

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

**KARMA SPİN-1 VE SPİN-3/2 ISING NANOTEL
SİSTEMİNİN DİNAMİK DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Tahsin ÖZCAN**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Şeyma AKKAYA DEVİREN**

**Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**ŞUBAT 2019
NEVŞEHİR**

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

**KARMA SPİN-1 VE SPİN-3/2 ISING NANOTEL
SİSTEMİNİN DİNAMİK DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Tahsin ÖZCAN**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Şeyma AKKAYA DEVİREN**

**Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**ŞUBAT 2019
NEVŞEHİR**

ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Şeyma AKKAYA DEVİREN danışmanlığında Tahsin ÖZCAN tarafından hazırlanan "**Karma Spin-1 ve Spin-3/2 Ising Nanotel Sisteminin Dinamik Davranışlarının İncelenmesi**" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

07/02/2019

JÜRİ

Başkan : Doç. Dr. Bayram DEVİREN



Üye : Doç. Dr. Şeyma AKKAYA DEVİREN



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Zeliha ATIOĞLU



ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 08/02/2019...tarih ve...12-65... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

08/02/2019
Prof. Dr. Şahlan ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü



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.

Tahsin ÖZCAN



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin boyunca verebileceği her türlü desteği sağlayan, tezin hazırlanması sürecinde ve yönetiminde değerli zamanını bana ayıran, danışman hocam Sayın Doç. Dr. Şeyma AKKAYA DEVİREN'e

Tez çalışmasında bana rehberlik eden, bilgi ve önerilerini esirgemeyen değerli hocam Sayın Doç. Dr. Bayram DEVİREN'e

Maddi ve manevi desteđini her zaman hissettiđim babam Ali ÖZCAN'a ve her zaman yanımda hissettiđim rahmetli annem Gülseren ÖZCAN'a

Sonsuz teşekkürü borç bilirim.

KARMA SPİN-1 VE SPİN-3/2 İSİNG NANOTEL SİSTEMİNİN DİNAMİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Tahsin ÖZCAN

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2019

ÖZET

Zamana bağlı salınımlı dış manyetik alan altında öz-kabuk yapısına sahip karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sisteminin dinamik manyetik özellikleri (faz geçiş sıcaklıkları, faz diyagramları, histeresisdöngü alanları, dinamik korelasyon davranışları), ortalama alan yaklaşımı (OAY) ve Glauber-tipi stokastik dinamik kullanılarak detaylı bir şekilde incelendi. Bu nanotel sisteminin kararlı fazlarını elde etmek için düzen parametrelerinin zamana bağlı davranışları çalışıldı. Dinamik faz geçişlerinin doğasını (birinci veya ikinci dereceden) karakterize etmek ve dinamik faz geçiş (DFG) sıcaklıklarını elde etmek için dinamik düzen parametrelerinin, histeresıs döngü alanlarının ve korelasyonların davranışı sıcaklığın bir fonksiyonu olarak araştırıldı. Sistemin manyetik alan genliği ve sıcaklık düzleminde dinamik faz diyagramları sunuldu. Karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sisteminin dinamik manyetik özelliklerinin etkileşme parametrelerine kuvvetli bir şekilde bağlı olduğu gözlemlendi. Dinamik faz diyagramlarının, paramanyetik (p), ferrimanyetik-1 (i_1), ferrimanyetik-2 (i_2), manyetik olmayan (nm) temel fazlar yanısıra temel fazların birlikte olduğu i_1+i_2 , i_1+p , i_2+p , i_1+nm , i_2+nm , $nm+p$ ve $i_1+i_2+pyedikarma$ faz bölgeleri gözlemlendi. Dinamik faz diyagramlarının birinci- ve ikinci-derece faz geçiş sıcaklıklarının yanında, dinamik üçlü kritik nokta, kritik son nokta ve dörtlü kritik nokta gibi özel dinamik kritik noktaları sergilediği görüldü.

Anahtar Kelimeler: Nanotel; Ising model; Karma spin sistemi; Ortalama alan yaklaşımı; Glauber-tipi stokastik dinamik.

Tez Danışman: Doç. Dr. Şeyma AKKAYA DEVİREN

Sayfa Adeti: 53

**INVESTIGATION OF THE DYNAMIC BEHAVIORS OF MIXED SPIN-1 AND
SPIN-3/2 ISING NANOWIRE SYSTEM**

(M. Sc. Thesis)

Tahsin ÖZCAN

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2019

ABSTRACT

The nonequilibrium magnetic properties (phase transition temperatures, phase diagrams, hysteresis loop areas and dynamic correlations) are investigated in detail, within a mean-field approach (MFA) and Glauber type stochastic dynamics, in the kinetic mixed spin (1, 3/2) Ising nanowire system with core-shell structure under the presence of a time varying (sinusoidal) magnetic field. The time-dependence behavior of order parameters and the behavior of average order parameters in a period, which is also called the dynamic order parameters, as a function of temperature, are studied. Temperature dependence of the dynamic magnetizations, hysteresis loop areas and correlations are investigated in order to characterize the nature (first- or second-order) of the dynamic phase transitions as well as to obtain the dynamic phase transition temperatures. We present the dynamic phase diagrams in the magnetic field amplitude and temperature plane. The dynamic magnetic properties of the mixed spin (1, 3/2) Ising nanowire system are strongly depend on the interaction parameters. The phase diagrams contain paramagnetic (p), ferrimagnetic-1 (i_1), ferrimagnetic-2 (i_2), nonmagnetic (nm) phases, seven coexistence or mixed regions, i_1+i_2 , i_1+p , i_2+p , i_1+nm , i_2+nm , $nm+p$ and i_1+i_2+p , which strongly depend on interaction parameters. The phase diagrams also exhibit first- and second-order phase transitions as well as a dynamic tricritical point, critical end point and quadruple point.

Keywords: Nanowire; Ising model; Mixed spin system; Mean-field approach; Glauber-type stochasticdynamic.

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Şeyma AKKAYA DEVİREN

Pages: 53

İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	vii
1. BÖLÜM	
GİRİŞ	1
2. BÖLÜM	
METOT VE MODELİN TANITIMI.....	7
2.1. Model	7
2.2. Glauber Dinamiği ve Ortalama-Alan Dinamik Denklemlerinin Elde Edilmesi.....	8
3. BÖLÜM	
KARMA SPİN (1, 3/2) ISING NANOTEL SİSTEMİNİN NÜMERİK ÇÖZÜMÜ	17
3.1. Ortalama Alt Örgü Mıknatıslanmalarının Zamanla Değişimi	17
3.2 Dinamik Düzen Parametreleri ve Dinamik Faz Geçiş Noktaları	22
3.3. Dinamik mıknatıslanmalar, histeresis döngüsü alanları ve korelasyonların termal davranışı	22
3.4. (T/JC, h/JC) Düzleminde Dinamik Faz Diyagramları	29

4. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER.....	42
KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ	53



ŞEKİLLER LİSTESİ

- Şekil 2.1.Karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sistemini tanımlayan silindirik hegzagonal yapının şematik temsili: (a) ara kesit ve (b) üç boyutlu. Sarı ve mavi küreler sırasıyla özdeki spin-1 ve kabuktaki spin-3/2 manyetik atomları göstermektedir.....7
- Şekil 3.1.Karma spin (1, 3/2) nanotel sistemi için ortalama alt örgü mıknatıslanmalarının $m_c(\xi)$ ve $m_s(\xi)$ zamanla değişimi. (a) Sistemde paramanyetik (p) faz mevcuttur, ($d=-3.4$, $h=5.75$, $T=2.25$). (b) Sistemde manyetik olmayan (nm) faz mevcuttur, ($d=-3.5$, $h=0.75$, $T=0.60$). (c) Sistemde ferrimanyetik-1 (i_1) faz mevcuttur, ($d=-1.7$, $h=3.25$, $T=2.75$). (d) Sistemde ferrimanyetik (i_2) faz mevcuttur, ($d=-3.1$, $h=1.0$, $T=1.75$).....19
- Şekil 3.2.Karma spin (1, 3/2) nanotel sistemi için ortalama alt örgü mıknatıslanmalarının $m_c(\xi)$ ve $m_s(\xi)$ zamanla değişimi. (a) Sistemde hem ferrimanyetik-1 (i_1) ve (b) ferrimanyetik-2 (i_2) fazları mevcuttur, ($d=-2.50$, $h=0.375$, $T=0.30$). (c) Sistemde hem ferrimanyetik-1 (i_1) ve (d) paramanyetik (p) fazlar mevcuttur, ($d=-2.5$, $h=1.75$, $T=0.2$). (e) Sistemde ferrimanyetik-2 (i_2), (f) paramanyetik (p) fazlar mevcuttur, ($d=-3.0$, $h=2.0$, $T=0.40$.)21
- Şekil 3.3. $\Delta_S = 1.0$, $r = 1.0$, $d = -2.0$ ve $h = 2.0$ değerleri için M_a , A_a , C_a 'nın sıcaklığa bağlı davranışı. $T_C/J_C = 4.405$, ferrimanyetik (i_1) fazından paramanyetik (p) faza ikinci-derece faz geçiş sıcaklığını göstermektedir.....24
- Şekil 3.4. $\Delta_S = 0.0$, $r = 1.0$, $d = -3.4$ ve $h = 4.3$ değerleri için M_a , A_a , C_a 'nın sıcaklığa bağlı davranışı. $T_C/J_C = 1.645$ manyetik olmayan (nm) fazdan paramanyetik (p) faza ikinci-derece faz geçiş sıcaklığını göstermektedir25

- Şekil 3.5. $\Delta_S = 0.0$, $r = 1.0$, $d = 1.0$ ve $h = 6.5$ değerleri için modelin $m_{C1}=m_{C2}=1.0$ ve $m_{S1}=m_{S2}=1.5$ başlangıç değerlerinde M_a , A_a, C_a 'nın sıcaklığa bağlı davranışı. $T_t/J_C = 1.375$ sıcaklık değerinde ferrimanyetik-1 (i_1) fazından paramanyetik (p) faza birinci-derece faz geçişi olmuştur.....26
- Şekil 3.6. $\Delta_S = 0.0$, $r = 1.0$, $d = -3.4$ ve $h = 5.3$ değerleri için M_a , A_a, C_a 'nın sıcaklığa bağlı davranışı. $T_t/J_C = 0.495$ ve $T_C/J_C = 1.225$ sıcaklık değerlerinde sistem sırasıyla p fazından nm fazına birinci derece ve nm fazından p fazına ikinci derece faz geçişleri sergilemektedir27
- Şekil 3.7. $\Delta_S = 0.0$, $r = 1.0$, $d = -3.5$ ve $h = 0.75$ değerleri için M_a , A_a ve C_a 'nin termal davranışları. (a) $m_{C1}=m_{C2}=0.0$, $m_{S1}=m_{S2}=0.0$ başlangıç değerleri, (b) $m_{C1}=m_{C2}=1.0$, $m_{S1}=m_{S2}=1.5$ başlangıç değerleri için elde edilmiştir. $T_C/J_C = 1.045$ değerine kadar karma i_2+nm fazı mevcutken, $T_C/J_C = 1.045$ ile $T_t/J_C = 1.64$ arasında i_2+p fazı, $T_t/J_C = 1.64$ 'den büyük değerler için p fazı mevcuttur..... 28
- Şekil 3.8. Karma spin(1, 3/2) Ising nanotel sisteminde $d= 1.0$ değeri için $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde dinamik faz diyagramı30
- Şekil 3.9. Karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sisteminde $d= -1.7$ değeri için $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde dinamik faz diyagramı31
- Şekil 3.10. Karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sisteminde $d= -2.0$ değeri için $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.....32
- Şekil 3.11. Karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sisteminde $d= -2.5$ değeri için $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.....33
- Şekil 3.12. Karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sisteminde $d= -3.0$ değeri için $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.....34
- Şekil 3.13. Karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sisteminde $d= -3.1$ değeri için $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde dinamik faz diyagramı35

Şekil 3.14. Karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sisteminde $d= -3.3$ değeri için $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde dinamik faz diyagramı	36
Şekil 3.15. Karma spin(1, 3/2) Ising nanotel sisteminde $d= -3.4$ değeri için $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.....	37
Şekil 3.16. Karma spin(1, 3/2) Ising nanotel sisteminde $d= -3.5$ değeri için $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.....	38
Şekil 3.17. Karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sisteminde $d= -3.7$ değeri için $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde dinamik faz diyagramı	39
Şekil 3.18. Karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sisteminde $d= -4.0$ değeri için $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde dinamik faz diyagramı	40
Şekil 3.19. Karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sisteminde $d= -6.0$ değeri için $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.....	41

BÖLÜM 1

GİRİŞ

“Nano” sözcüğü günümüzde özellikle bilim ve teknolojiye kullanılan, toplumda da geniş ölçüde kabul görerek yaşamın her alanında karşılaşılan bir ön ek haline gelmiştir. Nano ölçekte gelişen teknolojilerden bahsederken öncelikle nano ölçeği tanımlamamız gerekmektedir ki bu ölçek 1-100nm arasındaki aralığı kapsamaktadır.

Nanoteknoloji, bir yandan eski teknolojilere yeni bakış açıları getirirken, diğer yandan da, daha önceleri imkânsız gibi gözüken yeni teknolojilere ve uygulamalara olanak sağlamaktadır. Nanoteknoloji de kullanılan malzemelere nano malzemeler adı verilir. Nano malzeme bilimi ise malzemelerin nano seviyede nasıl davrandıklarını inceleyen bilim dalıdır. Nano malzemelerin alan-hacim oranlarının yüksek olması yeni uygulamalara kapı açmaktadır [1, 2]. Yani mikro ölçekte görülemeyen birçok fiziksel özellik nano ölçekte görülebilmektedir. Çünkü boyutlar nano ölçeğe indirildiğinde malzemelerin ilginç manyetik, optik, elektrik ve termal gibi fiziksel özellikleri kuantum mekaniğinin kontrolüne girmekte, elektron durumlarının fazı ve enerji spektrumunun kesikli ve süreksiz yapısı daha belirgin hal almaktadır [2].

Manyetik malzemelerin nano ölçekteki çalışmaları da son dönemlerde hem deneysel hem de teorik çalışmalarda önem arz etmektedir. Bunun iki önemli sebebi vardır. Birincisi nano malzemelerin alışılmadık özellikleri kullanılarak yeni malzeme ve sistem cihaz geliştirilmesidir. Diğer ise bu malzemelerin sahip olduğu teknolojik uygulama potansiyellerinin yüksek olmasıdır ki bunlara örnek olarak tıbbi uygulamalar [3, 4], sürekli mıknatıslar [5], sensörler [6], manyetik kayıt [7], doğrusal olmayan optik [8], biyoteknoloji [9], gibi alanlar verilebilir.

Bir nanometre (1- 100 nm) civarında çapa sahip olan farklı uzunluklarda, iletken ya da yarı iletken tellere nanotel denir. Nano-seviyede kuantum mekanik özelliklerin önemi artmaktadır ve bu yüzden bu teller "kuantum telleri" olarak da adlandırılır. Birçok nanotel çeşidi vardır: bunlara metalik (Ni, Pt, Au, Fe), yarıiletken (Si, Ge, InP, GaN), ve yalıtkan (SiO₂, TiO₂) örnek verilebilir. Bu listeye yine tek boyutlu olan karbon nano tüpler de dahil edilebilir [1, 10-12]. Öte yandan nanoteller; elektronikte, opto-elektronikte (ışıkla etkileşen elektronik aletler), nano elektromekanik cihazlarda, ileri kompozitlerde ilave olarak, nano ölçekli nicelik cihazlarında metalik ara bağlantılar

için, alan yayıcılar olarak ve biyo-moleküler nano algılayıcılar için uç olarak oldukça önemli ve farklı uygulama ve kullanım alanlarına sahiptir [13-15].

Son yıllarda nanoteller teorik olarak incelenirken özellikle Ising modeli kullanılmış ve nanotellerin manyetik özellikleri dengeli istatistik fizikte kullanılan yöntemlerden ortalama alan yaklaşıklığı (OAY), etkin alan teorisi (EAT) ve Monte Carlo simülasyonu (MCS) kullanılarak çalışılmıştır. Ising modelleri içinde en basit ve en yaygın olarak kullanılan model, spin-1/2 Ising modelidir. Bu model tek düzen parametrelidir ve iki durumlu bir sistem olup akışkan konsantrasyonu, gazların soğutulması, ikili sıvı veya gazların faz geçişleri, ikili alaşımlardaki düzenli-düzensiz faz geçişleri vb. gibi sistemlerin incelenmesinde kullanılmıştır [16, 17].

Bununla birlikte, manyetik alaşımlar gibi hem manyetik hem de yapısal türde iki tip düzenin görüldüğü fiziksel sistemlerin davranışları bir tek düzen parametrelidir spin-1/2 Ising modeliyle açıklanamaz. Bu tür sistemleri açıklayabilmek için en az iki düzen parametresi gerekmektedir. Bu özellikteki fiziksel sistemlerin incelenmesinde iki düzen parametrelidir ve üç durumlu spin-1 Ising modeli kullanılmaktadır[18-23]. Ayrıca, termomanyetik ve moleküler tabanlı kayıt sistemleri, telafi sıcaklıklarının 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 parametrelidir 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 Ising sistemlerinin istatistiksel ve yoğun madde fiziğinde en fazla çalışılan konular arasında olmasının sebepleri ise: (i) Bu sistemlerin, termomanyetik kayıt sistemleri alanında potansiyel teknolojik uygulamaları olması[24]. (ii) Bu sistemler saf spin sistemlerine göre daha az öteleme simetrisine sahip olduklarından, saf spin sistemlerinde gözlenmeyen birçok yeni ilginç kritik olayların karma-spin sistemlerinde gözlenmesi. (iii) Bu sistemlerin, moleküler tabanlı manyetik malzemelerin incelenmesine model oluşturması [25].(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. Bu bağlamda karma spin Ising nanotel sisteminin incelenmesi önem arz etmektedir.

Karma spin sistemlerinin denge durumundaki özellikleri, düzen parametrelerinin sıcaklıkla değişimi, kritik üsteller, reentrant olaylar, denge faz geçişleri ve denge faz diyagramları vb., denge istatistiksel fiziğinde geliştirilen ve iyi bilinen kapalı form yaklaşımları (ortalama-alan yaklaşıklığı (OAY), Bragg-Williams, Bethe-Peierls (BP), kümesel değişim, vs.,) seriye açılım, transfer matris (TM), etkin-alan teorisi (EAT), Monte Carlo (MC) hesaplamaları, renormalizasyon grup (RG) teknikleri vb. gibi yöntemlerle incelenmiş ve incelenmeye devam edilmektedir. Ayrıca özellikle son yıllarda, karma spin sistemleri kullanılarak nano yapıları malzemeler üzerine çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Bu çalışmalardan, Jiang ve arkadaşları tek-iyon anizotropisi ve enine alan varlığında ferrimanyetik hegzagonal karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sisteminde yüzey etkisini incelemişlerdir [26]. Boughrara ve arkadaşları ferrimanyetik karma spin-1/2 ve spin-1 Ising nanotel sisteminin manyetik özellikleri (kritik ve telafi sıcaklıkları gibi) ve faz diyagramları MC simülasyonu ve EFT kullanılarak incelemişlerdir [27]. Yine Boughrara ve arkadaşları yüzey etkisi azaltılmış ferrimanyetik karma spin-1/2 ve spin-1 Ising nanotel sisteminin faz diyagramlarının MC simülasyonu kullanarak negatif öz-yüzey etkileşimi için incelemişlerdir [28]. Feraoun ve arkadaşları [29], öz/kabuk morfolojisine sahip karma spin (1, 3/2) ferrimanyetik nanotel sistemini MC simülasyonu kullanarak detaylıca incelemişlerdir. Karma spin hegzagonal tip Ising nanotel sisteminde çekirdeği spin-1/2 ve kabuğu spin-1 olan sistemi Kocakaplan ve Kantar korelasyonlu EAT kullanarak incelemişler ve sistemin manyetik özelliklerini elde etmişlerdir [30]. Deviren ve Şener ise öz-kabuk yapıları karma spin (1, 3/2) Ising nanoparçacık sisteminin manyetik özelliklerini EFT ile detaylıca araştırmışlardır ve elde edilen faz diyagramlarının yüzey etkileşimlerine kuvvetli bir şekilde bağlı olduğunu, faz diyagramlarında ikinci-, birinci-derece faz geçişlerinin yanında üçlü kritik nokta, ikili kritik son nokta, üçlü nokta, kritik son noktaların varlığını göstermişlerdir [31]. Albayrak ise öz-kabuk yapıları kare örgü üzerinde karma spin-1 ve spin-1/2 Ising nanotel sisteminin faz diyagramlarını Bethe kafesi üzerinde araştırmış ve elde edilen sonuçlara göre sistem parametrelerine bağlı olarak, faz diyagramlarının hem birinci dereceden hem de ikinci dereceden faz geçişlerinin mevcut olabildiğini göstermiştir [32]. Ertaş karma spin-1 ve spin-2 hegzagonal Ising nanotel

sisteminin histeresis ve telafi sıcaklığı davranışlarının EFT ile incelemiş ve sistemde Q-, S- R- ve N- tipi telafi sıcaklığı davranışı gözlemlemiştir [33]. Boughrara ve arkadaşları MCS kullanılarak ferrimanyetik karma spin-1/2 ve spin-3/2 Ising nanotel sisteminin manyetik özellikleri ve faz diyagramları incelemiştir [34]. Mi ve arkadaşları Green fonksiyonu yöntemini kullanarak karma spin (2, 3/2) Heisenberg nanotüp süper örgüsünün manyetik telafi ve kritik özellikleri incelemiştir [35]. Yapılan çalışmalardan da anlaşılacağı üzere karma spin nanosistemler üzerine yapılan çalışmalar son altı yılda başlamış ve yoğun bir şekilde incelenmeye de devam etmektedir.

Nanosistemler üzerine karma spin Ising sistemleri kullanılarak son yıllarda denge özelliklerinin anlaşılması için kapsamlı çalışmalar yapılmasına rağmen, dengesiz özellikleri için yeterli sayıda çalışma yapılmamıştır. 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 stokastik dinamik [36], kullanılarak, zamana bağlı salınımlı dış manyetik alan altında kinetik spin-1/2 Ising modelinin kararlı durumlarının OAY (Ortalama Alan Yaklaşımı) metodu ile incelenmesi sonucu bulunmuştur [37, 38]. Daha sonra, kinetik spin-1/2 Ising modeli için dinamik faz geçişleri, dinamik OAY metodu [39, 40] ve dinamik MC (Monte Carlo) hesaplamaları ile incelenmiştir [41-51].

Nanoyapılı sistemlerin dinamik davranışlarının incelenmesi üzerine yapılan çalışmalar; Deviren ve arkadaşları spin-1/2 silindirik Ising nanotelin manyetik özelliklerini etkin alan teorisi kullanarak incelemişler ve sistemde üçlü kritik noktanın varlığını göstermişlerdir. Dinamik geçişlerin sıcaklık ve kompozisyon davranışlarının yanı sıra dinamik geçişlerin doğasını (birinci veya ikinci dereceden) karakterize etmek için dinamik uzunlamasına manyetizmaların, transvers manyetizmaların ve toplam manyetizmaların sıcaklık bağımlılıkları araştırılmıştır [52]. Kantar ve Ertaş [53], zamana bağlı salınımlı dış manyetik alan içerisinde Glauber-tipi stokastik dinamik ve OAY kullanarak spin-1/2 silindirik Ising nanotel sisteminin dinamik manyetik özelliklerini incelenmişler ve sistemde Q-, P-, R-, S-, N-tipi telafi sıcaklıkları yanı sıra reentrant davranış gözlemlemiştir. Ertaş ve Kantar [54], OAY ile silindirik Ising

nanotel sisteminde, spin-1 BC modelinin dinamik manyetik özellikleri üzerine, bilineer etkileşim parametresi (J), kristal alanın (D), sıcaklığın (T) etkilerini araştırmışlardır. İnceleme sonucunda üçlü kritik nokta ve sistemin fiziksel parametrelerine bağlı olarak N-, P-, Q-, S- ve W- tipi telafi sıcaklıklarını bulmuşlardır. Ertaş ve Kocakaplan [55], hegzagonal Ising nanotelde faz geçişlerin doğasını, dinamik faz geçiş noktalarını ve dinamik faz diyagramlarını elde etmek için, Glauber-tipi stokastik dinamik ve EAT kullanmışlardır. Dinamik faz diyagramları temel ve karma faz bölgeleri, üçlü kritik nokta ve reentrant davranış sergilediğini bulmuşlardır. Vatansver ve Polat [56], metropolis algoritması temelli MCS kullanarak, spin-3/2 öz ve spin-1 kabuk tabakasından oluşan bir küresel öz-kabuk nanopartikül sisteminin dinamik faz geçiş özelliklerini analiz etmişlerdir. Sistemde, P-, N- ve Q-tipi mıknatıslanma eğrilerini görmüşlerdir. Yine Vatansver ve Polat [57], kübik öz-kabuk ferrimanyetik nanopartikül sisteminin dinamik manyetik özelliklerini metropolis algoritması temelli MCS kullanarak araştırmışlardır. Kabuk kalınlığına, manyetik alanın genliğine, manyetik alanın periyoduna ve Hamilton parametrelerine parçacığın termal ve manyetik özelliklerinin önemli ölçüde değiştiğini gözlemlemişlerdir. Yüksel ve arkadaşları [58], öz-kabuk yapısına sahip nanopartikül sisteminin dinamik faz geçiş özelliklerini MCS ile incelemişlerdir. Sistemde, P-, N- ve Q- tipi mıknatıslanma eğrilerini görmüşlerdir. Güçlü bir antiferromanyetik arayüz etkileşimi varlığında üçlü histeresis döngü davranışını gözlemişlerdir. Ancak karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sisteminin dinamik davranışlarının Glauber-tipi stokastik dinamik temelli OAY kullanılarak incelenmesi üzerine literatürde bir çalışma mevcut değildir.

Bu tez çalışmasında ise karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sisteminin dinamik davranışları ortalama-alan yaklaşıklığı ve Glauber-tipi stokastik dinamik kullanılarak incelenecektir. Sistemde mevcut olan fazları bulmak için ortalama 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-derece veya ikinci-derece faz geçişleri) karakterize edilerek sistemin dinamik faz diyagramları (T/J_C , h/J_C) düzlemlerde sunulacaktır. Burada T indirgenmiş sıcaklığı ifade ederken, h ise indirgenmiş dış manyetik alandır. Böylece, bu tezin temel amaçlarından birisi olan

karma spin (1, 3/2) Ising nanotel 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 edilecek hem de 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, 3/2) Ising nanotel 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-derece 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/J_C , h/J_C) düzleminde sunulacaktır.

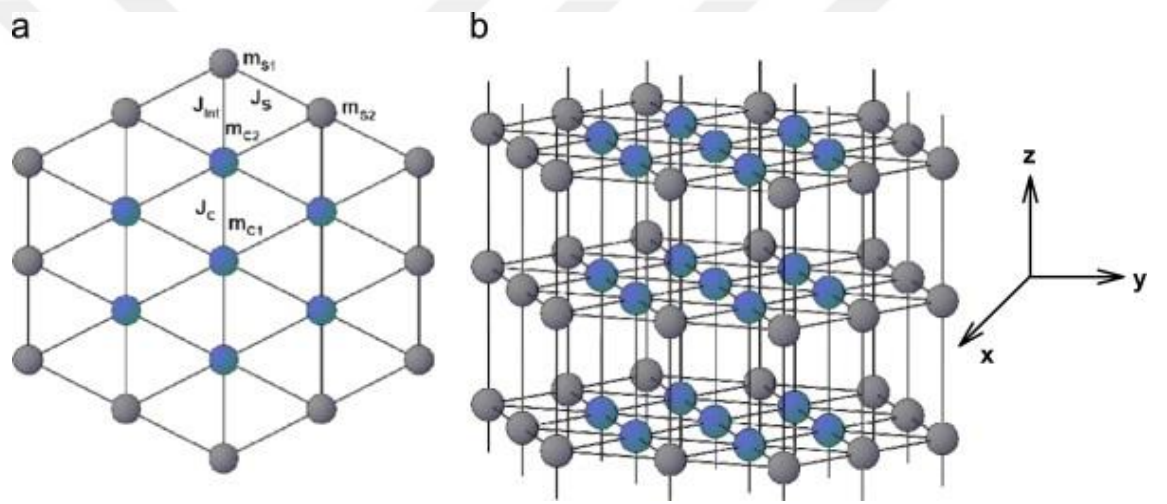
Son bölümde ise, yapılan çalışmalar özetlenerek elde edilen sonuçların tartışması yapılmıştır.

BÖLÜM 2

METOT VE MODELİN TANITIMI

2.1. Model

Bu tez çalışmasında Glauber-tipi stokastik dinamik temelli ortalama alan yaklaşımı (OAY) yöntemi, ferrimanyetik karma spin (1, 3/2) Ising nanotelsisteminin dinamik manyetik davranışlarını araştırmak için kullanılacaktır. Silindirik nanotel sistemini Ising modeli ile tanımlamak için kullanılan en yakın örgü hegzagonal örgü yapısıdır. Bu nedenle bu tez çalışmasında kullanılacak ve nanotel sistemini tanımlayan hegzagonal örgü yapılı şematik gösterim Şekil 2.1 deki gibi verilmektedir.



Şekil 2.1. Karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sistemini tanımlayan silindirik hegzagonal yapının şematik temsili: (a) ara kesit ve (b) üç boyutlu. Mavi ve gri küreler sırasıyla özdeki spin-1 ve kabuktaki spin-3/2 manyetik atomları göstermektedir.

İlgilenilen model, alternatif olarak birbirini tekrarlayan dört alt tabaka A, B, C ve D'den oluşmaktadır. Sarı renklerle gösterilen özdeki spin-1 manyetik atomlarına ait olan ilk iki alt tabakada (A ve B), $\pm 1, 0$ değerlerini almaktadır. Mavi renkli küreler ile gösterilen diğer iki alt tabaka C ve D, $\pm 3/2, \pm 1/2$ değerlerini almaktadır ve kabuktaki S spinleri spin-3/2 değerlerini almaktadır. Çekirdeğin etrafı σ spinleri tarafından işgal edilirken, kabukların etrafı S spinleri tarafından işgal edilir. En yakın komşu etkileşmelerini, kristal alan veya tek-iyon anizotropi terimini ve zamana bağlı dış manyetik alan terimini içeren silindirik karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sisteminin Hamiltonyen ifadesi,

$$H = -J_C \sum_{\langle ij \rangle} \sigma_i \sigma_j - J_S \sum_{\langle mn \rangle} S_m S_n - J_{Int} \sum_{\langle kl \rangle} \sigma_k S_l - D \sum_{\langle m \rangle} S_m^2 + h(t) \left(\sum_i \sigma_i + \sum_m S_m \right), \quad (2.1)$$

biçiminde tanımlanmaktadır. Burada, $\langle ij \rangle$, $\langle mn \rangle$ ve $\langle kl \rangle$ toplamlarım sırasıyla öz, kabuk ve öz ile kabuk arasındaki komşu spinlerin çiftleri üzerinden olacağını ifade etmektedir. J_C , J_S ve J_{Int} sırasıyla öz manyetik atomları arasındaki bilineer etkileşim parametresini, kabuk manyetik atomları arasındaki bilineer etkileşim parametresini ve öz ile kabuk manyetik atomları arasındaki bilineer etkileşim parametresini göstermektedir. D kristal-alan veya tekiyon 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 frekansdır. Sistem T_A mutlak sıcaklığında izotermal ısı banyosu ile etkileşim/temas halindedir. Nano yapıli malzemelerin fiziksel özellikleri üzerinde kabuk yüzeyindeki atomlarının etkisi çok fazla olduğundan genellikle nano yapıli malzemelerde kabuk yüzeyinde manyetik atomlar arasındaki bilineer etkileşme terimi aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$J_S = J_C (1 - \Delta_S), \quad (2.3)$$

Öz ile kabuk arasındaki bilineer etkileşim parametresi ise,

$$r = \frac{J_{Int}}{J_C}, \quad (2.4)$$

şeklinde tanımlanır. Bu çalışma süresince $J_C = 1.0$ ve $r = 1.0$ alınarak çalışılmıştır. Burada r 'nin pozitif olması öz ve kabuk arasındaki spinlerin yönelimlerinin birbirine paralel olduklarını ve ferrimanyetik spin konfigürasyonu sergilediklerini belirtmektedir.

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

Zamana bağlı salınımlı dış manyetik varlığında karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sistemi için sistemin dinamik davranışını açıklayan ortalama-alan dinamik denklemlerini elde edebilmek için Glauber dinamiğini kullanacağız ve Master denkleminde

yararlanacağız. Karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sistemi, Glauber-tipi stokastik dinamiğe göre birim zamanda $1/\tau$ oranında değişim gösterir. Ortalama alan dinamik denklemlerinin türetilmesi, spin-1/2 sistemi [37] ve farklı spin sistemleri [38, 39] için ayrıntılı olarak açıklandığından, burada karma spin (1, 3/2) nanotel sisteminin denklemleri elde edilecektir. B, C ve D alt örgülerindeki spinler sabit kaldığı zaman, sistemin t zamanında, $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_N$, spin konfigürasyonuna sahip olduğu andaki olasılık fonksiyonu $P^A(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_N; t)$ ile tanımlanır. A, C ve D alt örgülerindeki spinler sabit kaldığı zaman, sistemin t zamanında, $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_N$ spin konfigürasyonuna sahip olduğu andaki ihtimaliyetfonksiyonu ise $P^B(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_N; t)$ ile tanımlanır. A, B ve D alt örgülerindeki spinler sabit kaldığı zaman, sistemin t zamanında, S_1, S_2, \dots, S_N spin konfigürasyonuna sahip olduğu andaki ihtimaliyetfonksiyonu ise $P^C(S_1, S_2, \dots, S_N; t)$ ile tanımlanır. Son olarak A, B ve C alt örgülerindeki spinler sabit kaldığı zaman, sistemin t zamanında, S_1, S_2, \dots, S_N spin konfigürasyonuna sahip olduğu andaki ihtimaliyetfonksiyonu ise $P^D(S_1, S_2, \dots, S_N; t)$ ile tanımlanır. $W_i^A(\sigma_i \rightarrow \sigma'_i)$ i. Spinin σ_i durumundan σ'_i durumuna (B ve C alt örgülerindeki spinler sabit kaldığı durumda), $W_j^B(S_j \rightarrow S'_j)$ j. Spinin S_j durumundan S'_j durumuna (A ve C alt örgülerindeki spinler sabit kaldığı durumda) ve $W_j^C(S_j \rightarrow S'_j)$ j. Spinin S_j durumundan S'_j durumuna (A ve B alt örgülerindeki spinler sabit kaldığı durumda) birim zamandaki geçiş olasılığıdır. B ve C alt örgülerindeki spinlerin bir an için sabit olduğu düşünülürse, A alt örgüsü için master denklemi,

$$\frac{d}{dt} P^A(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_N; t) = - \left(\sum_i W_i^A(\sigma_i \rightarrow \sigma'_i) \right) P^A(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_i, \dots, \sigma_N; t) + \sum_i W_i^A(\sigma_i \rightarrow \sigma'_i) P^A(\sigma_1, \sigma_2, \dots, -\sigma_i, \dots, \sigma_N; t), \quad (2.5)$$

şeklinde yazılır. Burada $W_i^A(\sigma_i \rightarrow \sigma'_i)$, i'inci σ spinin σ_i durumundan σ'_i durumuna birim zamanda geçme olasılığıdır. Denge durumunda,

$$\frac{d}{dt} P^A(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_N; t) = 0, \quad (2.6)$$

ve master denklemden olasılık yoğunlukları oranı ve genel kanonik dağılım ifadesinden faydalanılırsa olasılık yoğunluğu,

$$\frac{W_i^A(-\sigma_i)}{W_i^A(\sigma_i)} = \frac{P^A(\sigma_1, \sigma_2, \dots, -\sigma_i, \dots, \sigma_N)}{P^A(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_i, \dots, \sigma_N)}, \quad (2.7)$$

olduğu kolayca görülebilir. Buradan

$$P^A(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_N) \propto \exp(-\beta \mathcal{H}), \quad (2.8)$$

ile tanımlanan genel kanonik dağılım ifadesinden yararlanılarak birim zamandaki geçiş olasılığı yoğunluğu,

$$W_i^A(\sigma_i \rightarrow \sigma'_i) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-\beta \Delta E^A(\sigma_i \rightarrow \sigma'_i))}{\sum_{\sigma'_i} \exp(-\beta \Delta E^A(\sigma_i \rightarrow \sigma'_i))}, \quad (2.9)$$

şeklinde verilir. Burada $\beta = 1/k_B T$, k_B Boltzmann faktörüdür. $\Delta E^A(\sigma_i \rightarrow \sigma'_i)$ spinler arası geçişte sistemin enerjisindeki değişimdir ve Hamiltonyen ifadesinin kullanılması ile elde edilebilir. σ_i 'nin zaman içinde beklenen değerindeki değişimle daha önce bulunan $W_i^A(\sigma_i \rightarrow \sigma'_i)$ ve $\Delta E^A(\sigma_i \rightarrow \sigma'_i)$ 'ninde kullanılmasıyla, σ spinleri için ortalama alan dinamik denklemleri elde edilir. Burada $\sum_{\sigma'_i}$ ise toplamın $\sigma_i = \pm 1, 0$ üzerinden alınacak ve Eşitlik (2.1) ile verilen Hamiltonyen ifadesinden yararlanılarak,

$$\Delta E^A(\sigma_i \rightarrow \sigma'_i) = 2\sigma_i \left(J_C \sum_j \sigma_j + J_C \sum_j \sigma'_j + h(t) \right) - ((\sigma'_i)^2 - (\sigma_i)^2) D \quad (2.10)$$

şeklinde bulunur. Her mümkün $\sigma_i \rightarrow \sigma'_i$ geçişi için bulunan bu enerji değişimi ifadeleri (2.9) denkleminde yerine yazılırsa $W_i^A(\sigma_i \rightarrow \sigma'_i)$ olasılık yoğunlukları;

$$W_i^A(1 \rightarrow 0) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-\beta D)}{2 \cosh(\beta a) + \exp(-\beta D)}, \quad (2.11a)$$

$$W_i^A(-1 \rightarrow 0) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-\beta D)}{2 \cosh(\beta a) + \exp(-\beta D)}, \quad (2.11b)$$

$$W_i^A(-1 \rightarrow 1) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(\beta a)}{2 \cosh(\beta a) + \exp(-\beta D)}, \quad (2.11c)$$

$$W_i^A(0 \rightarrow 1) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(\beta a)}{2 \cosh(\beta a) + \exp(-\beta D)}, \quad (2.11d)$$

$$W_i^A(1 \rightarrow -1) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-\beta a)}{2 \cosh(\beta a) + \exp(-\beta D)}, \quad (2.11e)$$

$$W_i^A(0 \rightarrow -1) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-\beta a)}{2 \cosh(\beta a) + \exp(-\beta D)}, \quad (2.11f)$$

$$W_i^A(0 \rightarrow 0) = W_i^A(1 \rightarrow 1) = W_i^A(-1 \rightarrow -1) = 0, \quad (2.11g)$$

şeklinde elde edilir. Burada $a = J_C \sum_i \sigma_i + J_C \sum_j \sigma_j + h(t)$ ile tanımlanır. Olasılık yoğunlukları ifadelerinden yararlanılarak $W_i^A(\sigma_i \rightarrow \sigma'_i)$ nin σ_i 'ye bağlı olmadığını, bu durumda $W_i^A(\sigma_i \rightarrow \sigma'_i) = W_i^A(\sigma'_i)$ yazılabilir. Master denkleminde yararlanılarak, A altörgüsü için genel ortalama-alan dinamik denklemi şu şekilde elde edilir:

$$\tau \frac{d}{dt} \langle \sigma_k \rangle = -\langle \sigma_k \rangle + \frac{2 \sinh[\beta a]}{2 \cosh[\beta a] + \exp[-\beta D]}. \quad (2.12)$$

Ortalama alan yaklaşımı kullanılarak,

$$\tau \frac{d}{dt} \langle \sigma_k \rangle_A = -\langle \sigma_k \rangle_A + \frac{2 \sinh[\beta a_1]}{2 \cosh[\beta a_1] + \exp[-\beta D]}. \quad (2.13)$$

olarak yazılabilir. Burada $a_1 = 2J_C \langle \sigma_i \rangle_A + 6J_C \langle \sigma_j \rangle_B + h_0 \sin(\omega t)$. Elde edilen ortalama alan dinamik denklemi,

$$\Omega \frac{d}{d\xi} m_{cl} = -m_{cl} + \frac{2 \sinh \left[\frac{1}{T} (2J_C m_{cl} + 6J_C m_{c2} + h \sin(\xi)) \right]}{2 \cosh \left[\frac{1}{T} (2J_C m_{cl} + 6J_C m_{c2} + h \sin(\xi)) \right] + \exp \left[-\frac{d}{T} \right]} \quad (2.14)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $m_{c1} \equiv \langle \sigma_i \rangle_A$, $m_{c2} \equiv \langle \sigma_j \rangle_B$, $\xi = wt$, $T = (\beta Jz)^{-1}$, $h = h_0 \sin(wt)$, $h = h_0/J_C$, $d = D/J_C$ ve $\Omega = \tau w$ olarak tanımlanmıştır. T, h ve Ω boyutsuz parametrelerdir. Sistemimizde $\Omega = 2\pi$ değerinde sabit olarak ele alınacaktır.

Karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sisteminde A, C ve D alt örgülerindeki spinlerin biran için sabit kaldığı düşünülerek, B alt örgüsü için ilk yüzeydeki ortalama alan dinamik denklemlerini yukarıdaki gibi benzer hesaplamaları kullanarak da elde edebiliriz. Bu durumda B alt örgüsü için master denklemi;

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} P^B(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_N; t) = & - \sum_j \left(\sum_{\sigma_j \neq \sigma'_j} W_j^B(\sigma_j \rightarrow \sigma'_j) \right) P^B(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_j, \dots, \sigma_N; t) \\ & + \sum_j \left(\sum_{\sigma_j \neq \sigma'_j} W_j^B(\sigma'_j \rightarrow \sigma_j) P^B(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma'_j, \dots, \sigma_N; t) \right), \end{aligned} \quad (2.15)$$

şeklinde yazılır. Burada $W_j^B(\sigma_j \rightarrow \sigma'_j)$ ve $W_j^B(\sigma'_j \rightarrow \sigma_j)$ olasılık yoğunlukları veya geçiş yoğunlukları olarak tanımlanır. Genel kanonik dağılım ifadesinden;

$$P^B(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma'_j, \dots, \sigma_N) \propto \exp(-\beta \mathcal{H}), \quad (2.16)$$

yazılır. Burada $P^B(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma'_j, \dots, \sigma_N)$ sistem dengede iken $(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma'_j, \dots, \sigma_N)$ konfigürasyonunda spinlerin bulunma ihtimaliyetini gösterir. Sistem dengede iken, master denklemi ve kanonik dağılımın genel tanımı yardımıyla her bir spinin σ_j durumundan σ'_j durumuna birim zamanda geçiş olasılığı $W_j^B(\sigma_j \rightarrow \sigma'_j)$;

$$W_j^B(\sigma_j \rightarrow \sigma'_j) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-\beta \Delta E^B(\sigma_j \rightarrow \sigma'_j))}{\sum_{\sigma_j} \exp(-\beta \Delta E^B(\sigma_j \rightarrow \sigma'_j))}, \quad (2.17)$$

ile verilir. Burada $\beta = 1/k_B T$ 'dir ve k_B Boltzmann faktörüdür. Daha sonra Hamiltonyen ifadesinin kullanılması ile $\Delta E^B(\sigma_j \rightarrow \sigma'_j)$ değeri bulunur.

$$\Delta E^B(\sigma_j \rightarrow \sigma'_j) = -(\sigma'_j - \sigma_j) \left(J_C \sum_i \sigma_i + J_C \sum_j \sigma_j + J_{Int} \sum_k S_k + h(t) \right) - \left[(S'_j)^2 - (S_j)^2 \right] D \quad (2.18)$$

$\Delta E^B(\sigma_j \rightarrow \sigma'_j)$ spinler arası geçişte sistemin enerjisindeki değişimdir. Burada $b = J_C \sum_i \sigma_i + J_C \sum_j \sigma_j + J_{Int} \sum_k S_k + J_{Int} \sum_l S_l + h(t)$ ile tanımlanırsa,

$$\Delta E^B(\sigma_j \rightarrow \sigma'_j) = -(\sigma'_j - \sigma_j) b - ((\sigma'_j)^2 - (\sigma_j)^2) D \quad (2.19)$$

olur. Şimdi σ_j durumundan σ'_j durumuna mümkün olan tüm enerji değişimlerini hesaplayabiliriz. Bulunan bu enerji değişimi ifadeleri (2.17) denkleminde yerine yazılarak tüm geçişler için olasılık yoğunluklarını şu şekilde hesaplayabiliriz,

$$W_j^B(1 \rightarrow 0) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-\beta(b+D))}{1 + \exp(-\beta(b+D)) + \exp(-2\beta b)}, \quad (2.20a)$$

$$W_j^B(1 \rightarrow -1) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-2\beta b)}{1 + \exp(-\beta(b+D)) + \exp(-2\beta b)}, \quad (2.20b)$$

$$W_j^B(0 \rightarrow 1) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(\beta(b+D))}{1 + \exp(\beta(b+D)) + \exp(\beta(-b+D))}, \quad (2.20c)$$

$$\begin{aligned} W_j^B(0 \rightarrow -1) &= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(\beta(-b+D))}{1 + \exp(\beta(b+D)) + \exp(\beta(-b+D))} \\ &= \frac{\exp(-2\beta b)}{1 + \exp(-\beta(b+D)) + \exp(-2\beta b)}, \end{aligned} \quad (2.20d)$$

$$\begin{aligned} W_j^B(-1 \rightarrow 0) &= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(\beta(b-D))}{1 + \exp(\beta(b-D)) + \exp(2\beta b)} \\ &= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-\beta(b+D))}{1 + \exp(-\beta(b+D)) + \exp(-2\beta b)}, \end{aligned} \quad (2.20e)$$

$$\begin{aligned}
W_j^B(-1 \rightarrow 1) &= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(2\beta b)}{1 + \exp(\beta(b-D)) + \exp(2\beta b)} \\
&= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(\beta(b+D))}{1 + \exp(\beta(b+D)) + \exp(\beta(-b+D))},
\end{aligned} \tag{2.20f}$$

$W_j^B(\sigma_j \rightarrow \sigma'_j)$ ifadesine baktığımızda olasılık yoğunluklarının σ_j 'ye bağlı olmadığını görürüz. Bu bize $W_j^B(\sigma_j \rightarrow \sigma'_j) = W_j^B(\sigma'_j)$ şeklinde yazabilmemizi sağlar. Böylece olasılık yoğunlukları,

$$W_j^B(0 \rightarrow 1) = W_j^B(-1 \rightarrow 1) = W_j^B(1) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(\beta y)}{2\cosh(\beta y) + \exp(-\beta D)}, \tag{2.21a}$$

$$W_j^B(1 \rightarrow 0) = W_j^B(-1 \rightarrow 0) = W_j^B(0) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-\beta D)}{2\cosh(\beta y) + \exp(-\beta D)}, \tag{2.21b}$$

$$W_j^B(1 \rightarrow -1) = W_j^B(0 \rightarrow -1) = W_j^B(-1) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-\beta y)}{2\cosh(\beta y) + \exp(-\beta D)}, \tag{2.21c}$$

şeklinde yazılabilir. Master denkleminde yararlanılarak, B altörgüsü için genel ortalama-alan dinamik denklemi şu şekilde elde edilir,

$$\tau \frac{d}{dt} \langle S_k \rangle = -\langle S_k \rangle + \frac{2\sinh(\beta y)}{\exp(-\beta D) + 2\cosh(\beta y)}. \tag{2.23}$$

Burada, $b = J_C \sum_i \sigma_i + J_C \sum_j \sigma_j + J_{Int} \sum_k S_k + J_{Int} \sum_l S_l + h(t)$ olduğu dikkate

alınırsa, ortalama-alan yaklaşımı kullanılarak (2.23) denklemi,

$$\tau \frac{d}{dt} \langle S_j \rangle_B = -\langle S_j \rangle_B + \frac{2 \sinh(\beta y_1)}{\exp(-\beta D) + 2 \cosh(\beta y_1)}, \quad (2.24)$$

olarak bulunur.

Burada $b_1 = J_C \langle \sigma_i \rangle_A + 4J_C \langle \sigma_j \rangle_B + J_{Int} \langle S_k \rangle_C + 2J_{Int} \langle S_l \rangle_D + h(t) \sin(\omega t)$. Elde edilen bu ortalama-alan dinamik denklemi,

$$\Omega \frac{dm_{c2}}{d\xi} = -m_{c2} + \frac{2 \sinh \left[\frac{(J_C m_{C1} + 4J_C m_{C2} + J_{Int} m_{S1} + 2J_{Int} m_{S2} + h \sin \xi) / T}{2 \cosh \left[\frac{(J_C m_{C1} + 4J_C m_{C2} + J_{Int} m_{S1} + 2J_{Int} m_{S2} + h \sin \xi) / T}{2} \right] + \exp(-\beta d)} \right]}{2 \cosh \left[\frac{(J_C m_{C1} + 4J_C m_{C2} + J_{Int} m_{S1} + 2J_{Int} m_{S2} + h \sin \xi) / T}{2} \right] + \exp(-\beta d)}, \quad (2.25)$$

şeklinde de yazılabilir. Burada $d = D/J_C$, olarak tanımlanmıştır ve boyutsuz parametredir. ($\xi = \omega t$, $\Omega = \tau \omega$)

Yukarıdaki işlemlerin benzer uygulamasını A, B ve D alt örgülerindeki spinlerin bir an için sabit kaldıkları düşünülürse C alt örgüsündeki birinci yüzey ortalama alan dinamik denklemi aşağıdaki gibi elde edilebilir,

$$\Omega \frac{dm_{S1}}{d\xi} = -m_{S1} + \frac{3 \sinh \left[\frac{3(J_{Int} m_{C2} + 2J_S m_{S1} + 2J_S m_{S2} + h \sin \xi) / 2T}{2} \right] \cdot \exp(d/T) + \sinh \left[\frac{(J_{Int} m_{C2} + 2J_S m_{S1} + 2J_S m_{S2} + h \sin \xi) / 2T}{2} \right] \cdot \exp(-d/T)}{2 \cosh \left[\frac{3(J_{Int} m_{C2} + 2J_S m_{S1} + 2J_S m_{S2} + h \sin \xi) / 2T}{2} \right] \cdot \exp(d/T) + 2 \cosh \left[\frac{(J_{Int} m_{C2} + 2J_S m_{S1} + 2J_S m_{S2} + h \sin \xi) / 2T}{2} \right] \cdot \exp(-d/T)}, \quad (2.26)$$

Ayrıca yukarıdaki işlemlerin benzer uygulamasını A, B ve C alt örgülerindeki spinlerin bir an için sabit kaldıkları düşünülürse D alt örgüsündeki ikinci yüzey ortalama alan dinamik denklemi aşağıdaki gibi elde edilebilir,

$$\Omega \frac{dm_{s2}}{d\xi} = -m_{s2} + \frac{3 \sinh \left[3(2J_{Int} m_{C2} + 2J_S m_{S1} + 2J_S m_{S2} + h \sin \xi) / 2T \right] \cdot \exp(d/T) + \sinh \left[(2J_{Int} m_{C2} + 2J_S m_{S1} + 2J_S m_{S2} + h \sin \xi) / 2T \right] \cdot \exp(-d/T)}{2 \cosh \left[3(2J_{Int} m_{C2} + 2J_S m_{S1} + 2J_S m_{S2} + h \sin \xi) / 2T \right] \cdot \exp(d/T) + 2 \cosh \left[(2J_{Int} m_{C2} + 2J_S m_{S1} + 2J_S m_{S2} + h \sin \xi) / 2T \right] \cdot \exp(-d/T)}, \quad (2.27)$$

Burada $m_{s1} \equiv \langle S_k \rangle_C$, $m_{s2} \equiv \langle S_1 \rangle_D$, $\xi = wt$, $T = (\beta Jz)^{-1}$, $h = h_0 \sin(wt)$, $h = h_0/J_C$ ve $\Omega = \tau w$ olarak tanımlanmıştır. T , h ve Ω boyutsuz parametrelerdir. Sistemimizde $\Omega = 2\pi$ değerinde sabit olarak ele alınacaktır. Böylece, sistemin dinamik davranışını tanımlayan dört adetortalama alan dinamik denklemleri (2.14), (2.25), (2.26) ve (2.27) elde edilir.

BÖLÜM 3

KARMA SPİN (1, 3/2) ISING NANOTEL SİSTEMİNİN NÜMERİK ÇÖZÜMÜ

3.1. Ortalama Alt Örgü Miknatıslanmalarının Zamanla Değişimi

Sistemde var olan fazları bulmak için denklem (2.14), (2.25), (2.26) ve (2.27) ile verilen ortalama-alan (OAY) dinamik denklemlerin kararlı çözümleri farklı kristal alan (d), indirgenmiş yüksek manyetik alan genliğinde (h) ve indirgenmiş yüksek sıcaklıktaki (T) değerleri için incelenecektir. Denklem (2.14), (2.25), (2.26) ve (2.27)'nin devinimsiz çözümleri, periyodik bir fonksiyonun 2π periyodu için ξ 'nin periyodik bir fonksiyonu olacaktır, yani

$$m_{c1}(\xi + 2\pi) = m_{c1}(\xi), \quad (2.28a)$$

$$m_{c2}(\xi + 2\pi) = m_{c2}(\xi), \quad (2.28b)$$

$$m_{s1}(\xi + 2\pi) = m_{s1}(\xi), \quad (2.28b)$$

ve

$$m_{s2}(\xi + 2\pi) = m_{s2}(\xi) \quad (2.28c)$$

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

$$m_{c1}(\xi + \pi) = -m_{c1}(\xi), \quad (2.29a)$$

$$m_{c2}(\xi + \pi) = -m_{c2}(\xi), \quad (2.29b)$$

$$m_{s1}(\xi + \pi) = -m_{s1}(\xi), \quad (2.29c)$$

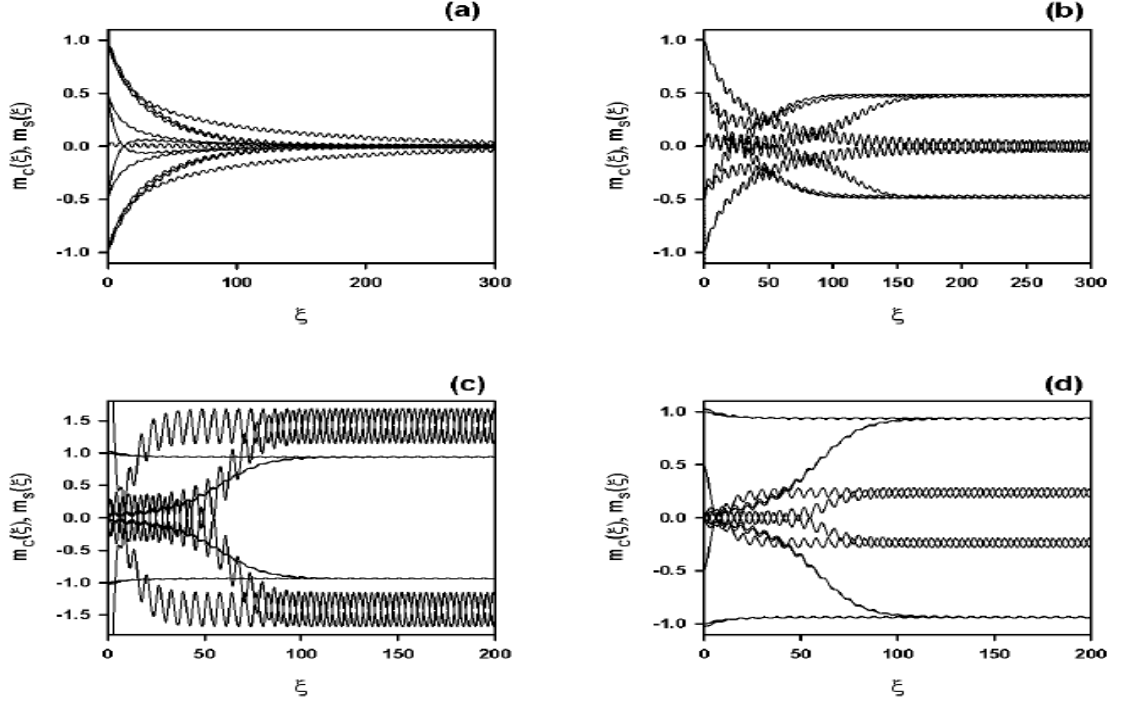
ve

$$m_{s2}(\xi + \pi) = -m_{s2}(\xi) \quad (2.29d)$$

Bu çözümlerde örgü ve yüzey için ortalama alt örgü miknatıslanmaları sırasıyla $m_c(\xi)$ (m_{c1} ve m_{c2}) ve $m_s(\xi)$ (m_{s1} ve m_{s2}) olarak çözülecektir. Buradaki denklem (2.29)'un 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 miknatıslanmaları $m_c(\xi)$ ve $m_s(\xi)$ birbirine eşittir ve sıfır değeri civarında salınarak dış manyetik alana uyum gösterirler. İkinci tip çözüm, (2.28a) ve (2.28b) ile verilen denklemlere uyarken, (2.28c) ve (2.28d) ile verilen denklemlere uymazlar. Bu çözüm manyetik olmayan (nm) çözüme karşılık gelir ve bu çözümde $m_c(\xi) = 0.0$ sıfır etrafında salınırken, $m_s(\xi) \neq 0.0$ sıfır olmayan değerler etrafında salınır. Üçüncü tip çözümde, elde ettiğimiz çözüm (2.29) denklemlerine uymaz ve bu simetrik olmayan çözümdür, bu çözüm ferrimanyetik (i_1) ve ferrimanyetik (i_2) çözümlerine karşılık gelir. Bu çözümlerde $m_c(\xi)$ ve $m_s(\xi)$ birbirine eşit değildir ($m_c(\xi) \neq m_s(\xi)$) ve sıfır olmayan değerler etrafında salınırlar, bu çözümlerden ferrimanyetik-1 (i_1) çözümde $m_c(\xi) = \pm 1.0$, $m_s(\xi) = \pm 3/2$ etrafında salınırlarken; ferrimanyetik-2 (i_2) çözümde $m_c(\xi) = \pm 1.0$, $m_s(\xi) = \pm 1/2$ etrafında salınırlar ve her iki çözümde dış manyetik alana uymazlar. Bu çözümler, açık bir şekilde (2.14), (2.25), (2.26) ve (2.27) ile verilen ortalama-alan dinamik denklemlerin nümerik olarak çözülmesiyle görülür. (2.14), (2.25), (2.26) ve (2.27) numaralı denklemler, verilen parametreler ve başlangıç değerleri için Adams-Moulton kestirme ve düzeltme yöntemi kullanılarak çözülmesiyle sistemde paramanyetik (p), manyetik olmayan (nm), ferrimanyetik-1 (i_1) ve ferrimanyetik-2 (i_2) temel fazlarının yanında $i_1 + i_2, i_1 + p, i_2 + p, i_1 + nm, i_2 + nm, nm + p$ ve $i_1 + i_2 + p$ yedi farklı karma fazları bulundu. Bu fazlardan temel fazla karşılık gelen çözümler Şekil 3.1'de, karma fazlara karşılık gelen çözümler Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

Şekil 3.1.(a)'da yalnızca simetrik çözüm mevcuttur ve bundan dolayı sistemde sadece paramanyetik (p) faz vardır. Bu durumda $m_c(\xi)$ ve $m_s(\xi)$ birbirine eşittir ve sıfır değeri civarında salınırlar ($m_c(\xi) = m_s(\xi) = 0$). Şekil 3.1.(b)'de $m_s(\xi) = \pm 1/2$ değerleri etrafında salınırken $m_c(\xi) = 0$ sıfır etrafında salınır. Bundan dolayı sistemde manyetik olmayan (nm) faz elde edilmiştir. Şekil 3.1.(c) ve Şekil 3.1.(d)'de simetrik olmayan çözümler elde edilmiştir. Şekil 3.1.(c)'de $m_c(\xi) = \pm 1.0$ civarında salınırken ve

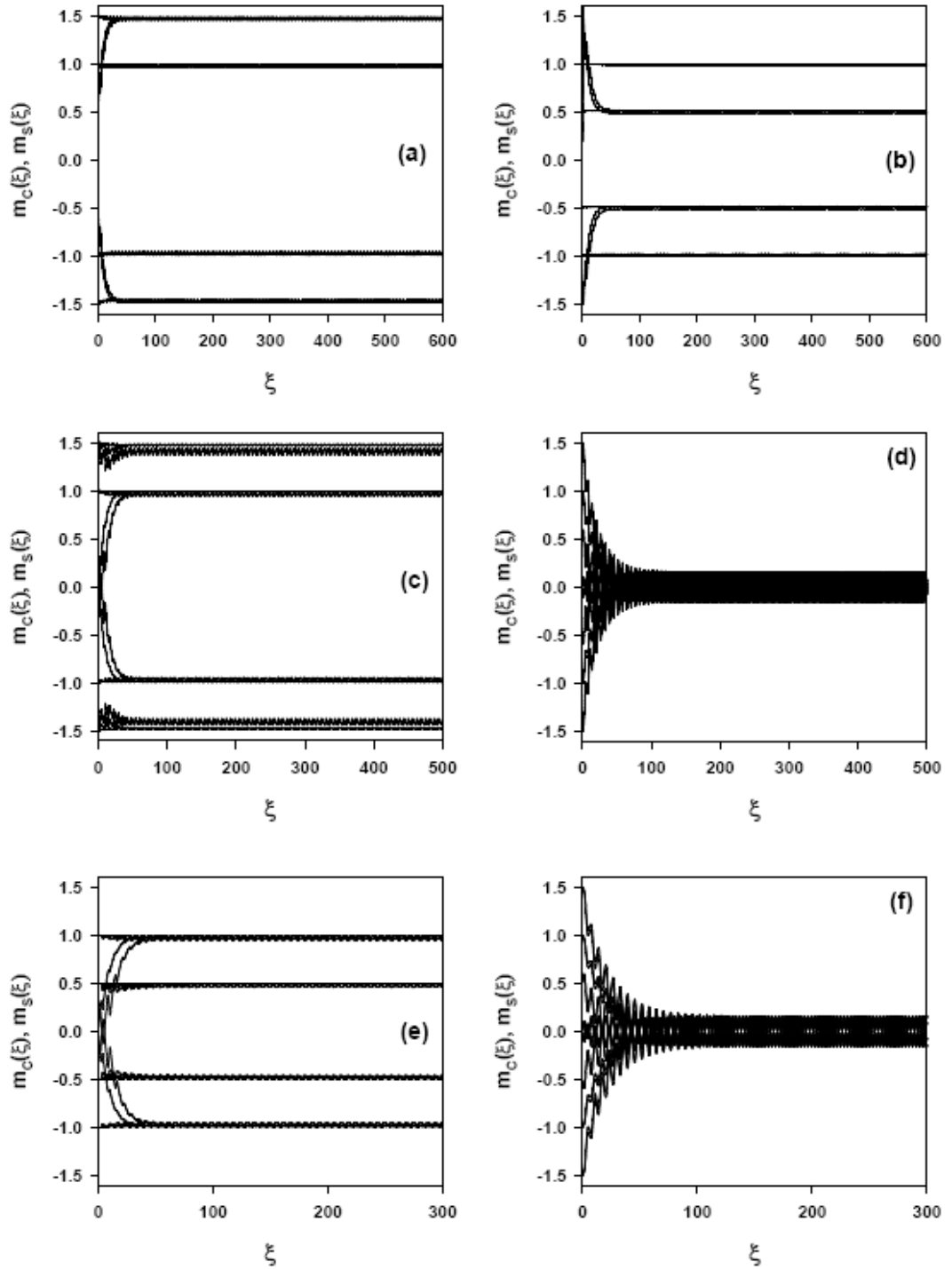
$m_s(\xi) = \pm 3/2$ değeri etrafında salınırlar, bu durumda sistemde ferrimanyetik (i_1) faz mevcuttur. Şekil 3.1.(d)'de $m_c(\xi) = \pm 1.0$ civarında salınırken ve $m_s(\xi) = \pm 1/2$ değeri etrafında salınırlar, bu durumda sistemde ferrimanyetik (i_2) faz mevcuttur. Bu çözümler başlangıç değerlerine bağlı değildir.



Şekil 3.1. Karma spin (1, 3/2) nanotel sistemi için ortalama alt örgü mıknatıslanmalarının $m_c(\xi)$ ve $m_s(\xi)$ zamanla değişimi. (a) Sistemde paramanyetik (p) faz mevcuttur, ($d=-3.4$, $h=5.75$, $T=2.25$). (b) Sistemde manyetik olmayan (nm) faz mevcuttur, ($d=-3.5$, $h=0.75$, $T=0.60$). (c) Sistemde ferrimanyetik-1 (i_1) faz mevcuttur, ($d=-1.7$, $h=3.25$, $T=2.75$). (d) Sistemde ferrimanyetik (i_2) faz mevcuttur, ($d=-3.1$, $h=1.0$, $T=1.75$).

Şekil 3.2. ile gösterilen çözümlerde sistemdeki mevcut yedi farklı karma faz bölgesi mevcuttur. Bunlardan Şekil 3.2. (a)'de iki farklı çözüm elde edilmiştir ve sistemde i_1 ve i_2 fazları bir arada bulunmaktadır. İlk çözüm de $m_c(\xi) = \pm 1.0$ civarında salınırken ve $m_s(\xi) = \pm 3/2$ değeri etrafında salınırlar, bu durumda sistemde ferrimanyetik-1 (i_1) faz gözlenmiştir. İkinci çözümde ise $m_c(\xi) = \pm 1.0$ civarında salınırken ve $m_s(\xi) = \pm 1/2$ değeri etrafında salınırlar, bu durumda sistemde ferrimanyetik-2 (i_2) faz gözlenmiştir. Bu iki çözümden dolayı sistemde $i_1 + i_2$ karma fazı bulunduğu gözlenmiştir. Şekil 3.2.(b)'de yine iki farklı çözüm elde edilmiştir ama bu sefer sistemde i_1 ve p fazları bir

arada bulunmaktadır. Buradaki ilk çözüm de ortalama mıknatıslanmalar $m_c(\xi) = \pm 1.0$ civarında salınırlar, $m_s(\xi) = \pm 3/2$ değeri etrafında salınırlar, bu durumda sistemde ferrimanyetik-1 (i_1) faz mevcuttur. İkinci çözümde ise $m_c(\xi)$ ve $m_s(\xi)$ yine sıfır değeri civarında salınırlar ve bundan dolayı sistemde paramanyetik (p) faz elde edilmiştir. Bu iki çözümden dolayı sistemde $i_1 + p$ karma fazı da elde edilmiştir. Şekil 3.2.(c)'de yine iki farklı çözüm elde edilmiştir ama bu sefer sistemde i_2 ve p fazları bir arada bulunmaktadır. Buradaki ilk çözüm de ortalama mıknatıslanmalar $m_c(\xi) = \pm 1.0$ civarında salınırlar, $m_s(\xi) = \pm 1/2$ değeri etrafında salınırlar, bu durumda sistemde ferrimanyetik-1 (i_2) faz mevcuttur. İkinci çözümde ise $m_c(\xi)$ ve $m_s(\xi)$ yine sıfır değeri civarında salınırlar ve bundan dolayı sistemde paramanyetik (p) faz elde edilmiştir. Bu iki çözümden dolayı sistemde $i_2 + p$ karma fazı da elde edilmiştir. Diğer dört karma faz bölgesinde sırasıyla $i_1 + nm$, $i_2 + nm$, $nm + p$ ve $i_1 + i_2 + p$ yukarıdaki çözümlere benzer davranış sergilemektedir, sadece elde edilen çözümlere karşılık gelen karma faz bölgeleri farklıdır. Böylece, Şekil 3.2'de görüldüğü gibi sistemde karma fazlar mevcuttur. Bir sonraki bölümde Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'deki faz bölgeleri arasındaki dinamik faz sınırları belirlenecektir.



Şekil 3.2. Karma spin (1, 3/2) nanotel sistemi için ortalama alt örgü mıknatıslanmalarının $m_c(\xi)$ ve $m_s(\xi)$ zamanla değişimi. (a) Sistemde hemferrimanyetik-1 (i_1) ve (b) ferrimanyetik-2 (i_2) fazları mevcuttur, ($d=-2.50$, $h=0.375$, $T=0.30$). (c) Sistemde hem ferrimanyetik-1 (i_1) ve (d) paramanyetik (p) fazlar mevcuttur, ($d=-2.5$, $h=1.75$, $T=0.2$). (e) Sistemde ferrimanyetik-2 (i_2), (f) paramanyetik (p) fazlar mevcuttur, ($d=-3.0$, $h=2.0$, $T=0.40$).

3.2 Dinamik Düzen Parametreleri ve Dinamik Faz Geçiş Noktaları

Bu kesimde, sistemde mevcut olan karma fazlar arasındaki dinamik faz sınırları belirlenecektir. Bunun için dinamik faz geçiş (DFG) sıcaklıklarını hesaplamalıyız ve dinamik faz geçişlerinin doğasını (sürekli veya süreksiz 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 şu şekilde verilir:

$$M_{\alpha} = \frac{w}{2\pi} \int_0^{2\pi} m_{\alpha}(t) dt, \quad (2.30)$$

Burada $\alpha = C_1, 1.$ öz mıknatıslanması; $C_2, 2.$ öz mıknatıslanması, $\alpha=S_1, 1.$ yüzey mıknatıslanması, $S_2, 2.$ yüzey mıknatıslanması; sistemdeki dinamik öz ve yüzey mıknatıslanmalarına karşılık gelir. Öte yandan, dinamik histeresis döngü alanları Acharyya [39] yeni referans eklenecek tarafından şekilde ifade edilir:

$$A_{\alpha} = -\int_0^{2\pi} m_{\alpha}(t) dh = -h_0 w \int_0^{2\pi} m_{\alpha}(t) \cos(wt) dt, \quad (2.31)$$

Bu denklem histeresise bağlı enerji kaybına karşılık gelir. Dinamik korelasyonların termal değişimi de aşağıdaki gibi hesaplanır:

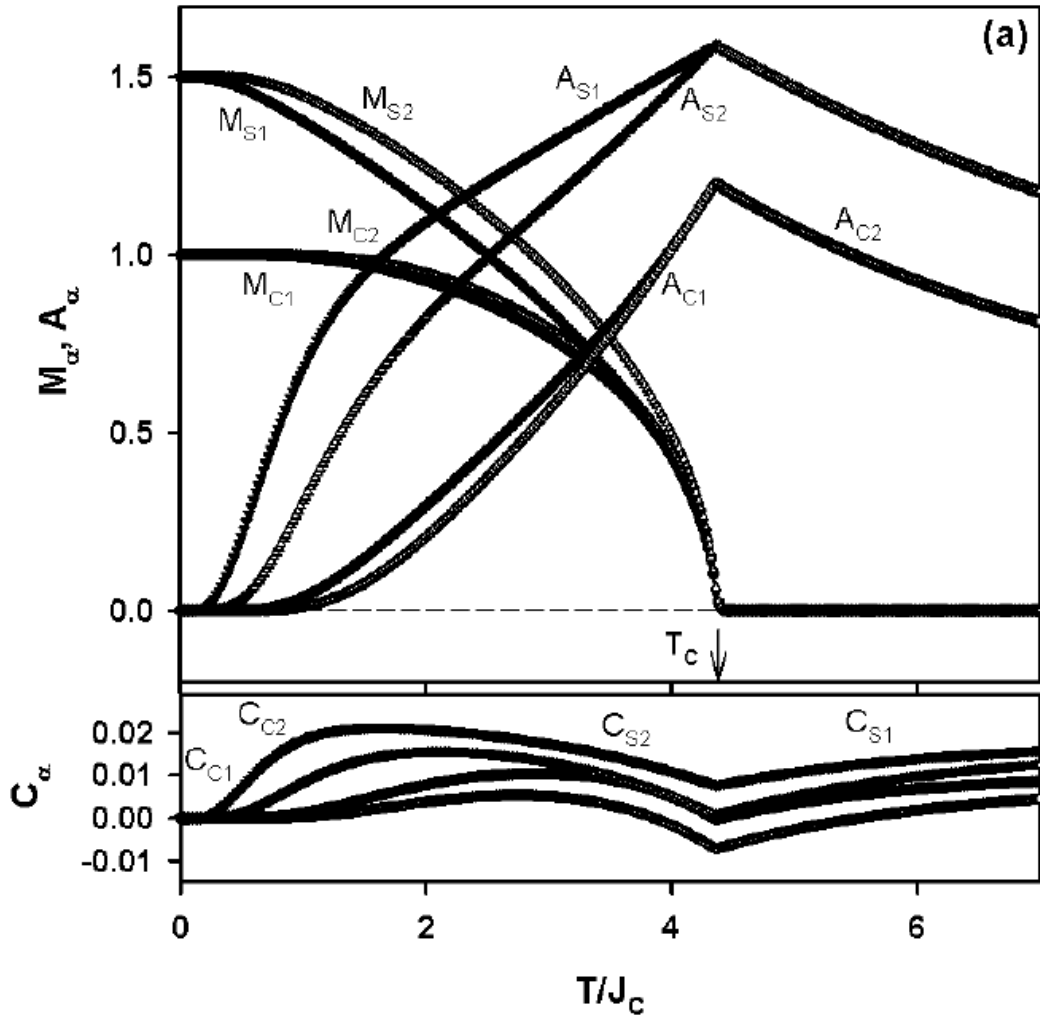
$$C_{\alpha} = \frac{w}{2\pi} \int_0^{2\pi} m_{\alpha}(t) h(t) dt = \frac{wh_0}{2\pi} \int_0^{2\pi} m_{\alpha}(t) \sin(wt) dt. \quad (2.32)$$

Sayısal hesaplamalarda, dinamik histeresis döngü alanları A_{α} 'nın ve dinamik korelasyonların termal değişimi olan C_{α} parametresinin, J_C parametresine bağlı olarak da ölçülebilir. (2.30)-(2.32)deki bu denklemler, Simpson integrasyonu ile Adams-Moulten prediktör düzeltme metodu kullanılarak sayısal olarak öz ve kabuk mıknatıslanmalarının başlangıç koşullarına bağlı olarak çözülecektir. Bir sonraki bölümde bu denklemlerin sayısal sonuçları incelenecektir.

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

Bu alt bölümde, karma spin (1,3/2) Ising nanotel sisteminin sıcaklık değerinin bir fonksiyonu olarak, dinamik alt örgü mıknatıslanmaları (M_a), histeresiz döngü alanlarının (A_a) ve dinamik korelasyonların (C_a) termal değişimini farklı etkileşim parametresi değerleri için incelenecektir. M_a , A_a ve C_a 'nin termal davranışlarını denklemler (2.30)-(2.32) kullanarak dinamik düzen parametrelerinin davranışını etkileşim parametrelerinin farklı değerleri için indirgenmiş sıcaklığın ve indirgenmiş tek-iyon anizotropisinin bir fonksiyonu olarak Adams-Moulton kestirme ve düzeltme metodu ile Romberg integrasyon metodu birleştirilerek incelenecektir. Mevcut olan fazlar arasındaki dinamik faz sınırlarını belirleyebilmemiz için karakterize etmeliyiz. Dinamik düzen parametrelerinin M_a , A_a ve C_a 'nin davranışları etkileşim parametrelerinin farklı değerleri için indirgenmiş sıcaklığın bir fonksiyonu olarak, Adams-Moulton kestirme ve düzeltme metodu ile Romberg integrasyon metodu gibi nümerik metotların birleştirilmesiyle incelenecektir. Fazlar arasındaki dinamik faz sınırlarının ve DFG sıcaklıklarının nasıl elde edildiği Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7 (a) ve (b) ile Şekil 3.8 (a) ve (b)'de gösterilmektedir. Bu şekillerde, T_1 birinci-derece faz geçiş sıcaklığını gösterirken, T_c ise ferrimanyetik ve manyetik olmayan fazlardan paramanyetik faza ikinci-derece faz geçiş sıcaklıklarını göstermektedir.

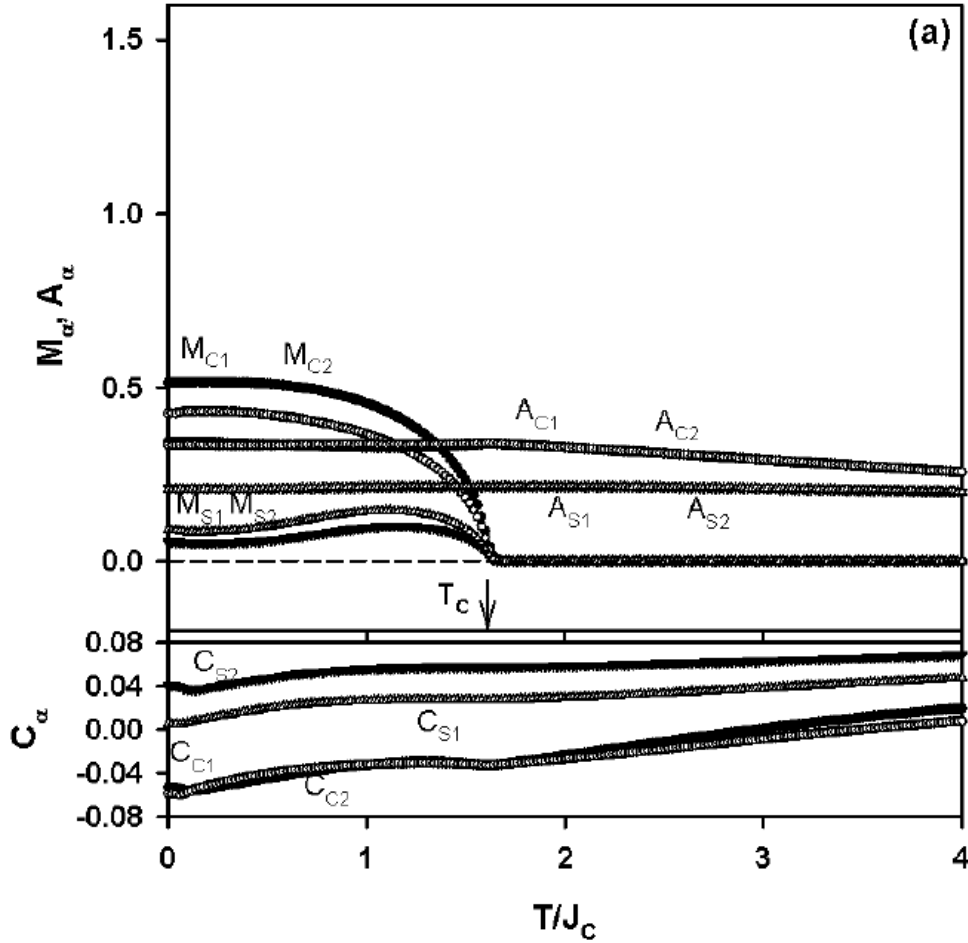
Şekil 3.3, M_α , A_α ve C_α 'nin termal davranışları $\Delta_S = 1.0$, $r = 1.0$, $d = -2.0$ ve $h = 2.0$ değerleri için elde edilmiştir. Bu şekilde, mutlak sıfır sıcaklık değerinde $M_{C1} = M_{C2} = 1.0$ ve $M_{S1} = M_{S2} = 3/2$ iken sıcaklık arttıkça hem öz hemde kabuk mıknatıslanmaları sürekli olarak sıfıra yaklaştığını ve $T_C/J_C = 4.405$ sıcaklığında ferrimanyetik (i_1) fazından paramanyetik (p) faza ikinci-derece faz geçişi meydana geldiği gösterilmektedir. Ayrıca faz geçiş sıcaklığında ($T_C/J_C = 4.405$) histeresisdöngüalanları (A_α) maksimum bir değere sahip olurken dinamik korelasyonlar (C_α) ise minimum bir değere sahip olmaktadır.



Şekil 3.3. $\Delta_S = 1.0$, $r = 1.0$, $d = -2.0$ ve $h = 2.0$ değerleri için M_α , A_α , C_α 'nin sıcaklığa bağlı davranışı. $T_C/J_C = 4.405$, ferrimanyetik (i_1) fazından paramanyetik (p) faza ikinci-derece faz geçiş sıcaklığını göstermektedir.

Şekil 3.4, M_α , A_α ve C_α 'nin termal davranışları $\Delta_S = 0.0$, $r = 1.0$, $d = -3.4$ ve $h = 4.3$ değerleri için elde edilmiştir. Bu şekilde mutlak sıfır sıcaklık değerinde $M_{C1} = M_{C2}$

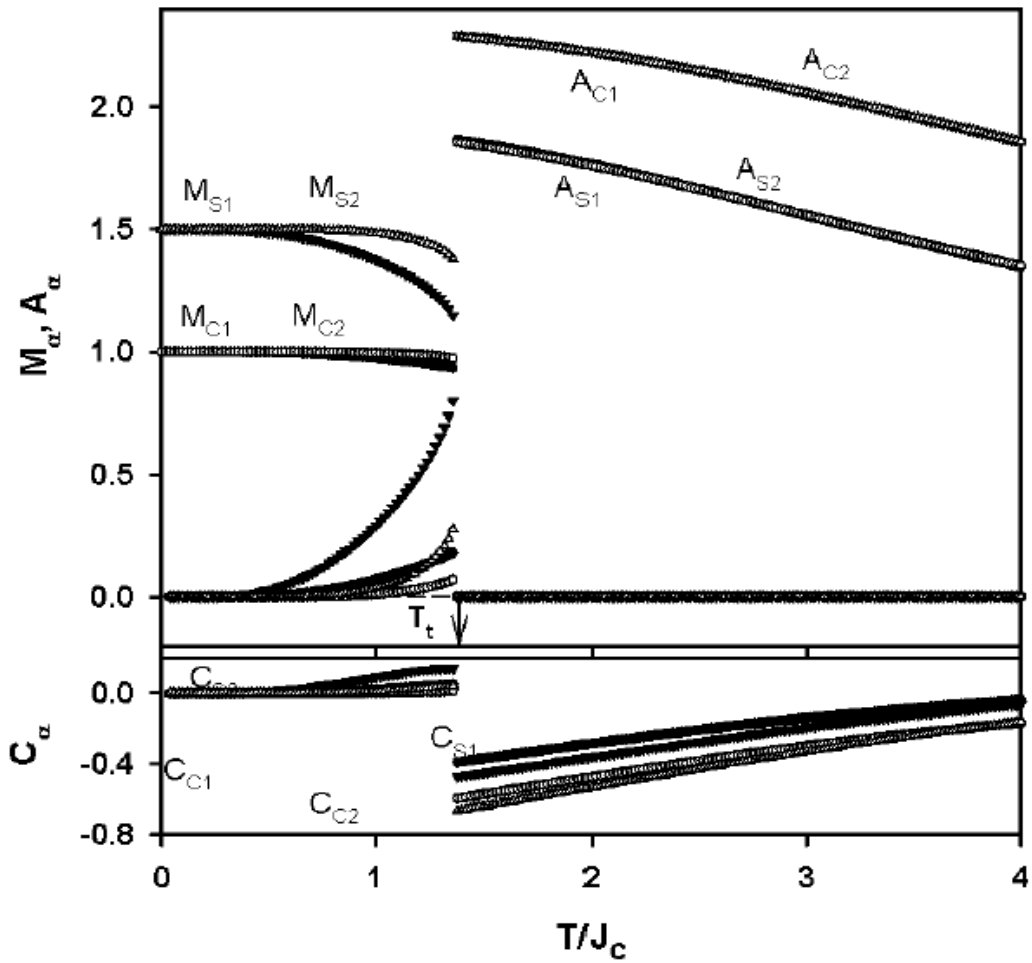
$=0.5$ ve $m_{S1} = m_{S2} = 0.0$ iken sıcaklık arttıkça öz mıknatıslanmaları (M_{C1} ve M_{C2}) sürekli olarak azalarak sıfıra $T_C/J_C=1.645$ değerinde gitmektedir. Burada kabuk mıknatıslanmaları ise herhangi faz geçişi sergilemeyip sürekli sıfır değerindedir. Öz ve kabuk mıknatıslanmalarından anlaşılacağı üzere $T_C/J_C=1.645$ değerinde sistem manyetik olmayan (nm) fazdan paramanyetik (p) faza ikinci-derece faz geçişi göstermektedir. Ayrıca faz geçiş sıcaklığında ($T_C/J_C=1.645$) öz için histeresisdöngüalanı (A_α) maksimum bir değere sahip olurken dinamik korelasyon (C_α) ise minimum bir değere sahip olmaktadır. Kabuk için histeresisdöngüalanları ve dinamik korelasyonlar ise sıfırdan itibaren düzenli bir şekilde artmaktadır, herhangi bir pik veya faz geçiş özelliği sergilememektedir.



Şekil 3.4. $\Delta_S = 0.0$, $r = 1.0$, $d = -3.4$ ve $h = 4.3$ değerleri için M_α , A_α , C_α 'nın sıcaklığa bağlı davranışı. $T_C/J_C=1.645$ manyetik olmayan (nm) fazdan paramanyetik (p) faza ikinci-derece faz geçiş sıcaklığını göstermektedir.

Şekil 3.5'de M_α , A_α ve C_α 'nin termal davranışları $\Delta_S = 0.0$, $r = 1.0$, $d = 1.0$ ve $h = 6.5$ değerleri için modelin $m_{C1}=m_{C2}=1.0$ ve $m_{S1}=m_{S2}=1.5$ başlangıç değerlerinde elde

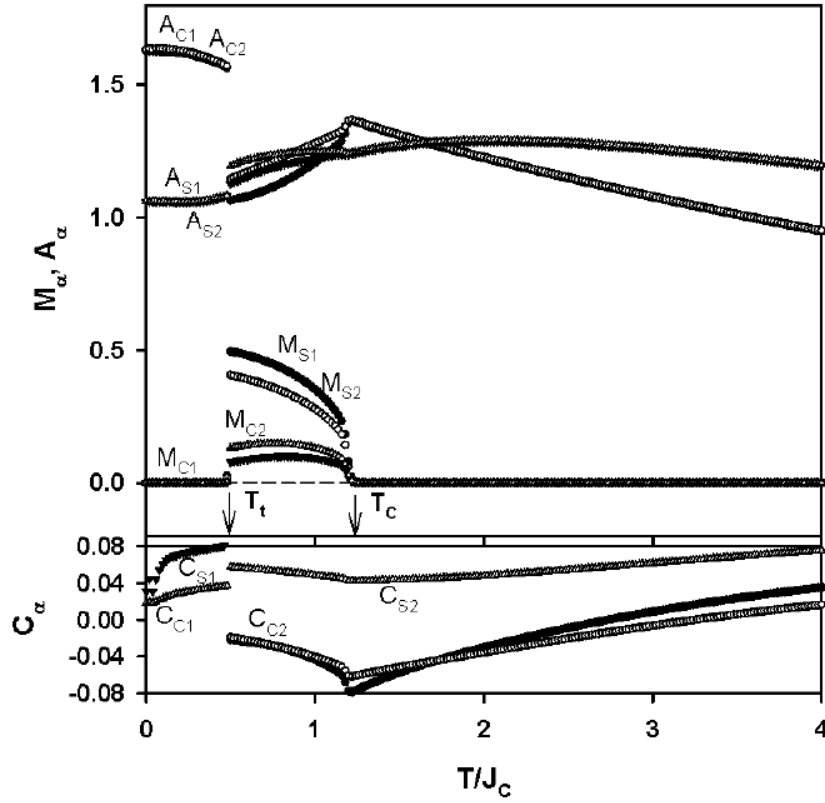
edilmiştir. Bu şekilde mutlak sıfır sıcaklık değerinde $M_{C1} = M_{C2} = 1.0$ ve $M_{S1} = M_{S2} = 1.5$ iken sıcaklık arttıkça öz ve kabuk mıknatıslanmaları $T_t/J_C = 1.375$ sıcaklık değerinde aniden (sürekli) sıfıra inmektedir. Yani $T_t/J_C = 1.375$ sıcaklık değerinde ferrimanyetik-1 (i_1) fazından paramanyetik (p) faza birinci-derece faz geçişi olmuştur. Benzer bir sürekli atlama durumu ($T_t/J_C = 1.375$ sıcaklık değerinde) histeresis döngü alanlarında (A_a) maksimum bir değere, dinamik korelasyonlarda (C_a) ise minimum bir değere meydana gelmiştir.



Şekil 3.5, $\Delta_S = 0.0$, $r = 1.0$, $d = 1.0$ ve $h = 6.5$ değerleri için modelin $m_{C1} = m_{C2} = 1.0$ ve $m_{S1} = m_{S2} = 1.5$ başlangıç değerlerinde M_a , A_a , C_a 'nın sıcaklığa bağlı davranışı. $T_t/J_C = 1.375$ sıcaklık değerinde ferrimanyetik-1 (i_1) fazından paramanyetik (p) faza birinci-derece faz geçişi olmuştur.

Şekil 3.6' de M_a , A_a ve C_a 'nin termal davranışları, $\Delta_S = 0.0$, $r = 1.0$, $d = -3.4$ ve $h = 5.3$ değerleri için modelin $m_{C1} = m_{C2} = 0.0$ ve $m_{S1} = m_{S2} = 0.0$ başlangıç değerlerinde elde

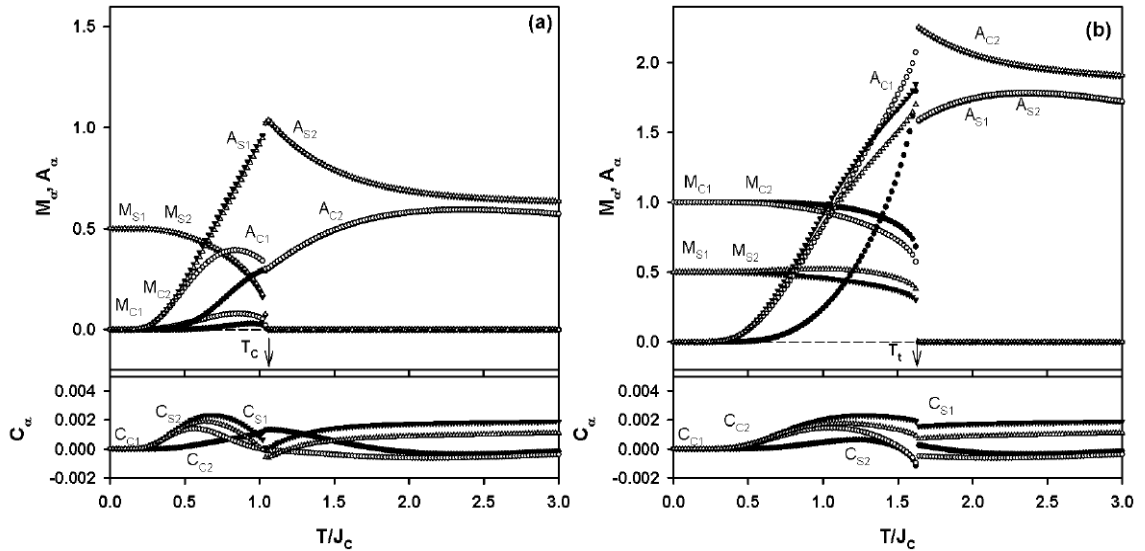
edilmiştir. Bu şekilde mutlak sıfır sıcaklık değerinde $M_{C1} = M_{C2} = 0.0$ ve $M_{S1} = M_{S2} = 0.0$ iken sıcaklık arttıkça yüzey mıknatıslanmalar (M_{S1} ve M_{S2}) $T_t/J_C = 0.495$ değerinde aniden yüksek bir mıknatıslanma değerine gitmektedir. Burada öz mıknatıslanmaları ise ufak bir faz geçişi sergileyip sürekli sıfır değeri etrafında salınmaktadır. Öz ve kabuk mıknatıslanmalarından anlaşılacağı üzere $T_t/J_C = 0.495$ değerinde sistem paramanyetik (p) fazdan manyetik olmayan (nm) faza birinci-derece faz geçişi göstermektedir. Sıcaklık artmaya devam ettiğinde sistem Şekil 3.4'deki davranışı sergileyip $T_C/J_C = 1.225$ değerinde nm fazından p fazında ikinci derece faz geçişi sergilemektedir. Ayrıca faz geçiş sıcaklıklarında ($T_t/J_C = 0.495$ ve $T_C/J_C = 1.225$) A_α sırasıyla minimum pik ve maksimum pik değerlerine sahip olurken C_α sırasıyla maksimum ve minimum değerlere sahip olmaktadır.



Şekil 3.6. $\Delta_S = 0.0$, $r = 1.0$, $d = -3.4$ ve $h = 5.3$ değerleri için M_α , A_α , C_α 'nın sıcaklığa bağlı davranışı. $T_t/J_C = 0.495$ ve $T_C/J_C = 1.225$ sıcaklık değerlerinde sistem sırasıyla p fazından nm fazına birinci derece ve nm fazından p fazına ikinci derece faz geçişleri sergilemektedir.

Şekil 3.7 (a) ve Şekil 3.7 (b) M_α , A_α ve C_α 'nin termal davranışları $\Delta_S = 0.0$, $r = 1.0$, $d = -3.5$ ve $h = 0.75$ değerleri ve sistemin farklı başlangıç değerleri için elde edilmiştir. Şekil

3.6 (a)'da elde edilen davranış sistemin $m_{C1}=m_{C2}=0.0$ ve $m_{S1}=m_{S2}=0.0$ başlangıç değerleri için elde edilmiştir. Şekil3.7 (a) mutlak sıfır sıcaklık değerinde $M_{C1} = M_{C2} = 0.0$ ve $M_{S1} = M_{S2} = 0.5$ iken sıcaklık arttıkça kabuk mıknatıslanması sürekli olarak sıfıra yaklaşırken ve $T_C/J_C = 1.045$ değerinde ikinci derece faz geçişi vermiştir. Bu durumda sistemde nm fazından p fazına ikinci derece faz geçişi meydana gelmiştir. Buradaki faz geçiş değerlerinde histeresis loop alanları maksimum pik, korelasyonlar ise minimum değer vermektedir. Sıcaklık arttıkça sistemde başka faz geçişi meydana gelmemiş ve hep p fazı mevcuttur. Şekil 3.7 (b) ise aynı değerler için fakat farklı başlangıç değerleri ($m_{C1}=m_{C2}=1.0$ ve $m_{S1}=m_{S2}=1.5$) için elde edilmiştir. Bu durumda elde edilen davranış Şekil 3.4'e yapısal olarak benzemektedir, ancak sistemin mn fazından p fazına birinci derece faz geçiş sıcaklığı $T_I/J_C = 1.64$ olarak elde edilmiştir. Şekil 3.7 (a) ve Şekil 3.7 (b) aynı sistem parametreleri için elde edildiğinden (sadece başlangıç değerleri farklı) beraber dikkatlice incelendiğinde sistemde $T_C/J_C = 1.045$ değerine kadar karma i_2+nm fazı mevcutken, $T_C/J_C = 1.045$ ile $T_I/J_C = 1.64$ arasında karma i_2+p fazı, $T_I/J_C = 1.64$ 'den büyük değerler için p fazı mevcuttur.



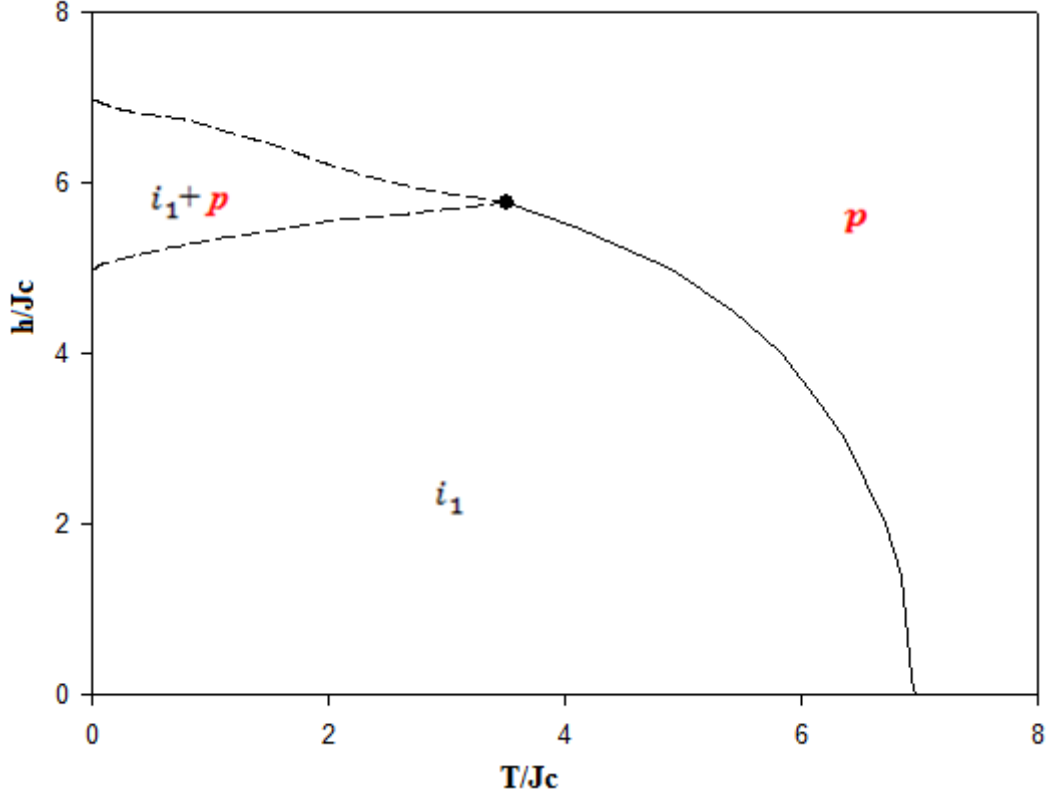
Şekil 3.7. $\Delta_S = 0.0$, $r = 1.0$, $d = -3.5$ ve $h = 0.75$ değerleri için M_α , A_α ve C_α 'nin termal davranışları. (a) $m_{C1}=m_{C2}=0.0$, $m_{S1}=m_{S2}=0.0$ başlangıç değerleri, (b) $m_{C1}=m_{C2}=1.0$, $m_{S1}=m_{S2}=1.5$ başlangıç değerleri için elde edilmiştir. $T_C/J_C = 1.045$ değerine kadar karma i_2+nm fazı mevcutken, $T_C/J_C = 1.045$ ile $T_I/J_C = 1.64$ arasında i_2+p fazı, $T_I/J_C = 1.64$ 'den büyük değerler için p fazı mevcuttur.

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

Önceki bölümde elde edilen dinamik faz geçiş (DFG) sıcaklıklarından yararlanılarak artık sistemin dinamik faz diyagramlarını (T/J_C, h/J_C) düzleminde sunabiliriz. Bu bölümde etkileşim parametreleri, yüzeyler arası etkileşim parametresi (r), yüzey değişim etkileşim parametresi (Δ_s) ve kristal alan (d)'nin farklı değerleri için (T/J_C, h/J_C) düzlemindeki dinamik faz diyagramları şekillerle ifade edilecektir. Böylece (T/J_C, h/J_C) düzlemindeki faz diyagramlarına etkileşim parametrelerinin etkisi 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; E kritik son noktayı ve QP dinamik dördüncü noktayı temsil etmektedir. Elde edilen faz diyagramlarının özellikleri ile etkileşim parametrelerinin dinamik faz diyagramları üzerindeki etkisi aşağıdaki gibi sunulmuştur. Bu faz diyagramları:

i) (T/J_C, h/J_C) düzleminde $r = 1.0$, $\Delta_s = 0.0$ ve $d = 1.0$ değerleri için elde edilen faz diyagramı Şekil 3.8'de verilmiştir. 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-1 (i₁) faz mevcuttur. Bu iki bölge arasındaki dinamik faz sınırı, $i_1 \rightarrow p$ ye ikinci-derece faz geçiş çizgisidir. Ayrıca indirgenmiş sıcaklık ve manyetik alan genliğinin belirli değerlerinde i₁ ve p fazının birlikte bulunduğu karma i₁+p fazı bulunmaktadır. Karma i₁+p fazı, i₁ fazı ve p fazından birinci-derece faz geçiş çizgileriyle ayrılmıştır. Bu iki birinci-derece faz geçiş çizgileri birbirine yaklaşarak 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 üçlü kritik nokta görülmektedir. Dinamik üçlü kritik nokta içi dolu küre ile ifade edilmektedir. Bu faz diyagramlarına benzer faz diyagramları daha önce kinetik spin-1/2 [37], (bu sistemde i fazı yerine ferromanyetik (f) faz gelmektedir), spin-1 [59-61], (bu çalışmalar da i fazının yerine f fazı gelmektedir), spin-3/2 [62-64], (bu çalışmada i fazının yerine ferromanyetik-3/2 (f_{3/2}) fazı gelmektedir), spin-2 [65, 66], (bu çalışmalar da i fazı yerine ferromanyetik-2 (f₂) fazı gelmektedir) Ising sistemlerinde elde edilmiştir. Yine bu faz diyagramının benzeri faz diyagramı karma spin (1/2, 1) [67, 68], karma spin (1, 3/2) [69], karma spin (1/2, 2) [70], karma spin (1, 5/2) [71], karma spin (3/2, 2) [72], karma spin (1, 2) [73], karma

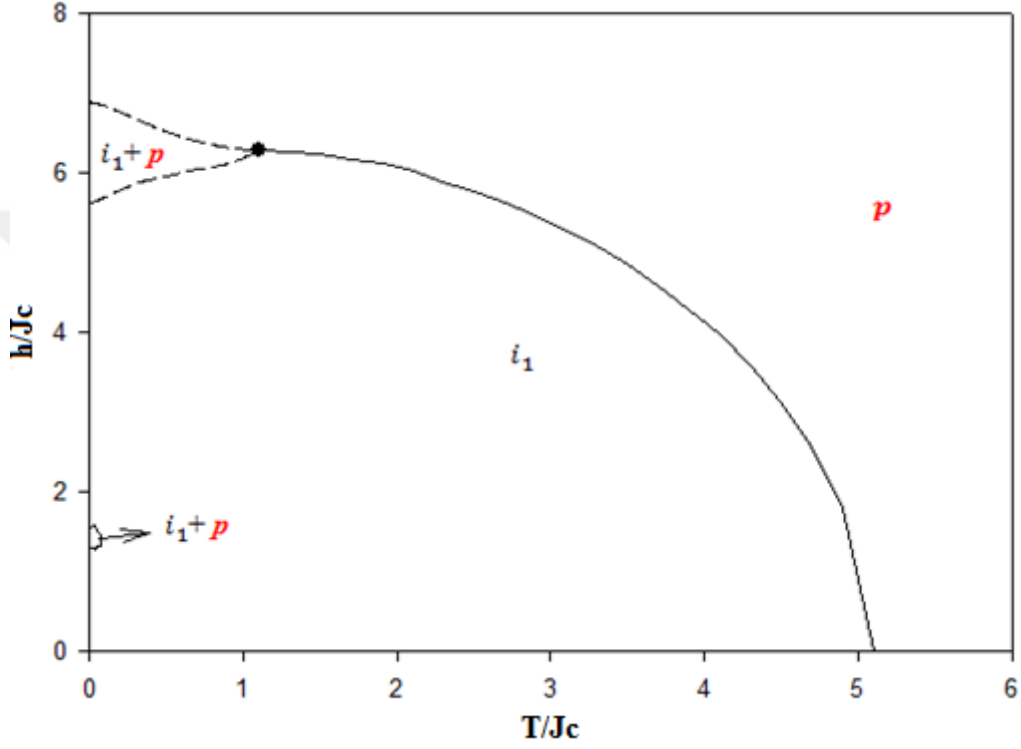
spin (1/2, 3/2) [74], spin (1/2, 5/2) [75], ve karma spin (3/2, 5/2) [76], Ising modellerinde de elde edilmiştir.



Şekil 3.8. Karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sisteminde $d= 1.0$ değeri için $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

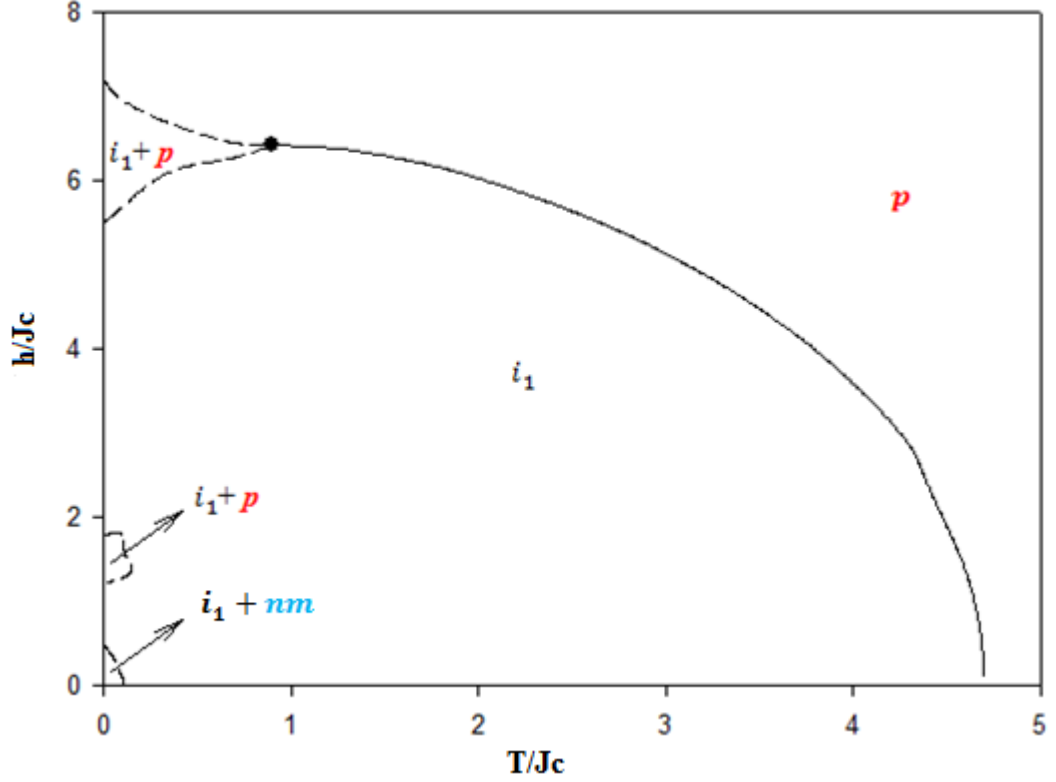
ii) $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde $r=1.0$, $\Delta_s=0.0$ ve $d=-1.7$ değerleri için elde edilen faz diyagramı Şekil 3.9'da verilmiştir. Bu faz diyagramında; sistemdeki paramanyetik (p) faz, yüksek sıcaklıkta (T) ve yüksek manyetik alan genliği (h) değerlerinde mevcuttur. Ferrimanyetik-1 (i_1) faz ise indirgenmiş sıcaklık (T) ve manyetik alan genliği (h)'nin düşük değerlerinde sistemde mevcuttur. $i_1 \rightarrow p$ 'ye ikinci-derece faz geçiş çizgisi, bu iki bölge arasındaki dinamik faz sınırını oluşturmaktadır. Ayrıca sistemde i_1 fazı ve p fazından birinci-derece faz geçiş çizgileriyle ayrılan karma $i_1 + p$ fazı bulunmaktadır. Karma $i_1 + p$ fazı, indirgenmiş sıcaklık ve manyetik alan genliğinin belirli değerlerinde i_1 ve p fazının birlikte bulunduğu durumu ifade etmektedir. Birinci-derece i_1 ve p fazlarının sistemde birbirine yaklaşıyor birleşmesi ile birinci-derece faz

geçiş çizgileri son bulmakta ve ikinci-derece faz geçiş çizgisi meydana gelmektedir. Ayrıca Şekil 3.9 yapısal olarak Şekil 3.8'e benzemektedir, ancak sıcaklığın düşük ve dış manyetik alanın belirli değerlerinde sistemde karma $i+p$ fazı ortaya çıkmaktadır. Temel fazlar birbirinden ikinci derece faz geçiş sıcaklıkları ile ayrılırken, karma fazlar temel fazlardan birinci derece faz geçiş sıcaklıkları ile ayrılmaktadır.



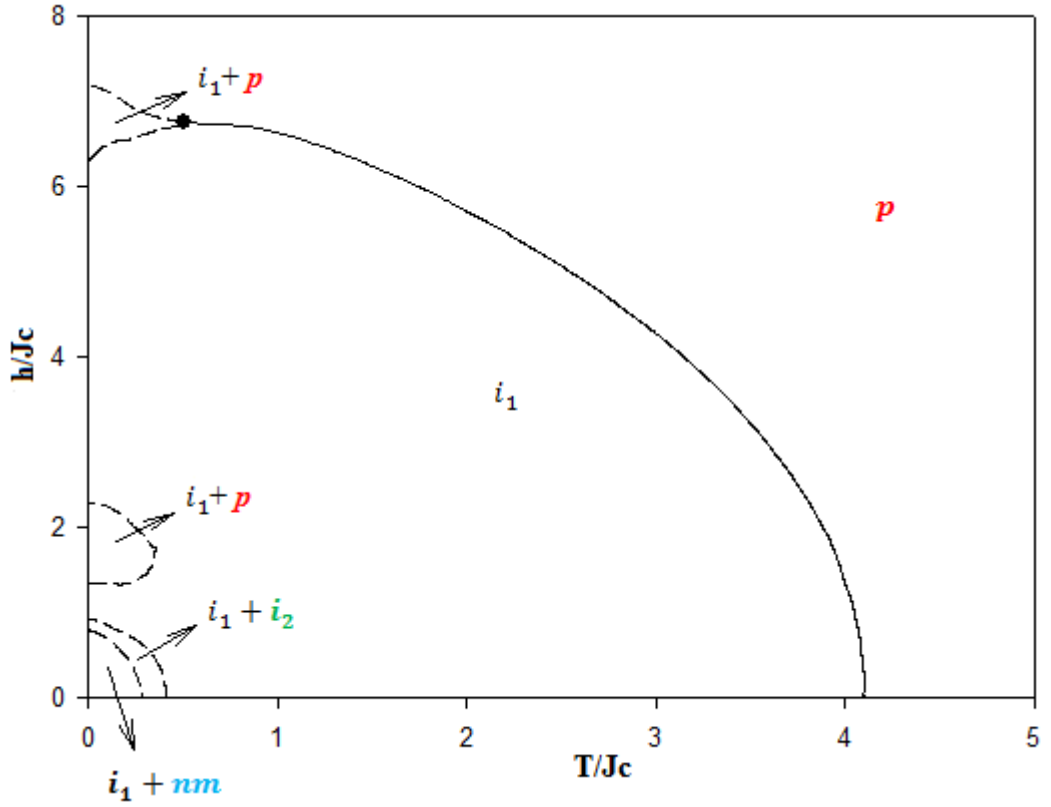
Şekil 3.9. Karma spin $(1, 3/2)$ Ising nanotel sisteminde $d = -1.7$ değeri için $(T/J_c, h/J_c)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

iii) $(T/J_c, h/J_c)$ düzleminde $r=1.0$, $\Delta_s=0.0$ ve $d=-2.0$ değerleri için elde edilen faz diyagramı Şekil 3.10'da verilmiştir. Bu faz diyagramı yapısal olarak Şekil 3.9'a benzemektedir. Ancak çok düşük sıcaklık ve manyetik alan değerlerinde sistemde yeni bir karma $i_1 + nm$ fazı meydana gelmektedir. Karma $i_1 + nm$ fazı ile i_1 fazı arasındaki dinamik faz sınırı, birinci derece faz geçişidir.



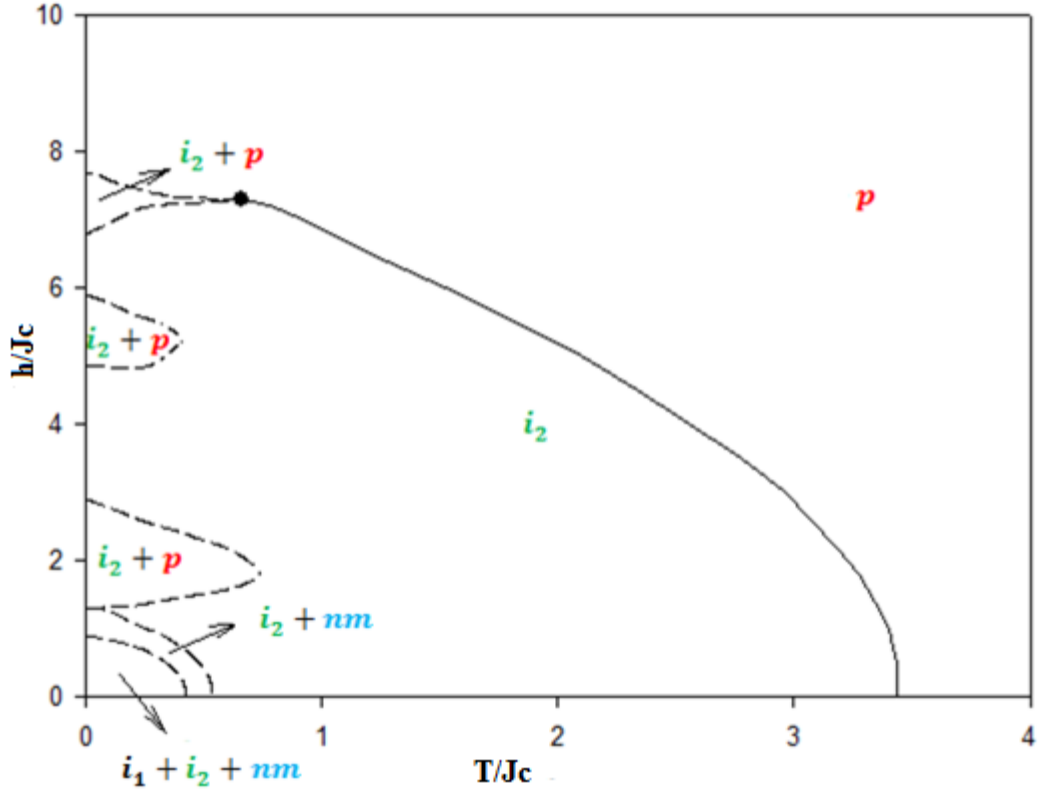
Şekil 3.10. Karma spin $(1, 3/2)$ Ising nanotel sisteminde $d=-2.0$ değeri için $(T/J_c, h/J_c)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

iv) $(T/J_c, h/J_c)$ düzleminde $r=1.0$, $\Delta_s=0.0$ ve $d=-2.5$ değerleri için elde edilen faz diyagramı Şekil 3.11’de verilmiştir. Bu faz diyagramında düşük sıcaklık ve manyetik alan değerlerinde yeni bir $i_1 + i_2$ karma faz bölgesi gözlenmeye başlanmaktadır. Karma $i_1 + nm$, $i_1 + p$ fazları ile i_1 fazı arasındaki dinamik faz sınırı, birinci-derece faz geçişidir. Tek-iyon anizotropisinin negatif değerlerinde ferrimanyetik fazın küçülüp, karma $i_1 + nm$, $i_1 + p$ faz bölgelerinin büyümeye başladığı gözlemlenmiştir.



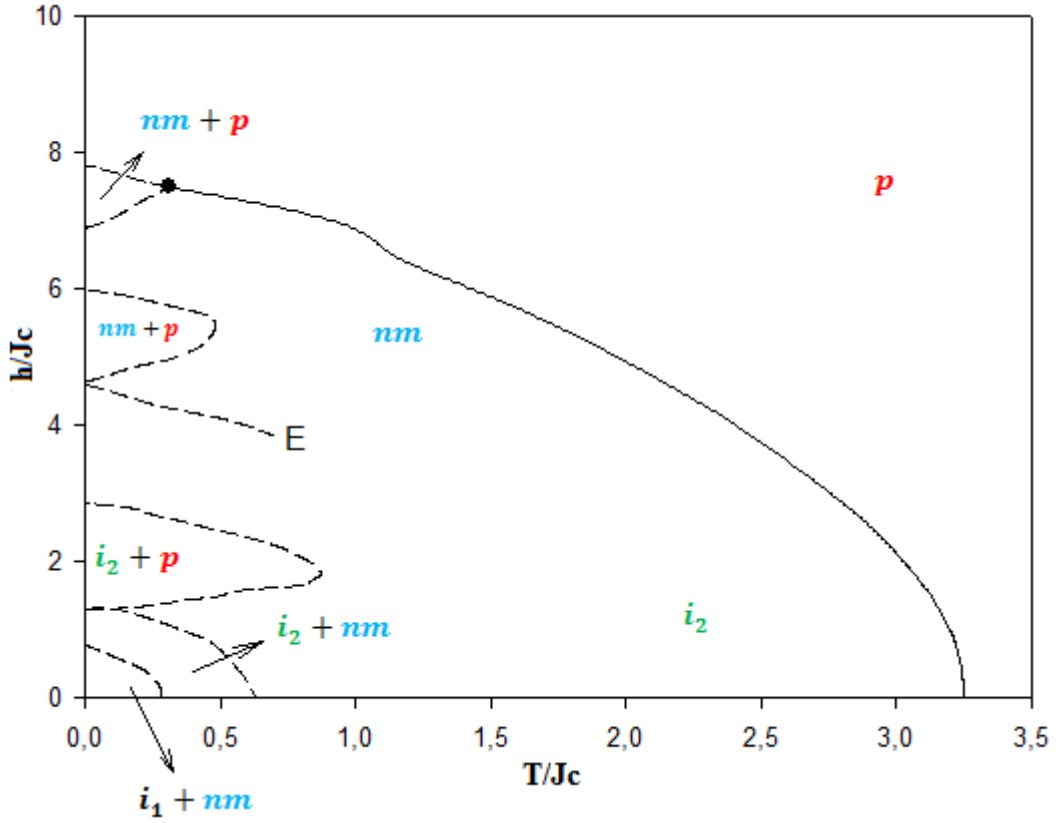
Şekil 3.11. Karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sisteminde $d=-2.5$ değeri için $(T/J_c, h/J_c)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

v) $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde $r=1.0$, $\Delta_s=0.0$ ve $d=-3.0$ değerleri için elde edilen faz diyagramı Şekil 3.12’de verilmiştir. Tek-iyon anizotropisinin negatif değerlerine gidildikçe faz diyagramlarındaki ferrimanyetik fazın daha da küçüldüğü ve karma fazların büyümeye devam ettiği gözlemlenmiştir. Sistemde bulunan düşük sıcaklık ve manyetik alan değerlerinde yeni bir karma i_1+i_2+nm fazı meydana gelmektedir. Bu faz diyagramındaki karma fazlar arasındaki ve diğer karma fazların i_2 fazı arasındaki dinamik faz geçiş sınırı, birinci-derece faz geçişidir. Üçlü karma fazın meydana gelme nedeni kristal alanın negatif yüksek değerlerine çıkıldıkça karma i_1+nm ve i_1+i_2 faz bölgelerinin büyüyerek birbiri içine yerleşmesidir.



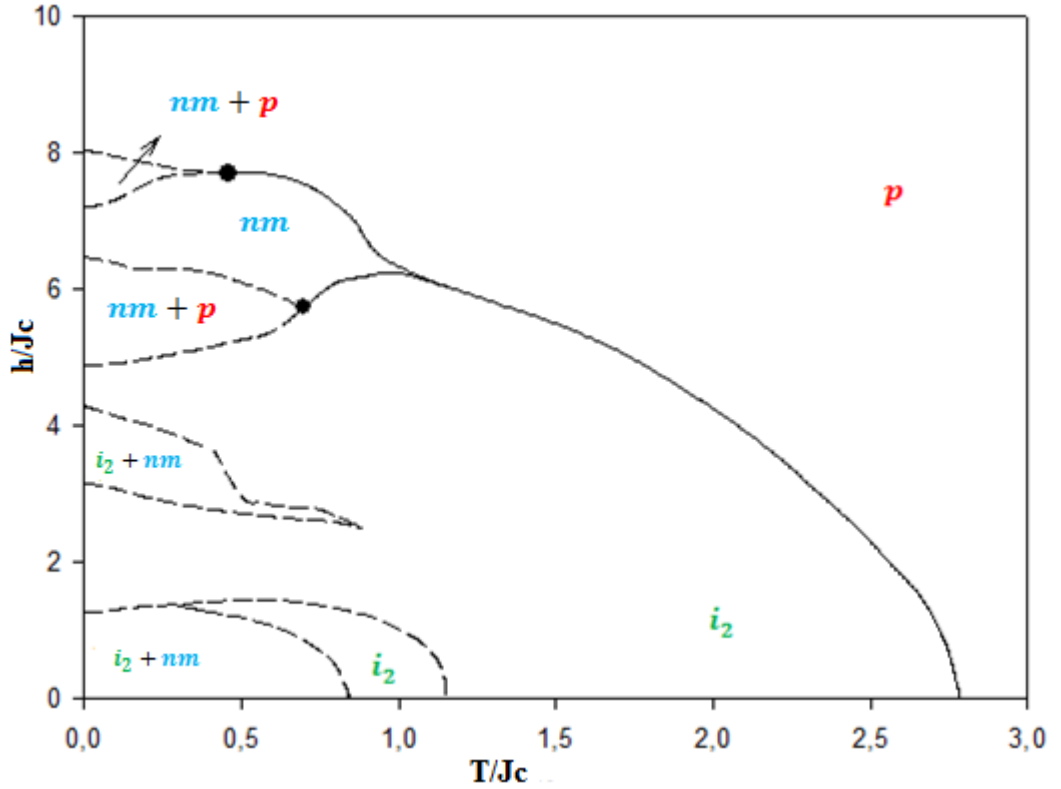
Şekil 3.12. Karma spin $(1, 3/2)$ Ising nanotel sisteminde $d=-3.0$ değeri için $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

vi) $(T/J_c, h/J_c)$ düzleminde $r=1.0$, $\Delta_s=0.0$ ve $d=-3.1$ değerleri için elde edilen faz diyagramı Şekil 3.13’de verilmiştir. Ferrimanyetik (i_2) faz ise düşük sıcaklık (T) ve manyetik alan genliği (h)’nin düşük değerlerinde sistemde mevcuttur. İndirgenmiş sıcaklık (T) ve manyetik alan genliği (h)’nin yüksek değerlerinde sistemde nonmanyetik (nm) faz mevcuttur. Sistemde belirli manyetik alan değerlerinde yeni $nm+p$ karma faz bölgeleri gözlenmeye başlanmaktadır. Tek-iyon anizotropisinin negatif etkisi arttığında, üçlü karma i_1+i_2+nm fazı karma i_1+nm ve i_2+nm fazı olarak ayrıştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca sistemdeki i_2 ve nm fazlarını ayıran birinci derece faz geçiş çizgileri dinamik kritik son noktada (E) son bulmaktadır.



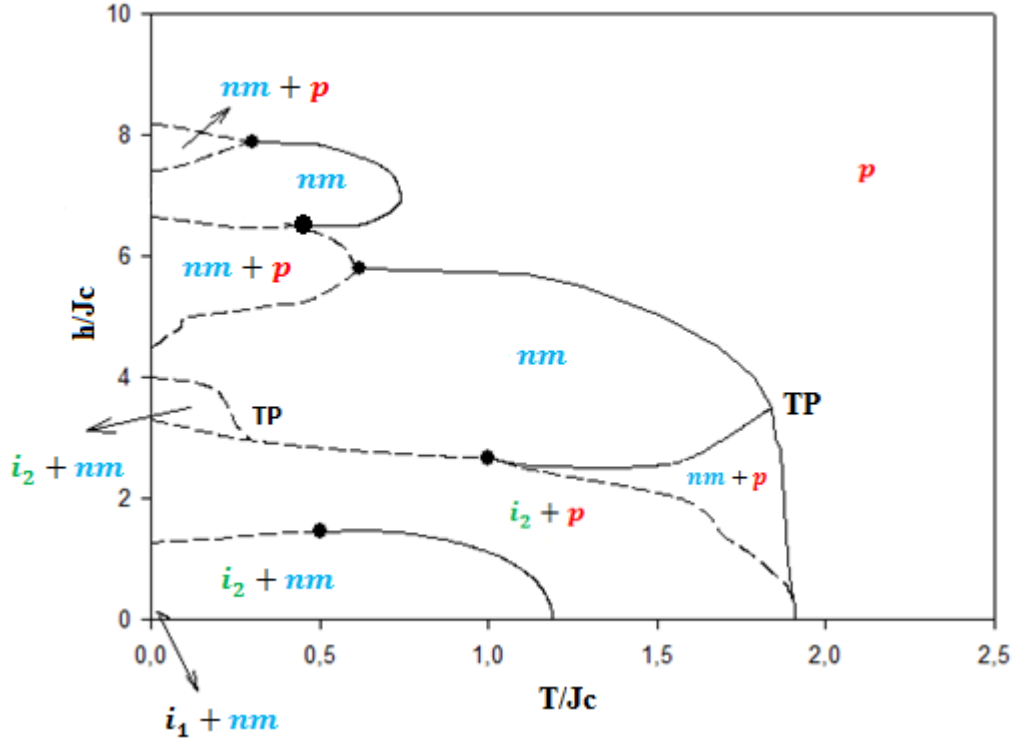
Şekil 3.13. Karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sisteminde $d=-3.1$ değeri için $(T/J_c, h/J_c)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

vii) $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde $r=1.0$, $\Delta_s=0.0$ ve $d=-3.3$ değerleri için elde edilen faz diyagramı Şekil 3.14’de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi bu faz diyagramı oldukça ilginç davranış sergilemektedir. Bu faz diyagramı Şekil 3.13’e benzemekle birlikte kristal alan değerinin artmasıyla birlikte düşük sıcaklık ve belirli dış manyetik alan değerlerindeki $nm+p$ bölgesi büyümüş ve düzensiz bölgenin sınırına birleşmiştir. Bu durumda sistemde temel i_2 , nm ve p fazlarının yanında, $nm+p$, i_2+p , i_2+nm , karma faz bölgeleri mevcuttur. Tek-iyon anizotropisinin negatif değerlerine gidildikçe faz diyagramlarındaki ferrimanyetik (i_2) ve nonmanyetik (nm) fazın küçüldüğü ve karma fazlarının bazılarının kaybolup bazılarının büyümeye devam ettiği gözlemlenmiştir.



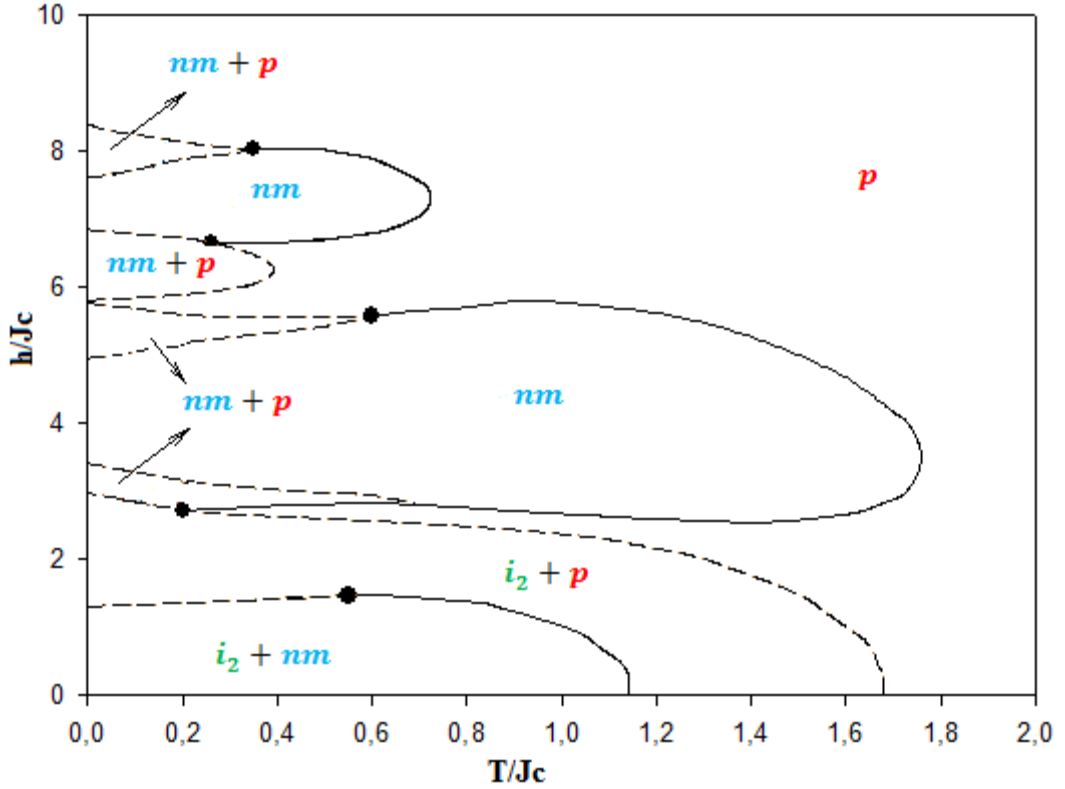
Şekil 3.14. Karma spin $(1, 3/2)$ Ising nanotel sisteminde $d=-3.3$ değeri için $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

viii) $(T/J_c, h/J_c)$ düzleminde $r=1.0$, $\Delta_s=0.0$ ve $d=-3.4$ değerleri için elde edilen faz diyagramı Şekil 3.15'te verilmiştir. Sisteme etkileyen kristal alanın daha fazla büyümesiyle karma faz bölgelerinin büyüdüğü (i_1+nm karma faz bölgesi kristal alanın büyümesiyle küçülüp i_2+nm bölgesi büyümüştür) ve beş farklı üçlükritik nokta, iki farklı üçlü nokta (TP) meydana gelmiştir.



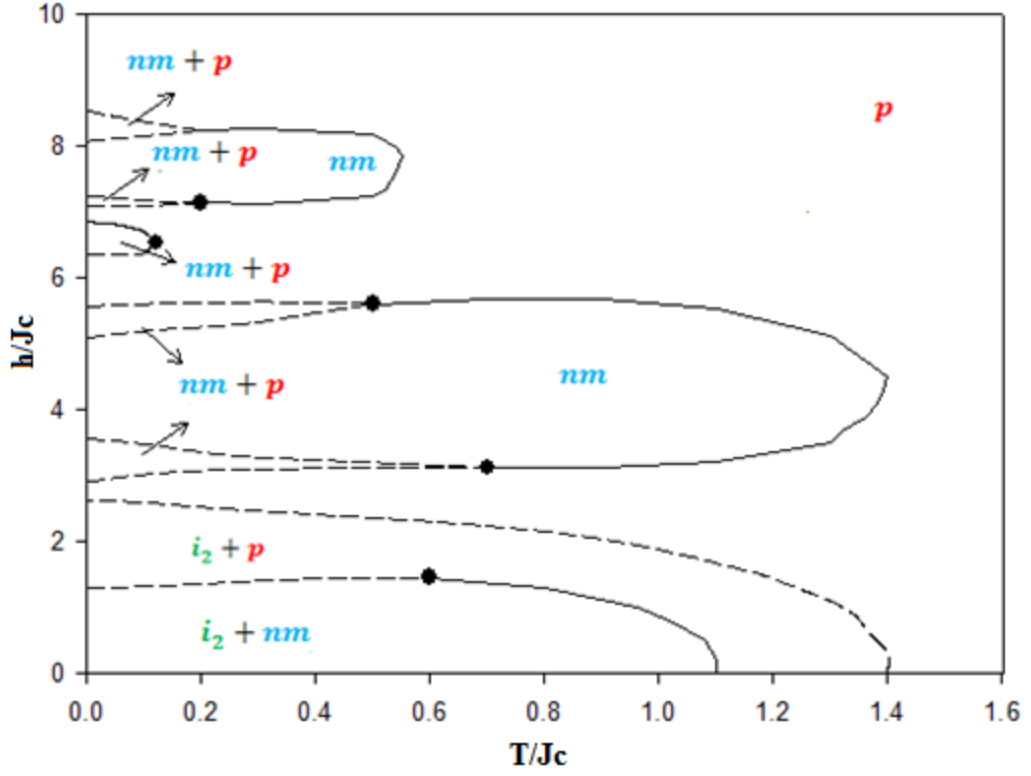
Şekil 3.15. Karma spin $(1, 3/2)$ Ising nanotel sisteminde $d=-3.4$ değeri için $(T/J_c, h/J_c)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

ix) $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde $r=1.0$, $\Delta_s=0.0$ ve $d=-3.5$ değerleri için elde edilen faz diyagramı Şekil 3.16'da verilmiştir. Bu faz diyagramında kristal alanın etkisinin iyice artmasından dolayı sistemde sadece iki temel nm ve p faz bölgeleri ve karma i_2+p , i_2+nm , ve $nm+p$ faz bölgeleri mevcuttur. Sistemdeki nonmanyetik (nm) faz bölgeleri ile paramanyetik (p) fazı arasındaki dinamik faz sınırı ikinci-derece faz geçiş çizgisiyle birbirinde ayrılırken diğer fazlar arasındaki dinamik faz sınırları, birinci-derece faz geçiş çizgileridir. Ayrıca i_2+nm ile i_2+p karma faz bölgeleri arasındaki dinamik faz geçiş sınırı düşük sıcaklıklarda birinci-derece, yüksek sıcaklıklarda ise ikinci-derece faz geçiş çizgileriyle birbirinden ayrılmıştır.



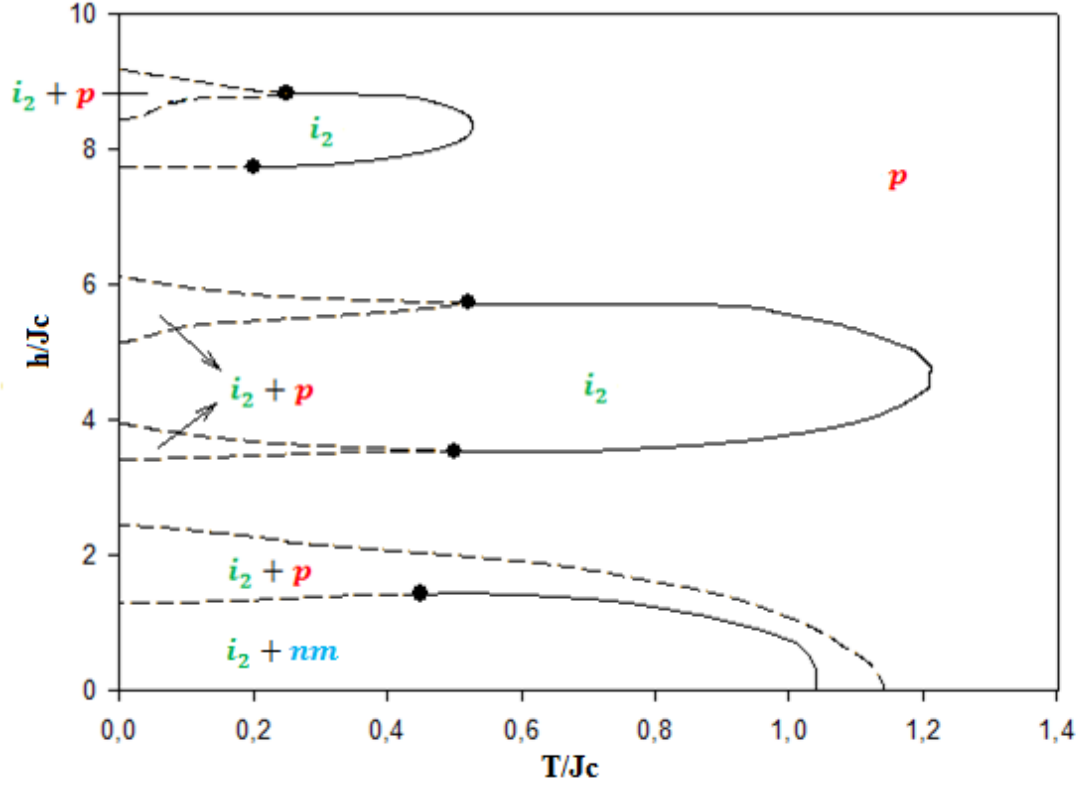
Şekil 3.16. Karma spin $(1,3/2)$ Ising nanotel sisteminde $d=-3.5$ değeri için $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

x) $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde $r=1.0$, $\Delta_s=0.0$ ve $d=-3.7$ değerleri için elde edilen faz diyagramı Şekil 3.17’de verilmiştir. Bu faz diyagramı Şekil 3.16’a elde edilen faz diyagramına benzemekle birlikte karma ve temel faz bölgeleri küçülmeye başlamıştır. Sistemdeki p bölgesi düşük sıcaklık bölgelerinde gözlemlenmeye başlanmıştır.



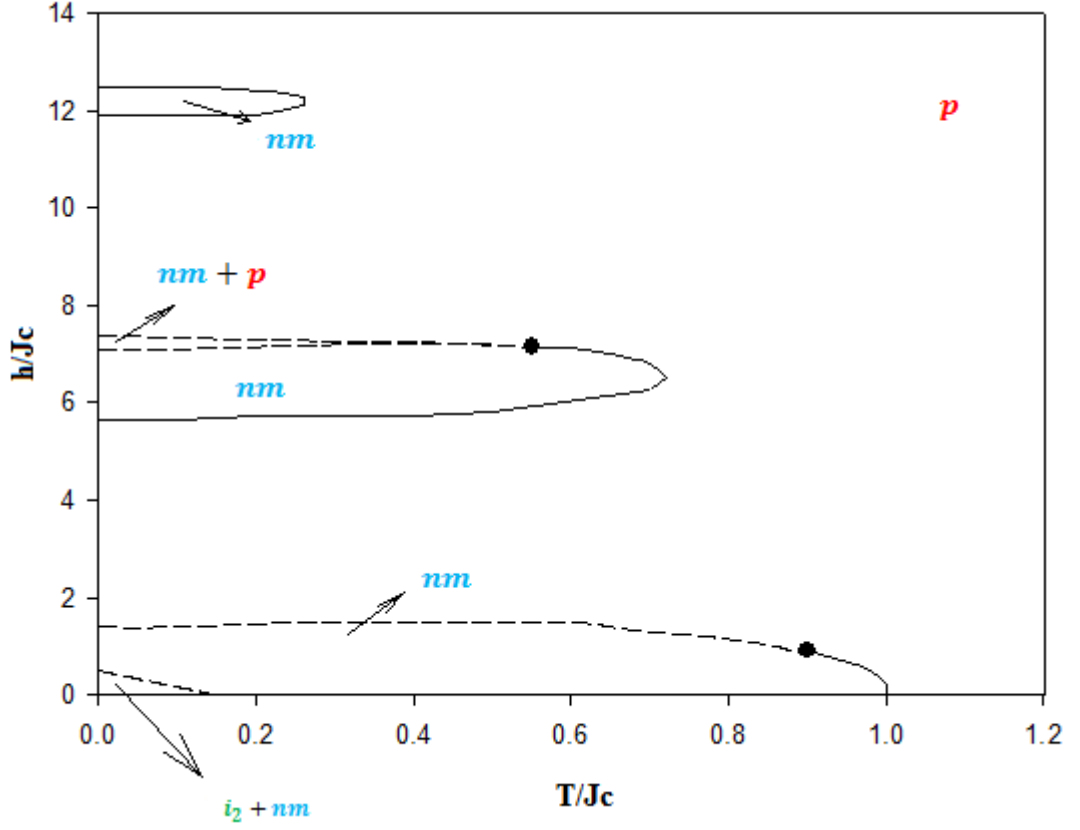
Şekil 3.17. Karma spin $(1, 3/2)$ Ising nanotel sisteminde $d=-3.7$ değeri için $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

xi) $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde $r=1.0$, $\Delta_s=0.0$ ve $d=-4.0$ değerleri için elde edilen faz diyagramı Şekil 3.18’de verilmiştir. Bu faz diyagramı Şekil 3.17’ye benzemektedir, ancak farkı düşük sıcaklık ve yüksek dış manyetik alan değerlerinde oluşan $nm+p$ karma faz bölgesi kristal alanının etkisiyle kaybolmuştur.



Şekil 3.18. Karma spin $(1, 3/2)$ Ising nanotel sisteminde $d = -4.0$ değeri için $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

xii) $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde $r=1.0$, $\Delta_s=0.0$ ve $d=-6.0$ değerleri için elde edilen faz diyagramı Şekil 3.19'da verilmiştir. Bu faz diyagramı Şekil 3.18'ye benzemektedir, ancak karma faz bölgelerinin çoğu kristal alanının etkisiyle kaybolmuştur. Ayrıca belirtmelidir ki tek-iyon anizotropisinin negatif daha yüksek değerlerinde elde edilen tüm faz diyagramları bu faz diyagramına yapısal olarak benzemektedir.



Şekil 3.19. Karma spin $(1, 3/2)$ Ising nanotel sisteminde $d=-6.0$ değeri için $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

BÖLÜM 4

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında silindirik nanotel sistemi Ising modeli ile tanımlanarak yakın komşu etkileşmelerini, kristal alan (tek-iyon anizotropi) etkileşimi ve zamana bağlı dış manyetik alan terimini içeren silindirik karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sisteminin dinamik davranışları ortalama-alan yaklaşıklığı ve Glauber-tipi stokastik dinamik kullanılarak detaylıca incelendi.

Zamana bağlı salınımlı dış manyetik alan varlığında karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sistemi için sistemin dinamik davranışlarını açıklayan ortama alan (OA) dinamik denklemlerini elde etmek için Glauber dinamiği ve master denklemlerinden yararlanıldı. Karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sistemi Glauber- tipi stokastik dinamiğe göre birim zamanda $1/\tau$ oranında değişim gösterdiği ortalama-alan dinamik denklemler denklemleri elde edildi. Öncelikle sistemde var olan fazları bulmak için sistemin dinamik denklemlerinden (denklem (2.14), (2.25), (2.26) ve (2.27)) 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 sistemdeki mevcut temel faz bölgeleri paramanyetik (p), ferrimanyetik-1 (i_1), ferrimanyetik-2 (i_2), manyetik olmayan (nm) temel fazlarına karşılık gelen çözümler Şekil 3.1’de gösterildi. Bu temel fazların yanında temel fazların birlikte olduğu $i_1 + i_2$, $i_1 + p$, $i_2 + p$, $i_1 + nm$, $i_2 + nm$, $nm + p$ ve $i_1 + i_2 + p$ yedi karma faz bölgeleri gözlemlendi. Şekil 3.1.(a)’da yalnızca simetrik çözüm elde edildi ve bundan dolayı sistemde sadece paramanyetik (p) faz mevcut olduğu görüldü. Bu durumda $m_c(\xi)$ ve $m_s(\xi)$ birbirine eşittir ve sıfır değeri civarında salınırlar ve dış manyetik alanla uyum içinde olduğu görüldü. ($m_c(\xi) = m_s(\xi) = 0$). Şekil 3.1.(b)’de $m_s(\xi) = \pm 1/2$ değerleri etrafında salınırken $m_c(\xi) = 0$ sıfır etrafında salınır. Bundan dolayı sistemde manyetik olmayan (nm) faz elde edilmiştir. Şekil 3.1.(c) ve Şekil 3.1.(d)’de simetrik olmayan çözümler elde edilmiştir. Şekil 3.1.(c)’de $m_c(\xi) = \pm 1.0$ civarında salınırken ve $m_s(\xi) = \pm 3/2$ değeri etrafında salınırlar, bu durumda sistemde ferrimanyetik (i_1) faz mevcuttur. Şekil 3.1.(d)’de $m_c(\xi) = \pm 1.0$ civarında salınırken ve

$m_s(\xi) = \pm 1/2$ değeri etrafında salınırlar, bu durumda sistemde ferrimanyetik (i_2) faz mevcuttur. Bu çözümler başlangıç değerlerine bağlı değildir.

Şekil 3.2. ile gösterilen çözümlerde sistemdeki mevcut yedi farklı karma faz bölgesi mevcuttur. Bunlardan Şekil 3.2. (a)'de iki farklı çözüm elde edilmiştir ve sistemde i_1 ve i_2 fazları bir arada bulunmaktadır. İlk çözüm de $m_c(\xi) = \pm 1.0$ civarında salınırken ve $m_s(\xi) = \pm 3/2$ değeri etrafında salınırlar, bu durumda sistemde ferrimanyetik-1 (i_1) faz gözlenmiştir. İkinci çözümde ise $m_c(\xi) = \pm 1.0$ civarında salınırken ve $m_s(\xi) = \pm 1/2$ değeri etrafında salınırlar, bu durumda sistemde ferrimanyetik-2 (i_2) faz gözlenmiştir. Bu iki çözümden dolayı sistemde $i_1 + i_2$ karma fazı bulunduğu gözlenmiştir. Şekil 3.2.(b)'de yine iki farklı çözüm elde edilmiştir ama bu sefer sistemde i_1 ve p fazları bir arada bulunmaktadır. Buradaki ilk çözüm de ortalama mıknatıslanmalar $m_c(\xi) = \pm 1.0$ civarında salınırken, $m_s(\xi) = \pm 3/2$ değeri etrafında salınırlar, bu durumda sistemde ferrimanyetik-1 (i_1) faz mevcuttur. İkinci çözümde ise $m_c(\xi)$ ve $m_s(\xi)$ yine sıfır değeri civarında salınırlar ve bundan dolayı sistemde paramanyetik (p) faz elde edilmiştir. Bu iki çözümden dolayı sistemde $i_1 + p$ karma fazı da elde edilmiştir. Şekil 3.2.(c)'de yine iki farklı çözüm elde edilmiştir ama bu sefer sistemde i_2 ve p fazları bir arada bulunmaktadır. Buradaki ilk çözüm de ortalama mıknatıslanmalar $m_c(\xi) = \pm 1.0$ civarında salınırken, $m_s(\xi) = \pm 1/2$ değeri etrafında salınırlar, bu durumda sistemde ferrimanyetik-1 (i_2) faz mevcuttur. İkinci çözümde ise $m_c(\xi)$ ve $m_s(\xi)$ yine sıfır değeri civarında salınırlar ve bundan dolayı sistemde paramanyetik (p) faz elde edilmiştir. Bu iki çözümden dolayı sistemde $i_2 + p$ karma fazı da elde edilmiştir. Diğer dört karma faz bölgesinde sırasıyla $i_1 + nm$, $i_2 + nm$, $nm + p$ ve $i_1 + i_2 + p$ yukarıdaki çözümlere benzer davranış sergilemektedir, sadece elde edilen çözümlere karşılık gelen karma faz bölgeleri farklıdır. Karma faz bölgeleri için elde edilen çözümler ise başlangıç değerine bağlıdır.

Dinamik düzen parametrelerinin M_α , A_α ve C_α 'nın 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 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7 (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. Birinci ve ikinci derece faz geçiş sıcaklıklarında ilgili olarak histeresis döngü alanlarında (A_a) maksimum değerlere, dinamik korelasyonlarda (C_a) ise minimum değerlerde sürekli ve süreksiz atlamaların mevcut olduğu görüldü. Daha sonra dinamik faz geçiş (DFG) sıcaklıklarından yararlanılarak, farklı etkileşim parametreleri, yüzeyler arası etkileşim parametresi (r), yüzey değişim etkileşim parametresi (Δ_S) ve kristal alan (d)'nin farklı değerleri için (T/J_C , h/J_C) düzlemindeki dinamik faz diyagramları Şekil 3.8 ve Şekil 3.19 arasında sunuldu. (T/J_C , h/J_C) düzleminde on bir tane 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 üçlü kritik noktayı, E kritik son noktayı ve QP dinamik dördümlü noktayı temsil etmektedir. Karma spin (1, 3/2) Ising nanotel sisteminin dinamik faz diyagramları incelendiğinde sistemin davranışının kuvvetli bir şekilde etkileşim parametreleri olan, yüzeyler arası etkileşim parametresi (r), yüzey değişim etkileşim parametresi (Δ_S) ve kristal alan (d)'ye 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 çalışmasının daha hassas ölçüm olanağı sağlayan dinamik etkin-alan teorisi, dinamik Monte Carlo (DMC) simülasyonu gibi daha iyi sonuç veren yöntemlerle incelenmesine ışık tutacağını ümit etmekteyiz.

KAYNAKLAR

1. Ateş, H., “Nano parçacıklar ve nano teller”., *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:3(1)*, 437-442, 2015.
2. Ramsden, J., “Nanotechnology: an introduction” *Elsevier*, (ISBN: 978-0-08-096447-8), 2011.
3. Wong, A.P.Y., Chan, M.H.W., “Liquid-vapor critical point of ^4He in aerogel”, *Physical Review Letters*, 65, s. 2567-2570, 1990.
4. Alexiou C., Schmidt A., Klein R., Hullin P., Bergemann C., Arnold W., “Magnetic drug targeting: biodistribution and dependency on magnetic field strength”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 252, s. 363-366, 2002.
5. Zeng, H., Li J., Liu, J.P., Wang, Z.L., Sun S., “Exchange-coupled nanocomposite magnets by nanoparticle self-assembly”, *Nature*, 420, s. 395-398, 2002.
6. Kurlyandskaya, G. V., Sanchez, M. L., Hernando, B., Prida, V. M., Gorria, P., Tejedor, M.,” Giant-magnetoimpedance-based sensitive element as a model for biosensors”, *Applied Physics Letters*, 82, s. 3053-3055, 2003.
7. Fert A., Piraux L., “Magnetic nanowire”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 200, s. 338-358, 1999.
8. Nie, S., Emory, S.R., “Probing single molecules and single nanoparticles by surface enhanced Raman scattering”, *Science*, 275, s. 1102-1106, 1997.
9. Son, S.J., Reichet, J., He, B., Schuchman, M., Lee, S.B., “Magnetic nanotubes for magnetic-field-assisted bioseparation, biointeraction, and drug delivery”, *J. Am. Chem. Soc.*, 127, 7316, 2005.
10. Bushan, B., “Handbook of nanotechnology” *Third edition.*, ISBN: 978-3-642-02524-2, (2010).

11. Dresselhaus, M.S., Lin, Y.M., Rabin, O., Jorio, A., SouzaFilho, A.G., Pimenta, M.A., Saito, R., Samsonidze, G.G., Dresselhaus, G., "Nanowires and nanotubes", *Mater. Sci. Eng. C.*, 23, 129–140 2003.
12. Huber, C.A., Huber, T.E., Sadoqi, M., Lubin, J.A., Manalis, S., Prater, C.B., "Nanowire array composites", *Science.*, 263, 800–802, 1994.
13. Vizcaino, J.L., P. Nunez, C.G.A., "Fast, effective manipulation of nanowires for electronic devices". *SPIE newsroom.*, doi:10.1117/2.1201312.005260. edit 2013.
14. Engel, Y., Elnathan, R., Pevzner, A., Davidi, G., Flaxer, E., Patolsky, F., "Supersensitive detection of explosives by silicon Nanowire arrays", *Angewandte Chemie international edition.*, 49 (38): 6830–6835. doi:10.1002/anie.201000847, 2010.
15. Elnathan, R., Kwiat, M., Pevzner, A., Engel, Y., Burstein, L., Khatchtourints, A., Lichtenstein, A., Kantaev, R., Patolsky, F., "Biorecognition layer engineering: overcoming screening limitations of nanowire-based FET devices", *Nano Letters* 12 (10): 5245–5254, doi: 10.1021/nl302434w, 2012.
16. Ma, S.K., "Modern theory of critical phenomena", *Benjamin*, New York, 1976
17. Ma, S.K., "Statistical Mechanics", *World Scientific Publishing Co*, 1985.
18. Cooke, A.H., et al., "Crystal statistics. I. A. observation of a magnetically controllable Jahn teller distortion in dysprosium vanadate at low temperatures", *Solid State Commun*, 8, 689-692, 1970.
19. Cooke, A.H., Martin, D. M., Wells, M. R., "The specific heat of dysprosium vanadate", *Solid State Commun*, 9, 519-522, 1971.
20. Cooke, A.H., Martin, D. M., Wells, M. R., "Magnetic and thermal properties of dysprosium vanadate", *J. Phys. (Paris). Colloq*, 32, C1, 488-489, 1971.

21. Will, G., Schafer, W., “The magnetic structure of antiferromagnetic DyVO_4 ”, *J. Phys. C: Solid State Phys.*, 4, 811-819, 1971.
22. Seyatat, M., et al., “Experimental study of magnetic and crystallographic transition in DyVO_4 ”, *Phys. Lett.*, 34A, 361-362, 1971.
23. Sieger, M., Kasten, A., Paul, W., “Ferrimagnetic phase in the metamagnet DyVO_4 ”, *Solid State Commun.*, 53, 909-913, 1985.
24. 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.
25. Coronado, E., Dekhais, P., Gatteschi, D., Miller, J. S., “Molecular magnetism: from Molecular Assemblies to the devices”, *Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.*, (NATO ASI Series E, Vol. 321), 1996.
26. Jiang, W., Zhang, F., “Surface effects on a ferrimagnetic hexagonal nanowire with single-ion anisotropy and transverse field”, *Physica E Low Dimensional Systems & Nanostructures*, 47, 5, 95-102, 2013.
27. Boughrara, M., Kerouad, M., Zaim, A., “The phase diagrams and the magnetic properties of a ferrimagnetic mixed spin 1/2 and spin 1 Ising nanowire”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 360, 222-228, 2014.
28. Boughrara, M., “Statistical mechanics and its applications” *Physica A.*, 433, 59-65, 2015.
29. Feraoun, A., Zaim, A., Kerouad, M., “Monte Carlo study of a mixed spin (1,3/2) ferrimagnetic nanowire with core/shell morphology”, *Physica B Condensed Matter.*, 445, 74-80, 2014.
30. Kocakaplan, Y., and Kantar, E., “Thermodynamic and magnetic properties of the hexagonal type Ising nanowire”, *European Physical Journal B*, 87, 135-142, 2014.

31. Deviren, B., Şener, Y., “Magnetic properties of mixed spin (1, 3/2) Ising nanoparticles with core–Shell structure”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials.*, 386, 12-19, 2015.
32. Albayrak, E., “Core-shell structured square mixed-spin 1 and 1/2 Ising nanowire on the bethelattice”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials.*, 401, 532-538, 2016.
33. Ertaş M., “Hysteresis and compensation behaviors of mixed spin-1 and spin-2 hexagonal Ising nanowire system”, *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism.*, 29, 7, 1805–1812, 2016.
34. Boughrara, M., “Statistical mechanics and its applications”, *Physica A.*, 465, 628-635, 2017.
35. Mi, B.-Z., Feng, C.-Z., Luo, J.- G., Hu, D.-Z., "Magnetic compensation and critical properties of a mixed spin-(2, 3/2) Heisenberg single-walled nanotube superlattice", *Superlattice and Microstructure*, 113, 524-533, 2018.
36. Glauber, R.J., “Time-dependent statistics of the Ising model”, *J. Math. Phys.*, 4, 294-307, 1963.
37. 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.
38. Mendes, J.F.F., Lage, E.J.S., “Dynamics of the infinite ranged Potts model”, *J. Stat. Phys.*, 64, 653-672, 1991.
39. 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.
40. 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.

41. Sides, S.W., Rikvold, P.A., Novotny, M.A., "Kinetic Ising model in an oscillating field: finite-size scaling at the dynamic phase transition", *Phys. Rev. Lett.*, 81, 834-837, 1998.
42. 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", *Phys. Rev. E.*, 59, 2710-2729, 1999.
43. 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.
44. 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.
45. Chakrabarti, B.K., Acharyya, M., "Dynamic transitions and hysteresis", *Rev. Mod. Phys.*, 71, 847-859, 1999.
46. Godoy, M., Figueiredo, W., "Kinetic phase transition in the mixed-spin Ising model", *Braz. J. Phys.*, 34, 422-424, 2004.
47. Krawiecki, A., "Dynamical phase transition in the Ising model on a scale-free network", *Int. J. Mod. Phys. B.*, 19, 4769-4776, 2005.
48. Zimmer, M.F., "Ising model in an oscillating magnetic field: mean-field theory", *Phys. Rev. E.*, 47, 3950-3955, 1993.
49. Acharyya, M., Chakrabarti, B.K., "Response of Ising system to oscillating and pulsed fields: hysteresis, ac, and pulse susceptibility", *Phys. Rev. B.*, 52, 6550-6568, 1995.
50. Acharyya, M., "Nonequilibrium phase transition in the kinetic Ising model: is the transition point the maximum loss point?", *Phys. Rev. E.*, 58, 179-186, 1998.

51. 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, 2001.
52. Deviren, B., Ertaş, M., Keskin, M., “Dynamic magnetizations and dynamic phase transitions in a transverse cylindrical Ising nanowire”, *Physica Scripta*, 85,5,1025-1030, 2012.
53. Kantar, E., Ertaş, M., “Cylindrical Ising nanowire in an oscillating magnetic field and dynamic compensation temperature”, *Superlattices Microstruct.*, 75, 831-842, 2014.
54. Ertaş, M., Kantar, E., “Cylindrical Ising Nanowire with crystal field: existence of a dynamic compensation temperature”, *Phase Transitions*, 88, 567-581, 2015.
55. Ertaş, M., Kocakaplan, Y., “Dynamic behaviors of the hexagonal Ising nanowire”, *Phys. Lett. A.*, 378, 845-850, 2014
56. Vatansever, E., Polat, H., “Monte carlo investigation of a spherical ferrimagnetic core-shell nanoparticle under a time dependent magnetic field”, *J. Magn. Mater.*, 343, 221-227, 2013.
57. Vatansever, E., Polat, H., “Non-equilibrium dynamics of a ferrimagnetic core-shell nanocubic particle”, *Physica A.*, 394, 82-89, 2014.
58. Yüksel, Y., Vatansever, E., Polat, H., “Dynamic phase transition properties and hysteretic behavior of a ferrimagnetic core-shell nanoparticle in the presence of a time dependent magnetic field”, *Journal of Physics: Condensed Matter.*, 24, 436004-436017, 2012.
59. Keskin, M., Canko, O., Temizer, Ü., “Dynamic phase transition in the kinetic spin-1 blume-capel model under a time- dependent oscillating external field”, *Phys. Rev. E*, 72, 036125-1-036125-10, 2005.
60. 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.

61. Keskin, M., Canko, O., Temizer, Ü., “Dynamic phase transition in the kinetic Blume-Emery-Griffiths model in an oscillating external field”, *Int. J. Mod. Phys. C*, 17, 1717-1737, 2006.
62. 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”, *Phys. Rev. E*, 74, 011110-1-011110-10, 2006.
63. Keskin, M., Canko, O., Kirak, M., “Dynamic dipole and quadrupole phase transition in the kinetic spin-3/2 model”, *J. Stat. Phys.*, 127, 359-380, 2007.
64. Canko, O., Deviren, B., Keskin M., “Dynamic phase transition in the spin-3/2 Blume-Emery-Griffiths model in an oscillating field”, *J. Phys.: Condens. Matter.*, 18, 6635-6653, 2006.
65. Keskin, M., Canko, O., Ertas, M., “Kinetics of the spin-2 Blume-Capel model under a time-dependent oscillating external field”, *J. Exp. Theor. Phys.*, 105, 1190-1197, 2007.
66. Ertas, 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.
67. Buendia, G.-M., Machado, E., “Kinetics of a mixed Ising ferrimagnetic system”, *Phys. Rev. E*, 58, 1260, 1998.
68. Keskin, M., Canko, 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.*, 53, 497, 2008.
69. Keskin, M., Kantar, E., Canko, O., “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.
70. Keskin, M., Canko, O., Güldal, S., “Kinetics of a mixed spin-1/2 and spin-2 Ising ferrimagnetic system”, *Phys. Lett., A*, 374, 1-7, 2009.

71. Keskin, M., Canko, O., Bati, M., “Dynamic phase diagrams of a mixed spin-1 and spin-5/2 Ising system in an oscillating magnetic field”, *J. Korean Phys. Soc.*, 55, 1344-1356, 2009.
72. Keskin, M., Polat, Y., “Phase diagrams of a nonequilibrium mixed spin-3/2 and spin-2 Ising system in an oscillating magnetic field”, *J. Magn. Magn. Mater.*, 321, 3905, 2009.
73. 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”, *Phys. Scr.*, 79, 025501, 2009.
74. Deviren, B., Keskin, M., Canko, O., “Kinetics of a mixed spin-1/2 and spin-3/2 Ising ferrimagnetic model”, *J. Magn. Magn. Mater.*, 321, 458-466, 2009.
75. Deviren, B., Keskin, M., Canko, O., “Dynamic phase transitions in the kinetic mixed spin-1/2 and spin-5/2 Ising model under a time-dependent oscillating magnetic field”, *Phase Trans.*, 83, 526-542, 2010.
76. Deviren, B., Keskin, M., “Dynamic phase transitions and compensation temperatures in a mixed spin-3/2 and spin-5/2 Ising system”, *J. Stat. Phys.*, 140, 934-947, 2010.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı: Tahsin ÖZCAN

Baba Adı : Ali

Anne Adı : Gülseren

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Tarihi : 25.05.1985

Tel : 0 555 300 64 28

E- posta : tahsinozcann@gmail.com

İlk, orta, lise öğrenimini Ankarada tamamladı. 2005-2011 yılları arasında Gazi Osman Paşa Üniversitesinde Lisans eğitimini ve Pedagojik Formasyon eğitimini tamamladı. 2012 yılında C Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı olarak çalışmaya başladı. 2013 yılında Nevşehir üniversitesi fizik bölümünde yüksek lisansa başladı. 2018-2019 yılları arasına İstanbul Esenyurtüniveristesinde İş Sağlığı ve Güvenliği alanında tezsiz yüksek lisans yaptı. 2012 Yılından itibaren iş güvenliği alanında saha gözetmeni, koordinatör ve sorumlu müdür olarak çalışmalar yaptı ve bu alanda çalışmaya devam etmektedir.