece ferromanyetik (f) faz mevcuttur, ($d=-2.50$, $h=3.0$, $T=0.20$). (d) Sistemde hem ferrimagnetik (i) ve hemde ferromagnetik (f) fazlar mevcuttur, ($d=-1.9$, $h=1.75$, $T=0.15$). (e) Sistemde hem ferrimagnetik (i) ve hemde paramagnetik (p) fazlar mevcuttur, ($d=-1.5$, $h=0.5$, $T=0.45$). (f) Sistemde hem

ferromanyetik (f) ve hemde paramagnetik (p) fazlar mevcuttur. ($d=-1.75$, $h=0.80$, $T=0.55$).

3.2 Dinamik Düzen Parametreleri ve Dinamik Faz Geçiş Noktaları

Bu kesimde, sistemde mevcut olan karma fazlar arasındaki dinamik faz sınırlarını belirleyebilecektir. Bunun için dinamik faz geçiş (DFG) sıcaklıklarını hesaplamalıyız ve dinamik faz geçişlerinin doğasını (süreksiz veya sürekli yani birinci- veya ikinci-derece faz geçişleri) karakterize etmeliyiz. Daha sonra bu DFG sıcaklıkları kullanılarak sistemin dinamik faz diyagramlarını sunabiliriz. DFG sıcaklıkları, bir periyot başına ortalama düzen parametrelerinin ya da dinamik düzen parametrelerinin davranışının indirgenmiş sıcaklığın bir fonksiyonu olarak incelenmesiyle elde edilecektir. Zamana bağlı salınımlı manyetik alan varlığında bir periyot boyunca dinamik düzen parametreleri veya dinamik alt örgü mıknatıslanmaları (M_A ve M_B) şu şekilde verilir:

$$M_A = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} m_A(\xi) d\xi, \quad (2.27)$$

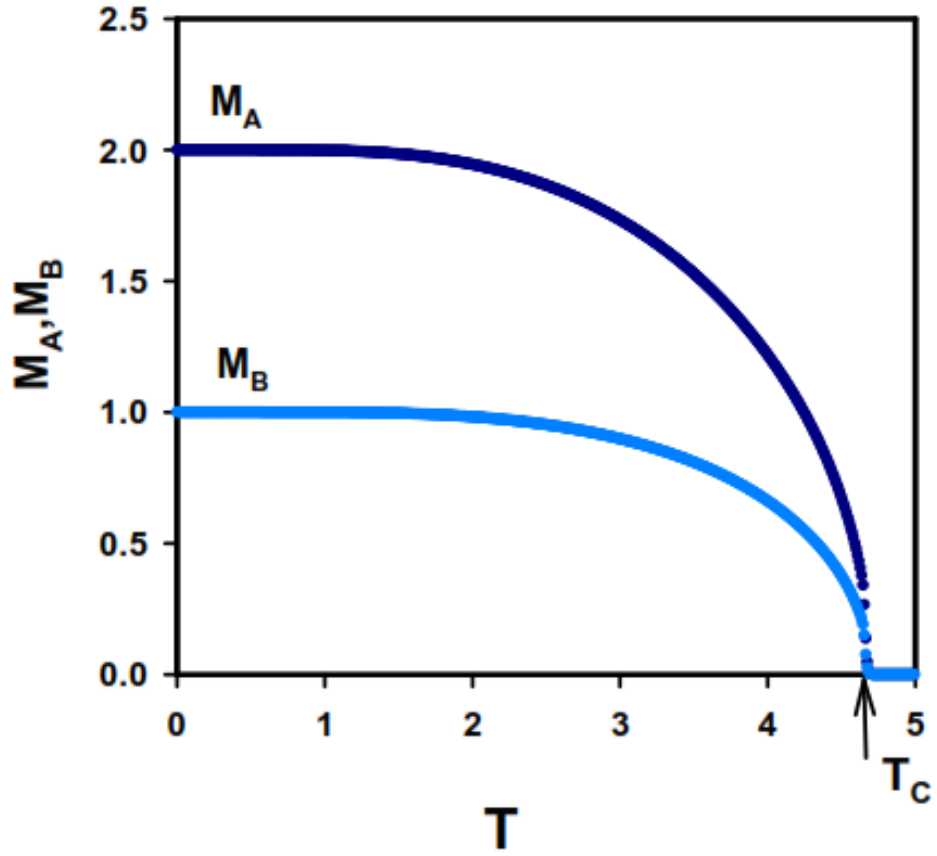
$$M_B = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} m_B(\xi) d\xi, \quad (2.28)$$

Bu dinamik düzen parametrelerinin davranışı etkileşme parametrelerinin farklı değerleri için indirgenmiş sıcaklığın ve indirgenmiş tek-iyon anizotropisinin bir fonksiyonu olarak Adams-Moulton kestirme ve düzeltme ile Romberg integrasyon yöntemlerinin birleştirilmesiyle incelenecektir. Bir sonraki bölümde bu denklemlerin sayısal sonuçları incelenecektir.

3.3. Dinamik mıknatıslanmalar, histeresis döngüsü alanları ve korelasyonların termal davranışı

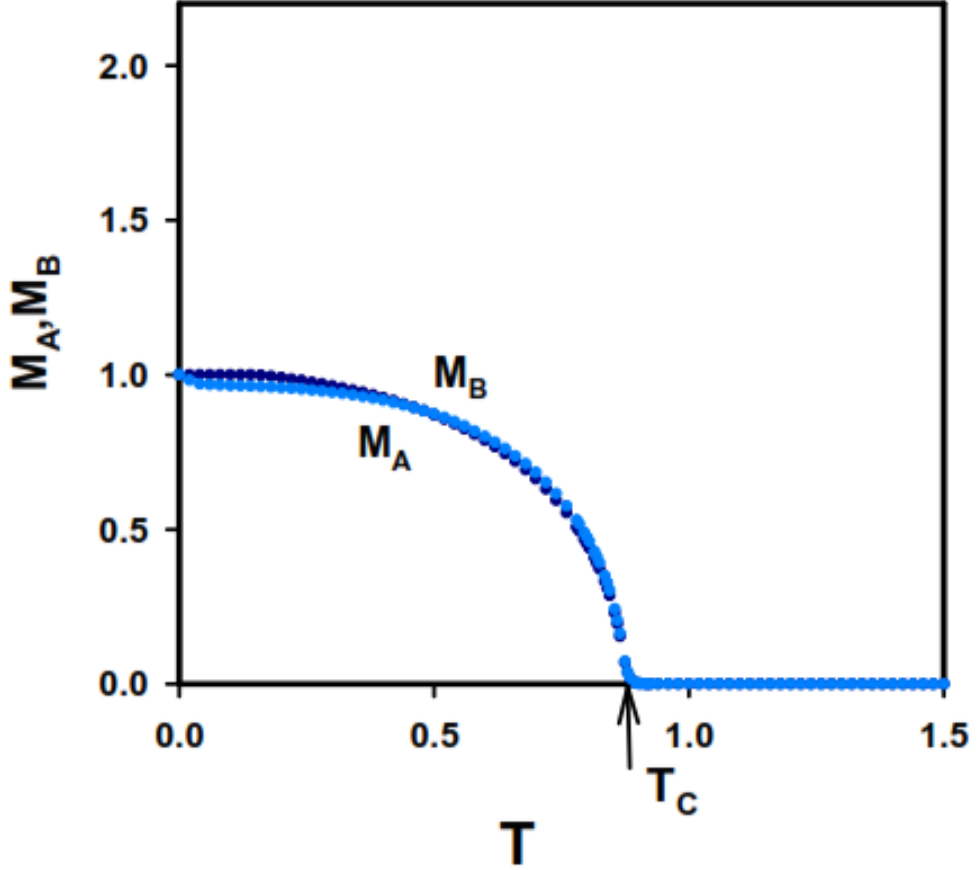
Bu alt bölümde, karma spin (1, 2) Ising sisteminin sıcaklık değerinin bir fonksiyonu olarak, dinamik alt örgü mıknatıslanmalarının (M_A ve M_B) termal değişimini farklı etkileşim parametresi değerleri için incelenecektir. M_A ve M_B 'nin termal davranışlarını denklem (2.27) ve (2.28) kullanılarak dinamik düzen parametrelerinin davranışını etkileşme parametrelerinin farklı değerleri için indirgenmiş sıcaklığın ve indirgenmiş tek-iyon anizotropisinin bir fonksiyonu olarak Adams-Moulton kestirme ve düzeltme metodu ile Romberg integrasyon metodu birleştirerek incelenecektir. Mevcut olan fazlar arasındaki dinamik faz sınırlarını belirleyebilmemiz için, dinamik faz geçiş (DFG) sıcaklıklarını hesaplamalı ve DFG'lerinin doğasını sürekli ya da süreksiz (kesikli) yani birinci- veya ikinci-derece faz geçişleri karakterize etmeliyiz. Dinamik alt örgü mıknatıslanmalarının (M_A ve M_B) davranışı etkileşme parametrelerinin farklı değerleri için indirgenmiş sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Adams-Moulton kestirme ve düzeltme metodu ile Romberg integrasyon metodu gibi nümerik metotların birleştirilmesiyle incelendi. Fazlar arasındaki dinamik faz sınırlarının ve DFG sıcaklıklarının nasıl elde edildiği Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5 ile Şekil 3.6 (a) ve (b)'de gösterilmektedir. Bu şekillerde, T_1 birinci-derece faz geçiş sıcaklığını gösterirken, T_c ise ferrimanyetik ve ferromanyetik fazlardan paramanyetik faza ikinci-derece faz geçiş sıcaklıklarını göstermektedir.

Şekil 3.2, M_A ve M_B 'nin termal davranışları $d = 1.0$ ve $h = 2.0$ değerleri için elde edilmiştir. Bu şekilde mutlak sıfır sıcaklık değerinde $M_A=2.0$ ve $M_B=1.0$ iken sıcaklık arttıkça her iki alt örgü mıknatıslanmaları mıknatıslanmaları sürekli olarak sıfıra yaklaştığını ve $T_C=4.66$ sıcaklığında ferrimanyetik (i) fazdan paramanyetik (p) faza ikinci-derece faz geçişi meydana geldiğini göstermektedir.



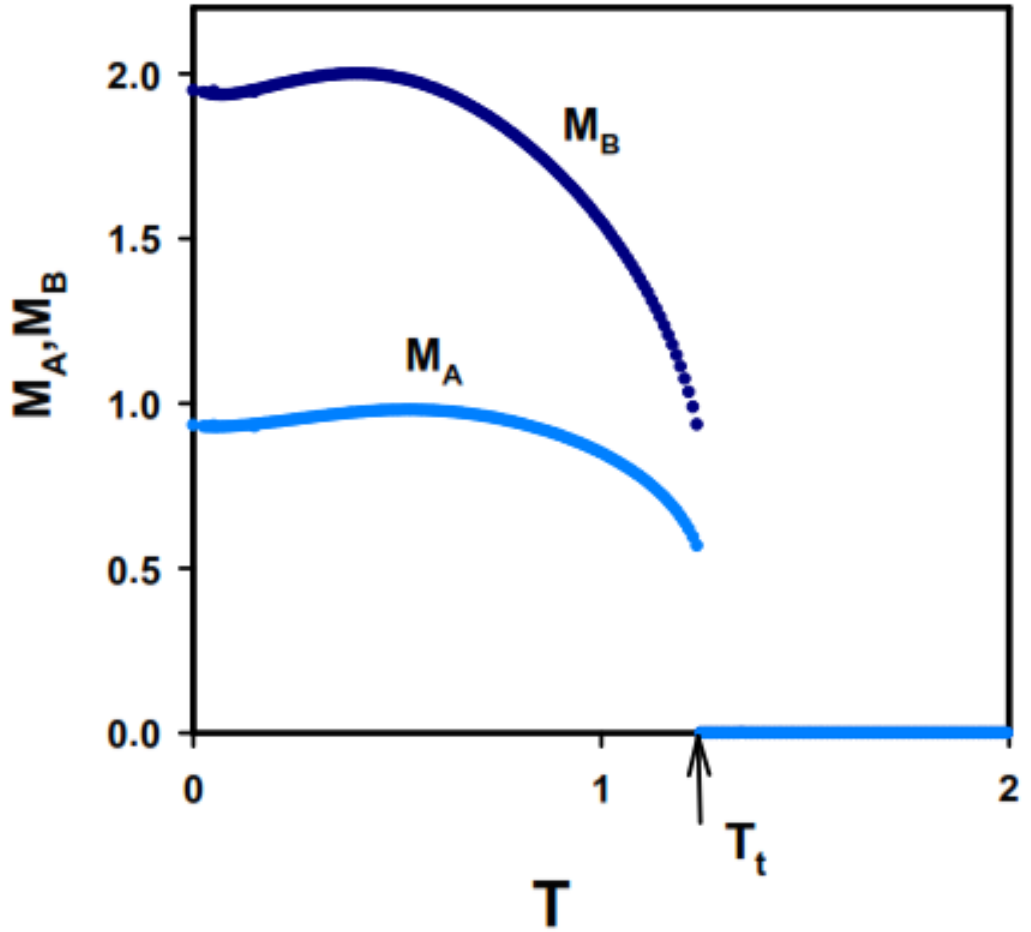
Şekil 3.2. $d = 1.0$ ve $h = 2.0$ değerleri için M_A ve M_B 'nin sıcaklığa bağlı davranışı. $T_C = 4.66$ değeri ferrimanyetik (i) fazdan paramanyetik (p) faza ikinci-derece faz geçiş sıcaklığını göstermektedir.

Şekil 3.3, M_A ve M_B 'nin termal davranışları $d = -1.9$ ve $h = 2.5$ değerleri için elde edilmiştir. Bu şekilde mutlak sıfır sıcaklık değerinde $M_A = M_B = 1.0$ iken sıcaklık arttıkça mıknatıslanmalar sürekli olarak azalarak sıfıra $T_C=0.925$ değerinde gitmektedir.



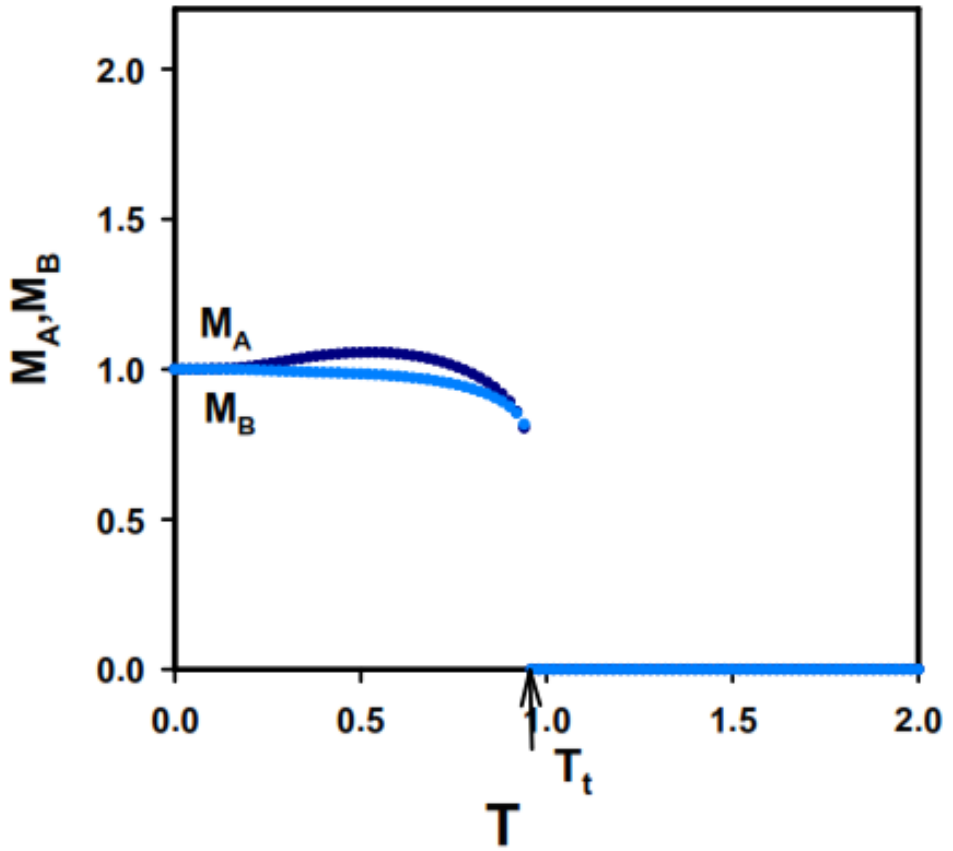
Şekil 3.3. $d = -1.9$ ve $h = 2.5$ değerleri için M_A ve M_B 'nin sıcaklığa bağlı davranışı. $T_C=0.925$ değeri ferromanyetik (f) fazdan paramanyetik (p) faza ikinci-derece faz geçiş sıcaklığını göstermektedir.

Şekil 3.4'de M_A ve M_B 'nin termal davranışları $d = -1.6$ ve $h = 1.2$ değerleri için elde edilmiştir. Bu şekilde mutlak sıfır sıcaklık değerinde $M_A = 2.0$ ve $M_B = 1.0$ iken sıcaklık artıkça mıknatıslanmalar $T_t = 1.25$ sıcaklık değerinde aniden (süresiz) sıfıra inmektedir. Yani $T_t = 1.25$ sıcaklık değerinde ferrimanyetik (i) fazdan paramanyetik (p) faza birinci-derece faz geçişi olmuştur.



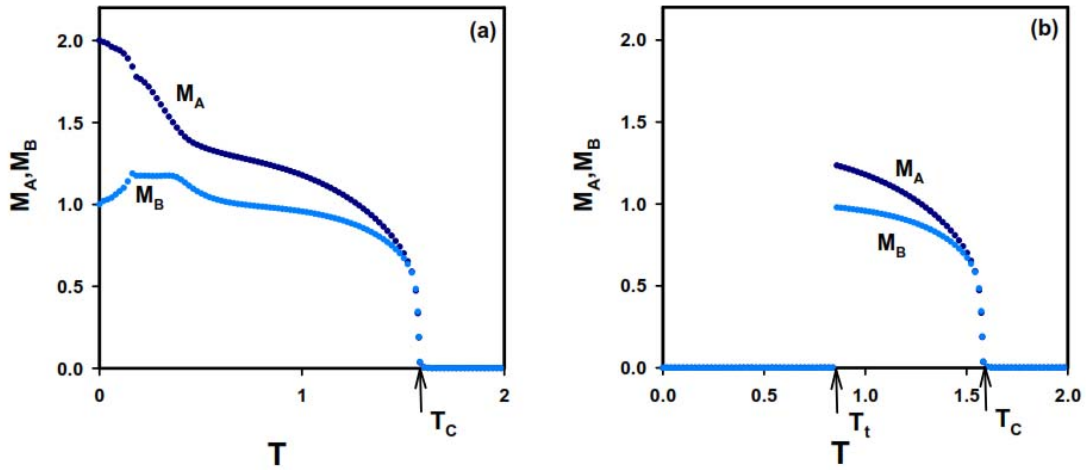
Şekil 3.4. $d = -1.6$ ve $h = 1.2$ değerleri için M_A ve M_B 'nin sıcaklığa bağlı davranışı. $T_t = 1.25$ sıcaklık değerinde ferrimanyetik (i) fazdan paramanyetik (p) faza birinci-derece faz geçişi olmuştur.

Şekil 3.5' de M_A ve M_B 'nin termal davranışları, $d = -1.75$ ve $h = 0.5$ değerleri için modelin $m_A=2.0$ ve $m_B=1.0$ başlangıç değerlerinde elde edilmiştir. Bu şekilde mutlak sıfır sıcaklık değerinde $M_A = M_B = 1.0$ iken sıcaklık arttıkça mıknatıslanmalar $T_t = 0.96$ değerinde aniden sıfıra gitmektedir. Yani $T_t = 0.96$ değerinde sistemde ferromanyetik fazdan paramanyetik faza birinci-derece faz geçişi meydana gelmiştir.



Şekil 3.5, $d = -1.75$ ve $h = 0.5$ değerleri için M_A ve M_B 'nin sıcaklığa bağlı davranışı. $T_t = 0.96$ sıcaklık değerinde ferromanyetik (f) fazdan paramanyetik (p) faza birinci-derece faz geçişi olmuştur.

Şekil 3.6 (a) ve Şekil 3.6 (b), M_A ve M_B 'nin termal davranışları $d = -1.5$ ve $h = 0.5$ değerleri ve sistemin farklı başlangıç değerleri için elde edilmiştir. Şekil 3.6 (a) görülen düzen parametresi Şekil 3.2 ye benzemektedir. Yani mutlak sıfır sıcaklık değerinde $M_A=2.0$ ve $M_B=1.0$ iken sıcaklık arttıkça her iki alt örgü mıknatıslanmaları mıknatıslanmaları sıfıra yaklaştığını ve $T_C=1.625$ sıcaklığında ferrimanyetik (i) fazdan paramanyetik (p) faza ikinci-derece faz geçişi meydana geldiğini göstermektedir. Şekil 3.6 (b)'de arka arkaya iki faz geçişi meydana gelmiştir. İlk durumda mutlak sıfır sıcaklık değerinde $M_A= M_B = 0.0$ iken sıcaklık artarken birden $T_t= 0.86$ değerinde paramanyetik fazdan ferrimanyetik faza birinci derece faz geçişi meydana gelmiştir. Sıcaklık arttıkça mıknatıslanmalar sürekli olarak sıfıra yaklaşırken ve $T_C = 1.625$ değerinde ikinci derece faz geçişi vermiştir. Bu şekil dikkatlice incelendiğinde sistemde $T_t = 0.86$ değerine kadar i+p fazı mevcutken, $T_t = 0.86$ ile $T_C = 1.625$ arasında ferrimanyetik (i) fazı, $T_C = 1.625$ 'den büyük değerler için p fazı mevcuttur.

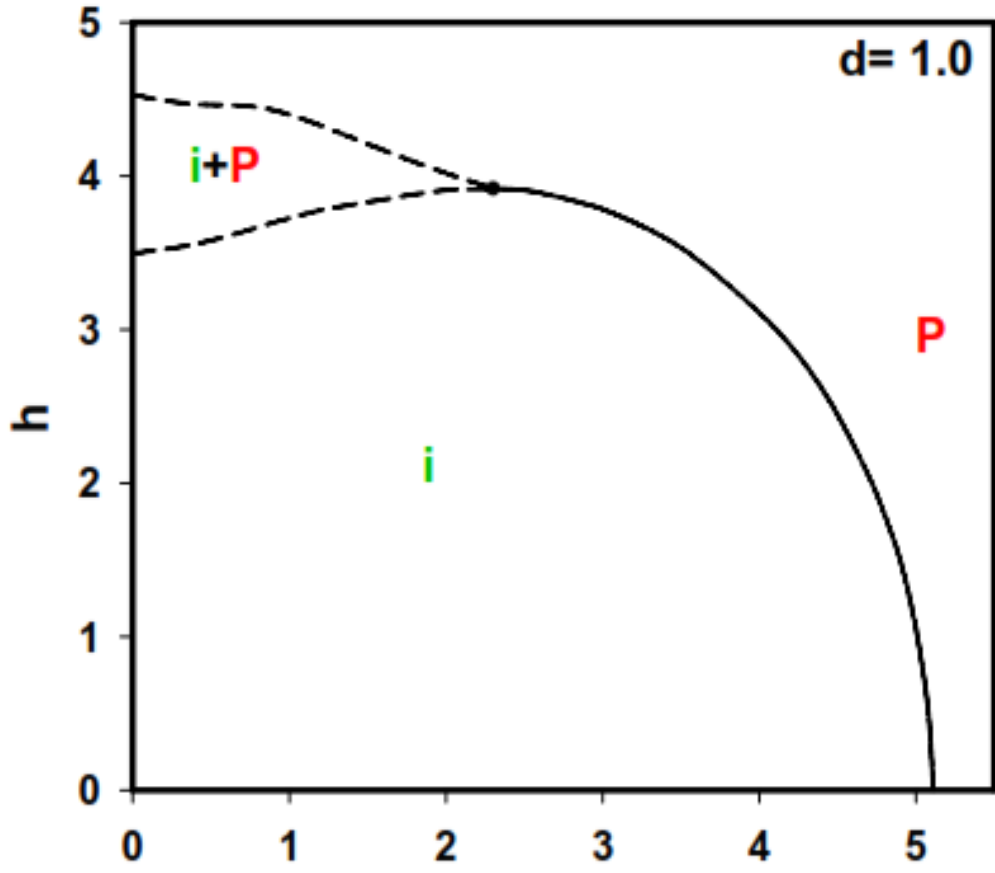


Şekil 3.6, $d = -1.5$ ve $h = 0.5$ değerleri için M_A ve M_B 'nin termal davranışları. (a) $m_A=2.0$, $m_B= 1.0$ başlangıç değerleri, (b) $m_A=0.0$, $m_B= 0.0$ başlangıç değerleri için elde edilmiştir. $T_t = 0.86$ değerine kadar karma i+p fazı mevcutken, $T_t = 0.86$ ile $T_C = 1.625$ arasında i fazı, $T_C = 1.625$ 'den büyük değerler için p fazı mevcuttur.

3.4.(T/JC, h/JC)Düzleminde Dinamik Faz Diyagramları

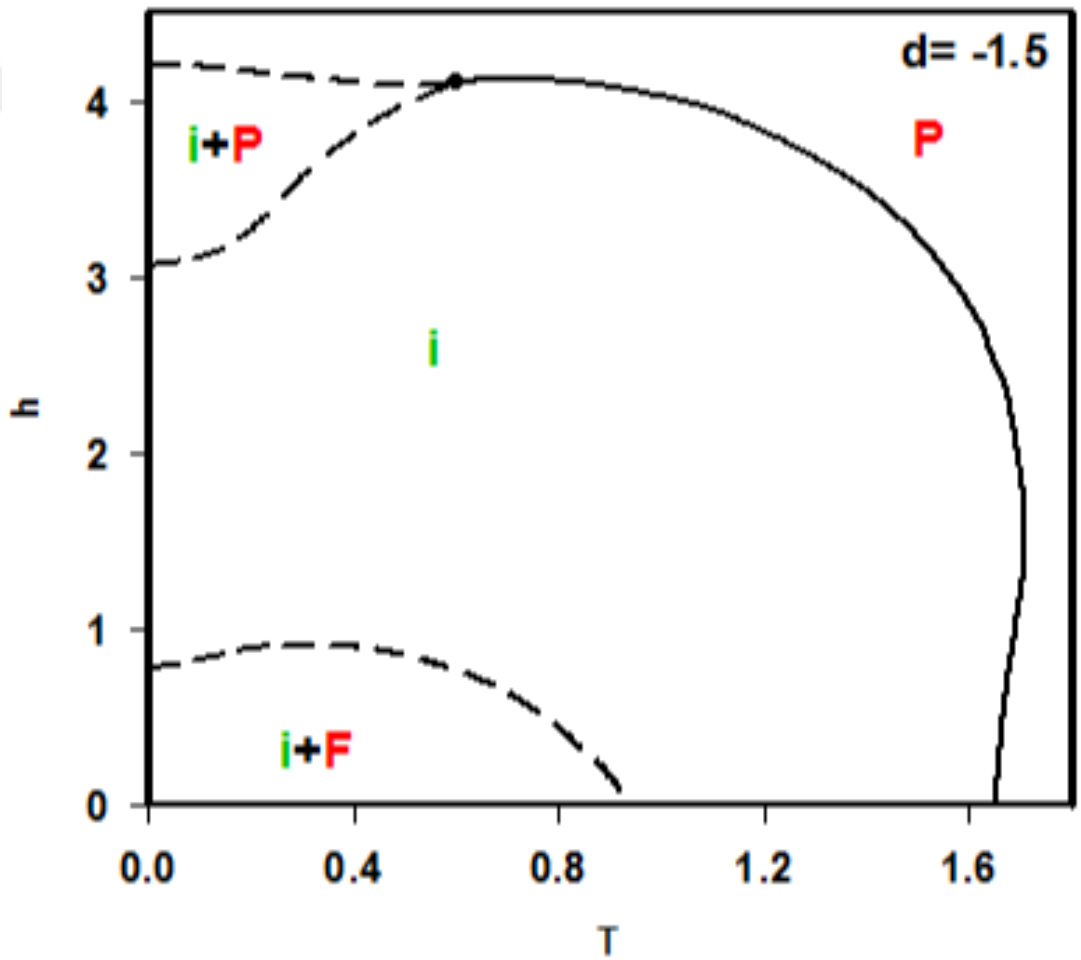
Önceki bölümde elde edilen dinamik faz geçiş (DFG) sıcaklıklarından yararlanılarak artık sistemin dinamik faz diyagramlarını (T, h) düzleminde sunabiliriz. Bu bölümde tek-iyon anizotropisi / kristal alan (d)'nin farklı değerleri için (T, h) düzlemindeki dinamik faz diyagramları şekillerle ifade edilecektir. Böylece faz diyagramlarına kristal alanın etkisi detaylıca incelenecektir. Bu dinamik faz diyagramlarında, kesikli ve sürekli çizgiler sırasıyla birinci ve ikinci-derece faz geçiş çizgilerini göstermektedir. Faz diyagramlarında, içi dolu küreler dinamik üçlü kritik noktayı temsil ederken, TP dinamik üçlü noktayı temsil etmektedir. Bu faz diyagramları:

i) $d=1.0$ değeri için (T, h) düzleminde elde edilen faz diyagramı Şekil 3.7'de gösterilmektedir. Bu faz diyagramında, indirgenmiş sıcaklıkta (T) ve manyetik alan genliğinde (h) sistemde paramanyetik (p) faz mevcuttur. T ve h'nin düşük değerlerinde ise sistemde ferrimanyetik (i) faz mevcuttur. Bu iki bölge arasındaki dinamik faz sınırı, $i \rightarrow p$ ye ikinci-derece faz geçiş çizgisidir. Ayrıca indirgenmiş sıcaklık ve manyetik alan genliğinin belirli değerlerinde i ve p fazının birlikte bulunduğu karma i+p fazı bulunmaktadır. Karma i+p fazı, i fazı ve p fazından birinci-derece faz geçiş çizgileriyle ayrılmıştır. Bu iki birinci-derece faz geçiş çizgileri birbirine yaklaşıp birleşmekte ve birinci-derece faz geçiş çizgisi son bularak, ikinci-derece faz geçiş çizgisi meydana gelmektedir. Birinci ve ikinci faz geçiş çizgilerinin birleştiği noktada sistemde dinamik üçlükritik nokta görülmektedir. Dinamik üçlükritik nokta içi dolu küre ile ifade edilmektedir. Bu faz diyagramlarına benzer faz diyagramları daha önce kinetik spin-1/2 [30] (bu sistemde i fazı yerine ferromanyetik (f) faz gelmektedir), spin-1 [47-49] (bu çalışmalar da i fazının yerine f fazı gelmektedir), spin-3/2 [52-56] (bu çalışmada i fazının yerine ferromanyetik-3/2 ($f_{3/2}$) fazı gelmektedir), spin-2 [57, 58] (bu çalışmalar da i fazı yerine ferromanyetik-2 (f_2) fazı gelmektedir) Ising sistemlerinde elde edilmiştir. Yine bu faz diyagramının benzeri faz diyagramı karma spin [10, 27, 28] Ising modellerinde de elde edilmiştir



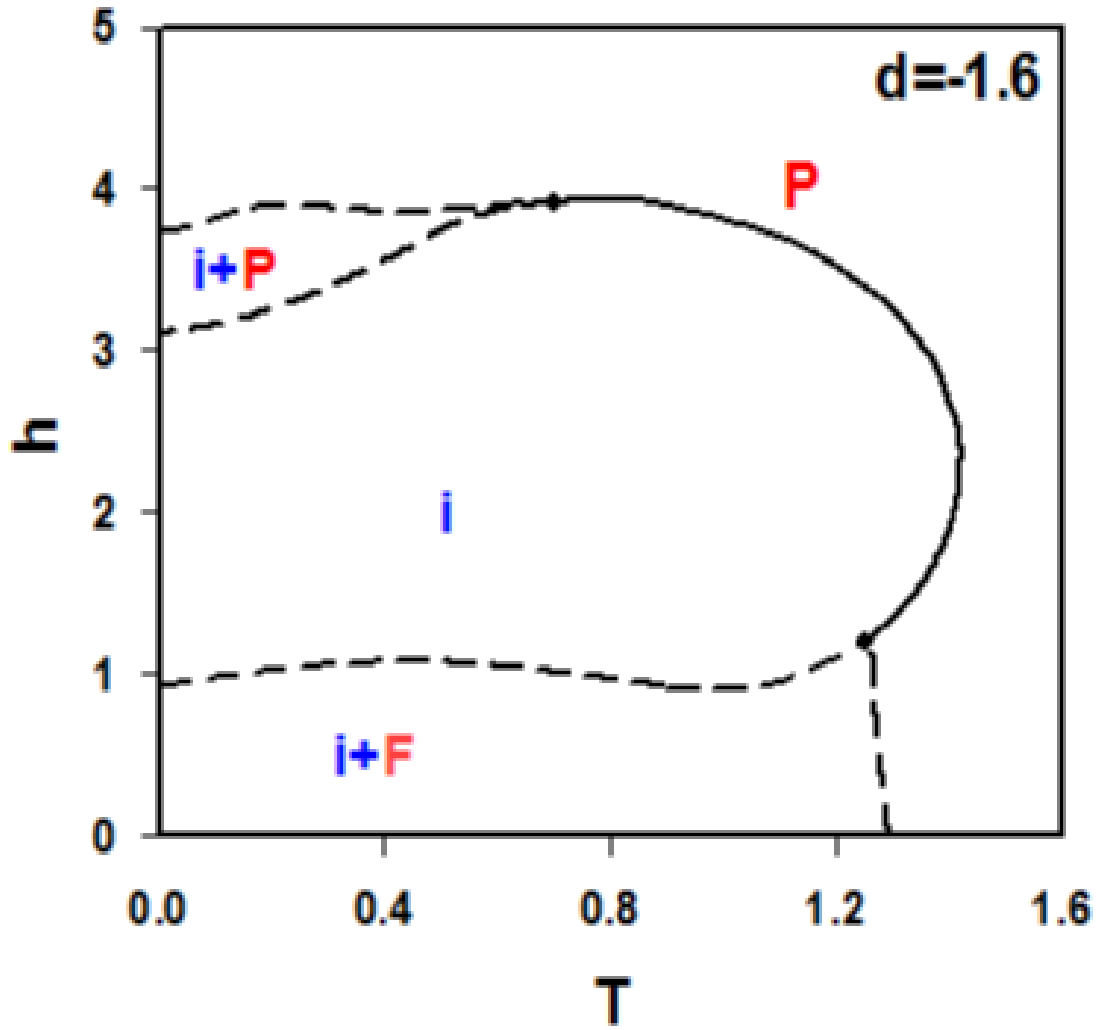
Şekil 3.7. Karma spin $(1, 2)$ Ising sisteminde $d= 1.0$ değeri için (T, h) düzleminde dinamik faz diyagramı.

ii) $d=-1.5$ değeri için (T, h) düzleminde elde edilen faz diyagramı Şekil 3.8'de gösterilmektedir. Bu faz diyagramında, düşük sıcaklık (T) ve manyetik alan genliğinde (h) sistemde karma $i+p$ fazı meydana gelmektedir. Karma $i+p$ fazı ile i fazı arasındaki dinamik faz sınırı, birinci derece faz geçiştir. Bu faz diyagramına benzer faz diyagramları daha önce kinetik spin-3/2 [52-56] (bu çalışmalarda i fazının yerine ferromanyetik-3/2 ($f_{3/2}$) fazı gelmektedir) Ising sistemlerinde elde edilmiştir.



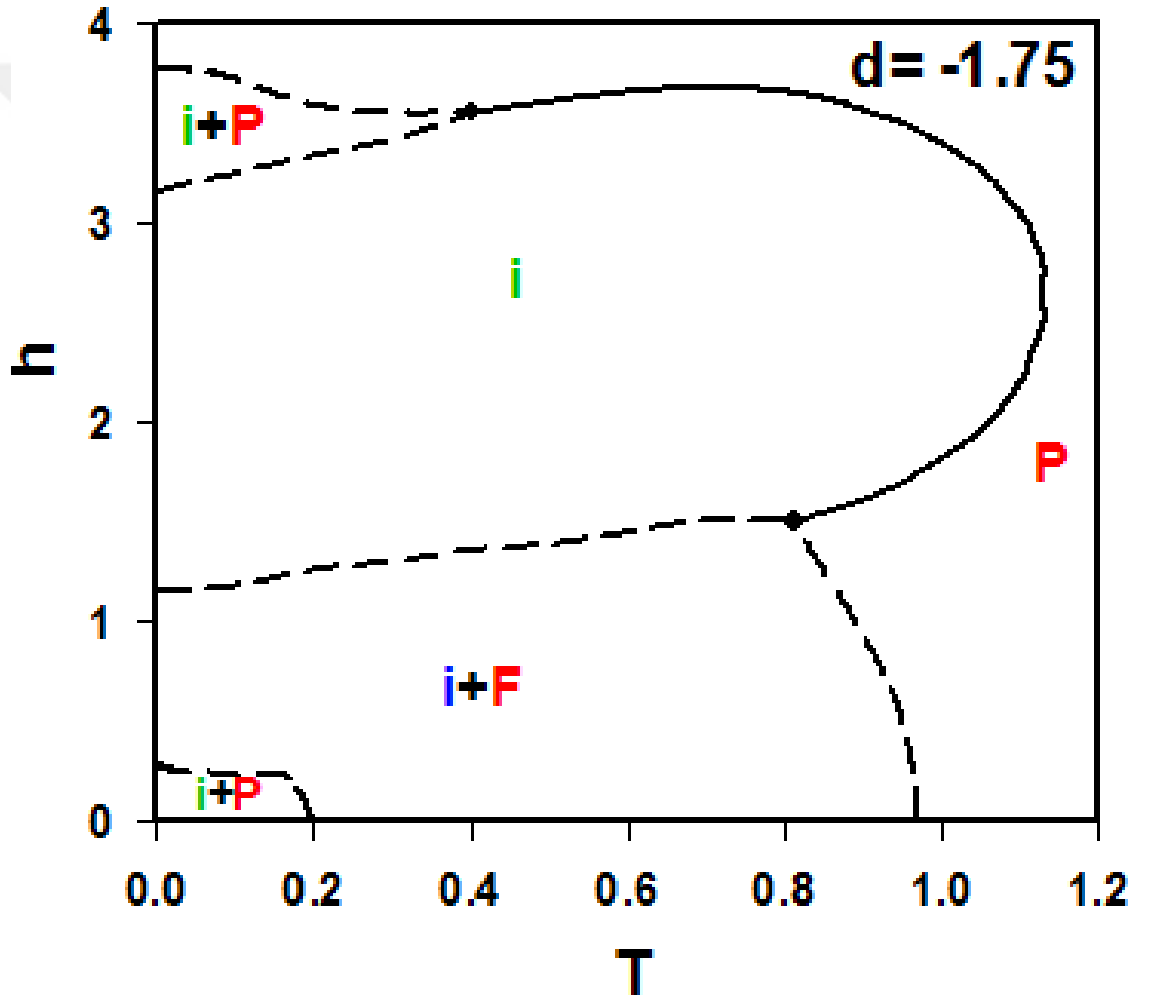
Şekil 3.8, Karma spin $(1, 2)$ Ising sisteminde $d= -1.5$ değeri için (T, h) düzleminde dinamik faz diyagramı.

iii) $d=-1.6$ değeri için (T, h) düzleminde elde edilen faz diyagramı Şekil 3.9'da gösterilmektedir. Bu faz diyagramında, düşük dış manyetik alan genliği değerlerinde elde edilen karma $i+p$ fazı Şekil 3.8'e kıyasla daha fazla genişlemiş ve bu bölgedeki $i+p$ ile p fazı arasındaki faz geçişleri birinci-derece faz geçişi ile sağlanmaya başlanmıştır. Ayrıca sistemde ikinci dinamik üçlü kritik nokta bu birinci derece faz geçişi ve ikinci derece faz geçişinin birleştiği noktada meydana gelmiştir.



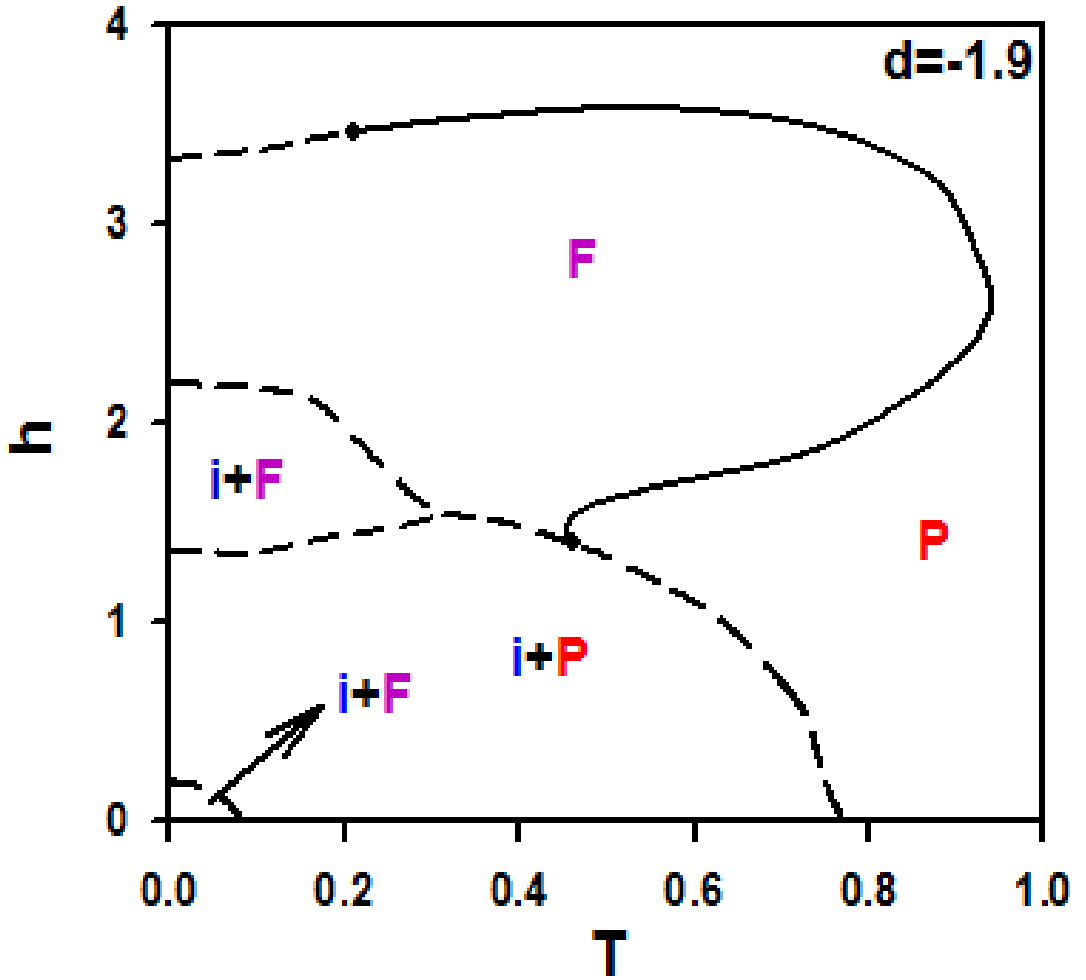
Şekil 3.9, Karma spin (1, 2) Ising sisteminde $d= -1.6$ değeri için (T, h) düzleminde dinamik faz diyagramı.

iv) $d=-1.75$ değeri için (T, h) düzleminde elde edilen faz diyagramı Şekil 3.10'da gösterilmektedir. Bu faz diyagramı yapı itibariyle Şekil 3.9'a benzemektedir. Ancak düşük dış manyetik alan genliği ve sıcaklık değerlerinde karma $i+p$ fazı meydana gelmiştir. Ayrıca kristal alanın baskınlığından dolayı ilk $i+p$ fazı $f+p$ ye dönüşmüştür. Bu faz diyagramındaki $i+p$ ve $f+p$ fazları arasındaki faz geçiş sınırı birinci-derece faz geçiş çizgileri ile belirlenmiştir.



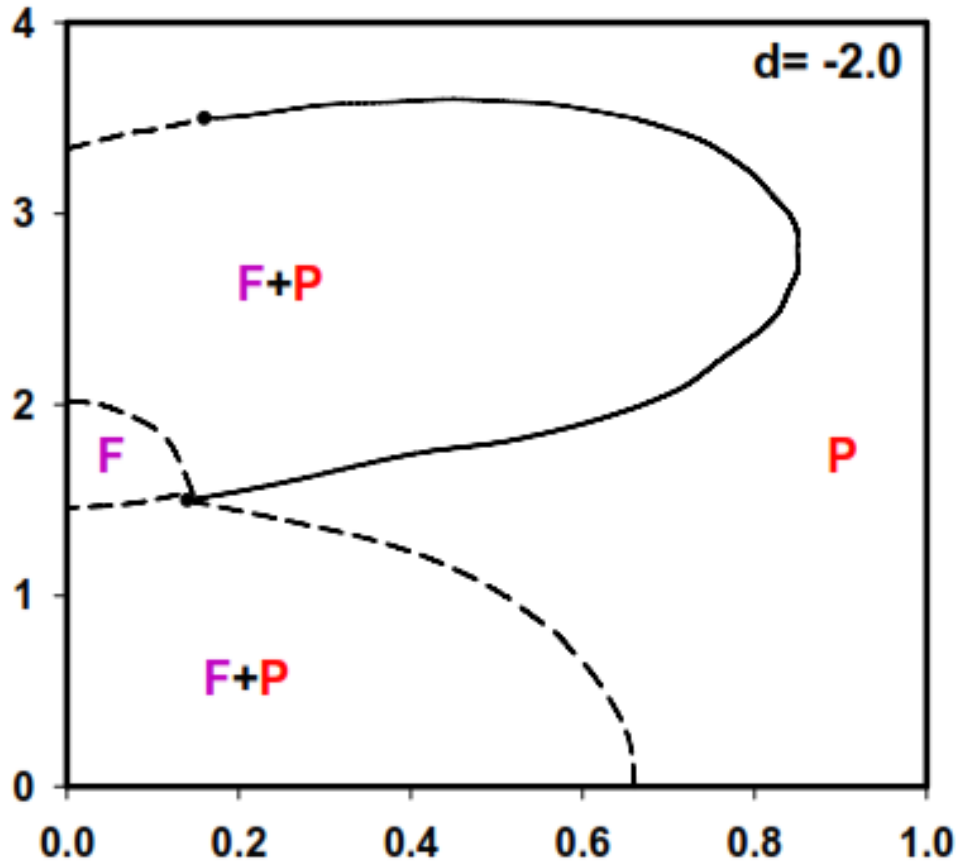
Şekil 3.10, Karma spin (1, 2) Ising sisteminde $d= -1.75$ değeri için (T, h) düzleminde dinamik faz diyagramı.

v) $d=-1.9$ değeri için (T, h) düzleminde elde edilen faz diyagramı Şekil 3.11'de gösterilmektedir. Bu faz diyagramı yapı itibariyle Şekil 3.10'a benzemektedir. Ancak düşük dış manyetik alan genliği ve sıcaklık değerlerinde karma $i+p$ fazı küçülmeye başlamıştır. Ayrıca düşük sıcaklık ve belirli dış manyetik alan değerlerinde sistemde $i+f$ fazı meydana gelmiştir. Buradaki $i+f$ fazını diğer bölgelerden ayıran faz geçiş sınırı birinci derecedir. Buradaki üç birinci derece faz geçiş sınırının birleştiği noktada dinamik üçlü nokta meydana gelmiştir.



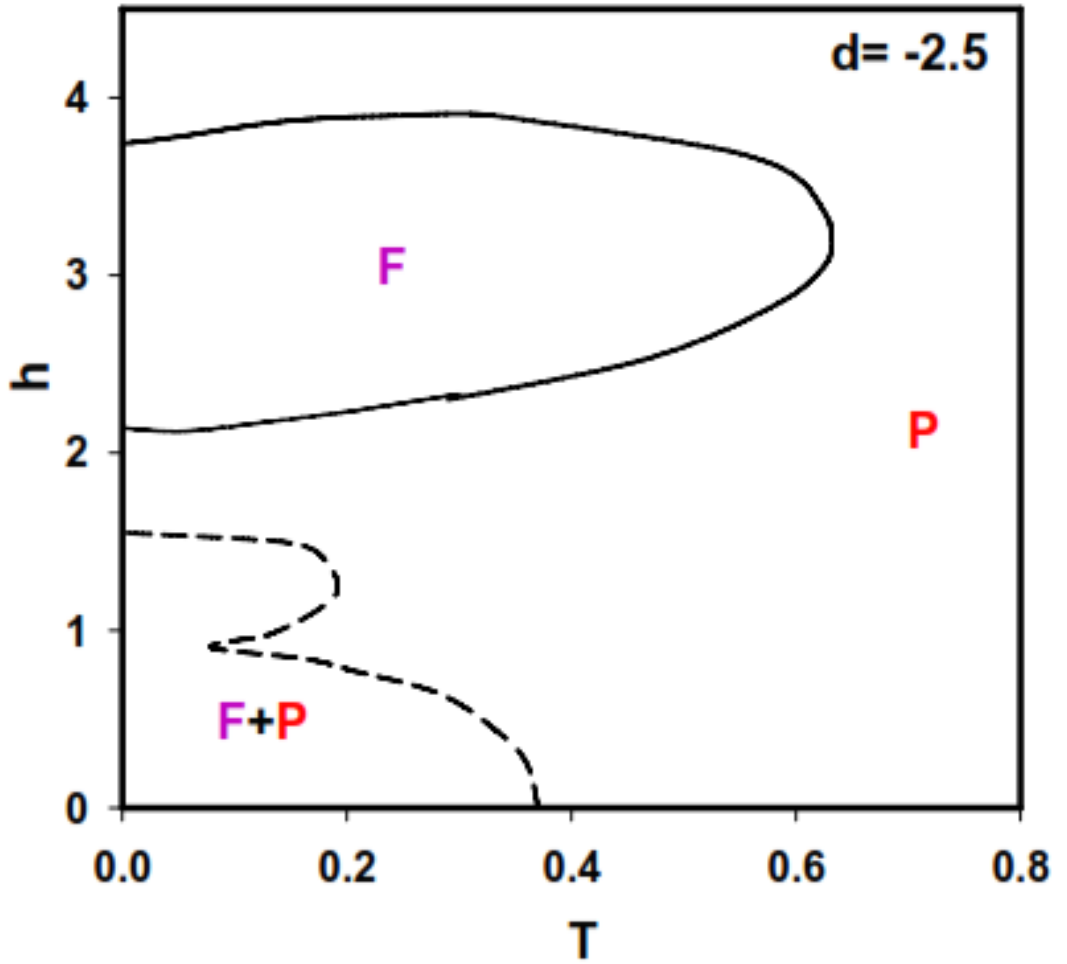
Şekil 3.11, Karma spin (1, 2) Ising sisteminde $d= -1.9$ değeri için (T, h) düzleminde dinamik faz diyagramı.

vi) $d=-2.0$ değeri için (T, h) düzleminde elde edilen faz diyagramı Şekil 3.12’de gösterilmektedir. Bu faz diyagramı yapı itibariyle Şekil 3.11’e benzemektedir. Ancak düşük dış manyetik alan genliği ve sıcaklık değerlerinde karma $i+p$ fazı artık ortadan kaybolmuştur. Düşük sıcaklıklardaki ikinci derece faz geçiş çizgide Şekil 3.11’deki dinamik üçlü nokta ile birleşmiş ve böylece bu noktada dinamik dörtlü nokta elde edilmiştir.



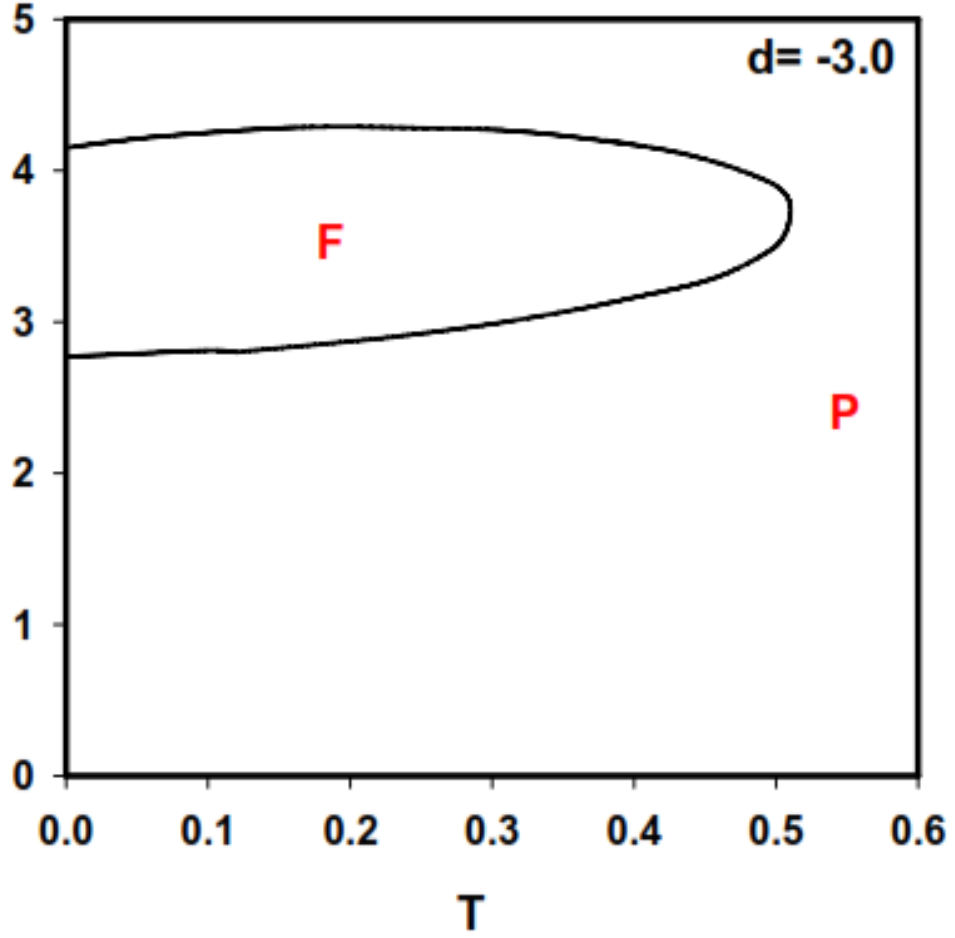
Şekil 3.12, Karma spin (1, 2) Ising sisteminde $d= -2.0$ değeri için (T, h) düzleminde dinamik faz diyagramı.

vii) $d=-2.5$ değeri için (T, h) düzleminde elde edilen faz diyagramı Şekil 3.13’de gösterilmektedir. Bu faz diyagramında kristal alnın etkinden dolayı faz diyagramı daha temel faz bölgelerine geçiş yapmış ve şekildeki faz diyagramı elde edilmiştir. Bu faz diyagramında sabit sıcaklık değerinde dış manyetik alan arttığında sistem düzensiz (p) fazdan ferromanyetik faz ikinci derece faz geçiş ardından dış manyetik alanın dahada artmasıyla yeniden p fazına geçiş meydana gelmiştir. Buna reentrant davranış denilmektedir.



Şekil 3.13, Karma spin (1, 2) Ising sisteminde $d= -2.5$ değeri için (T, h) düzleminde dinamik faz diyagramı.

viii) $d=-3.0$ değeri için (T, h) düzleminde elde edilen faz diyagramı Şekil 3.14’de gösterilmektedir. Bu faz diyagramı yapı itibariyle Şekil 3.13’e benzemektedir. Ancak düşük dış manyetik alan genliği ve sıcaklık değerlerindeki karma faz bölgesi ortadan kaybolmuştur.



Şekil 3.14, Karma spin (1, 2) Ising sisteminde $d = -3.0$ değeri için (T, h) düzleminde dinamik faz diyagramı.

BÖLÜM 4

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında karma spin (1, 2) Ising sisteminin dinamik davranışları kare örgü üzerinde ortalama-alan yaklaşıklığı ve Glauber-tipi stokastik dinamik kullanılarak detaylıca incelendi. Zamana bağlı salınımlı dış manyetik alan varlığında karma spin (1, 2) Ising sistemi için sistemin dinamik davranışlarını açıklayan ortalama-alan dinamik denklemlerini elde etmek için Glauber dinamiği ve master denklemlerinden yararlanıldı. Karma spin (1, 2) Ising sistemi Glauber- tipi stokastik dinamiğe göre birim zamanda $1/\tau$ oranında değişim gösterdiği ortalama-alan dinamik denklemlerin denklemleri elde edildi. Öncelikle sistemde var olan fazları bulmak için sistemin dinamik denklemlerden (denklem (2.23) ve (2.24)) yararlanılarak, bu denklemlerin kararlı çözümleri farklı kristal alan (d), manyetik alan genliği (h) ve sıcaklık (T) değerleri için incelendi. Bu denklemlerin çözümleri, verilen sistem parametreleri ve başlangıç değerleri için Adams-Moulton kestirme ve düzeltme yöntemi kullanılarak detaylıca incelendi ve sistemde paramanyetik (p), ferromanyetik (f) ve ferrimanyetik (i) temel fazlarının yanında, $i+f$, $i+p$ ve $f+p$ karma fazları bulundu. Bu fazlara karşılık gelen bazı çözümler Şekil 3.1'de gösterildi. Şekil 3.1.(a)'da yalnızca simetrik çözüm elde edildi ve bundan dolayı sistemde sadece paramanyetik (p) faz mevcut olduğu görüldü. Bu durumda $m_A(\xi)$ ve $m_B(\xi)$ birbirine eşittir ve sıfır değeri civarında salınırlar ve dış manyetik alanla uyum içinde olduğu görüldü. ($m_A(\xi) = m_B(\xi) = 0$). Şekil 3.1.(b) ve Şekil 3.1.(c)'de simetrik olmayan çözümler elde edildi. Şekil 3.1.(b)'de $m_A(\xi) = \pm 1.0$ civarında salınırlar ve $m_B(\xi) = \pm 2.0$ değeri etrafında salınırlar, bu durumda sistemde ferrimanyetik (i) faz mevcut olduğuna dış manyetik alana uyum göstermediği görüldü. Şekil 3.1.(c)'de $m_A(\xi)$ ve $m_B(\xi)$ birbirine eşittir ve her ikisinde $m_A(\xi) = m_B(\xi) = \pm 1.0$ değeri etrafında salınırlar, böylece sistemin ferromanyetik (f) faza sahip olduğu görüldü. Elde edilen bu çözümler başlangıç değerlerine bağlı değildir. Şekil 3.1.(d)'de iki farklı çözüm elde edilmiştir ve sistemde i ve f fazları bir arada bulunmaktadır. Bundan dolayı sistemde $i + f$ karma fazı bulunduğu gözlenmiştir. Şekil 3.1.(e)'de yine iki farklı çözüm

elde edilmiştir ama bu sefer sistemde p ve i fazları bir arada bulunmaktadır. Bundan dolayı sistemde i + p karma fazı da elde edilmiştir. Şekil 3.1.(f)'de iki farklı çözüm elde edilmiştir ve sistemde f ve p fazları bir arada bulunmaktadır. Bundan dolayı sistemde f + p karma fazı bulunduğu gözlenmiştir. Özetle, Şekil 3.1'de görüldüğü gibi sistemde karma fazlar da mevcuttur. Bu fazlar, sırasıyla p, i, f temel fazları ve i + f, i + p ve f+ p karma fazlarıdır.

Dinamik düzen parametrelerinin M_A ve M_B 'nin sıcaklığa bağlı davranışı etkileşme parametrelerinin farklı değerleri için Adams-Moulton kestirme ve düzeltme metodu ile Romberg integrasyon metodu ile nümerik metotların birleştirilmesiyle incelendi. Fazlar arasındaki dinamik faz sınırlarının ve dinamik faz geçiş (DFG) sıcaklıklarının nasıl elde edildiği Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5 ile Şekil 3.6 (a) ve (b)'de gösterildi. Bu şekillerde, T_t birinci-derece faz geçiş sıcaklığını gösterirken, T_c ise ferrimanyetik ve manyetik olmayan fazlardan paramanyetik faza ikinci-derece faz geçiş sıcaklıklarını göstermektedir. Daha sonra dinamik faz geçiş (DFG) sıcaklıklarından yararlanılarak, farklı kristal alan (d) değerleri için (T, h) düzleminde dinamik faz diyagramları Şekil 3.7 ve Şekil 3.14 arasında sunuldu. (T, h) düzleminde sekiz farklı yapıda dinamik faz diyagramı elde edildi. Bu dinamik faz diyagramlarında, kesikli ve sürekli çizgiler sırasıyla birinci ve ikinci-derece faz geçiş çizgilerini göstermektedir. Faz diyagramlarında, içi dolu küreler dinamik üçlükritik noktayı temsil ederken, TP dinamik üçlü noktayı temsil etmektedir. Karma spin (1, 2) Ising sisteminin dinamik faz diyagramları incelendiğinde sistemin davranışının kuvvetli bir şekilde kristal alan (d)'a bağlı olduğu açık olarak görülmektedir.

Son olarak belirtmek gerekir ki dinamik yöntemden kaynaklanan eksikliklerden dolayı dinamik ortalama-alan yaklaşımında bazı birinci-dereceden faz geçiş sıcaklıkları ve yapay özel noktalar olabilir. Bu yüzden bu tez çalışmamasının daha hassas ölçüm olanağı sağlayandinamik etkin-alan teorisi, dinamik Monte Carlo (DMC) simülasyonu gibi daha iyi sonuç veren yöntemlerleincelenmesine ışık tutacağını ümit etmekteyiz.

KAYNAKLAR

1. Lenz, W., Beitrag zum Verstandnis der Magnetischen Erscheinungen in Festen K rpern, *Z. Physik*, 21, 613-615, 1920.
2. Ising, E., Beitrag zur Theorie des Ferro- und Paramagnetismus, Dostora Dissertation. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultat der Hamburgischen Universitat, Hamburg, 1924.
3. Ising, E., Beitrag zur Theorie des Ferromagnetismus, *Z. Physik*, 31, 253-258, 1925.
4. Onsager, L., Crystal Statistics. I.A. Two-Dimensional Model with an Order-Disorder Transition, *Phys. Rev.*, 65, 117-149, 1944.
5. Ma, S.K., *Modern Theory of Critical Phenomena*, Benjamin, New York, 1976.
6. Ma, S.K., *Statistical Mechanics*, World Scientific Publishing Co, 1985.
7. 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.
8. 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.
9. Bobak A., Pokorny V., Dely J., Critical properties of the mixed spin-1 and spin-1/2 anisotropic Heisenberg model in the Oguchi approximation, *Physica A*, 388 2157 (2009).
10. Keskin, M., Ertas, M.: *J. Stat. Phys.* 139, 333 (2010) Mixed-Spin Ising Model in an Oscillating Magnetic Field and Compensation Temperature
11. Bahmad, L., Benyoussef, A., El Kenz, A.: *Physica A* 387, 825 (2008)
12. Htoutou, K., Ainane, A., Saber, M.: *J. Magn. Magn. Mater* 269, 245 (2004)
13. Albayrak, E., Yigit, A.: *Phys. Lett. A* ~ 353, 121 (2006)

14. Yigit, A., Albayrak, E.: *J. Magn. Magn. Mater.* 329, 125 (2013)
15. Ertas, M., Deviren, B., Keskin, M.: *Phys. Rev. E* 86, 051110 (2012)
16. Hou, Y., Zhang, Q., Jia, Y.: *Physica B* 442, 52 (2014)
17. Ertas, M., Keskin, M., Deviren, B.: *Physica A* 391, 1038 (2012)
18. Ertas, M., Keskin, M., Deviren, B.: *J. Stat. Phys.* 146, 1244 (2012)
19. Weng, X.- M., Li, Z.- Y, Transverse-random-field mixed Ising model with arbitrary spins, *Phys. Rev. B*, 53, 12142, 1996.
20. Iwashita, T., et al., Mixed Ising Spin System with Higher-Order Spin Interaction, *J. Magn. Magn. Mater.* 226, 577, 2001.
21. Zhang, Q., Wei, G., Xin, Z., Liang, 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.
22. 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.
23. Wie, G.-Z., Gu, Y.-W., Liu, J., Mean-Field and Monte Carlo Studies of a Mixed Spin-1 and Spin-2 Ising System with Different Anisotropies *Phys. Rev. B*, 74,024422, 2006.
24. Deviren, B., Ertas, M., Keskin M., The Effective-Field Theory Studies of Critical Phenomena in a Mixed Spin-1 and Spin-2 Ising Model on Honeycomb and Square Lattices, *Physica A*, 389, 2036-2047, 2010.
25. Ertas, M., Hysteresis and Compensation Behaviors of Mixed Spin-1 and Spin-2 Hexagonal Ising Nanowire System, *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 29, 1805-1812, 2016.
26. Keskin, M., Ertas, M., Canko, O., "Dynamic phase transitions and dynamic phase diagrams in the kinetic mixed spin-1 and spin-2 Ising system in an oscillating magnetic field", *Physica Scripta*, 79, 2009.

27. Ertaş, M., “Kinetik karma spin- 1 ve spin- 2 sisteminde meydana gelen dinamik faz geçişleri ve dinamik faz diyagramları”, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi, Kayseri, 2008.
28. Korkmaz, T., Temizer, Ü., "Dynamic compensation temperature in the mixed spin-1 and spin-2 Ising model in an oscillating field on alternate layers of a hexagonal lattice" *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 324;2012:3876-3886
29. Glauber, R.J., Time-Dependent Statistics of the Ising Model, *J. Math. Phys.*, 4, 294-307, 1963.
30. Tome, T., Oliveira, M.J., Dynamic Phase Transition in the Kinetic Ising Model Under a Time-Dependent Oscillating Field, *Phys. Rev. A*, 41, 4251-4254, 1990.
31. Mendes, J.F.F., Lage, E.J.S Dynamics of the Ranged Potts Model, *J. Stat. Phys.*, 64, 653-672, 1991.
32. Acharyya , M., Nonequilibrium Phase Transition in the Kinetic Ising Model: Critical Slowing Down and the Specific-Heat Singularity, *Phys. Rev. E*, 56, 2407-2411, 1997.
33. Chatterjee, A., Chakrabarti, B.k., fluctuation Cumulant Behavior for the Field-Pulse-Induced Magnetization-Reversal Transition in Ising Models, *Phys. Rev. E*, 67,046113-1-046113-5, 2003.
34. Sides, S.W., Rikvold, P.A., Novotny, M.A., Kinetic Ising Model in an Oscilating Field: Finite-Size Scaling at the Dynamic Phase Transition, *Phys. Rev. Lett.*, 81, 834-837, 1998.
35. Sides, S.W., Rikvold, P.A., Novotny, M.A., Kinetic Ising Model in an Oscilating Field: Avrami Theory for the Hysteretic Response and Finite-Size Scaling for the Dynamic Phase Transition, *Phys, Rev. E*, 59, 2710-2729, 1999.
36. 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, 016120-1-016120-15, 2001.
37. 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, *Phys. Rev. E*, 66, 056127-1-056127-12, 2002.
 38. Chakrabati, B.K., Acharyya, M., Dynamic Transitions and Hysteresis, *Rev. Mod. Phys.*, 71, 847-859, 1999.
 39. Goday, M., Figueirode, W., Kinetic Phase Transition in the Mixed-Spin Ising Model, *Braz. J. Phys.*, 34, 422-424, 2004.
 40. Krawiecki, A., Dynamical Phase Transition in the Ising Model on a Scale-Free Network, *Int. J. Mod. Phys. B*, 19, 4769-4776, 2005.
 41. Zimmer, M.F., Ising Model in an Oscillating Magnetic Field: Mean-Field Theory, *Phys. Rev. E*, 47, 3950-3955, 1993.
 42. Acharyya, M., Chakrabati, B.K., Response of Ising Systems to Oscilating And Pulsed Fields: Hysteresis, ac, and Pulse Susceptibility, *Phys. Rev. B*, 52, 6550-6568, 1995.
 43. Acharyya, M., Nonequilibrium Phase Transition in the Kinetic Ising Model: Is the transition Point the Maximum Lossy Point?. *Phys. E*, 58, 179-186, 1998.
 44. Fujisaka, H., Tutu, H., Rikvold, P.A., Dynamic Phase Transition in a Time-Dependent Ginzburg-Landau Model in an Oscillating Field, *Phys. Rev. E*, 63, 036109-1-036109-11, 2011.
 45. Tutu, H., Fujiwara, N., Landau Theory of Dynamic Phase Transitions and Systematic Perturbation Expansion Method for Getting Phase Diagrams, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 73, 2680-2696, 2004.
 46. Khorrami, M., Aghamohammadi, A., Dynamical Phase Transition of a One-Dimensional Kinetic Ising Model with Boundaries, *Phys. Rev. E*, 65, 056129-1-056129-5, 2002.

47. Keskin, M., Canko, O., Temizer, Ü., Dynamic Phase Transition in the Kinetic Spin-1 Blume-Capel Model Under a Time-Dependent Oscilating External Field, *Phys. Rev. E*, 72, 036125-1-036125-10, 2005.
48. 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, *J. Exp. Theor. Phys.*, 104, 936-942, 2007.
49. Keskin, M., Canko, O., Kantar, E., Dynamic Dipole and Quadrupole Phase transitions in the Kinetic Spin-1 Model, *Int. J. Mod. Phys. C*, 17, 1239-1255, 2006.
50. Keskin, M., Canko, O., Temizer, Ü., Dynamic Phase Transition in the Kinetic Blume-Emery-Griffiths in an Oscilating External Field, *Int. J. Mod. Phys. C*, 17, 1717-1737, 2006.
51. Keskin, M., at al., 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.
52. Keskin, M., Canko, O., Deviren, B., Dynamic Phase Transition in the Kinetic Spin-3/2 Blume-Capel Model Under a Time-Dependent Oscilating External Field, *Phys. Rev. E*, 74, 011110-1-011110-10, 2006.
53. 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, *J. Magn. Magn. Mater.*, 313, L1-L5, 2007.
54. Keskin, M., Canko, O., Kirak, M., dynamic Dipole and Quadruple Phase transitio in the Kinetic Spin-3/2 Model, *J. Stat. Phys.*, 127, 359-380, 2007.
55. Canko, O., Deviren, B., Keskin, M., Dynamic Phase Transition in the Spin-3/2 Blume-Emery-Griffiths Model in an Oscilating Field, *J. Phys.: Condens Matter*, 18, 6635-6653, 2006.
56. Keskin, M., Deviren, B., Canko, O., Kirak, M., Dynamic Phase Transition in the Kinetic Spin-3/2 Blume-Emery-Griffiths Model: Phase Diagram in the

- Temperature and Interaction Parameters Planes, *Acta Phys. Pol. B*, 38, 2445-2457, 2007.
57. Keskin, M., Canko, O., Ertaş, M., Kinetics of the Spin-2 Blume-Capel Model Under a Time-Dependent Oscillating External Field, *J. Exp. Theor. Phys.*, 105, 1190-1197, 2007.
58. Ertaş, M., Canko, O., Keskin, M., Dynamic Phase transition in the Kinetic Spin-2 Blume-Emery-Griffiths Model in an Oscillating Field, *J. Magn. Magn. Mater.*, 320, 1765-1774, 2008.
59. Jang, H., Grimson, M.J., Hysteresis and the Dynamic Phase Transition in Thin ferromagnetic Film, *Phys. Rev. E*, 63, 066119-066128, 2001.
60. Jang, H., Grimson, M.J., Hall, C.K., Dynamic Phase Transitions in Thin Ferromagnetic Films, *Phys. Rev. B*, 67, 094411-094421, 2003.
61. Jang, H., Grimson, M.J., Hall, C.K., Exchange Anisotropy and the Dynamic Phase Transition in Thin ferromagnetic Heisenberg Films, *Phys. Rev. E*, 68, 046115-046119, 2003.
62. Huang, Z., Chen, Z., Zhang, F., Du, Y., Dynamic Phase Transition in the Heisenberg Model Under a Time-Dependent Oscillating Field, *Phys. Lett. A*, 338, 485-493, 2005.
63. Machado, E., et al., Response of a Catalytic Reaction to Periodic Variation of the Co Pressure: Increased CO₂ Production and Dynamic Phase Transition, *Phys. Rev. E*, 71, 016120-016126, 2005.
64. Yasui, T., et al., Dynamic Phase Transitions in the Anisotropic XY Spin System in an Oscillating Magnetic Field, *Phys. Rev. E*, 66, 036123-036140, 2002.
65. Yasui, T., et al., Erratum: Dynamic Phase Transitions in the Anisotropic XY spin system in an Oscillating Magnetic Field, 67, 019901, 2003.
66. Shi, X.L., Wei, G.Z., Li, L., Effective-Field Theory on the Kinetic Ising Model, *Phys. Lett. A*, 372, 5922-5927, 2008.

67. Shi, X.L., Wei, G.Z., Effective-Field Theory for Kinetic Ising Model on Honeycomb Lattice, *Commun. Theor. Phys.*, 51, 927-930, 2009.
68. Shi, X.L., Wei, H.L., Effective-Field Theory on the Transverse Ising Model Under a Time Oscillating Longitudinal Field, *Phys. Lett A*, 374, 1885-1888, 2010.
69. Deviren, B., Canko, O., Keskin, M., kinetic Ising Model in a Time-Dependent Oscilating External Magnetic Field: Effective-Field Theory, *Chin. Phys. B*, 19, 050518, 2010.
70. Kinoshita, T., et al., Effective-Field Theory with Difffferential Operator Technique for Dynamic Phase Transition in Ferromagnetic Ising Model, *j. Phys: Conf. Series*, 150, 042091, 2009.
71. 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.
72. Jiang, Q., Yang, H.N., Wang, G.C., Field Dependent Resonance frequency of Hysteresis Loops in a Few Monolayer Thick Co/Cu(001) Fimls, *J. Appl. Phys.*, 79, 5122-5124, 1996.
73. Kleemann, W., et al., Dynamic Phase Transitions in Ferroic Systems with Pinned Domain Walls, *Phase Trans.*, 78, 811-816, 2005.
74. Samoilenko, Z.A., et al., Dynamic Phase Transitions in Amorphous YbaCuo Films Under ar Laser Irradition, *Inorganic. Mater.*, 39, 836-842, 2003.
75. Oliviero, C., et al., Dynamic Phase Diagram and Onion Formation in the System C₁₀E₃/D₂O, *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects*, 228, 85-90, 2003.
76. He, Y.L., Wang, G.C., Observation of Dynamic Scaling of Magnetic Hysteresis in Ultrathin Ferromagnetic Fe/Au(001) films, *Phys. Rev. Lett.*, 70, 2336-2339, 1993.

77. He, Y.L., Liew, Y.F., Wang, G.C., Groeth and Magnetic Dynamic Scaling of Ultrathin Ferromagnetic Films Fe/Au(001), *J. Appş. Phys.*, 75, 5580-5587, 1994.
78. Robb, D.T., et al., Evidence for a Dynamic Phase Transition in [Co/Pt]₃ Magnetic Multilayers, *Phys. Rev. B*, 78, 134422, 134422-11, 2008.
79. Choi, B.C., et al., Dynamic of Magnetization Reversal in Thin Polycrystalline Ni₈₀Fe₂₀ Films, *Phys. Rev. B*, 60, 11906-11909, 1990.
80. Yamauchi, T., et al., Spectroscopic Investigation of the Dynamical Behavior of the Photoinduced Phase Transition of Na_{0.6}Co_{1.3}[CN]₆Δ4H₂O, *Phys. Rev. B*, 72, 214425-214431, 2005.
81. Maeda, A., Togawa, Y., Kitano, H., An Experimental Approach to Understand Dynamical Phase Diagram of Driven Vortices of High-Tc Superconductors, *Physica C*, 369, 177-181, 2002.
82. Kanuga, K., Cakmak, M., Dynamic Phase Diagram Derived from Large Deformation Non-Linear Mechano-Optical Behavior of Polyethylene Naphthalate Nanocomposites, *Polymer*, 48, 7176-7192, 2007.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı: Ercan SAVAŞ

Baba Adı : Halit

Anne Adı : Sadiye

Doğum Yeri : Çorlu\Tekirdağ

Doğum Tarihi : 19.03.1986

İlk, orta, lise öğrenimini Tekirdağ'ın çorlu ilçesinde tamamladı. .2007 yılında Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilgisayar Programcılığını kazandı. 2009 yılında öğretimini tamamladı. Dikey geçiş sınavı ile Nevşehir Hacı Bektaş Üniversitesi Fizik Bölümünü kazanarak lisans eğitimine başladı. 2013 yılında lisans eğitimini tamamladı. 2013 yılında Nevşehir Üniversitesi yüksek lisansa başladı.

Adres : Esentepe Mah. Adnan Doğu Cad. Emlak Konutları Zambak Apt D:8 Çorlu \ Tekirdağ

Tel : 0 542 250 39 39

E- posta : ercan.svs@hotmail.com