

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

KARMA SPİN-1 VE SPİN-3/2 İSİNG NANOTÜP
SİSTEMİNİN DİNAMİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Tezi Hazırlayan
Fatih Mehmet YILDIZ

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Bayram DEVİREN

Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

ŞUBAT 2022
NEVŞEHİR

TEŞEKKÜR

Hayatımın en önemli dönüm noktalarından biri olan yüksekisans tez çalışması konusunda bana şimdiye kadar hep destek olan yardımlarını hiç esirgemeyen çalışmalarımnda beni yönlendiren, engin bilgi ve tecrübesinden istifade ettiğim değerli hocam ve tez danışmanım Prof.Dr. Bayram DEVİREN 'e en içten teşekkürlerimi, sonsuz şükranlarımı ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışmamı birlikte yürüttüğüm ve her anımda yanımda olan Önder AKYÜZ 'e desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca hayatımın bu kıymetli süreçlerinden birinin yaşanmasından bana maddi ve manevi her türlü desteklerini esirgemeyen babam annem ve kıymetli eşim Songül YILDIZ 'a teşekkürlerimi sunarım.

KARMA SPİN-1 VE SPİN-3/2 ISING NANOTÜP SİSTEMİNİN DİNAMİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Fatih Mehmet YILDIZ

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2022

ÖZET

Zamana bağlı salınımlı dış manyetik alan altında öz-kabuk yapısına sahip karma spin-1 ve spin-3/2 Ising nanotüp sisteminin dinamik manyetik özellikleri (faz geçiş sıcaklıkları, faz diyagramları), ortalama alan yaklaşımı (OAY) ve Glauber-tipi stokastik dinamik kullanılarak incelendi. Bu nanotüp 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 parametreleri sıcaklığın bir fonksiyonu olarak incelendi. Sistemin manyetik alan genliği ve sıcaklık düzleminde dinamik faz diyagramları sunuldu. Karma spin-1 ve spin-3/2 Ising nanotüp 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 ve $nm+p$ altı karma faz bölgeleri gözlemlendi. Dinamik faz diyagramlarının birinci- ve ikinci-derece faz geçiş sıcaklıklarının yanında, dinamik üçlü kritik nokta gibi özel dinamik kritik noktaları sergilediği görüldü.

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

Tez Danışman: Prof. Dr. Bayram DEVİREN
Sayfa Adeti: 56

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

(M. Sc. Thesis)

Fatih Mehmet YILDIZ

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2022

ABSTRACT

The nonequilibrium magnetic properties (phase transition temperatures, phase diagrams) are studied, within a mean-field approach (MFA) and Glauber type stochastic dynamics, in the kinetic mixed spin-1 and spin-3/2 Ising nanotube 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 investigated. Temperature dependence of the dynamic magnetizations 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 and spin-3/2 Ising nanotube system are strongly depend on the interaction parameters. The phase diagrams also contain paramagnetic (p), ferrimagnetic-1 (i_1), ferrimagnetic-2 (i_2), nonmagnetic (nm) phases, six coexistence or mixed regions, i_1+i_2 , i_1+p , i_2+p , i_1+nm , i_2+nm and $nm+p$, which strongly depend on interaction parameters. The phase diagrams also exhibit first- and second-order phase transitions as well as a dynamic tricritical point.

Keywords: Nanotube; Ising model; Mixed spin system; Mean-field approach; Glauber-type stochastic dynamic.

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Bayram DEVİREN

Pages: 56

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|------|
| ONAY SAYFASI..... | ii |
| TEZ BİLDİRİM SAYFASI..... | iii |
| TEŞEKKÜR | iv |
| ÖZET | v |
| ABSTRACT | vi |
| İÇİNDEKİLER..... | vii |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ | viii |
| BÖLÜM 1 | |
| GİRİŞ..... | 1 |
| BÖLÜM 2 | |
| METOT VE MODELİN TANITIMI | 6 |
| 2.1. Model..... | 7 |
| 2.2. Glauber Dinamiği ve Ortalama-Alan Dinamik Denklemlerinin Elde Edilmesi..... | 8 |
| BÖLÜM 3 | |
| KARMA SPİN-1 ve SPİN-3/2 ISING NANOTÜP SİSTEMİNİN NÜMERİK ÇÖZÜMÜ | 147 |
| 3.1. Ortalama Alt Örgü Mıknatıslanmalarının Zamanla Değişimi..... | 147 |
| 3.2 Dinamik Düzen Parametreleri ve Dinamik Faz Geçiş Noktaları | 18 |
| 3.3. Dinamik mıknatıslanmalar | 18 |
| 3.4. (T/J _C , h/J _C) Düzleminde Dinamik Faz Diyagramları | 28 |
| BÖLÜM 4 | |
| SONUÇ VE TARTIŞMA..... | 332 |
| KAYNAKLAR..... | 355 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 465 |

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

- Şekil 2.1.** Karma spin-1 ve spin-3/2 Ising nanotüp 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.....10
- Şekil 3.1.** Karma spin-1 ve spin-3/2 nanotüp sistemi için ortalama alt örgü mıknatıslanmalarının $m_C(\xi)$ ve $m_S(\xi)$ zamanla değişimi. (a) Sistemde paramanyetik (p) faz mevcuttur, ($d=-3.4$, $h=5.50$, $T=2.15$). (b) Sistemde manyetik olmayan (nm) faz mevcuttur, ($d=-3.50$, $h=0.65$, $T=0.650$). (c) Sistemde ferrimanyetik-1 (i_1) faz mevcuttur, ($d=-1.7$, $h=3.0$, $T=2.50$). (d) Sistemde ferrimanyetik (i_2) faz mevcuttur, ($d=-3.1$, $h=1.2$, $T=1.65$)..... 16
- Şekil 3.2.** Karma spin-1 ve spin-3/2 nanotüp sistemi için ortalama alt örgü mıknatıslanmalarının $m_C(\xi)$ ve $m_S(\xi)$ zamanla değişimi. (a) Sistemde hem ferrimanyetik-1 (i_1) ve (b) hemde ferrimanyetik-2 (i_2) fazları mevcuttur, ($d=-2.5$, $h=0.35$, $T=0.30$).....18
- Şekil 3.3.** $\Delta_S = 1.0$, $r = 1.0$, $d = -2.0$ ve $h = 2.0$ değerleri için M_α 'nın sıcaklığa bağlı davranışı. $T_C/J_C = 4.405$, ferrimanyetik (i_1) fazından paramanyetik (p) faza ikinci-derece faz geçiş sıcaklığını göstermektedir.....20
- Şekil 3.4.** $\Delta_S = 0.0$, $r = 1.0$, $d = -3.4$ ve $h = 4.3$ değerleri için M_α 'nın sıcaklığa bağlı davranışı. $T_C/J_C = 1.645$ manyetik olmayan (nm) fazdan paramanyetik (p) faza ikinci-derece faz geçiş sıcaklığını göstermektedir.....21
- Şekil 3.5.** $\Delta_S = 0.0$, $r = 1.0$, $d = 1.0$ ve $h = 6.5$ değerleri için modelin $m_C=1.0$ ve $m_{S1}=m_{S2}=1.5$ başlangıç değerlerinde M_α 'nın sıcaklığa bağlı davranışı. $T_1/J_C = 1.375$ sıcaklık değerinde ferrimanyetik-1 (i_1) fazından paramanyetik (p) faza birinci-derece faz geçişi olmuştur..... 22
- Şekil 3.6.** $\Delta_S = 0.0$, $r = 1.0$, $d = -3.4$ ve $h = 5.3$ değerleri için M_α 'nın sıcaklığa bağlı davranışı. $T_1/J_C = 0.495$ 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..... 23

Şekil 3.7. $\Delta_s = 0.0$, $r = 1.0$, $d = -3.5$ ve $h = 0.75$ değerleri için Ma' 'nın termal davranışları. (a) $m_C=0.0$, $m_{S1}=m_{S2}=0.0$ başlangıç değerleri, (b) $m_C=1.0$, $m_{S1}=m_{S2}=1.5$ 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 $T_1/J_C = 1.64$ arasında i_2+p fazı, $T_1/J_C = 1.64$ 'den büyük değerler için p fazı mevcuttur.....24

Şekil 3.8. Karma spin-1 ve spin-3/2 Ising nanotüp sisteminde $d= 1.0$ değeri için (T/J_C , h/J_C) düzleminde dinamik faz diyagramı..... 26

Şekil 3.9. Karma spin-1 ve spin-3/2 Ising nanotüp sisteminde $d= -1.6$ değeri için (T/J_C , h/J_C) düzleminde dinamik faz diyagramı..... 27

Şekil 3.10. Karma spin-1 ve spin-3/2 Ising nanotüp sisteminde $d= -1.75$ değeri için (T/J_C , h/J_C) düzleminde dinamik faz diyagramı..... 28

Şekil 3.11. Karma spin-1 ve spin-3/2 Ising nanotüp sisteminde $d= -2.0$ değeri için (T/J_C , h/J_C) düzleminde dinamik faz diyagramı..... 29

Şekil 3.12. Karma spin-1 ve spin-3/2 Ising nanotüp sisteminde $d= -2.5$ değeri için (T/J_C , h/J_C) düzlemin dedinamik faz diyagramı..... 30

Şekil 3.13. Karma spin-1 ve spin-3/2 Ising nanotüp sisteminde $d= -3.0$ değeri için (T/J_C , h/J_C) düzleminde dinamik faz diyagramı.....31

Şekil 3.14. Karma spin-1 ve spin-3/2 Ising nanotüp sisteminde $d = -4.0$ değeri için $(T/J_c, h/J_c)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.....32



BÖLÜM 1

GİRİŞ

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 sistem cihaz geliştirilmesidir. Diğeri 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 tüplere nanotüp denir. Nano-seviyede kuantum mekanik özelliklerin önemi artmaktadır ve bu yüzden bu teller "kuantum tüpleri" olarak da adlandırılır. Birçok nanotüp 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 nanotüpler; 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 nano malzemeler 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 parametrelili 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 parametrelili spin-1/2 Ising modeliyle açıklanamaz. Bu tür sistemleri açıklayabilmek için en az iki düzen parametresi gerekmektedir. Bu özellikteki fiziksel sistemlerin incelenmesinde iki düzen parametrelili 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 parametrelili bir model gerekmektedir. Karma spin Ising sistemleri ile ilgili çalışmalara 1980'li yıllarda başlanmış ve bu spin sistemleri zamanımızda da kullanılan ve kullanılmaya da devam edilen en önemli sistemler olmuşlardır. Son yıllarda, karma spin 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 yaklaşıkları (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 ve spin-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 ve spin-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 ve spin-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 incelemişlerdir [34]. Mi ve arkadaşları Green fonksiyonu yöntemini kullanarak karma spin (2, 3/2) Heisenberg nanotüp süper örgüsünün manyetik telafi ve kritik özellikleri incelemişlerdir [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 kompanzasyon 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 incelemişler ve sistemde Q-, P-, R-, S-, N- tipi telafi sıcaklıkları yanı sıra reentrant davranış gözlemişlerdir. 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. Vatansever 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 Vatansever 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 ve spin-3/2 Ising nanotüp sisteminin dinamik davranışlarının Glauber-tipi stokastik dinamik temelli OAY kullanılarak incelenmesi üzerine literatürde bir çalışma mevcut değildir.

Bu tez çalışmasında ise karma spin-1 ve spin-3/2 Ising nanotüp 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 ve spin-3/2 Ising nanotüp 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 ve spin-3/2 Ising nanotüp 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. Daha sonrada hesaplanan DFG sıcaklıkları kullanılarak sistemlerin dinamik faz diyagramları (T/JC , h/JC) düzleminde sunulacaktır.

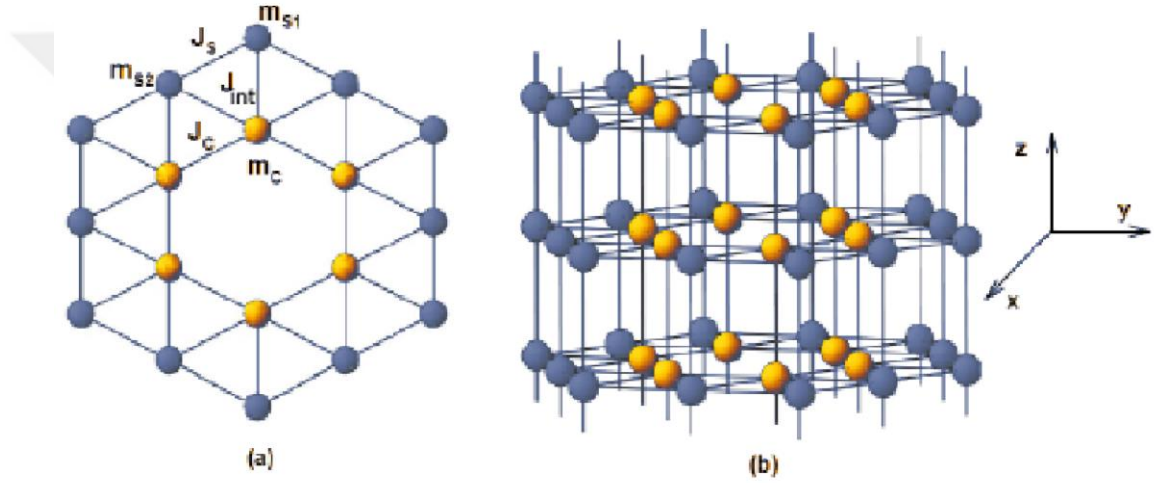
Son bölümde ise, yapılan çalışmalar özetlenerek elde edilen sonuçların tartışması yapılmıştır.

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 ve spin-3/2 Ising nanotüp sisteminin dinamik manyetik davranışlarını araştırmak için kullanılacaktır. Silindirik nanotüp sistemini Ising modeli ile tanımlamak için kullanılan en yakın örgü hegzagonal örgü yapısıdır. Bu nedenle bu tez çalışmasında kullanılacak ve nanotüp sistemini tanımlayan hegzagonal örgü yapılı şematik gösterim Şekil 2.1 deki gibi verilmektedir.



Şekil 2.1. Karma spin-1 ve spin-3/2 Ising nanotüp 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.

İlgilenilen model, alternatif olarak birbirini tekrarlayan üç alt tabaka A, B ve C' den oluşmaktadır. Sarı renklerle gösterilen özdeki spin-1 manyetik atomlarına ait olan ilk alt tabaka (A), $\pm 1, 0$ değerlerini almaktadır. Mavi renkli küreler ile gösterilen diğer iki alt tabaka B ve C, $\pm 3/2, \pm 1/2$ 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 ve spin-3/2 Ising nanotüp 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 tek iyon anizotropi etkileşme terimini ve $h(t)$ ise zamana bağlı salınımlı dış manyetik alanı ifade etmektedir. Zamana bağlı salınımlı dış manyetik alan ifadesi,

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

şeklindedir. Burada h_0 ve $\omega = 2\pi\nu$ sırasıyla salınımlı alanının genliği ve açısal frekansıdır. Sistem T_A mutlak sıcaklığında izotermal ısı banyosu ile etkileşim/temas halindedir. Nano yapı malzemelerin fiziksel özellikleri üzerinde kabuk yüzeyindeki atomlarının etkisi çok fazla olduğundan genellikle nano yapı 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 ve spin-3/2 Ising nanotüp sistemi için sistemin dinamik davranışını açıklayan ortalama-alan dinamik denklemlerini

elde edebilmek için Glauber dinamiğini kullanacağız ve Master denkleminde yararlanacağız. Karma spin-1 ve spin-3/2 Ising nanotüp sistemi, Glauber-tipi stokastik dinamiğe göre birim zamanda $1/\tau$ oranında değişim gösterir. Ortalama alan dinamik denklemlerinin türetilmesi, spin-1/2 sistemi [79] ve farklı spin sistemleri [80, 81] için ayrıntılı olarak açıklandığından, burada karma spin-1 ve spin-3/2 nanotüp sisteminin denklemleri elde edilecektir.

B ve C 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 ve C alt örgülerindeki üzerindeki spinler sabit kaldığı zaman, sistemin t zamanında, S_1, S_2, \dots, S_N spin konfigürasyonuna sahip olduğu andaki ihtimaliyet fonksiyonu ise $P^B(S_1, S_2, \dots, S_N; t)$ ile tanımlanır. Son olarak A ve B alt örgülerindeki üzerindeki spinler sabit kaldığı zaman, sistemin t zamanında, S_1, S_2, \dots, S_N spin konfigürasyonuna sahip olduğu andaki ihtimaliyet fonksiyonu ise $P^C(S_1, S_2, \dots, S_N; t)$ 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,

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

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 denkleminde 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 $\Delta E^A(\sigma_i \rightarrow \sigma'_i)$ 'nin kullanılmasıyla, σ spinleri için ortalama alan dinamik denklemleri elde edilir. Burada \sum_{σ_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 $a = J_C \sum_i \sigma_i + J_S \sum_l S_l + J_S \sum_m S_m + h(t)$ 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 altöğüsü 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 $a_1 = 4J_C \langle \sigma_i \rangle_A + J_S \langle S_l \rangle_B + J_S \langle S_m \rangle_C + h_0 \sin(\omega t)$. Elde edilen ortamla alan dinamik denklemi,

$$\Omega \frac{d}{d\xi} m_C = -m_C + \frac{2 \sinh \left[\frac{1}{T} (4J_C m_C + J_{\text{int}} m_{S_1} + 2J_{\text{int}} m_{S_2} + h \sin(\xi)) \right]}{2 \cosh \left[\frac{1}{T} (4J_C m_C + J_{\text{int}} m_{S_1} + 2J_{\text{int}} m_{S_2} + h \sin(\xi)) \right] + \exp \left[-\frac{d}{T} \right]} \quad (2.14)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $m_C \equiv \langle \sigma_i \rangle_A$, $m_{S_1} \equiv \langle S_1 \rangle_B$, $m_{S_2} \equiv \langle S_m \rangle_C$, $\xi = wt$, $T = (\beta J_Z)^{-1}$, $h = h_0 \sin(wt)$, $h = h_0/J_C$, $d = D/J_C$ ve $\Omega = \tau w$ olarak tanımlanmıştır. T , h ve Ω boyutsuz parametrelerdir. Sistemimizde $\Omega = 2\pi$ değerinde sabit olarak ele alınacaktır.

Karma spin-1 ve spin-3/2 Ising nanotüp sisteminde A ve C 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;

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} P^B(S_1, S_2, \dots, S_N; t) = & - \sum_j \left(\sum_{S_j \neq S'_j} W_j^B(S_j \rightarrow S'_j) \right) P^B(S_1, S_2, \dots, S_j, \dots, S_N; t) \\ & + \sum_j \left(\sum_{S_j \neq S'_j} W_j^B(S'_j \rightarrow S_j) P^B(S_1, S_2, \dots, S'_j, \dots, S_N; t) \right), \end{aligned} \quad (2.15)$$

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

$$P^B(S_1, S_2, \dots, S'_j, \dots, S_N) \propto \exp(-\beta \mathcal{H}), \quad (2.16)$$

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

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

ile verilir. Burada $\beta = 1/k_B T$ 'dır ve k_B Boltzmann faktörüdür. Yukarıdaki işlemlerin benzer uygulaması yapılarak B alt örgüsündeki birinci yüzey ortalama alan dinamik denklemi aşağıdaki gibi elde edilebilir,

$$\Omega \frac{dm_{S1}}{d\xi} = -m_{S1} + \frac{3 \sinh \left[\frac{3(J_{Int} m_C + 2J_S m_{S1} + 2J_S m_{S2} + h \sin \xi)}{2T} \right] \cdot \exp(d/T) + \sinh \left[\frac{(J_{Int} m_C + 2J_S m_{S1} + 2J_S m_{S2} + h \sin \xi)}{2T} \right] \cdot \exp(-d/T)}{2 \cosh \left[\frac{3(J_{Int} m_C + 2J_S m_{S1} + 2J_S m_{S2} + h \sin \xi)}{2T} \right] \cdot \exp(d/T) + 2 \cosh \left[\frac{(J_{Int} m_C + 2J_S m_{S1} + 2J_S m_{S2} + h \sin \xi)}{2T} \right] \cdot \exp(-d/T)}, \quad (2.18)$$

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

$$\Omega \frac{dm_{S2}}{d\xi} = -m_{S2} + \frac{3 \sinh \left[\frac{3(2J_{Int} m_C + 2J_S m_{S1} + 2J_S m_{S2} + h \sin \xi)}{2T} \right] \cdot \exp(d/T) + \sinh \left[\frac{(2J_{Int} m_C + 2J_S m_{S1} + 2J_S m_{S2} + h \sin \xi)}{2T} \right] \cdot \exp(-d/T)}{2 \cosh \left[\frac{3(2J_{Int} m_C + 2J_S m_{S1} + 2J_S m_{S2} + h \sin \xi)}{2T} \right] \cdot \exp(d/T) + 2 \cosh \left[\frac{(2J_{Int} m_C + 2J_S m_{S1} + 2J_S m_{S2} + h \sin \xi)}{2T} \right] \cdot \exp(-d/T)}, \quad (2.19)$$

Burada $m_{S1} \equiv \langle S_1 \rangle_B$, $m_{S2} \equiv \langle S_m \rangle_C$, $\xi = wt$, $T = (\beta Jz)^{-1}$, $h = h_0 \sin(wt)$, $h = h_0/J_C$ 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 adet ortalama alan dinamik denklemleri (2.14), (2.18) ve (2.19) elde edilir.

BÖLÜM 3

KARMA SPİN-1 ve SPİN-3/2 İSİNG NANOTÜP SİSTEMİNİN NÜMERİK ÇÖZÜMÜ

3.1. Ortalama Alt Örgü Mıknatıslanmalarının Zamanla Değişimi

Sistemde var olan fazları bulmak için denklem (2.14), (2.18) ve (2.19) 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), (2.18) ve (2.19)'un devinimsiz çözümleri, periyodik bir fonksiyonun 2π periyodu için ξ 'nin periyodik bir fonksiyonu olacaktır, yani

$$m_c(\xi + 2\pi) = m_c(\xi), \quad (2.20a)$$

$$m_{s1}(\xi + 2\pi) = m_{s1}(\xi), \quad (2.20b)$$

ve

$$m_{s2}(\xi + 2\pi) = m_{s2}(\xi) \quad (2.20c)$$

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

$$m_c(\xi + \pi) = -m_c(\xi), \quad (2.21a)$$

$$m_{s1}(\xi + \pi) = -m_{s1}(\xi), \quad (2.21b)$$

ve

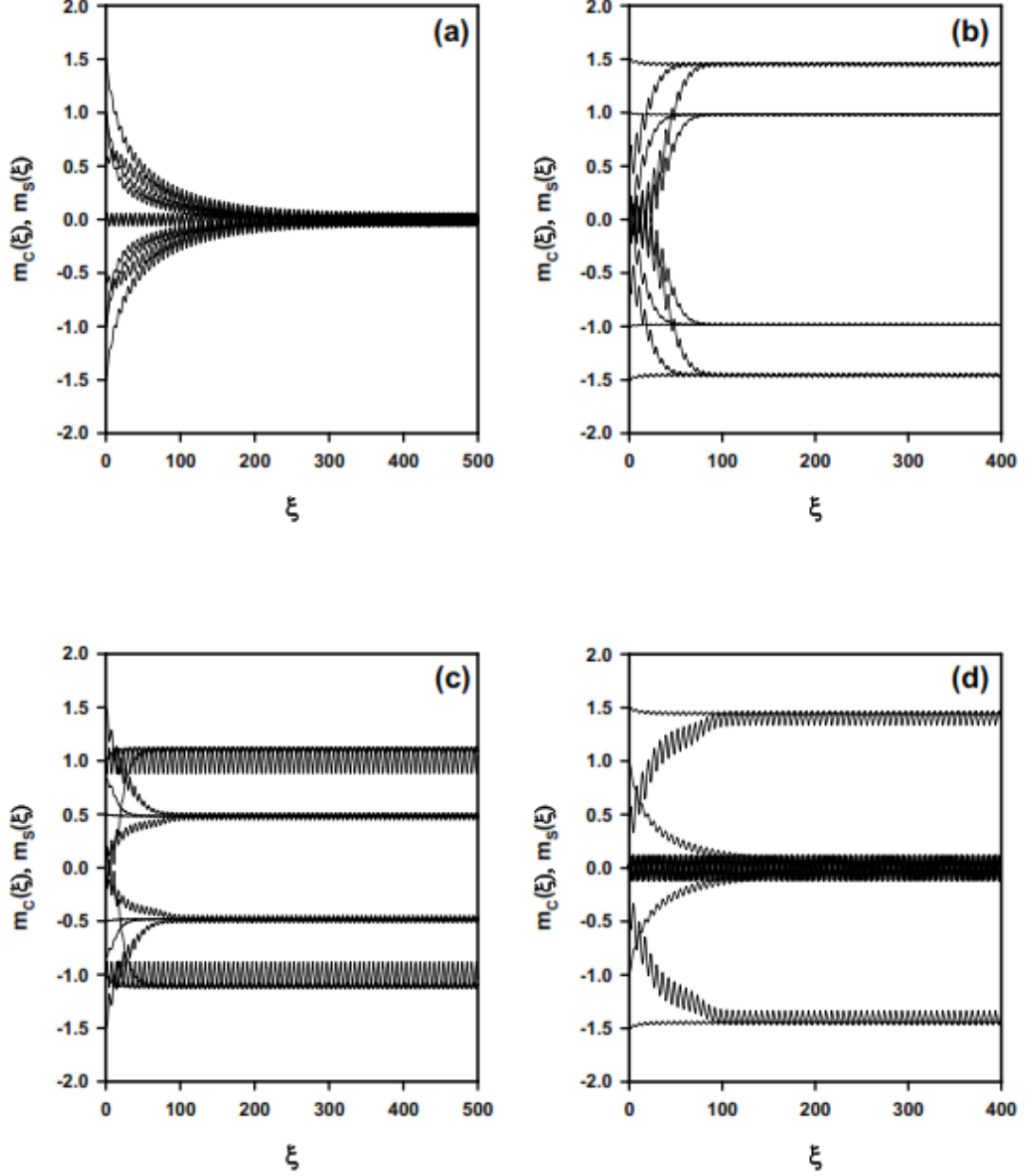
$$m_{s2}(\xi + \pi) = -m_{s2}(\xi) \quad (2.21c)$$

Bu çözümlerde örgü ve yüzey için ortalama alt örgü mıknatıslanmaları sırasıyla $m_c(\xi)$ ve $m_s(\xi)$ (m_{s1} ve m_{s2}) olarak çözülecektir. Buradaki denklem (2.21a) 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 miknatislanmaları $m_c(\xi)$ ve $m_s(\xi)$ birbirine eşittir ve sıfır değeri civarında salınarak dış manyetik alana uyum gösterirler. İkinci tip çözüm, (2.21a) ile verilen denkleme uyarken, (2.21b) ve (2.21c) 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 (2.21) 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), (2.18) ve (2.19) ile verilen ortalama-alan dinamik denklemlerin nümerik olarak çözülmesiyle görülür. (2.14), (2.18) ve (2.19) 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.

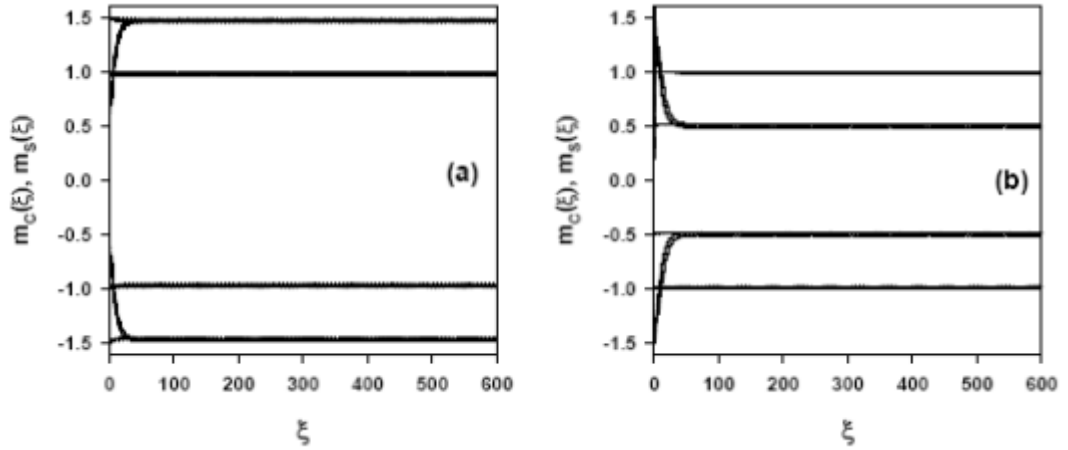
Şekil 3.1.(a)’da yalnızca simetrik çözüm mevcuttur ve bundan dolayı sistemde sadece paramanyetik (p) faz vardır. Bu durumda $m_c(\xi)$ ve $m_s(\xi)$ birbirine eşittir ve sıfır değeri civarında salınırlar ($m_c(\xi) = m_s(\xi) = 0$). Şekil 3.1.(b)’de $m_s(\xi) = \pm 1/2$ değerleri etrafında salınırken $m_c(\xi) = 0$ 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 ve spin-3/2 nanotüp sistemi için ortalama alt örgü mıknatıslanmalarının $m_c(\xi)$ ve $m_s(\xi)$ zamanla değişimi. (a) Sistemde paramanyetik (p) faz mevcuttur, ($d=-3.4$, $h=5.50$, $T=2.15$). (b) Sistemde ferrimanyetik-1 (i_1) faz mevcuttur, ($d=-1.7$, $h=3.0$, $T=2.50$). (c) Sistemde ferrimaynetik (i_2) faz mevcuttur, ($d=-3.1$, $h=1.2$, $T=1.65$), (d) Sistemde manyetik olmayan (nm) faz mevcuttur, ($d=-3.50$, $h=0.65$, $T=0.650$).

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. 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 ve spin-3/2 nanotüp sistemi için ortalama alt örgü mıknatıslanmalarının $m_C(\xi)$ ve $m_S(\xi)$ zamanla değişimi. (a) Sistemde hem ferrimanyetik-1 (i_1) ve (b) hemde ferrimanyetik-2 (i_2) fazları mevcuttur, ($d=-2.5$, $h=0.35$, $T=0.30$).

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:

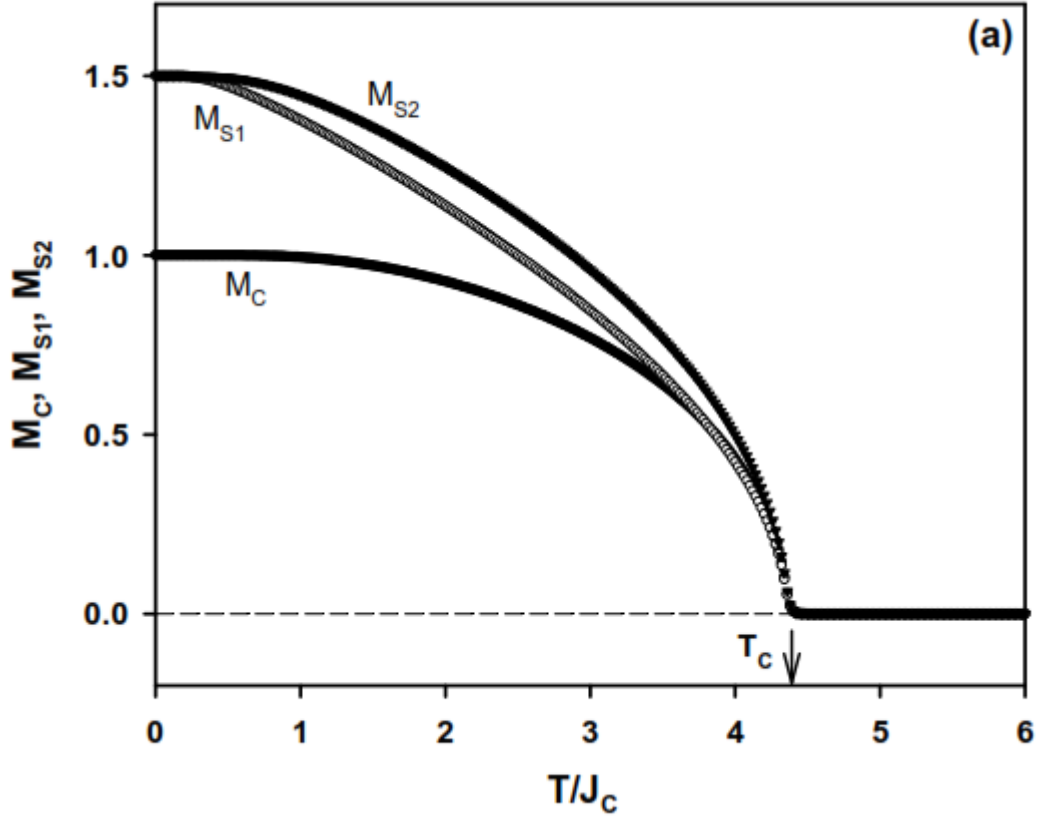
$$M_\alpha = \frac{w}{2\pi} \int m_\alpha(t) dt, \quad (2.22)$$

Burada $\alpha = C$, öz mıknatıslanması; S_1 , 1. yüzey mıknatıslanması, S_2 , 2. yüzey mıknatıslanması yani sistemdeki dinamik öz ve yüzey mıknatıslanmalarına karşılık gelir. Sayısal hesaplamalarda, dinamik mıknatıslanmalar M_α 'nın J_c parametresine bağlı olarak da ölçülebilir. Denklem (2.22), 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 mıknatıslanmaların termal davranışı

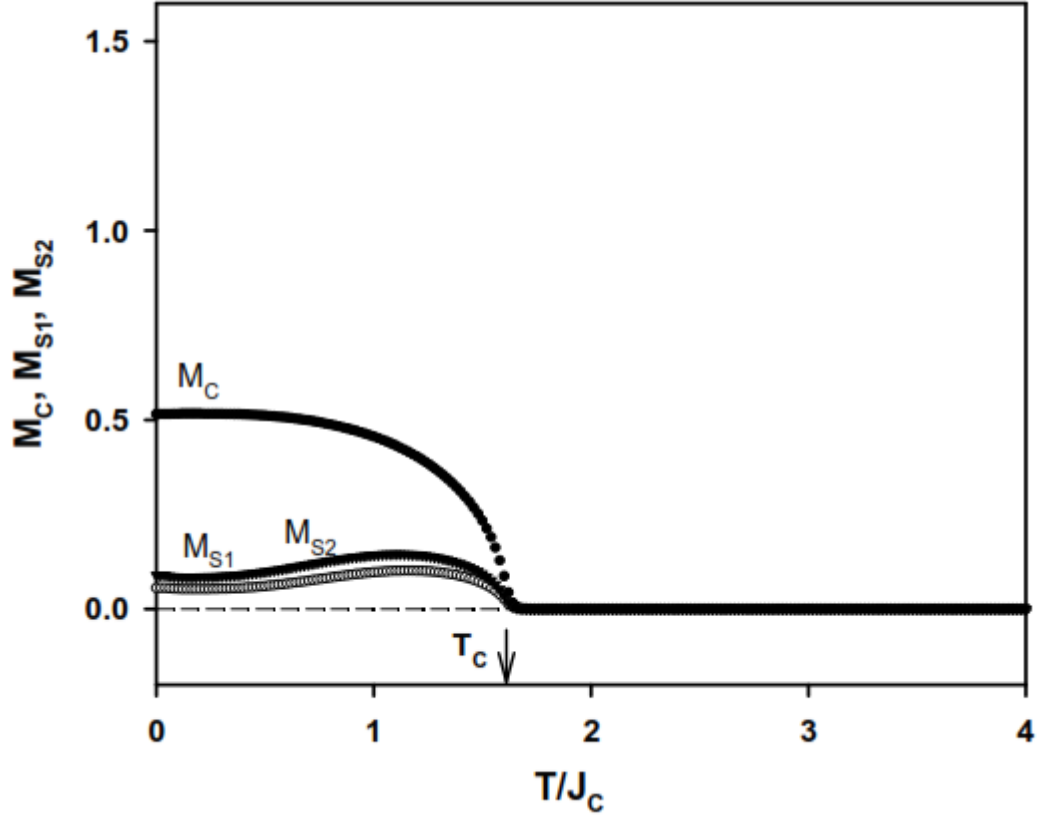
Bu alt bölümde, karma spin-1 ve spin-3/2 Ising nanotüp sisteminin sıcaklık değerinin bir fonksiyonu olarak, dinamik alt örgü mıknatıslanmaların (M_a) termal değişimini farklı etkileşim parametresi değerleri için incelenecektir. M_a 'nın termal davranışlarını denklemler (2.22) kullanılarak dinamik düzen 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 'nın 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_a 'nın 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 $M_c = 1.0$ 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.



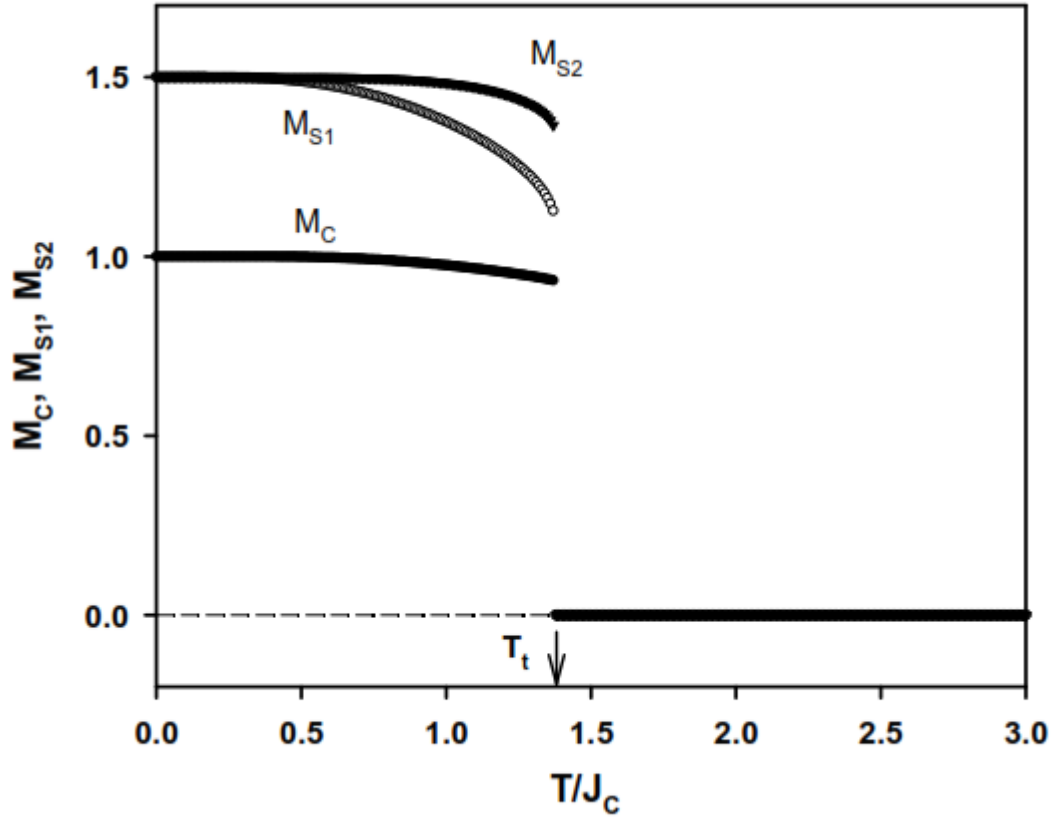
Şekil 3.3. $\Delta_s = 1.0$, $r = 1.0$, $d = -2.0$ ve $h = 2.0$ değerleri için M_α 'nın sıcaklığa bağlı davranışı. $T_C/J_C = 4.405$, ferrimanyetik (i_1) fazından paramanyetik (p) faza ikinci-derece faz geçiş sıcaklığını göstermektedir.

Şekil 3.4, M_α 'nın 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 $M_C = 0.5$ ve $M_{S1} = M_{S2} = 0.0$ iken sıcaklık arttıkça öz mıknatıslanması sürekli olarak azalarak sıfıra $T_C/J_C = 1.645$ değerinde gitmektedir. Burada kabuk mıknatıslanmaları ise herhangi bir 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.



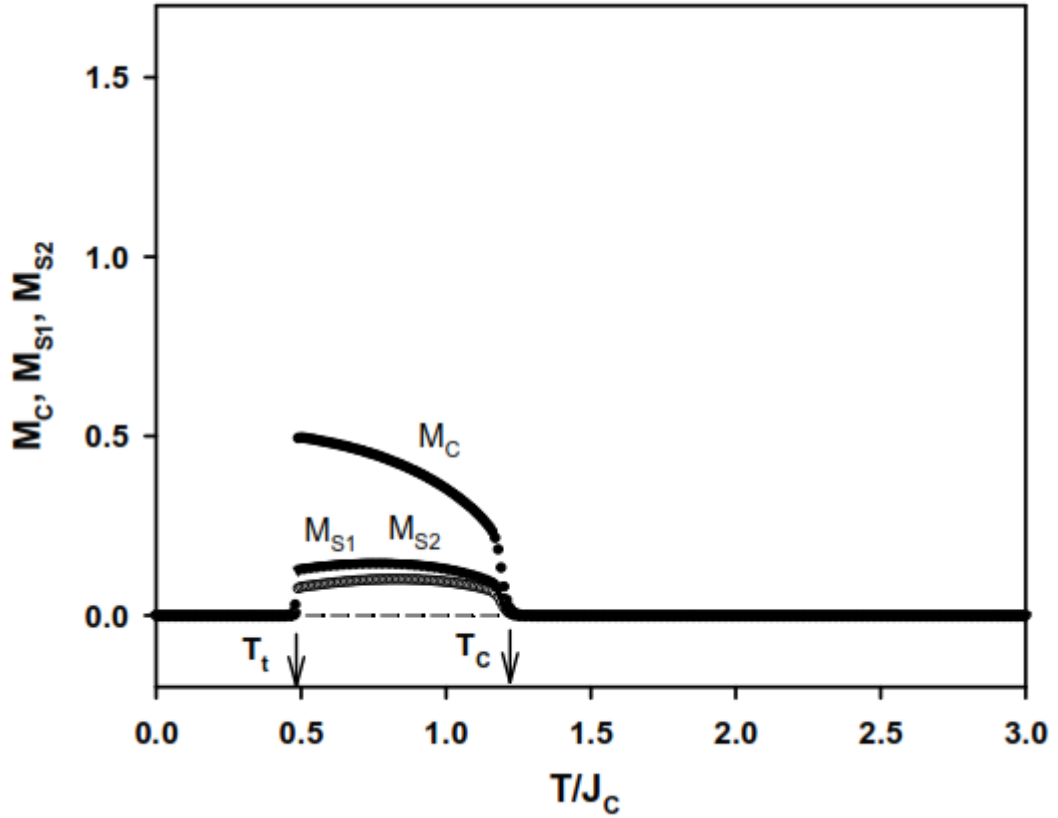
Şekil 3.4. $\Delta_s = 0.0$, $r = 1.0$, $d = -3.4$ ve $h = 4.3$ değerleri için M_a 'nın sıcaklığa bağlı davranışı. $T_c/J_c = 1.645$ manyetik olmayan (nm) fazdan paramanyetik (p) faza ikinci-derece faz geçiş sıcaklığını göstermektedir.

Şekil 3.5'de M_a 'nın termal davranışları $\Delta_s = 0.0$, $r = 1.0$, $d = 1.0$ ve $h = 6.5$ değerleri için modelin $m_c=1.0$ ve $m_{s1}= m_{s2}=1.5$ başlangıç değerlerinde elde edilmiştir. Bu şekilde mutlak sıfır sıcaklık değerinde $M_c = 1.0$ ve $M_{s1}= M_{s2}= 1.5$ iken sıcaklık artıkça öz ve kabuk mıknatıslanmaları $T/J_c = 1.375$ sıcaklık değerinde aniden (süresiz) sıfıra inmektedir. Yani $T/J_c = 1.375$ sıcaklık değerinde ferrimanyetik-1 (i) fazından paramanyetik (p) faza birinci-derece faz geçişi olmuştur.



Şekil 3.5, $\Delta_s = 0.0$, $r = 1.0$, $d = 1.0$ ve $h = 6.5$ değerleri için modelin $m_C=1.0$ ve $m_{S1}=m_{S2}=1.5$ başlangıç değerlerinde M_α '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.

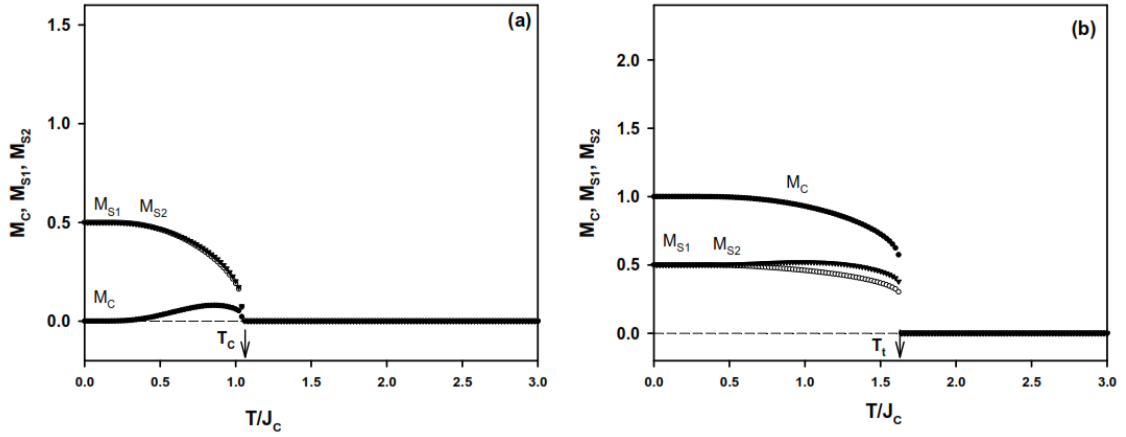
Şekil 3.6' de M_α 'nın termal davranışları, $\Delta_s = 0.0$, $r = 1.0$, $d = -3.4$ ve $h = 5.3$ değerleri için modelin $m_C=0.0$ ve $m_{S1}=m_{S2}=0.0$ başlangıç değerlerinde elde edilmiştir. Bu şekilde mutlak sıfır sıcaklık değerinde $M_C=0.0$ ve $M_{S1}=M_{S2}=0.0$ iken sıcaklık arttıkça yüzey mıknatıslanmalar (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.



Şekil 3.6. $\Delta_s = 0.0$, $r = 1.0$, $d = -3.4$ ve $h = 5.3$ değerleri için M_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 'nın 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 $m_C=0.0$ ve $m_{S1} = m_{S2}=0.0$ başlangıç değerleri için elde edilmiştir. Şekil 3.7 (a) mutlak sıfır sıcaklık değerinde $M_C = 0.0$ 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. 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 ($m_C=1.0$ 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 $T_t/J_C = 1.64$ 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.

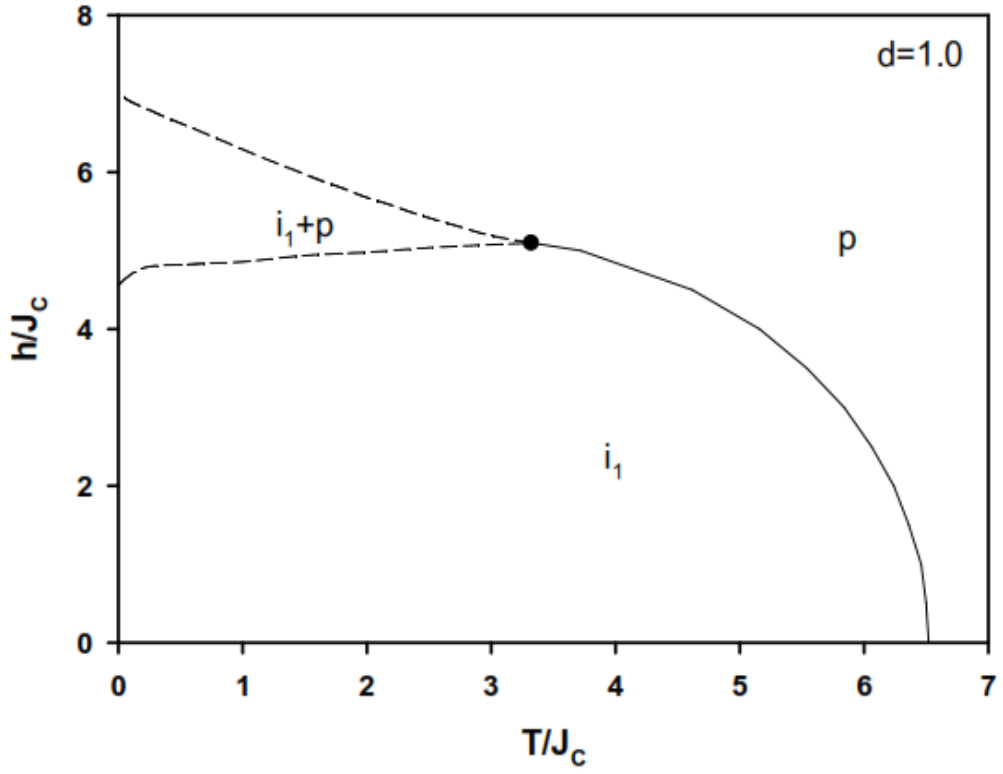


Şekil 3.7. $\Delta_S = 0.0$, $r = 1.0$, $d = -3.5$ ve $h = 0.75$ değerleri için M_α 'nın termal davranışları. (a) $m_C=0.0$, $m_{S1}=m_{S2}=0.0$ başlangıç değerleri, (b) $m_C=1.0$, $m_{S1}=m_{S2}=1.5$ başlangıç değerleri için elde edilmiştir. $T_C/J_C = 1.045$ değerine kadar karma i_2+nm fazı mevcutken, $T_C/J_C = 1.045$ 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 dördümlü noktayı temsil etmektedir. Elde edilen faz diyagramlarının özellikleri ile etkileşim parametrelerinin dinamik faz diyagramları üzerindeki etkisi aşağıdaki gibi sunulmuştur. Bu faz diyagramları:

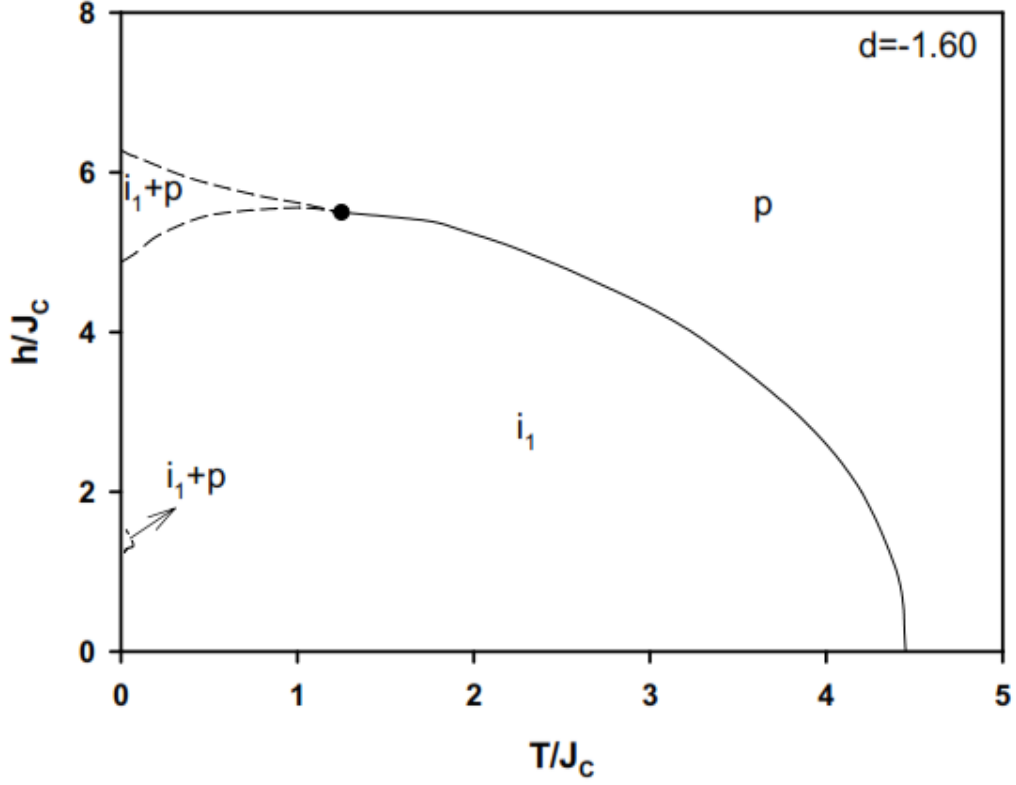
i) $(T/J_c, h/J_c)$ düzleminde $r=1.0$, $\Delta_s=0.0$ ve $d=1.0$ değerleri için elde edilen faz diyagramı Şekil 3.8’de verilmiştir. Bu faz diyagramında, indirgenmiş sıcaklıkta (T) ve manyetik alan genliğinde (h) sistemde paramanyetik (p) faz mevcuttur. T ve h’nin düşük değerlerinde ise sistemde ferrimanyetik-1 (i_1) 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 i_1 ve p fazının birlikte bulunduğu karma i_1+p fazı bulunmaktadır. Karma i_1+p fazı, i_1 fazı ve p fazından birinci-derece faz geçiş çizgileriyle ayrılmıştır. Bu iki birinci-derece faz geçiş çizgileri birbirine yaklaşıp birleşmekte ve birinci-derece faz geçiş çizgisi son bularak, ikinci-derece faz geçiş çizgisi meydana gelmektedir. Birinci ve ikinci faz geçiş çizgilerinin birleştiği noktada sistemde dinamik 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 [79] (bu sistemde i fazı yerine ferromanyetik (f) faz gelmektedir), spin-1 [80, 81, 82] (bu çalışmalar da i fazının yerine f fazı gelmektedir), spin-3/2 [83, 84, 85] (bu çalışmada i fazının yerine ferromanyetik-3/2 ($f_{3/2}$) fazı gelmektedir), spin-2 [86, 87] (bu çalışmalar da i fazı yerine ferromanyetik-2 (f_2) fazı gelmektedir) Ising sistemlerinde elde edilmiştir. Yine bu faz diyagramının benzeri faz diyagramı karma spin (1/2, 1) [88,89], karma spin-1 ve spin-3/2[90], karma spin (1/2, 2) [91], karma spin (1, 5/2) [92], karma spin (3/2, 2) [93], karma spin (1, 2) [94], karma spin (1/2, 3/2) [95], spin (1/2, 5/2) [96] ve karma spin (3/2, 5/2) [97] Ising modellerinde de elde edilmiştir.



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

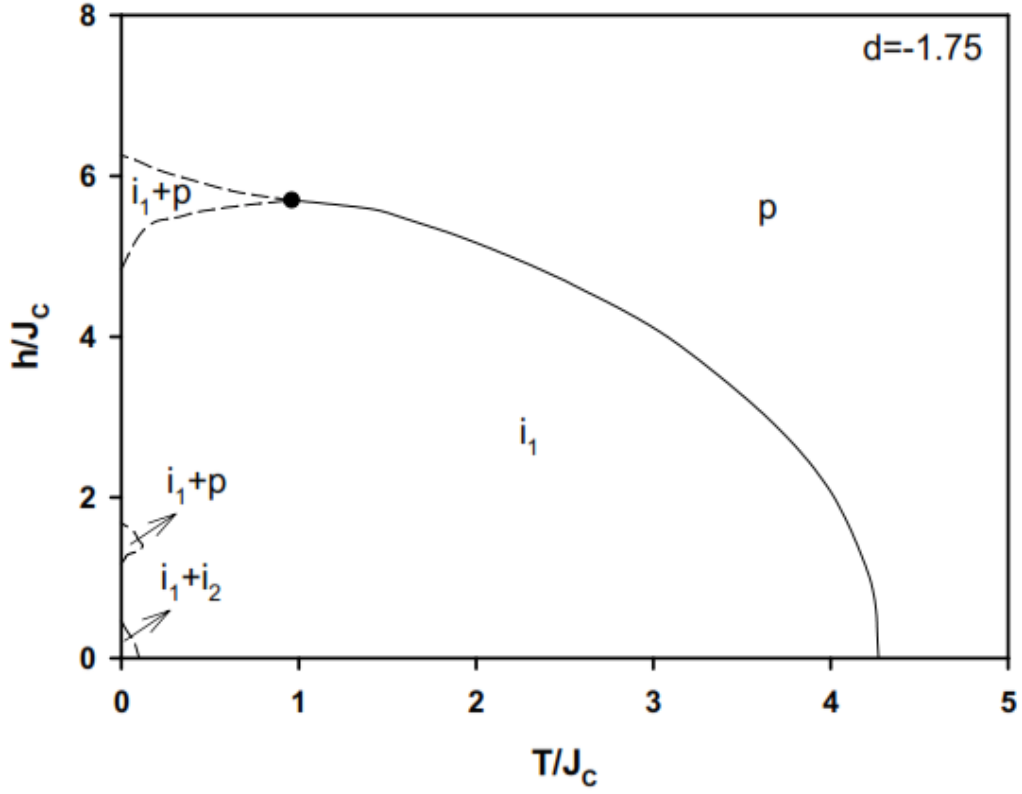
ii) $(T/J_c, h/J_c)$ düzleminde $r=1.0$, $\Delta_s=0.0$ ve $d=-1.6$ değerleri için elde edilen faz diyagramı Şekil 3.9'da verilmiştir. Bu faz diyagramında; sistemdeki paramanyetik (p) faz, yüksek sıcaklıkta (T) ve yüksek manyetik alan genliği (h) değerlerinde mevcuttur. Ferrimanyetik-1 (i_1) faz ise 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 $i + p$ 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.



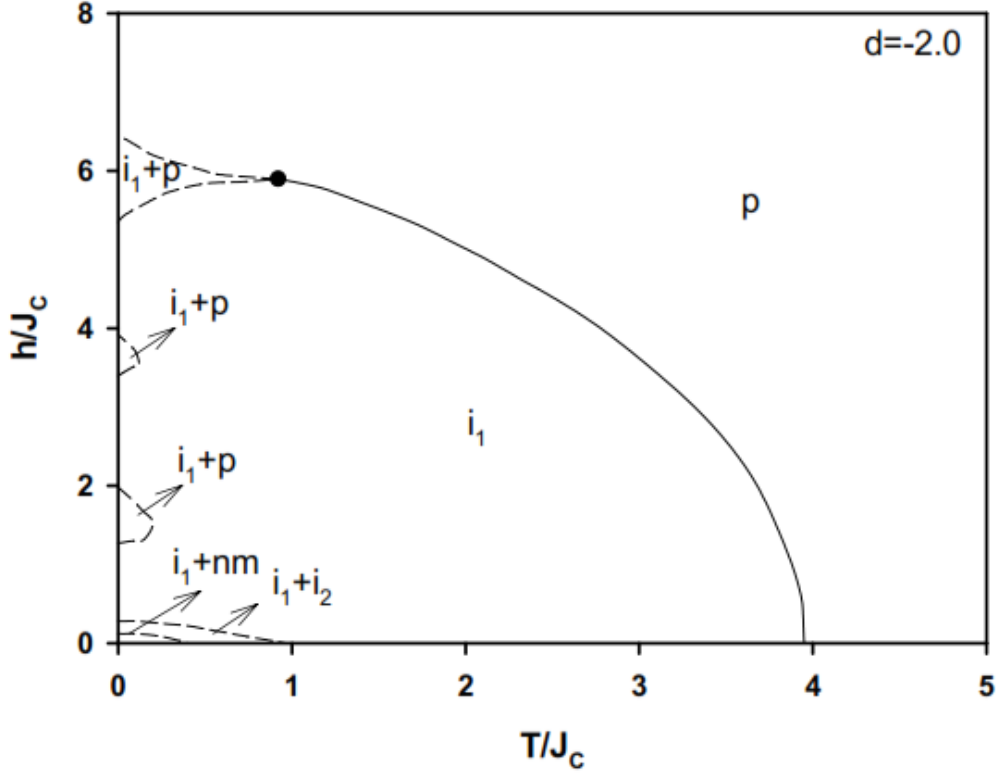
Şekil 3.9. Karma spin-1 ve spin-3/2 Ising nanotüp sisteminde $d = -1.6$ değeri için $(T/J_c, h/J_c)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

iii) $(T/J_c, h/J_c)$ düzleminde $r = 1.0$, $\Delta_s = 0.0$ ve $d = -1.75$ 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 $i_1 + i_2$ fazı meydana gelmektedir. Karma $i_1 + i_2$ fazı ile i_1 fazı arasındaki dinamik faz sınırı, birinci derece faz geçiştir.



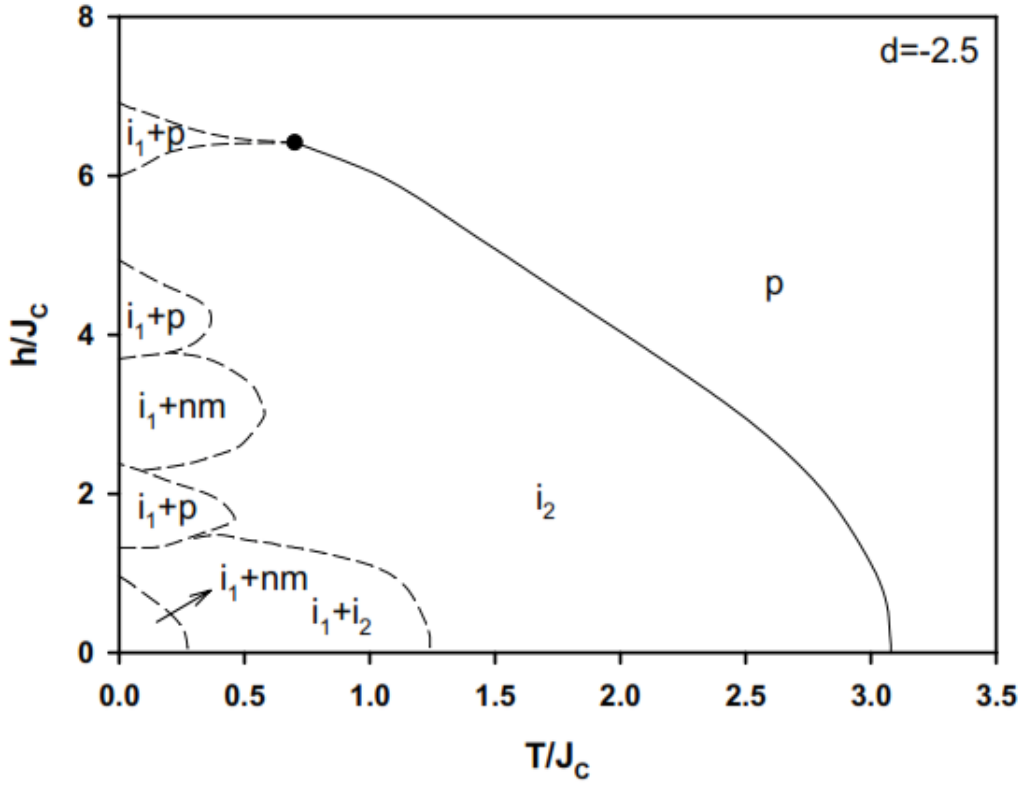
Şekil 3.10. Karma spin-1 ve spin-3/2 Ising nanotüp sisteminde $d = -1.75$ değeri için $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

iv) $(T/J_C, h/J_C)$ düzleminde $r = 1.0$, $\Delta_s = 0.0$ ve $d = -2.0$ değerleri için elde edilen faz diyagramı Şekil 3.11’de verilmiştir. Bu faz diyagramında düşük sıcaklık ve manyetik alan değerlerinde yeni $i_1 + nm$ karma faz bölgesi gözlenmeye başlanmaktadır. Karma $i_1 + nm$, $i_1 + i_2$ fazları ile i_1 fazı arasındaki dinamik faz sınırı, birinci-derece faz geçişidir. Tek-iyon anizotropisinin negatif değerlerinde ferrimanyetik fazın küçülüp, karma faz bölgelerinin büyümeye başladığı gözlemlenmiştir.



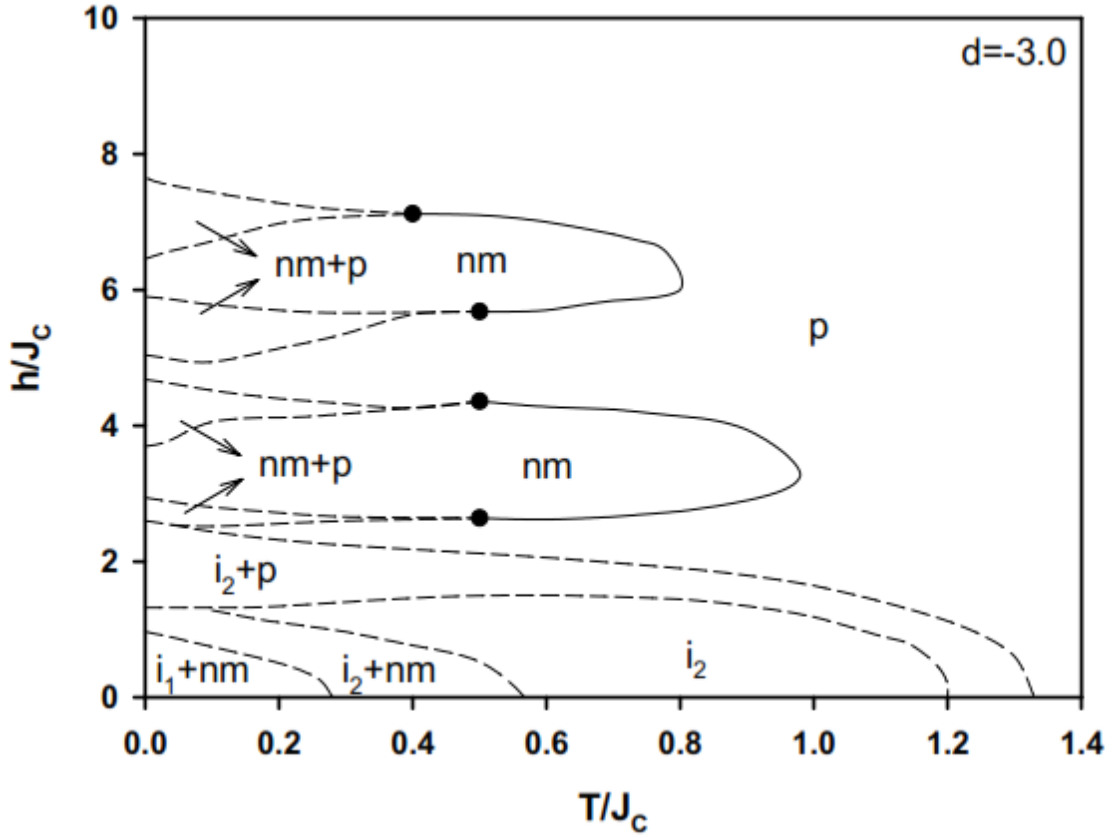
Şekil 3.11. Karma spin-1 ve spin-3/2 Ising nanotüp sisteminde $d = -2.0$ değeri için $(T/J_c, h/J_c)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

v) $(T/J_c, h/J_c)$ düzleminde $r = 1.0$, $\Delta_s = 0.0$ ve $d = -2.5$ 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 $i_1 + nm$ 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.



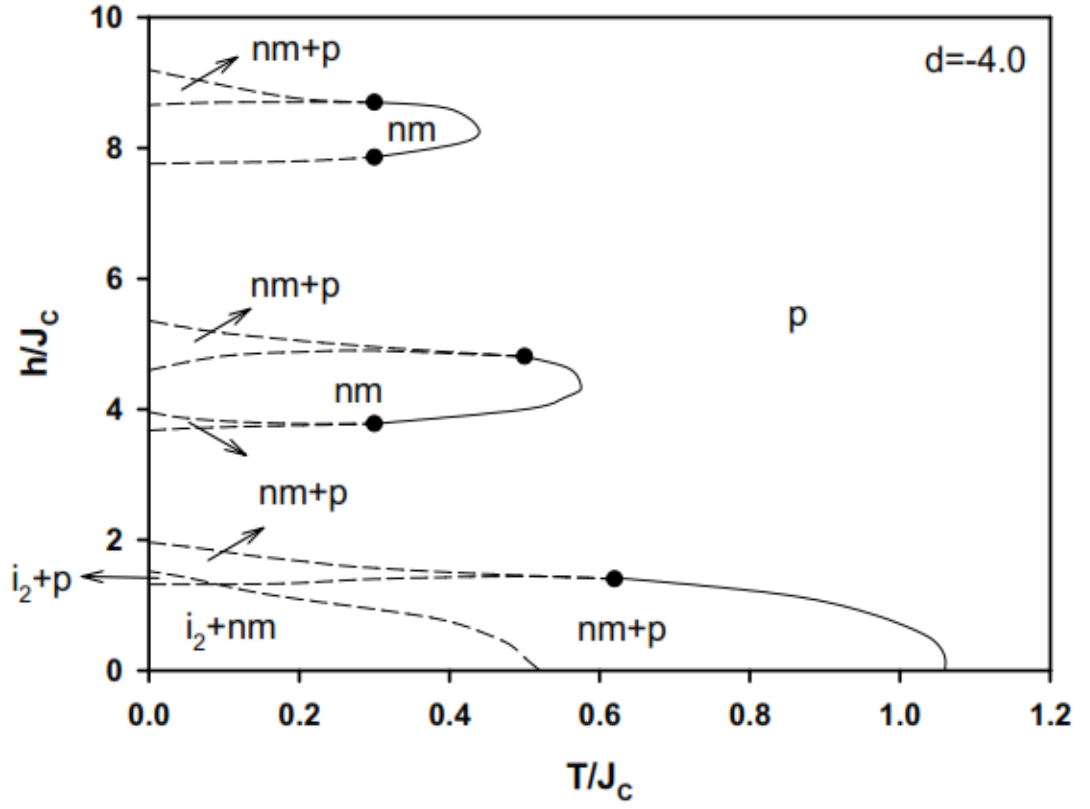
Şekil 3.12. Karma spin-1 ve spin-3/2 Ising nanotüp sisteminde $d = -2.5$ değeri için $(T/J_c, h/J_c)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

vi) $(T/J_c, h/J_c)$ düzleminde $r = 1.0$, $\Delta_s = 0.0$ ve $d = -3.0$ 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 $i_2 + nm$ fazı karma $i_1 + nm$ ve i_2 fazı olarak ayrıştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca sistemdeki i_2 ve $i_2 + p$ fazlarını ayıran birinci derece faz geçiş çizgileri ile birbirinden ayrılmaktadır.



Şekil 3.13. Karma spin-1 ve spin-3/2 Ising nanotüp sisteminde $d = -3.0$ 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 $d = -4.0$ değerleri için elde edilen faz diyagramı Şekil 3.14’de verilmiştir. Şekildende 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 nm ve p fazlarının yanında, nm+p, i_2+p , nm+p karma faz bölgeleri mevcuttur. Tek-iyon anizotropisinin negatif değerlerine gidildikçe faz diyagramlarındaki nonmanyetik (nm) fazın küçüldüğü ve karma fazlarının bazılarının kaybolup bazılarının büyümeye devam ettiği gözlemlenmiştir.



Şekil 3.14. Karma spin-1 ve spin-3/2 Ising nanotüp sisteminde $d = -4.0$ değeri için $(T/J_c, h/J_c)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

BÖLÜM 4

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında silindirik nanotüp sistemi Ising modeli ile tanımlanarak en yakın komşu etkileşmelerini, kristal alan (tek-iyon anizotropi) etkileşimi ve zamana bağlı dış manyetik alan terimini içeren silindirik karma spin-1 ve spin-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 ve spin-3/2 Ising nanotüp sistemi için sistemin dinamik davranışlarını açıklayan ortamlara (OA) dinamik denklemlerini elde etmek için Glauber dinamiği ve master denklemlerinden yararlanıldı. Karma spin-1 ve spin-3/2 Ising nanotüp sistemi Glauber- tipi stokastik dinamiğe göre birim zamanda $1/\tau$ oranında değişim gösterdiği ortalama-alan dinamik denklemlerin denklemleri elde edildi. Öncelikle sistemde var olan fazları bulmak için sistemin dinamik denklemlerinden (denklem (2.14), (2.18) ve (2.19)) 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_a '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_1 birinci-derece faz geçiş sıcaklığını gösterirken, T_c ise ferrimanyetik ve manyetik olmayan fazlardan paramanyetik faza ikinci-derece faz geçiş sıcaklıklarını göstermektedir. Daha sonra dinamik faz geçiş (DFG) sıcaklıklarından yararlanılarak, farklı 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 dörtlü noktayı temsil etmektedir. Karma spin-1 ve spin-3/2 Ising nanotüp 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 çalışmamasının 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. Shong C. W., Haur S. C., Wee A. T. S., “ Science at the Nanoscale: An Introductory Textbook”, Singapore: Pan Stanford Pub., s.214, 2010.
2. Wegrowe J. E., Kelly D., Jaccard Y., et. al, “Current-induced magnetization reversal in magnetic nanowires”, *Europhysics Letters*, 45, s. 626-632, 1999.
3. Fert A., Piraux L., “Magnetic nanowire”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 200, s.338-358, 1999.
4. O'Connor C.J., Tang J., Zhang J. H., “Nanostructured magnetic materials” in *Magnetism: Molecules to materials III: Nanosized magnetic materials*, Miller J.S., Drillon M (Eds.), Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, s.1-36, 2002.
5. 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.
6. 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.
7. Nie S., Emory S.R.,”Probing single molecules and single nanoparticles by surfaceenhanced Raman scattering”, *Science* , 275, s.1102-1106, 1997.
8. Elliott D.W., Zhang W.X.,” Field Assessment of Nanoscale Bimetallic Particles for Groundwater Treatment”, *Environmental Science and Technology*, 35, s. 4922-4926, 2001.
9. Wong A.P.Y., Chan M.H.W,” Liquid-Vapor Critical Point of 4He in Aerogel”, *Physical Review Letters*, 65, s.2567-2570, 1990.
10. Alexiou C., Schmidt A., Klein R., Hullin P., Bergemann C., Arnold W.,” Magneticdrug targeting: biodistribution and dependency on magnetic field strength”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 252, s. 363-366, 2002.
11. Bourlinos A.B., Simopoulos A., Boukos N., et al.,” Magnetic modification of the external surfaces in the MCM-41 porous Silica: Synthesis, characterization,

- and functionalization”, *The Journal of Physical Chemistry B.*, 105, s. 7432-7437, 2001.
12. Gross A.F., Diehl M.R., Beverly K.C., et al, “Controlling magnetic coupling between Cobalt nanoparticles through nanoscale confinement in hexagonal mesoporous Silica”, *The Journal of Physical Chemistry B*, 107, 5475-5482, 2003.
 13. Lindsay S., “Introduction to Nanoscience” , *Oxford University Press*, 472,2010.
 14. Göçek İ., Kurşun S., “Küçük G.Tekstil endüstrisinde nanoteknoloji uygulamaları”, s.164 ,3/2006.
 15. Corti CW., Holiday RJ., Thompson DT., “Developing New Industrial Applications for Gold” , *Gold Nanotechnology ,Gold Bulletin* , 35(4), 111-117, 2002.
 16. Özdoğan E., Demir A., Seventekin N., “Lotus Etkili Yüzeyleyler, Tekstil ve Konfeksiyon”, s.287-290,1/2006.
 17. Momose S., Kodama H., Uzumaki T., Tanaka A., “Magnetic properties of magnetically isolated L10-FePt nanoparticles”, *Appl.Phys.Lett.*, 85(10), 1748-1750, 2004
 18. Coffy W.T., Crothers D.S.F., Dormann J.L., Kalmykov Yu.P., Kennedy E.C., Wernsdorfer .W., “Effect of an oblique magnetic field on the superparamagnetic relaxation time. II. Influence of the gyromagnetic term”., *Phys.Rev.Lett.* 80, 5655, 1998
 19. Kovylyna M., Garcia del Muro M., Konstantinovic Z., Varela M., Iglesias O., Labarta A., Batlle X., “Controlling exchange bias in Co-CoOx nanoparticles by oxygen content”, *Nanotechnology.*, 20, 175702, 2009.
 20. Vasilakaki M., Trohidou K.N., “ Numerical study of the exchange-bias effect in nanoparticles with ferromagnetic core/ferrimagnetic disordered shell morphology”, *Phys.Rev.*, B79, 144402, 2009.

21. Maller, J., Zhang, K.Y., Chien, C.L., Eagleton T.S., Searson, P.C., “Fabrication and magnetic properties of fcc CoXPt1–XCoXPt1–X nanowires”, *Appl.Phys.Lett.*,84,39002004
- Lieber C.M., Wang Z.L., “Functional Nanowires”, *MRS Bull.* 32, 99-108, 2007;
- Parkin, S.S.P., Hayashi, M., Thomas, L., “Magnetic domain-wall racetrack memory”, *Science.*,320, 190-4, 2008;
- Zhang, H., Hoffmann, A., Divan, R., Wang, P., “Direct-current effects on magnetization reversal properties of submicron-size Permalloy patterns for radio-frequency devices”, *Appl Phys. Lett.*, 95, 232503,2009.
22. Lee, J., Suess, D., Schrefl, T., Oha, K.H., Fidler, J., “Magnetic characteristics of ferromagnetic nanotube”, *J.Magn Magn Mater.*, 310, 2445-2447, 2007.
23. Landeros, P., Allende, S., Escrig, J., Salcedo, E., Altbir, D., “Role of grain boundary and grain defects on ferromagnetism in Co:ZnO films”, *Appl.Phys.Lett.*,90,102506,2007;
- Landeros P., Suarez O.J., Cuchillo A., Vargas P., “Equilibrium states and vortex domain wall nucleation in ferromagnetic nanotubes”, *Phys.Rev.* B79, 024404, 2009.
24. Konstantinova, E., “Theoretical simulations of magnetic nanotubes using Monte Carlo method”, *J. Magn. Magn. Mater.* 320, 2721, 2008.
25. Kaneyoshi, T., “Phase diagrams of a nanoparticle described by the transverse Ising model”, *Phys.StatusSolidi.*, B242, 2938-2948, 2005;
- Kaneyoshi, T., “Compensation temperature in a cylindrical Ising nanowire (or nanotube)”, *Physica.*, A390,3697, 2011;
- Kaneyoshi, T., “Phase diagrams of a cylindrical transverse Ising ferromagnetic nanotube; Effects of surface dilution”, *Solid State Commun.*,151, 1528-1532, 2011.
26. Wang, C.D., Lu, Z.Z., Yuan, W.X., Kwok, S.Y., Teng, B. H., “Dynamic properties of phase diagram in cylindrical ferroelectric nanotubes”, *Phys.LetA.*, 375,3405-3409,2011.

27. Mi, B.Z., Wang, H.Y., Zhou, Y.S., “Theoretical investigations of magnetic properties of ferromagnetic single-walled nanotubes”, *J. Magn. Magn. Mater.*, 322, 952-958, 2010;
- Mi B.Z., Wang H.Y., Zhou Y.S., “Theoretical investigations of magnetic properties of ferromagnetic single-layered nanobelts”, *Phys.Status Solidi.*, B 248,1280-1286, 2011.
28. Kaneyoshi, T., “Magnetic properties of a cylindrical Ising nanowire or nanotube”, *Phys.Status Solidi.*, B 248, 250-258, 2011.
29. Jiang, W., Li, X.X ., Guo, A.B ., Guan, H.Y ., Wang, Z., Wang K., “Magnetic properties and thermodynamics in a metallic nanotube”, *J. Magn. Magn. Mater* 355, 309-318,2014.
30. Kaneyoshi T., “Cylindrical ising nanowire and nanotube with a negative exchange interaction at the surface”, *Phsyica E.*, 71, 84-90, 2015.
31. Magoussi, H ., Zaim, A., Keroud, M., “Monte Carlo simulation of the magnetic properties of a spin-1 Blume–Capel nanowire”, *Solid Stade Commun.*, 200, 32-41, 2014
32. Boughrara, M., Kerouad, M., Zaim, A., “Phase diagrams and magnetic properties of a cylindrical Ising nanowire: Monte Carlo and effective field treatments”, *J. Magn. Magn. Mater.* 368, 169-179, 2014.
33. Kaneyoshi T., “Characteristic phenomena in nanoscaled transverse Ising thin films with diluted surfaces”, *Phsyica.*, B 407, 4358-4364, 2012.
34. Kaneyoshi T., “Transverse Ising nano-systems, Unconventional surface effects”, *Phys J.,Chem Solid.*, 81, 66-73, 2015.
35. See, E.G., Moorjani K., Coey J.M.D., “Magnetic Glasses”, *Elsevier, Amsterdam*,1984.
36. Kaneyoshi T., “Introduction to Amorphous Magnets”, *World Scientific, Singapore.*, 1992.
37. Li, X., Jia, Q., Lv, F., Pan, D., Li, Z., “Vector analysis of the magnetic polarity from individual magnetic nanoparticles”, *Mater Lett.*, 170, 205-209, 2016.

38. Şarlı N., “Paramagnetic atom number and paramagnetic critical pressure of the sc, bcc and fcc Ising nanolattices”, *J. Magn. Magn. Mater.*, 374, 238-244, 2015.
39. Kim J., Park S., Lee J.E., Jin S.M., Lee J.H., Lee I.S., Yang I., Kim J.S., Kim S.K., Cho M.H., Hyeon T., “Designed fabrication of multifunctional magnetic gold nanoshells and their application to magnetic resonance imaging and photothermal therapy”, *Angew, Chem.Int.Ed.*, 45, 7754-8, 2006.
40. A, H., Schmidt, W., Matoussevitch, N., Bconnemann, H., Spliethoff, B., Tesche, B., Bill, E., Kiefer, W., Schuth, F., “Nanoengineering of a magnetically separable hydrogenation catalyst”, *Angew, Chem.Int.Ed.*, 43(33), 4303-6, 2004.
41. Govind, Raj K., Joy, P.A., “Magnetism in disordered carbon as a function of the extent of graphitization”, *Solid State Commun J.*, 177, 89-94, 2014.
42. Rosensweig R.E., “Ferrohydrodynamics”. *Dover, New Yorg.*, 1997.
43. Gupta, A.K., Gupta, M., “Synthesis and surface engineering of iron oxide nanoparticles for biomedical applications”, *Biomaterials.*, 26, 3995-4021, 2005.
44. Dlamini, W.B., Msomi, J.Z., Moyo, T., “XRD, Mössbauer and magnetic properties of $Mg_xCo_{1-x}Fe_2O_4$ nanoferrites”, *J. Magn. Magn. Mater.*, 373, 78-82, 2005.
45. Srivastava M., Layek S., Singh J., Das A.K., Verma H.C., Ojha A.K., Kim N.H., Lee J.H., “Synthesis, magnetic and Mössbauer spectroscopic studies of Cr doped lithium ferrite nanoparticles”, *Alloys J. Compd.*, 591, 174-180, 2014.
46. Kaneyoshi T., “Magnetizations of a nanoparticle described by the transverse Ising model”, *J. Magn. Magn. Mater.*, 321, 3430-3435, 2009.
47. Magoussi, H., Zaim, A., Kerouad, M., “Monte Carlo simulation of the magnetic properties of a spin-1 Blume–Capel nanowire”, *Solid State Commun J.*, 200, 32-41, 2014.
48. Zaim N., Zaim A., “Kerouad M., Monte Carlo simulation of the magnetic properties of a spin-1 Blume–Capel nanowire”, *Alloys Compd J.*, 663, 516-523, 2016.

49. Albayrak E., “Core–shell structured triangular Ising nanowire on the Bethe lattice”, *Phys J. Lett.*, A 380, 458-464, 2016.
50. Albayrak, E., “Core–shell structured square mixed-spin 1 and 1/2 Ising nanowire on the Bethe lattice”, *J. Magn. Magn. Mater.*, 401, 532-538, 2016.
51. a) Akıncı, Ü., “Effects of the randomly distributed magnetic field on the phase diagrams of Ising nanowire I: Discrete distributions”, *J. Magn. Magn. Mater.*, 324, 3951-3960, 2012;
- b) Akıncı, Ü., “Effects of the randomly distributed magnetic field on the phase diagrams of the Ising Nanowire II: Continuous distributions”, *J. Magn. Magn. Mater.*, 324, 4237-4244, 2012.
52. Magaussi, H., Zaim, A., Kerouad, M., “Monte Carlo simulation of the magnetic properties of a spin-1 Blume–Capel nanowire”, *Solid State Commun.*, 200, 32-41, 2014.
53. Magoussi, H., Zaim, A., Kerouad, M., “Theoretical investigations of the phase diagrams and the magnetic properties of a random field spin-1 Ising nanotube with core/shell morphology”, *J. Magn. Magn. Mater.*, 344, 109-115, 2013.
54. Magoussi, H., Zaim, A., Kerouad, M., “Magnetic properties of a nanoscaled ferrimagnetic thin film: Monte Carlo and effective field treatments”, *Superlattices Microstruct.*, 89, 188-203, 2016.
55. Jiang, W., Huang, J.Q., “Magnetic properties of a hexagonal prismatic nanoparticle with ferrimagnetic core–shell structure”, *Phys J.*, 78, 115-122, 2016.
56. 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.
57. Coronado, E., Dekhais, P., Gatteschi, D., Miller, J. S., “Molecular Magnetism: From Molecular Assemblies to the Devices (NATO ASI Series E, Vol. 321),” *Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.*, 1996.

58. Feraoun, A., Zaim, A., Kerouad, M., “Monte Carlo study of a mixed spin-1 ve spin-3/2 ferrimagnetic nanowire with core/shell morphology”, *Phys.*, B 445, 74-80, 2014.
59. Dakir, O., El kenz, A., Benyoussef A., “Magnetic properties of core–shell (1/2–3/2) nanoparticle: Monte Carlo simulation”, *Phys J.*, A 426,45-55, 2015.
60. Kantar, E., “Hysteretic features of Ising-type segmented nanostructure with alternating magnetic wires”, *Alloys J. Compd.*, 676, 337-346, 2016.
61. Şarlı, N., “Band structure of the susceptibility, internal energy and specific heat in a mixed core/shell Ising nanotube”, *Physica B*, 411: 12-25 2013.
62. Canko, O., Erdiñç, A., Taşkın, F., and Atiş, M., “Some characteristic behavior of spin-1 Ising nanotube”, *Physics Letter A*, 375: 3547-3551 2011.
63. Yüksel, Y. Aydiner, E., and Polat, H., “Thermal and magnetic properties of a ferrimagnetic nanoparticle with spin-3/2 core and spin-1 shell structure”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 323: 3168-3175 2011.
64. Liu, LM., Jiang, W., Wang, Z., Guan, HY. and Guo, AB., “Magnetization and phase diagram of a cubic nanowire in the presence of the crystal field and the transverse field”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 324: 4034-4042 2012.
65. Boughrara, M., Kerouad, M. and 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.
66. Kocakaplan, Y. and Kantar, E., “Thermodynamic and magnetic properties of the hexagonal type Ising nanowire”, *European Physical Journal B*, 87: 135-142 2014.
67. Taşkın, F., Canko, O., Erdiñç, A. and Yıldırım, A. F., “Thermal and magnetic properties of a nanotube with spin-1/2 core and spin-3/2 shell structure”, *Physica A-Statistical Mechanics and Its Applications*, 407: 287-294 2014.

68. Kantar, E., Ertaş, M., “Cylindrical Ising nanowire in an oscillating magnetic field and dynamic compensation temperature”, *Superlattices Microstruct.*, 75, 831-842, 2014.
69. Ertaş, M., Kantar, E., “Cylindrical Ising Nanowire With Crystal Field:Existence Of A Dynamic Compensation Temperatures”, *Phase Transitions.*, 88, 567-581, 2015.
70. Deviren, B., Kantar, E., Keskin, M., “Dynamic phase transitions in a cylindrical Ising nanowire under a time-dependent oscillating magnetic field”, *J. Magn. Magn. Mater.*, 324, 2163-2170, 2012;
71. Ertaş, M., Kocakaplan, Y., “Dynamic behaviors of the hexagonal Ising nanowire”, *Phys.Lett.*, A 378, 845-850, 2014.
72. Deviren, B., Ertaş, M., Keskin, M., “Dynamic magnetizations and dynamic phase transitions in a transverse cylindrical Ising nanowire”, *Phys. Scr.*, 85, 055001, 2012.
73. Kantar, E., Ertaş, M., Keskin, M., “Dynamic phase diagrams of a cylindrical Ising nanowire in the presence of a time dependent magnetic field”, *J. Magn. Magn. Mater.*, 361, 61-67, 2014.
74. Deviren, B., Keskin, M., “Thermal behavior of dynamic magnetizations, hysteresis loop areas and correlations of a cylindrical Ising nanotube in an oscillating magnetic field within the effective-field theory and the Glauber type stochastic dynamics approach”, *Physics Letters A.*, 376, 1011-1019 2012.
75. Deviren, B., Şener, Y., Keskin, M., “Dynamic magnetic properties of the kinetic cylindrical Ising nanotube”, *Physica.*, A, 392, 3969-3983, 2013.
76. Vatansever, E., Polat, H., “Monte Carlo investigation of a spherical ferrimagnetic core-shell nanoparticle under a time dependent magnetic field”, *J. Magn. Magn. Mater.*, 343, 221-227, 2013.
77. Vatansever, E., Polat, H., “Non-equilibrium dynamics of a ferrimagnetic core-shell nanocubic particle”, *Physica A.*, 394, 82-89, 2014.
78. 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.

79. 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.
80. 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.
81. 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.
82. 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.
83. 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.
84. Keskin, M., Canko, O., Kirak, M., “Dynamic Dipole and Quadruple Phase Transition in the Kinetic Spin-3/2 Model”, *J. Stat. Phys.*, 127, 359-380, 2007.
85. 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.
86. 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.
87. Ertas, M., Canko, O., Keskin, M., “Dynamic Phase Transition in the Kinetic Spin-2 Blume-Emery-Griffiths Model in an Oscillating Field”, *J. Magn. Mater.*, 320, 1765-1774, 2008.
88. Buendia, G.-M., Machado, E., “Kinetics of a Mixed Ising Ferrimagnetic System”, *Phys. Rev.*, E, 58, 1260, 1998.
89. 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.
90. 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.

91. 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.
92. 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.
93. 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.
94. 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.
95. 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.
96. 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.
97. 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.
98. Deviren, B., Keskin, M., Canko, O., “Dynamic Phase Transition and Dynamic Phase Diagrams in the spin-5/2 Blume-Capel Model Under a Time-Dependent Oscillating External Field”, *Phase Trans.*, 82, 683-698, 2009.