

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

GRAFEN NANOADALARI SİSTEMİNİN DİNAMİK
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Tezi Hazırlayan
Tevfik Fikret YAĞMURUĞLU

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Bayram DEVİREN

Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Ekim 2022
NEVŞEHİR

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

GRAFEN NANOADALARI SİSTEMİNİN DİNAMİK
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Tezi Hazırlayan
Tevfik Fikret YAĞMURUĞLU

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Bayram DEVİREN

Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Ekim 2022
NEVŞEHİR

Prof. Dr. Bayram DEVİREN danışmanlığında Tevfik Fikret YAĞMUROĞLU tarafından hazırlanan "**Grafen nanoadaları sisteminin dinamik davranışlarının incelenmesi**" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

/ 10 / 2022

JÜRİ

Başkan : Prof. Dr. Mehmet ERTAŞ

Üye : Prof. Dr. Bayram DEVİREN

Üye : Doç. Dr. Yasin POLAT

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun.....tarih ve.....
sayılı kararı ile onaylanmıştır.

.../.../ 20..

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.

Tevfik Fikret YAĞMUROĞLU

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince tüm bilgilerimi benimle paylaşmaktan kaçınmayan, her türlü konuda desteğini benden esirgemeyen ve tezimde büyük emeği olan, aynı zamanda kişilik olarak da bana çok şey katan Sayın Hocam Prof. Dr. Bayram DEVİREN'e,

Maddi ve manevi olarak her zaman desteklerini hissettiren başta eşim Havva YAĞMUROĞLU olmak üzere değerli AİLEME,

Desteklerinden dolayı Prof. Sezen AKSÖZ, Doç. Dr. Şeyma AKKAYA DEVİREN'e teşekkür ederim.

**GRAFEN NANOADALARI SİSTEMİNİN DİNAMİK DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Tevfik Fikret YAĞMUROĞLU

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ekim 2022**

ÖZET

Çeşitli grafen benzeri malzemeler, grafen tipi nanoparçacıkların keşfinden bu yana, ilginç manyetik davranışları nedeniyle umut vaderek, birçok teorik yaklaşım ve deneysel uygulamalarla büyük ilgi çekmiştir. Henüz yeni olmakla beraber, nano parçacık olan grafen nanoadası, termodinamik ve manyetik davranışları nedeniyle büyük ilgi görmüştür. Bu tezde zamana bağlı salınımlı dış manyetik alan varlığında kinetik karma spin-1/2 ve spin-1 Ising grafen nanoadalarının denge dışı faz geçişleri hesaplandı ve faz diyagramları sunuldu. Glauber geçiş oranları, sistemin dinamik ortalama alan denklemlerini elde etmek için kullanıldı. Ortalama mıknatıslanmaların zamanla değişimi ve dinamik mıknatıslanmaların termal davranışı kapsamlı bir şekilde araştırıldı. Faz geçişlerinin doğası (sürekli veya süreksiz), dinamik manyetizasyonların termal davranışları incelenerek karakterize edildi ve dinamik faz geçiş noktaları elde edildi. Sistemin dinamik faz diyagramları, manyetik alan genliği ve sıcaklık düzleminde sunuldu ve dinamik faz diyagramlarının etkileşim parametrelerine güçlü bir şekilde bağlı olan üç temel faz ve dört tane karma faz içerdiği tespit edildi. Ayrıca dinamik faz diyagramları, dinamik üçlü ve dördü kritik nokta davranışları gösterdiği bulundu. Sonuç olarak bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar, nanoyapılarla ilgili gelecekteki deneysel ve teorik çalışmalar için bir referans olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Grafen, Nano ada, Ising model, Dinamik davranışlar.

Tez Danışman: Prof. Dr. Bayram DEVİREN

Sayfa Adeti: 70

**NON-EQUILIBRIUM PHASE TRANSITIONS IN A MIXED SPIN ISING
GRAPHENE NANOISLAND UNDER A TIME-DEPENDENT OSCILLATING
MAGNETIC FIELD**

(M. Sc. Thesis)

Tevfik Fikret YAĞMUROĞLU

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

Ekim 2022

ABSTRACT

Since the discovery of graphene type nanoparticles, various graphene-like materials have attracted promising interests because of their outstanding magnetic behaviors, significant theoretical approach and experimental applications. As a new kind of small dimensional nano-particle, graphene nanoisland has attracted extensive attention due to their attractive thermodynamic and magnetic behaviors. We calculate the non-equilibrium phase transition and present the non-equilibrium phase diagrams in the kinetic mixed spin-1/2 and spin-1 Ising graphene nanoisland model under the presence of a time-dependent oscillating external magnetic field. We employ the Glauber transition rates to construct the set of mean-field dynamic equations. The time variation of the average magnetizations and the thermal behavior of the dynamic magnetizations are investigated, extensively. The nature (continuous or discontinuous) of the transitions is characterized by studying the thermal behaviors of the dynamic magnetizations. The non-equilibrium phase transition points are obtained and the phase diagrams are presented in the magnetic field amplitude and temperature plane. Phase diagrams contain three fundamental phases and four coexistence or mixed phases, which strongly depend on interaction parameters. Non-equilibrium phase diagrams display the dynamic tricritical point and some sort of reentrant phenomena, which strongly depend on interaction parameters. Our predicted results may be a reference for future experimental and theoretical studies of the nanostructures.

Keywords: Graphene; Nanoisland; Ising model; Dynamic behaviors.

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Bayram DEVİREN

Page Number: 70

İÇİNDEKİLER

KABÜL VE ONAY SAYFASI	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xii
1. BÖLÜM	
GİRİŞ	1
2. BÖLÜM	
METOT ve MODELİN TANITIMI.....	17
2.1 Model	17
2.2. Glauber Dinamiği ve Ortalama-Alan Dinamik Denklemlerinin Elde Edilmesi	19
3. BÖLÜM	
KARMA SPİN (1/2, 1) GRAFEN NANOADALARI SİSTEMİNİN NÜMERİK ÇÖZÜMÜ	23
3.1. Ortalama Alt Örgü Miknatislanmalarının Zamanla Değişimi.....	23
3.2. Dinamik Düzen Parametreleri ve Dinamik Faz Geçiş Noktaları.....	32
3.3. Dinamik miknatislanmaların termal davranışı	32
3.4. (T/J ₄ , h/J ₄) Düzleminde Dinamik Faz Diyagramları	37

4. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER.....	47
KAYNAKLAR	50
ÖZGEÇMİŞ	69



ŞEKİLLER LİSTESİ

- Şekil 1.1. Grafenin yapısı. 1
- Şekil 1.2. Karbon elementinin allotropları 4
- Şekil 1.3. Grafen alanında yapılan çalışma sayıları 5
- Şekil 1.4. Farklı alanlarda grafen konusunda yapılan araştırmaların dağılımı. 5
- Şekil 1.5. Karbon nano parçacık molekül yapısı. 7
- Şekil 1.6. Makrodan nanoya temsili görselleştirme. 9
- Şekil 1.7. Boyutların temsili sıralama. 10
- Şekil 1.8. a) Koltuk ve zigzak kenarlı grafen kristalinin şekil üzerinde gösterimi b) Grafendeki bir karbon atomunun σ ve π orbitallerinin şekil üzerinde gösterimi. 15
- Şekil 2.1. Grafen benzeri yapıya sahip iki tabakalı ferrimanyetik karma spin (1/2, 1) Ising grafen nanoadalarının şematik temsili. Altıgen örgü üzerinde; spin-1/2 manyetik atomlarını içeren A alt örgüsü (mavi küreler) ve spin-1 manyetik atomlarını içeren B alt örgüleri (kırmızı küreler) dönüşümlü olarak düzenlenmiştir. J_1, J_2, J_3 ve J_4 ise manyetik atomları arasındaki bilineer değişim parametrelerini gösterilmektedir.
- Şekil 3.1. Karma spin (1/2, 1) grafen nanoadaları sistemi için ortalama alt örgü mıknatıslanmalarının $m_1(\xi), m_2(\xi), m_3(\xi)$ ve $m_4(\xi)$ 'ün zamanla değişimi. Sistemde $D/J_4=1.0, h/J_4=11.0, T/J_4=9.0$ değerleri için paramanyetik (p) fazın mevcut olduğunu göstermektedir.
- Şekil 3.2. Karma spin (1/2, 1) grafen nanoadaları sistemi için ortalama alt örgü mıknatıslanmalarının $m_1(\xi), m_2(\xi), m_3(\xi)$ ve $m_4(\xi)$ 'ün zamanla değişimi. Sistemde $D/J_4=-2.0, h/J_4=4.0, T/J_4=2.0$ değerleri için ferrimanyetik (i) fazın mevcut olduğunu göstermektedir.
- Şekil 3.3. Karma spin (1/2, 1) grafen nanoadaları sistemi için ortalama alt örgü mıknatıslanmalarının $m_1(\xi), m_2(\xi), m_3(\xi)$ ve $m_4(\xi)$ 'ün zamanla değişimi. Sistemde $D/J_4=-12.0, h/J_4=1.0, T/J_4=3.0$ değerleri için nonmanyetik (nm) fazın mevcut olduğunu göstermektedir.

- Şekil 3.4. Karma spin (1/2, 1) grafen nanoadaları sistemi için ortalama alt örgü miknatislanmalarının $m_1(\xi), m_2(\xi), m_3(\xi)$ ve $m_4(\xi)$ 'ün zamanla değişimi. Sistemde $D/J_4=-6.0$, $h/J_4=1.0$, $T/J_4=0.5$ değerleri için hem ferrimanyetik (i) hem de nonmanyetik (nm) fazların mevcut olduğunu göstermektedir.
- Şekil 3.5. Karma spin (1/2, 1) grafen nanoadaları sistemi için ortalama alt örgü miknatislanmalarının $m_1(\xi), m_2(\xi), m_3(\xi)$ ve $m_4(\xi)$ 'ün zamanla değişimi. Sistemde $D/J_4=-5.0$, $h/J_4=8.5$, $T/J_4=0.2$ değerleri için hem ferrimanyetik (i) hem de paramanyetik (p) fazların mevcut olduğunu göstermektedir.
- Şekil 3.6. Karma spin (1/2, 1) grafen nanoadaları sistemi için ortalama alt örgü miknatislanmalarının $m_1(\xi), m_2(\xi), m_3(\xi)$ ve $m_4(\xi)$ 'ün zamanla değişimi. Sistemde $D/J_4=-10.0$, $h/J_4=10.0$, $T/J_4=0.2$ değerleri için hem manyetik olmayan (nm) hem de paramanyetik (p) fazların mevcut olduğunu göstermektedir.
- Şekil 3.7. Karma spin (1/2, 1) grafen nanoadaları sistemi için ortalama alt örgü miknatislanmalarının $m_1(\xi), m_2(\xi), m_3(\xi)$ ve $m_4(\xi)$ 'ün zamanla değişimi. Sistemde $D/J_4=-8.0$, $h/J_4=2.5$, $T/J_4=0.02$ değerleri için hem paramanyetik (p) hem nonmanyetik (nm) hem de ferrimanyetik (i) fazlarının bir arada olduğu $i+nm+p$ fazların mevcut olduğunu göstermektedir.
- Şekil 3.8. $J_1 = 1.0, J_2 = 1.0, J_3 = 1.0, J_4 = 1.0, D/J_4 = -3.2$ ve $h/J_4 = 2.0$ değerleri için M_α 'nın sıcaklığa bağlı davranışı. $T_c/J_4 = 7.30$ değerinde ferrimanyetik (i) fazdan paramanyetik (p) faza ikinci-derece faz geçişini göstermektedir.
- Şekil 3.9. $J_1 = 1.0, J_2 = 1.0, J_3 = 1.0, J_4 = 1.0, D/J_4 = -10.0$ ve $h/J_4 = 2.0$ değerleri için M_α 'nın sıcaklığa bağlı davranışı. Sistemde $T_c/J_4 = 4.72$ 'ye kadar nm fazı, $T_c/J_4 = 4.72$ sıcaklık değerinde büyük sıcaklıklarda manyetik olmayan (nm) fazdan paramanyetik (p) faza ikinci-derece faz geçişini göstermektedir.
- Şekil 3.10. $J_1 = 1.0, J_2 = 1.0, J_3 = 1.0, J_4 = 1.0, D/J_4 = -8.0$ ve $h/J_4 = 1.0$ değerleri için M_α 'nin termal davranışları. $m_1=m_2=0.5$, $m_3=m_4=1.0$ başlangıç değerleri,

$T_v/J_4 = 0.94$ 'e kadar i fazı, $T_v/J_4 = 0.94$ ile $T_c/J_4 = 5.94$ arasında nm fazı ve $T_c/J_4 = 5.94$ 'den yüksek sıcaklıklarda p fazını göstermektedir.

Şekil 3.11. $J_1 = 1.0, J_2 = 1.0, J_3 = 1.0, J_4 = 1.0, D/J_4 = -12.0$ ve $h/J_4 = 3.2$ değerleri için M_a 'nın sıcaklığa bağlı davranışı. $T_v/J_4 = 1.01$ ' e kadar sistemde nm fazı $T_v/J_4 = 1.01$ ' den değerinden sonra sistemde paramanyetik (p) fazın mevcut olduğunu göstermektedir.

Şekil 3.12. $J_1 = 1.0, J_2 = 1.0, J_3 = 1.0, J_4 = 1.0, D/J_4 = -6.0$ ve $h/J_4 = 4.0$ değerleri için M_a 'nin termal davranışları. $m_1=m_2=0.5, m_3=m_4=1.0$ başlangıç değerleri için elde edilmiştir. Sistemde $T_c/J_4 = 1.25$ ' e kadar i+p fazı $T_v/J_4 = 1.25$ ile $T_c/J_4 = 5.43$ arası kadar i fazı, $T_c/J_4 = 5.43$ ' den yüksek sıcaklıklarda p fazının mevcut olduğunu göstermektedir.

Şekil 3.13. Karma spin (1/2, 1) Ising grafen nanoadaları sisteminde $D/J_4 = 1.0$ değeri için $(T/J_4, h/J_4)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

Şekil 3.14. Karma spin (1/2, 1) Ising nanoadaları sisteminde $D/J_4 = -2.0$ değeri için $(T/J_4, h/J_4)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

Şekil 3.15. Karma spin (1/2, 1) grafen nanoadaları sisteminde $D/J_4 = -3.2$ değeri için (T, h) düzleminde dinamik faz diyagramı.

Şekil 3.16. Karma spin (1/2, 1) Ising grafen nanoadaları sisteminde $D/J_4 = -4.0$ değeri için $(T/J_4, h/J_4)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

Şekil 3.17. Karma spin (1/2, 1) Ising grafen nanoadaları sisteminde $D/J_4 = -5.0$ değeri için $(T/J_4, h/J_4)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

Şekil 3.18. Karma spin (1/2, 1) Ising grafen nanoadaları sisteminde $D/J_4 = -6.0$ değeri için $(T/J_4, h/J_4)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

Şekil 3.19. Karma spin (1/2, 1) Ising grafen nanoadaları sisteminde $D/J_4 = -8.0$ değeri için $(T/J_4, h/J_4)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

Şekil 3.20. Karma spin (1/2, 1) Ising grafen nanoadaları sisteminde $D/J_4 = -10.0$ değeri için $(T/J_4, h/J_4)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

Şekil 3.21, Karma spin (1/2, 1) Ising nanoadaları sisteminde $D/J_4 = -12.0$ değeri için $(T/J_4, h/J_4)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme
GNP	Grafen Nano Plaka
MWCNT	Çok Duvarlı Karbon Nanotüp
m	metre
cm	santimetre
mm	milimetre
µm	mikrometre
nm	Nanometre
ZNO	Çinko Oksit
MC	Monte Carlo
DFG	Dinamik Faz Geçişi
OAY	Ortalama Alan Yaklaşımı
GNS	Grafen Nano Şerit
DMC	Dinamik Monte Carlo
Fe	Demir
N	Azot
Au	Altın
Ni	Nikel
Cu	Bakır
C	Karbon
Co	Kobalt
Ga	Galyum
Pd	Paladyum
Rh	Rodyum

σ

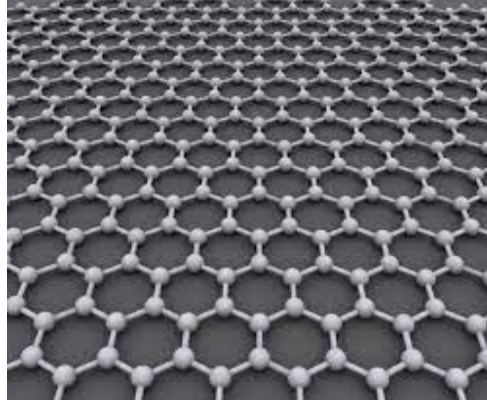
Sigma



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Hanns-Peter Boehm 1960 yılında (2D) iki boyutlu altıgen kafese sıkıca paketlenmiş tek atomlu karbon tabakasına grafen ismini vermiştir. Grafendeki her bir karbon atomu kendisine komşu olan üç tane karbon atomu ile kovalent bağlanarak iki boyutlu bir yapı oluşturur [1]. Başka bir tanımla grafen, grafitin tek bir tabakasına verilen isimdir [2-3]. Grafit tabakalarının arasında çok zayıf Vander Walls bağları olmasından dolayı grafitin tabakaları kolayca birbirinden ayrılarak tek tabakalı grafen elde edilmektedir. Grafenin tek bir tabaka olması grafene pek çok benzersiz özellikler katmaktadır. Tabakalar hayli geniş yüzeylere, yüzeyleri de güçlü enerjilere sahiptir. Grafene en etkili tutunma türü olan grafenli (sp^2 karbon-karbon) yapıştırma şekli teorik olarak mükemmel yapısal özellikler kazandırır [3, 4]. İki boyutlu bu yapı, son yılların en önemli nano malzeme kaynaklarından biri olmasıyla birlikte, bilim dünyasının ve teknolojiye uygulama alanlarında oldukça ilgi çekmektedir. Grafenin bu şekilde umut vadeden bir madde olarak görülmesinde çok iyi seviyede elektriği iletmesi, benzersiz termal ve mekanik özellikleri görülmektedir [5]. Şekil 1.1’de iki boyutlu grafenin yapısı gösterilmektedir.



Şekil 1.1 Grafenin yapısı [6]

Malzeme fiziği ve yoğun madde fiziği açısından grafen gelecek için beklentisinin yüksek olduğu bir madde olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca grafenin farklı alanlarda çalışan araştırmacılara hitap etmesi ve üç boyutlu (3D) nesnelere termodinamik özelliklerinden çok farklı olan ilk iki boyutlu (2D) atomik kristal yapıya sahip olması popülaritesini önemli ölçüde artırmaktadır [7]. Grafenin manyetik depolama [8], enerji depolama [9], süper kapasitör [10], sensör [11], biyotıp tespiti [12], yarı iletken [13] ve benzeri alanlarda

birçok potansiyel uygulama alanlarına sahip olması grafene olan ilginin artmasını sağlamıştır [1]. Teknolojinin hemen hemen her alanında kullanılması beklenen grafenin kullanım alanları da oldukça geniştir [14]. Grafen, transistörlerden, saydam iletken diyotlara (bilhassa uçak sanayisi, düşük ağırlık yüksek direnç), hidrojen depolamadan, yakıt hücrelerine, entegre devre elemanı olarak katalizör destek malzemesinden, ısı transfer malzemesine kadar pek çok alanda uygulanmaktadır. Ayrıca ışık yayan organik ekranlardan, gürültüsüz elektronik sensörlere ve sentetik yüzeylerde desen oluşturmaya kadar birçok yerlerde ise grafen kullanılarak üretilen levhalar kullanılmaktadır. Örneğin, grafenin kullanım alanlarından birisi olan nanotel alan-etki transistörü kullanılarak yani biomoleküler sensörler aracılığı ile grip virüsü gözlenmiş bu gözlemden yararlanılıp onlarca virüsü aynı anda algılayabilen yeni cihaz geliştirilmiştir [15]. Bilim insanları 21. yüzyılın ürünü olan grafen ile ilgili araştırmaların daha çok başında olmalarına rağmen grafen pekçok alanda gelişme göstermektedir [14]. Bu gelişmeler ile grafenin kullanılması beklenen yerler şunlardır:

- Bataryaların çok hızlı şarj edilmesinde,
- Radyoaktif atıkları daha kolay temizleyebilmede,
- Daha hızlı flash belleklerde,
- Daha dengeli ve güçlü spor araç-gereçlerin ve aletlerin üretilmesinde,
- Grafen kaynaklı güncellenebilen elektronik kağıtlarda,
- Küçük ve verim alınabilen biyosensör cihazlarda,
- Bataryaların yerine kullanılacak süper kapasitörlerde,
- Su geçirmez kıyafetlerde,
- Daha hafif ve sağlam uçak ve savunma sanayi malzemelerinde,
- Doku rejenerasyonunda kullanılabilen araç gereçlerde,
- Tuzlu suyu içilebilir duruma getirebilecek çalışmalarda,
- Doğrudan vücut sinir hücrelerine bağlanabilen biyonik cihazlarda,

- Yapı- inşaat malzemelerinde
- Antimikrobiyal malzemelerde,
- Alev geciktiricilerde ve alev söndürücülerde,
- Lubrikantlar (Yağlayıcı maddeler) ve rüzgar tribünlerinde [14].

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak grafen ile ilgili deneysel ve teorik çalışmalarla grafenin popüleritesi hızla artmış ve artmaya da devam etmektedir. Deneysel olarak tek tabakalı grafen 1962 yılında elde edilmiş olmasına rağmen, çok tabakalı karbonun bilimsel olarak sentez çalışması ise daha da eskiye dayanmaktadır [16]. 1919'da yapılan çalışmada ise ilk grafen oksit örneği ortaya çıkmıştır [17]. Daha önce yapılan çalışmalarda ise Bragg X- ışını toz kırınımı yöntemini kullanarak grafitin yarılama düzlemleri arasındaki boşluğu ölçmüş ve ardından 1924'te Bernal, grafitin altıgen tabakalı tam yapısını çözmüştür [18]. " Scotch-tape yönteminin " orijinal bir yöntem olmasının yanında, etkili ve basit bir yöntem olmasından dolayı bilim dünyasında çok hızlı bir şekilde ilerlemesi, araştırmacıları laboratuvarlarda grafenin farklı yönleriyle ilgilenmesine yöneltmiştir [19]. Araştırmacılar "Scotch-tape yöntemiyle" elde edilen grafenin önemli bir özelliğinin de yeni elektronik araçların geliştirilmesinde fayda sağlayacağından dolayı araştırmacıları umutlandıran elektriksel özelliklerinin olduğu görülmektedir [20]. Özellikle grafen takviyeli polimer kompozitler üzerine son yirmi yılda geniş bir araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmış olup, polimer matrisinde ilave madde olarak grafen eklenmesi, bu tip kompozitlerin genel performansını ve özelliklerini geliştirmiştir [21]. Grafenin teorik olarak değerlendirilmesi 1947'de Wallace tarafından yapılmış olup, bu da bir kafes bölgesinden diğerine sıçrayan elektronlar açısından iletkenliği tanımlamak için sıkı bir bağlama modeli kullanılarak yapılmıştır [22, 23].

Andre Geim ve Kostantin Novoselov kurşun kalemlerin uçlarında bulunan grafiti bir selobant yardımı ile tekrar tekrar yapıştırıp ayırarak grafene mekanik olarak ulaşmışlardır. Bu keşifleri sayesinde Andre Geim ve Konstantin Novoselov 2010 yılında Nobel ödülünü kazanmışlardır [7]. Böylece Andre Geim ve Kostantin Novoselov grafenin beklentilerinden çok daha farklı elektronik ve fiziksel özelliklerinin olduğunu keşfetmişlerdir. Grafen alanında çalışmaların yapılmasında ve grafen sentez yöntemlerinin geliştirilmesinde grafenin sahip olduğu özellikler etkili olmakla beraber

[24], grafenin farklı alanlarda çalışan araştırmacılara hitap etmesi ve üç boyutlu (3D) nesnelerin termodinamik özelliklerinden çok farklı olan ilk iki boyutlu (2D) atomik kristal yapıya sahip olması popülaritesini önemli ölçüde artırmaktadır [7].

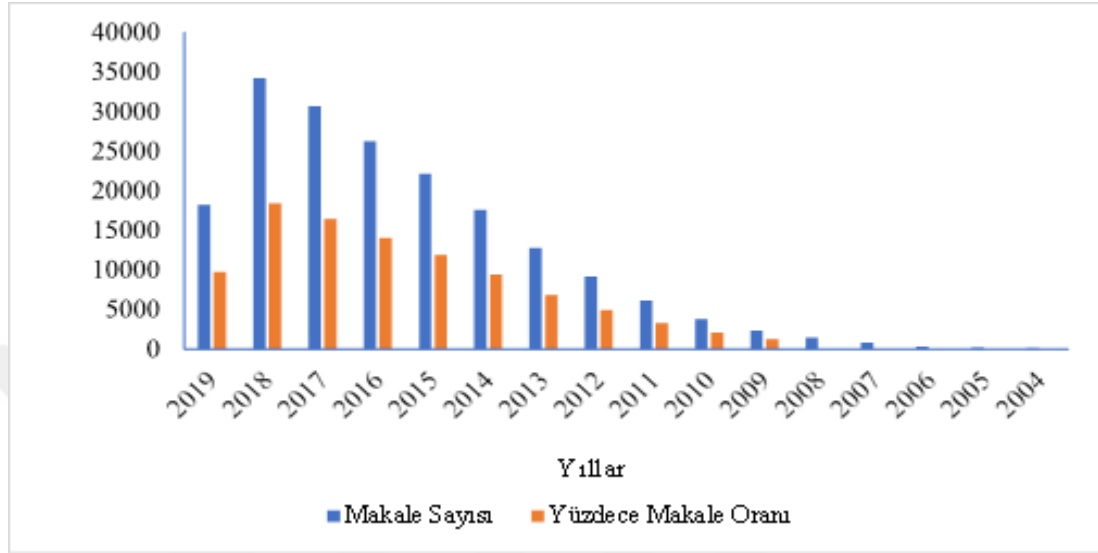
Grafen yapıtaşından elde edilen fulleren, karbon nanotüp ve grafit gibi sıfır, bir ve iki boyutlu yapılar kuantum sınırlama etkisine sahip olduklarından elektronik araştırma alanında çok fazla ilgi görmüştür [25]. Son yıllarda grafenden yapılan araç-gereçlerin elektronik özelliklerinin oluşmasında araç-gerecin yapımında kullanılan malzemedeki tabaka sayısına da bağlı olduğu, malzemeyi oluşturan tabaka sayısının kontrol edilerek elektronik özelliklerin de kontrol edilebileceği gösterilmiştir. Örnek olarak, tek tabakalı grafen yarı iletken olmasına rağmen çok tabakalı grafen bir metalik iletkenidir [26]. Grafen sıfır band-gap enerjisine sahiptir ve elektronik uygulamalar için bu istenilen bir özellik değildir. Grafene Band-gap enerjisini kazandırmak istiyorsak bilayer yani iki tabakalı hale getirilir, grafen oksit gibi oksijen içeren fonksiyonel gruplar yapıya dahil edilebilir veya karbon örgüsü içerisine katkı yapılarak kompozit materyal oluşturulabilir. Bu nedenle grafen temelli malzeme üretimi araştırılıp, incelenmesi gereken öneme sahip konulardan biri olarak düşünölmektedir [26, 27].

Grafen, yüksek elektrik ve termal iletkenlik, kuantum hall etkisi, yarı metal veya sıfır bant enerjili yarı iletken, ışığı geçiren saydam yapısı, esnek, hafif ve çok kuvvetlilik gibi özelliklere de sahiptir [28]. Hatta grafen tabakasının genişliği ve hazırlanış biçimi (zigzag veya sandalye) ayarlanarak grafene farklı ve yeni avantajlı fiziksel özellikler kazandırmak mümkündür [26]. Şekil 1.2'de grafen ve diğer karbon allotropları gösterilmiştir: a) iki boyutlu grafen (2D); b) dikey boyutlu nanotüpler (1D) c) sıfır boyutlu fulleren (buckyball) (0D); d) Üç boyutlu elmas (3D); e) Üç boyutlu grafit (3D).

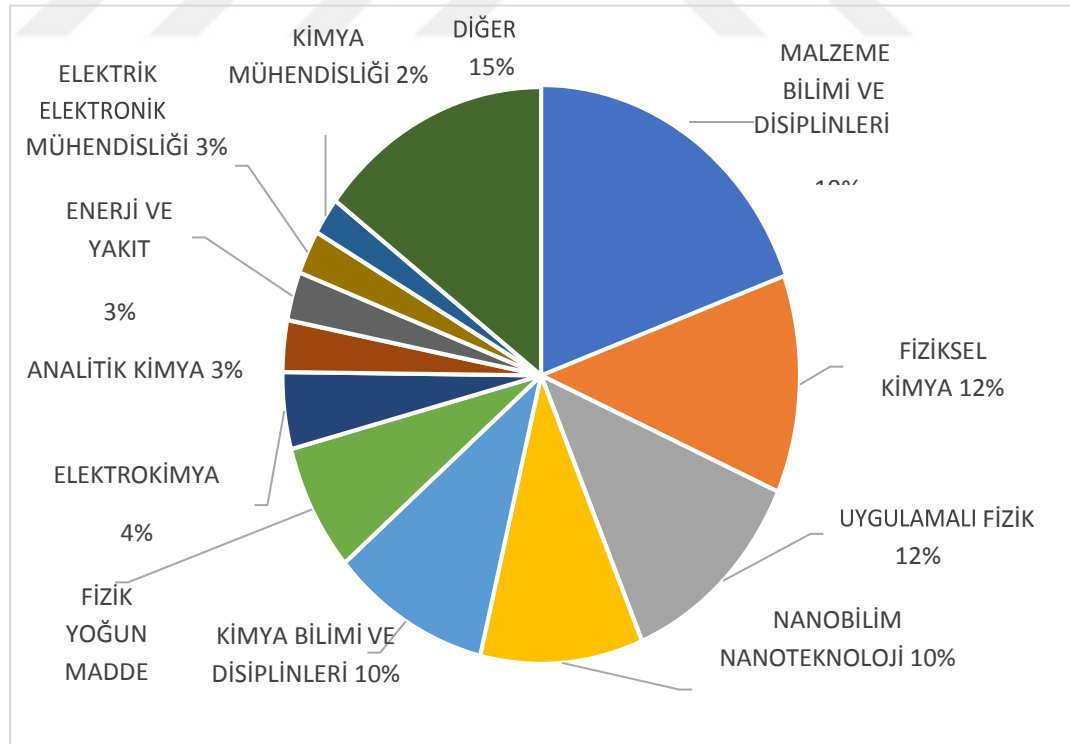


Şekil 1.2. Karbon elementinin allotropları [29]

2004 yılında keşfedilen grafenle ilgili yapılan çalışma sayısı ve alanları Şekil 1.3 ve Şekil 1.4'de gösterilmiştir. Özellikle grafen konusunda son on yıldaki araştırma sayısında büyük bir artış olduğu gözlenmektedir [24].



Şekil 1.3. Grafen alanında yapılan çalışma sayıları [30]



Şekil 1.4. Farklı alanlarda grafen konusunda yapılan araştırmaların dağılımı [30]

Grafen ilk olarak 2004 yılında yapışkan bant yardımı ile tabakalar halinde bulunan malzemeden atomik seviyedeki, kalınlıktaki malzemeye ayrıştırılarak mikromekanik ayrışma ile imal edilmiştir. [31]. Birçok araştırmacı dikkat çekici özelliklere sahip olan grafen ve türevleri için daha ekonomik olan verimli grafen üretim yolları geliştirilmiştir. Ayrıca çok sayıdaki araştırmacı gelecek yıllarda yaşantımıza daha çok girecek olan grafenin, fiziksel ve kimyasal olarak sentez yöntemlerini araştırıp geliştirmişlerdir.

Grafenin fiziksel sentez yöntemlerine;

- Mikromekanik ayrışma ile grafitten ayırma [32],
- Grafitin kimyasal exfolasyonu [33],
- Epitaksiyel büyüme [34] olarak verilebilir.

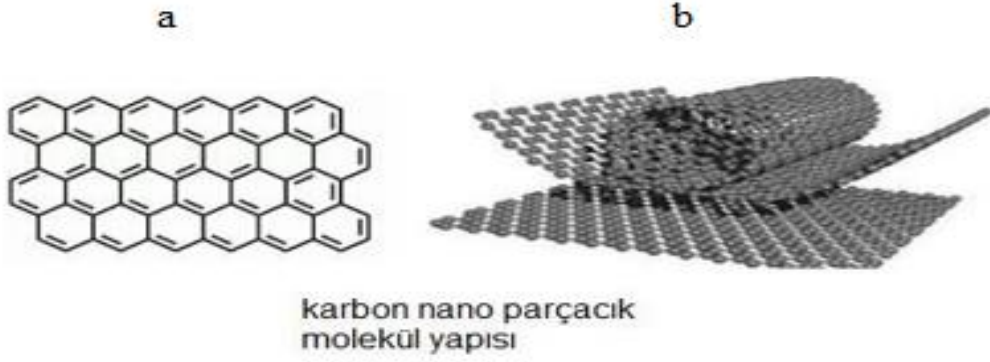
Grafenin kimyasal sentez yöntemlerine ise;

- Kimyasal buhar biriktirme (CVD) ,
- Polimerik sentez [35],
- Hummers metodu (Grafit oksit- grafene indirgenme) [36] örnek verilebilir.

Grafen sentezinde, yaygın olarak kullanılan kimyasal sentez yöntemleri arasında kimyasal buhar biriktirme yöntemi (CVD), Hummers metodu ve polimerik sentez olarak da karşımıza çıkmaktadır [25].

Nano karbon malzemeler, grafitin atomik tabakaları olarak altıgen şeklinde esnek bağ yapısıyla karbon atomlarının bir tabakası şeklinde yayılmış plakalar ya da silindir formunda nano tüpler olarak kullanılmaktadır. Tipik bir karbon nano parçacık plakalar ya da silindir formunda üç boyutlu olarak kendini tekrarlayan altıgen karbon atomlarının birleşiminden oluşmaktadır. Grafen GNP (Grafit Nano Plaka) ve MWCNT (Çok Duvarlı Karbon Nanotüp) lerin temel özellikleri aynıdır ve bir düzlem içerisinde birbirlerine 120° açılı orbitallerle karbon atomları kuvvetli bir σ kovalent bağ oluşturmaktadır. Tabakalar arasında ise biraz daha zayıf π bağları ile üç boyutlu katmanlı grafen oluşmaktadır. Son yapılan araştırmalara göre karbon- karbon bağlarının çok güçlü olmasından dolayı söz konusu termal dengesizliklerin minimum olduğu kabul edilmektedir. Şekil 1.5 de grafen

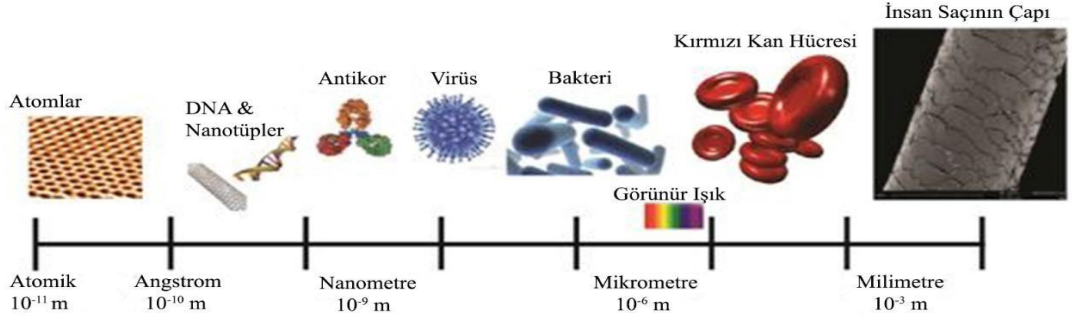
ve nanotüplerin molekül yapısı gösterilmiştir. MWCNT ve GNP lerin iletkenliklerinin $\times 10^3$ düzeylerinde olması, dış π bağlarının oluşumunu sağlayan elektronlarıdır. Tek katmanlı ortalama 0,35 nm olan grafitten kimyasal buharlaştırma yöntemiyle elde edilen düz plakaların sayısına bağlı olarak kalınlıkları belirlenmektedir [37].



Şekil 1.5. a) grafen plakası b) nano tüplerin moleküler yapısı [37].

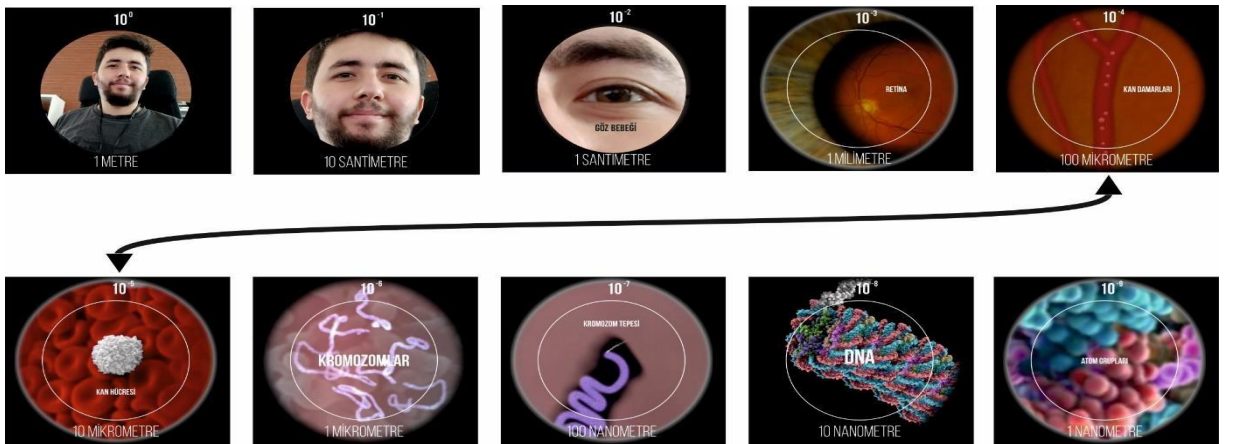
Diğer taraftan, “nano” ön ekinin kaynağı Yunanca olan ve cüce anlamına karşılık gelen atomik düzey gibi çok küçük bir ölçüyü ifade etmekte kullanılan bir kavramdır. Bir metrenin milyarda biri nanometreye karşılık gelmektedir [38, 39]. Bu ölçü bize nanometrenin ne kadar küçük bir değere karşılık geldiğini göstermektedir. Ayrıca bir nanometre Uluslararası Birim Sistemi’nde (Système international d’unités) 10^{-9} metre ya da milyarda bir olarak tanımlanmaktadır [40]. Bir nanometre metrenin milyarda biri gibi bir boyut olarak ifade edilirken, nano ölçek ise yaklaşık 1 ila 100 nanometre (nm) arasındaki boyutları ifade etmektedir [41].

Bilim ve teknolojiye maddeyi çok küçük boyutlara (atomik boyutlara) yani nano ölçek boyutlarına getirdiğimizde maddeyi ölçmede, kullanmada ve düzenlemede bir devrim yaşanmaktadır [42]. 1-100 nm büyüklüğündeki bir nano yapı kullanılabilir bir boyut olduğundan, nanoteknolojinin çalışma alanlarının atomlar ve moleküller düzeyinde uygulandığı görülür [43]. Atom ve molekül boyutundaki maddeleri ya da nano ölçekteki farklı maddelerin boyutlarını ele aldığımızda insanın tek bir saç teli yaklaşık 80.000 nm, bir kırmızı kan hücresi yaklaşık 7000 nm genişliğinde, bir virüs yaklaşık 100 nm, bir su molekülü 0.24 nm veya tek katmanlı bir grafenin kalınlığı 0.345 nm olabilir [40]. Makro boyuttan nano boyuta doğru fiziksel bir karşılaştırmayı Şekil 1.6’daki gibi şematize etmiştir [38, 44].



Şekil 1. 6. Makrodan nanoya temsili görselleştirme [38].

Daha anlaşılır düzeyde nanometreyi açıklarsak, bir insanın omuz genişliğini yaklaşık olarak 1 metre (100 cm) kabul edersek, yüzünün genişliği 10 santimetre ($10^{-1}m$), göz bebeği 1 cm (santimetre) ($10^{-2}m$), retinası 1mm (milimetre) ($10^{-3}m$) retinasının üzerinde bulunan kan damarları 100 mikrometredir ($10^{-4}m$). Kanın yapısında bulunan Alyuvar, Akyuvar, Kan pulcuklarından oluşan kan hücrelerinin büyüklüğü ise 10 μm (mikrometre) ($10^{-5}m$), kan hücrelerindeki çekirdeğinin içinde yer alan kromozomlar 1 mikrometre ($10^{-6}m$), kromozom tepeleri ise 100 nanometre ($10^{-7}m$) boyutuna sahiptir. Kromozomları incelediğimizde kromozomları oluşturan DNA molekülünün büyüklüğü 10 nanometre ($10^{-8}m$) boyutlarında iken DNA üzerinde bulunan atom gruplarının boyutları ise bir metrenin milyarda biri yani 1 nanometre ($10^{-9}m$) olarak karşımıza çıkmaktadır [45, 46]. Şekil 1.7’de bu boyutların temsili görselleri ve sıralamaları büyükten küçüğe doğru verilmiştir [45].



Şekil 1.7. Boyutların temsili sıralaması [45].

Malzemelerin boyutu, malzemelerin görevleri ve elektronik özellikleri gibi birçok özelliklerini ilgilendirir [38, 43]. Bu nedenle nano ölçek boyutunda malzemeler çok farklı davranışlar sergilemektedirler. Malzemelerin özelliklerinin makro boyuta oranla nano ölçekte farklılıklar göstermesi nedeniyle nano ölçek önemli bir hal almaktadır [47]. Yani malzeme boyut olarak ilk boyutundan daha küçük boyutlara getirildiğinde malzemenin özellikleri ilk başta aynı kalsa da daha sonra küçük değişimler olduğu görülmektedir. Nano boyut çok küçük tane boyutundan dolayı büyük malzemelere göre daha farklı ve iyileştirilmiş özelliklere sahiptir. Boyutu 100 nm'den daha küçük bir malzemenin özelliklerinde ise daha belirgin bir şekilde değişimler olabilir [38]. Maddelerin gerçekleştirdikleri bu fiziksel ve kimyasal değişimlerin sebepleri, atom yapısındaki detaylar, yapının boyutu, yapıya dışardan bağlanan yabancı atomun cinsi ve bağlanma yeri olarak sıralanabilir [45, 48]. Şekil 1.8'de verilen nano malzemelerin özelliklerinde meydana gelen değişimler çeşitli kullanışlı ve yapısal uygulamalar için keşfedilip uyarlanabilen, kullanılabilir ve etkileyici özelliklere yol açmaktadır [49]. Nano yapıdaki bu yapılar kontrol edilebildiği zaman bu yapıların birçok özellikleri, işlevleri de kontrol edilebilmekte olup, malzemenin bu davranışı araştırmacıların nano boyuttaki maddelere yönelik incelemelerinin ve ilgilerinin artmasında temel nedeni oluşturmaktadır [38, 50].

Çok uzun zamandır araştırmacılar "nano" boyuttaki malzemelerle uğraşsa da nanoteknolojinin tarihine bakıldığında ilk akla gelen isim Richard P. Feynman'dır. 29 Aralık 1959'da Amerikan Fizik Kurumu yıllık toplantısında Nobel ödüllü fizikçi Richard P. Feynman nanoteknoloji ilk defa resmen ders olarak anlatmış ve nanoteknolojinin uygulanabilir, araştırılabilir bir alan olduğu kabul görmüştür. Konuşmasının başlığı "There's Plenty of Room at the Bottom-An invitation to enter a new field of physics." dir. Feynman, dersinde Britannica ansiklopedisinin tamamının iğne ucu kadar küçük bir alana konabileceğini ve bunu yapmanın önünde hiçbir engel bulunmadığını belirtti. Daha sonra Feynman nanoteknolojinin geleceğini görüp, geçmişte bu alanda kaydedilen ilerlemeleri anlattı. Feynman'ın bu konuşması Şubat 1960'da Engineering and Science Magazine of Cal. Inst. of Tech. dergisinde yayımlandı. Nanoteknoloji ile ilgili çalışmalar Richard P. Feynman'ın bu konuşmasından sonra başlanmıştır [51]. Nano teknolojiyi daha iyi açıklayacak olursak nano teknoloji çok küçük boyutlardaki malzemelerin işlenerek daha

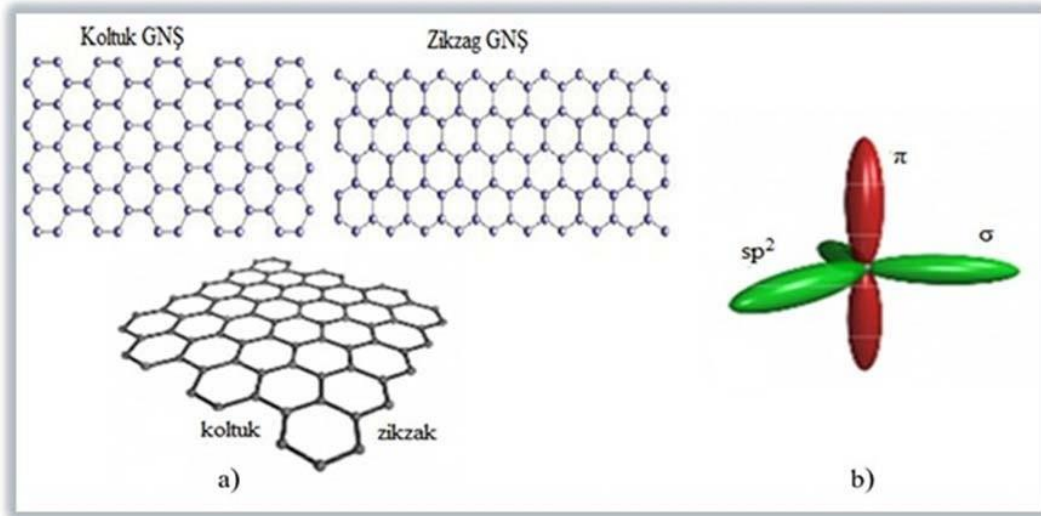
verimli, kullanışla ve yüksek performanslı araç-gereçler üretilmesini sağlayan bir teknolojidir.

Yapılan araştırma-geliştirme (Ar-Ge) çalışmaları ile madde, nano ölçekte anlaşılmaya ve kontrol edilmeye çalışılmaktadır. Üniversiteler ile Ar-Ge merkezleri de nanoteknoloji konusunda ihtiyaçları karşılayacak çalışmalar yürütmektedirler [50]. Fen ve mühendislik gibi alanlar nano boyutla ilgili araştırmalar yaparak bilimsel araştırmalara ve teknolojik yeniliklere heyecan katmakla birlikte, gelişen disiplinler arası bir alan olan nanobilim ve nanoteknolojiyi oluşturmaktadır [50]. Ayrıca 20. yüzyılın sonlarında nano ölçekte yeni malzemelerin keşfi ile araştırmalar yeni teorik ve deneysel tekniklerin geliştirilmesi, yenilikçi nano malzemelerin ve nano sistemlerin geliştirilmesi için yeni fırsatlar yakalamışlardır [51, 52]. Nano ölçekteki boyutlarla gelecekte teşhis ve tedavi amaçlı nano robotlar dolaşım sistemindeki toksik maddelerin metabolizması, hasar görmüş dokulara oksijen verilmesi, çeşitli hastalıkların takip edilmesi ve tanı koyulması gibi pekçok alanda kullanılabilir [45]. Nanobilimin ortaya çıkması ile birlikte nano-ölçekli sistemlerle ilgili araştırmalara yönelik deneysel ve teorik çalışmalar, teknolojik gelişmelerle birlikte hızla artmış ve artmaya devam etmektedir [53]. Nanobilim geniş bir çalışma alanına sahiptir. Araştırmacılar nanobilimin, nanoteknoloji ve tıbbi uygulamalarda kullanılabilir özelliklerini göz önüne alarak manyetik nanomalzemeleri araştırmakla ilgilendiler [54-56].

Son yıllarda ise nanoyapılı malzeler olan nano-tel, nano-bağlaç, nano-çubuk, nanoparçacık, nano-top, nano-noktacık, nano-tüp, nano-ölçekli incefilm ve nanoadaların manyetik özelliklerinin birçok olağanüstü yeni fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı yoğun madde fiziği, istatistiksel fizik gibi alanlarda en çok çalışılan konular arasında yerini almıştır [53, 57-61]. Özellikle yeni bir nano boyut olan nanoadalar adlı [62, 63] (nanoadalar, yüksekliği 30 nm ile 100 nm arasında olan sıkıştırılmış yarım küreler [62].) bir malzeme türü mükemmel özellikleri ile çok ilgi görmüştür. Bir nanoada olan nano malzemenin bu ilgiyi görmesinin sebeplerinden biri, geniş yüzey alanı ile özel bir yüzey alanını sahip olmasıdır [63]. Geniş özel yüzey alanı, avantajlı manyetik ve elektrik özellikleri nedeniyle nanoada, hafif elektrik dedektörleri, manyetik depolama [64-67], ışık yayan diyotlar [68], sensörler [69], ultra yüksek yoğunluklu manyetik kayıt ortamları [70, 71], lineer manyetodirenç [72], küçük yapı ve yüksek kapsama alanına sahip [63] güneş pilleri [73] alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Deneylerde Au [74], Ni

[75], FePdCu [76], GaN [75], Co [77], FeRh [78], Fe gibi metal atomları içeren çok sayıda manyetik nanoadalar başarıyla hazırlanmıştır [79, 80]. Bu deneysel çalışmalar sonucunda, yukarıda belirtildiği gibi nanoadaların yeni manyetik özellikler gösterebildiği ispatlanmış ve bu manyetik nanoadalar üzerinde özellikle boyut etkisinin önemli olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca grafen nanoada malzemelerinin küçük boyutu, geniş özel yüzey alanı, mükemmel elektriksel, manyetik, termodinamik özellikleri ve ışığı emme kapasitesi gibi özelliklerinin çok iyi olmasından dolayı bu malzemenin hazırlanmasında ve sentezlenmesinde de çok ileri gidilmiştir.

Geçiş metali yüzeylerinde büyütülen grafen nanoadaları, birkaç zikzak yönelimli kenar yapısı oluşturur [81, 82]. Bunun sebebi, zikzak yönelimli kenarların oluşum enerjisinin, koltuk yönelimli kenarlardan daha düşük olmasıdır. Grafen nanoadasının şekilleri üçgen veya altıgen olabilir [83, 84]. Kenar şekillerine bağlı olarak koltuk ve zikzak olmak üzere iki farklı grafen nanoşerit (GNŞ) yapısı bulunmaktadır (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. a) Koltuk ve zikzak kenarlı grafen kristalinin şekil üzerindeki gösterimi b) Grafendeki bir karbon atomunun σ ve π orbitallerinin şekil üzerindeki gösterimi [85, 86].

Nanoadalar teorik olarak istatistik fizik ve katıhal fiziğinde, en çok Ising modeli kullanılarak incelenmiştir. Ising model, basit görünen bir model olmasına rağmen, nanoparçacık, nanotüp, nanotel, perovskit, nanoadalar gibi karmaşık sistemlerin manyetik ve termodinamik özelliklerinin incelenmesinde oldukça kullanışlı bir modeldir. Kullanışlı bir model olmasından dolayı Ising model yıllardır bir sistemin enerji denkleminde başlayarak, mıknatıslanma, ısı sığası, manyetik alınganlık, iç enerji gibi

manyetik malzemelerin teorik olarak incelenmesinde araştırmacılara kolaylık sağlamaktadır. Özellikle son on yılda gelişmiş bilgisayarlar ve yeni hesaplama teknikleri ile birlikte, nümerik hesaplama ve teorik modeller nanografen ve grafen nanoadaların manyetik ve termodinamik özelliklerini incelemek için kullanılmaktadır [87].

Birçok bilim adamı grafen ile ilgili çalışmalar yaparak, grafenin özelliklerini incelemişlerdir. Swalowski tek tabakalı grafen nanoyapılarının taban durum faz diyagramlarında manyetik alan ve elektrik özelliklerini çalışmıştır [88]. Raji ve Lombardi tarafından grafenin manyetik ve elektronik özellikleri yoğunluk fonksiyonel teorisi kullanılarak incelenmiş ve kristal yapıdaki atomların mıknatıslanmasının değişimi boş ve dolu örgülere bağlı sıcaklık ile değiştiğini göstermişlerdir [89]. Harigaya, nano grafendeki antiferromanyetizmayı Hubbard tipi model ile araştırmış ve A-B tabakalarının üst üste binmesindeki her bir tabakada mıknatıslanmanın varlığını bulmuştur [90]. Boumali, iki boyutlu Drack salınım modelini kullanarak, düzenli manyetik alan altında grafenin termodinamik özelliklerini (entropi, serbest enerji, ortalama enerji, ısı sığası) incelemiş katkılı grafenin yüksek Curie sıcaklığına sahip olduğunu ve taban durumunda ferromanyetik davranış gösterdiğini bulmuştur [91]. Yang ve arkadaşları yoğunluk fonksiyonel teorisi kullanılarak iki boyutlu üçgen ZnO (Çinko Oksit) nanoadalarının elektronik durumunu ve atomik yapısını çalışmıştır [92]. Kaneyoshi etkin alan teorisi (EAT) kullanarak nanofilm, nano tüp, nanotel ve nanografen spin sistemini Ising modeli ile çalışmış, kristal alan değişim parametresi ve dış manyetik alanın bu sistemlerin mıknatıslanması ve faz diyagramlarında önemli bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur [93-96]. Kaneyoshi, ayrıca dış manyetik alan altındaki kare ve altıgen nanoadalarının manyetik özelliklerinde farklı fiziksel parametrelerin etkisini de incelemiştir [97-102]. Jiang ve arkadaşları etkin alan teorisi kullanarak dış manyetik alan altında ki kübik ve altıgen prizmatik nanoadaların manyetik özelliklerini araştırmışlardır [103, 104]. Lu, tabakalar arası ve tabakalar içi etkileşim parametresine sahip enine hexoganel nanoadaların faz diyagramlarını elde etmiştir [105]. Rossier ve arkadaşları ortalama alan teorisini kullanarak grafen nanoadaların taban spin durumlarının etkisini çalışmıştır [106]. Masrover ve arkadaşları Monte Carlo (MC) simülasyonunu kullanarak kübik ve grafen tipi nanoadaların faz diyagramlarını, faz geçiş sıcaklıklarını histerisis döngülerini incelemişlerdir [107-109].

Diğer taraftan, karma- spin tipi nanoyapılar da tek spin tipi nanoyaplardan daha ilginç özellikler içerir ve bu sistemlerde tek spinli Ising modelinde görülemeyen birçok yeni fenomen gözlemlenir [110]. Nanoyapıların analizi için literatürde en çok çalışılan spin tipi karma- spin (1/2, 1) modelidir. Son yıllarda ise karma- spin sistemleri istatistik fizikte ve yoğun madde fiziğinde etkin bir şekilde çalışılan konuların başında gelmektedir. Bunun nedeni; Çalışmaların, önemli teknolojik uygulama alanları ile alakalı olması, tek spinli sistemlere göre daha az simetriye sahip olması, moleküler tabanlı manyetik malzemeleri anlamada kolaylık sağlaması, kritik sıcaklıklardan düşük sıcaklıkta mıknatıslanmanın sıfır olduğu telafi sıcaklığının gözlenmesidir. Teknolojik uygulamalar da telafi sıcaklığın olması önemlidir [111]. Son yıllarda Boughrara ve ark. karma spin (1/2, 1) Ising nanotelin faz diyagramlarını, manyetik davranışlarını araştırıp, etkileşme parametrelerine bağlı olarak birinci ve ikinci dereceden faz geçişlerini, telafi sıcaklıkları gibi çok zengin kritik davranışlar sergileyen faz diyagramları elde ettiler [112, 113]. Karma spin (1/2, 1) sistemi, ilk defa Buendía ve Machado [114] tarafından incelenmiştir. İndirgenmiş sıcaklık (T) ve indirgenmiş manyetik alan genliği (h) düzleminde iki farklı basit dinamik faz diyagramı elde edilmiştir. Karma spin Ising modeli, tek spinli modele göre daha çok, daha farklı dinamik faz diyagramları elde edilmektedir [115].

Bilindiği gibi, Ising modeli üzerine uygulanan salınımlı dış manyetik alan, sistemlerin termodinamik ve manyetik özellikleri gibi özelliklerinin belirlenmesinde önemli görev üstlenmektedir. Son zamanlarda, ilginç dinamik faz geçişleri (DFG) ve dinamik histerezis döngüleri davranışı nedeniyle, yalnızca deneysel gözlemlerde değil [116, 117], aynı zamanda salınımlı bir manyetik alan altında karma-spin Ising büyük ilgi görmüştür. Vatasever, kare dalga manyetik alanda üçgen kafes Ising sistemi üzerinde dinamik faz geçişini araştırdı. Salınım yapan manyetik alanın periyodunun, manyetizasyonun anlık değeri üzerinde bariz bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur [118]. Ayrıca, salınımlı alanın varlığında Vatasever, enine kesitin spin konfigürasyonunu da sergilemiştir. *MC simülasyonu aracılığıyla y - z düzlemi* [119]. Alzate-Cardona ve ark. ortalama dinamik sıra parametresindeki değişikliklerin ve kritik sıcaklığın, periyodun değerlerine ve genliğe güçlü bir şekilde bağlı olduğunu keşfetti [120]. Ayrıca salınımlı dış manyetik alanın genliğinin artırılması, kritik sıcaklığı azaltmaktadır [121, 122]. Bir C₇₀ için fulleren yapısı, Benhouria ve ark. salınımlı dış manyetik alanının genliği ve açısız frekansındaki bir artışın, dinamik soğutucu akışkan kapasitesindeki bir

artışa katkıda bulunduğunu bulmuştur [123]. Salınlı dış manyetik alanının genliği, Punya ve diğerleri [124] tarafından rapor edilen sistemin sürekliliği üzerinde bariz bir etkiye sahiptir. Ertaş, dinamik histerezis davranışları üzerinde sıcaklık ve değişim eşleşmelerinin etkisini tartışmıştır [125]. Alzate-Cardona ve ark. dinamik histerezis döngü davranışlarını etkilemede kafes olasılığının önemini vurguladı [126]. Enine alanın etkileri ve salınlı dış manyetik alanın periyodu da Benhouria ve diğerleri [127] tarafından araştırılmıştır. Benhouria et al. termal düzen parametresini, dinamik manyetik özgül ısıyı araştırdı ve dinamik manyetik entropi, salınan manyetik alanın amplitüdüne karşı değişken açık bir duyarlılık gösterdi [128].

Şunu da belirtmek gerekir ki, en çok bilinen karma spin Ising sistemleri; karma spin (1/2, 1), spin (1/2, 3/2), spin (1, 3/2), spin (3/2, 5/2) ve spin (1, 2) sistemleridir. Bu karma spin sistemlerinin denge özellikleri, dengeli istatistik fizikte geliştirilen ve iyi bilinen kapalı form yaklaşımları ortalama alan yaklaşımı (MFA), küme varyasyon yöntemi (CVM), Bethe–Peierls yaklaşımı (BPA), Bragg-Williams (BW), kümesel değişim yaklaşımları, seriye açılım, transfer matris (TM), etkin-alan teorisi (EAT), Monte Carlo simülasyonu (MCS), renormalizasyon grup (RG) teknikleri vb. yöntemlerle kapsamlıca incelenmiştir [129-137]. Dinamik faz geçiş sıcaklıkları ilk olarak, Glauber-tipi stokastik dinamik [138] kullanılarak, zamana bağlı salınlı dış manyetik alan altında kinetik spin-1/2 Ising modelinin kararlı durumlarının OAY metodu ile incelenmesi sonucu bulunmuştur [139, 140]. Daha sonra, kinetik spin-1/2 Ising modeli için dinamik faz geçişleri, dinamik OAY metodu [141, 142] ve dinamik MC hesaplamaları ile incelenmiştir [143–153]. Tutu ve Fujiwara [154], Landau tipi potansiyelleri olan sistemlerde DFG sıcaklıklarını elde edebilecek sistematik bir metod geliştirmişler ve dinamik faz diyagramlarını sunmuşlardır. Tek boyutlu kinetik spin-1/2 Ising modelinde ki DFG’ler Glauber metoduyla incelenmiştir [155]. Son zamanlarda ise, spin-1 Blume-Capel (BC) [156, 157], spin-1 izotropik Blume-Emery-Griffiths (BEG) [158], spin-1 BEG [159, 160] gibi Ising sistemleri, Heisenberg spin sistemleri [161–164], Co basıncının periyodik değişimi ile CO₂ oksidasyonu için Ziff-Gulari-Barshad modeli [165], XY modeli [166, 167] gibi daha karmaşık sistemlerde DFG sıcaklıkları elde edilmiş ve dinamik faz diyagramları sunulmuştur. Ayrıca, spin-1/2 Ising modeli korelasyonlu EAT ve Glauber-tipi stokastik dinamik kullanılarak incelenmiş ve modelin dinamik faz diyagramlarını elde edilmiştir [168-172]. DFG sıcaklıkları, deneysel olarak ilk defa, çok ince Co/Cu (001)

ferromanyetik filmlerinde gözlenmiştir [173, 174]. Buna ilaveten, yakın zamanda ferroik sistemlerde (ferromagnet, ferroelektrik ve ferroelastik) [175], YBaCuO filmlerde [176], C10E3/D₂O sisteminde [177], aşırı ince Fe/Au(001) filmlerde [178, 179], [Co/Pt]₃ manyetik çok tabakalı sisteminde [180], ince polikristal Ni₈₀Fe₂₀ filmlerde [181], photoinduced faz geçişlerinde [182], yüksek sıcaklık Bi₂Sr₂CaCu₂O_y süperiletken bileşiminde [183] ve PEN (polietilen naftalin) nanobileşiklerinde [184] DFG sıcaklıkları gözlenmiştir.

Özellikle son yıllarda teknolojik gelişmelerle beraber bilim dünyasında çığır açan küçük nano parçacıkların artık tüm hayatımızın parçası olması ile beraber ve son Nobel Fizik ödüllerinden birinde grafene verilmesinden dolayı popüler bir konu olduğu için grafen çalışmayı tercih ettik. Grafen nanoadalarının çapları birkaç nm iken uzunlukları mm boyutuna kadar uzamaktadır. Grafen nanoadaları küçük boyutlu ancak geniş yüzey alanı malzemeyi gerçekten çok önemli hale getirmekte olup, bu malzeme ile çalışmanın çok değerli olduğunu düşünerek çalışmayı teorik olarak Ising modeli kullanarak elde etmeye çalıştık. Grafen nanoadaları sisteminin dinamik davranışı bu tez çalışmasının orijinalliği olacaktır. Ayrıca karma spin (1/2, 1) Ising modelini, grafen nanoadalar sistemi üzerine uygulayarak literatürdeki büyük bir boşluk doldurulacaktır. Bu tez çalışmasında karma spin (1/2, 1) Ising sisteminin dinamik davranışları ortalama-alan dinamik ve Glauber-tipi stokastik dinamik kullanılarak incelenecektir. Karma spin sistemi kendi içerisinde özel davranışlara sahip olan, çok basit olmasına rağmen zengin manyetik davranışlar sergileyebilen, tek spin sistemine göre daha az simetriye sahip olmasından dolayı tek spin sisteminde gözlenemeyen birçok davranış sergilemesi gibi nedenlerden dolayı karma spin sistemini grafen örgüsü üzerine uygulanacaktır. Bu tez çalışmasında Glauber-tipi stokastik dinamik modelini kullanarak sistemi çözümlerken sistemin denge davranışını değil dinamik davranışının, manyetik davranışının nasıl değişeceğini ve dinamik faz geçiş noktalarını tespit etmeye çalışılacaktır. 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 dinamik faz geçiş (DFG) sıcaklıkları tespit edilecek ve dinamik faz geçişlerinin doğası (kesikli veya sürekli yani birinci- veya ikinci-derece faz geçişleri) karakterize edilerek sistemin dinamik faz diyagramları sıcaklığın dış manyetik alana bağlı durumları sunulacaktır.

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.

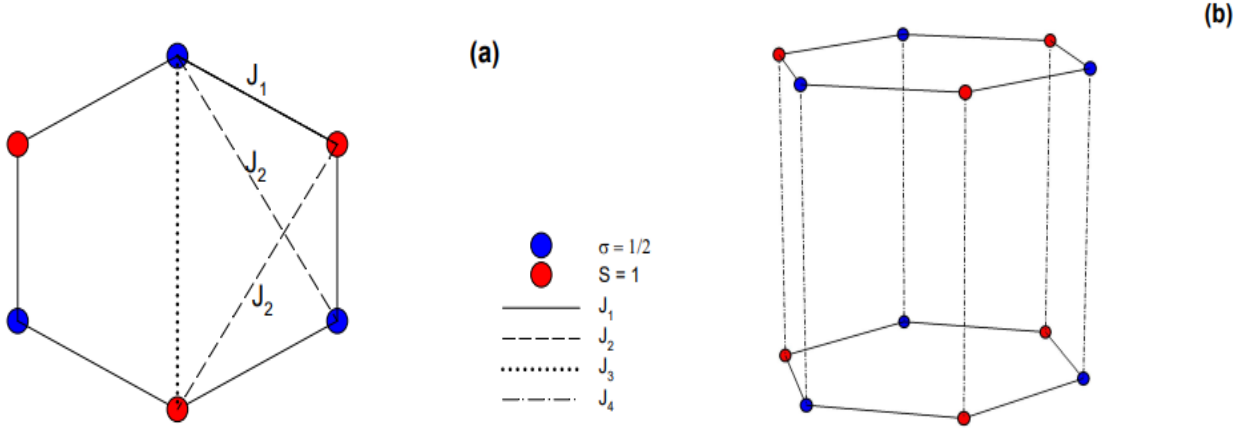
Bölüm 3’de karma spin $(1/2, 1)$ Ising grafen nanoadalar sisteminin dinamik davranışlarını ve sistemdeki mevcut olan fazları elde etmek için, ortalama miknatislanmanın zamana bağlı davranışları incelenecektir. Elde edilecek olan bu diferansiyel denklemler Adams-Moulton kestirme ve düzeltme, Runge-Kutta, vb gibi nümerik yöntemlerle çözülecek ve ortalama düzen parametrelerinin zamana göre değişimi kapsamlıca incelenerek sistemlerde oluşan fazlar tespit edilecektir. Dinamik düzen parametrelerini veren denklemler Adams-Moulton kestirme ve düzeltme ve Romberg integrasyon yöntemiyle beraber kullanılarak çözülecek ve dinamik düzen parametrelerinin indirgenmiş sıcaklığa göre değişimleri kapsamlıca incelenerek, sistemlerde meydana gelen dinamik faz geçişlerinin tabiatı (birinci- ve ikinci-derece) karakterize edilecek ve aynı zamanda DFG sıcaklıkları bulunacaktır. Daha sonrada hesaplanan DFG sıcaklıkları kullanılarak sistemlerin dinamik faz diyagramları $(T/J_4, h/J_4)$ düzleminde sunulacaktır. Son bölümde ise, yapılan çalışmalar özetlenerek elde edilen sonuçların tartışması yapılmıştır.

BÖLÜM 2

METOT VE MODELİN TANITIMI

2.1. Model

Glauber-tipi stokastik dinamik temelli ortalama alan yaklaşımı (OAY) yöntemi kullanılarak, ferrimanyetik karma spin $(1/2, 1)$ Ising grafen nanoadaları sisteminin denge dışı veya dinamik manyetik özellikleri bu tez çalışmasında incelenecektir. Grafen nanoadaları sistemini modelleyebilmek için kullandığımız model altıgen yapıda olup, grafen nanoadaları sistemini Ising modeli ile tanımlamak için kullanılan en yakın örgü hegzagonal örgü yapısıdır. Bu nedenle bu tez çalışmasında kullanılacak ve grafen nanoadaları sistemini tanımlayan hegzagonal örgü yapılı şematik gösterim Şekil 3.1 de ki gibi verilmektedir. Şekil 2.1'de iki katmanlı grafen benzeri yapıya sahip bir ferrimanyetik karma spin $(1/2, 1)$ Ising grafen nanoadaları sistemi görülmektedir. Altıgen örgü üzerinde karma spin $(1/2, 1)$ Ising grafen nanoadaları sistemi tanımlanırken; spin-1/2 atomlarını içeren A alt örgüsü (mavi küreler) ve spin-1 atomlarını içeren B alt örgüleri (kırmızı küreler) dönüşümlü olarak düzenlenmiştir.



Şekil 2.1 Grafen benzeri yapıya sahip iki tabakalı ferrimanyetik karma spin $(1/2, 1)$ Ising grafen nanoadalarının şematik temsili. Altıgen örgü üzerinde; spin-1/2 manyetik atomlarını içeren A alt örgüsü (mavi küreler) ve spin-1 manyetik atomlarını içeren B alt örgüleri (kırmızı küreler) dönüşümlü olarak düzenlenmiştir. J_1 , J_2 , J_3 ve J_4 ise manyetik atomları arasındaki bilineer değişim parametrelerini gösterilmektedir.

İlgilenilen model, alternatif olarak birbirini tekrarlayan dört alt tabakalarından (A, B, C ve D alt tabakaları) oluşmaktadır. Mavi renklerle gösterilen küreler kristal örgü üzerindeki spin-1/2 manyetik atomlarına karşılık gelmektedir ve $\pm 1/2$ değerlerini almaktadır. Kırmızı renklerle gösterilen küreler kristal örgü üzerindeki spin-1 manyetik atomlarına karşılık gelmektedir ve $\pm 1, 0$ değerlerini almaktadır. Tek tabakadaki herbir spin-1/2 manyetik atomunu, spin-1 manyetik atomu sırayla dizilmişlerdir. İki tabaka arasında ise spin-1/2 manyetik atomlarına spin-1/2 manyetik atomları, spin-1 manyetik atomlarına spin-1 manyetik atomları etkileşim halinde olarak şekilde dizilim vardır. En yakın, ikinci en yakın, üçüncü en yakın, tabakalar arası komşu etkileşmelerini, kristal alan veya tek-iyon anizotropi terimini ve zamana bağlı salınımlı dış manyetik alan terimini içeren silindirik karma spin (1/2, 1) Ising grafen nanoadaları sisteminin

Hamiltonyen ifadesi,

$$H = -J_1 \sum_{\langle ij \rangle} \sigma_i S_j - J_2 \sum_{\langle ij \rangle} (\sigma_i \sigma_j + S_i S_j) - J_3 \sum_{\langle ij \rangle} \sigma_i \sigma_j - J_4 \sum_{\langle\langle ij \rangle\rangle} (\sigma_i \sigma_j + S_i S_j) - D \sum_i (\sigma_i^2 + S_i^2) - h(t) \sum_i (\sigma_i + S_i) \quad (2.1)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada $\langle ij \rangle$ ve $\langle\langle ij \rangle\rangle$ toplamlarım sırasıyla En yakın, ikinci en yakın komşu manyetik atom çiftleri üzerinden olacağını ifade etmektedir. J_1 , spin-1/2 ve spin-1 manyetik atomları arasındaki en yakın komşu bilineer etkileşim parametresini; J_2 , spin-1/2 ile spin-1/2 manyetik atomları ve spin-1 ile spin-1 manyetik atomları arasındaki en yakın komşu bilineer etkileşim parametresini; J_3 , spin-1/2 ve spin-1 manyetik atomları arasındaki ikinci en yakın komşu bilineer etkileşim parametresini; J_4 , tabakalar arasındaki spin-1/2 ile spin-1/2 manyetik atomları ve spin-1 ile spin-1 manyetik atomları arasındaki bilineer etkileşim parametresini ifade etmektedir. 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,

$$h(t) = h_0 \sin(w t) \quad (2.2)$$

şeklinindedir. Burada h_0 ve $w = 2\pi\nu$ sırasıyla salınımlı alanının genliği ve açısal frekansıdır. Sistem T_A mutlak sıcaklığında izotermal ısı banyosu ile etkileşim/temas halindedir. Bu çalışma süresince $J_1 = J_2 = J_3 = J_4 = 1.0$ alınarak çalışılmıştır. Bilineer etkileşim

parametrelerinin değişimi ile ilgili daha kapsamlı çalışma yapılarak grafen nanoadaları sistemi üzerinde etkileşim parametrelerinin etkisi daha detaylı ilerde incelenebilir. Burada J 'lerin pozitif olması manyetik atomlar arasındaki spinlerin yönelimlerinin birbirine paralel olduklarını, ferromanyetik etkileşimi ifade etmektedir. Bu tez kapsamında karma spin-1/2 ve spin-1 manyetik atomlarının dizilimlerinden oluşan spin konfigürasyonu ise ferrimanyetik faz durumu sergilemektedir.

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

Zamana bağlı salınımlı dış manyetik varlığında karma spin (1/2, 1) Ising grafen nanoadaları sistemi için sistemin dinamik davranışını açıklayan ortalama-alan dinamik denklemlerini elde edebilmek için Glauber dinamiğini kullanacağız ve Master denkleminde yararlanacağız. Karma spin (1/2, 1) Ising grafen nanoadaları sistemi, Glauber-tipi stokastik dinamiğe göre birim zamanda $1/\tau$ oranında değişim göstermektedir. Ortalama alan dinamik denklemlerinin türetilmesi, spin-1/2 sistemi [139] ve farklı spin sistemleri [156, 157] için ayrıntılı olarak açıklandığından, burada karma spin (1/2, 1) grafen nanoadaları sisteminin dinamik denklemleri elde edilecektir.

B, C, D alt örgülerindeki spinler sabit kaldığı durumda, 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 üzerindeki spinler sabit kaldığı zaman, sistemin t zamanında, $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_N$, spin konfigürasyonuna sahip olduğu andaki olasılık fonksiyonu $P^B(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_N)$ ile tanımlanır. A, B ve D 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 $P^C(S_1, S_2, S_3, \dots, S_N)$ ile tanımlanır. En son olarak A, B 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 $P^D(S_1, S_2, S_3, \dots, S_N)$ ile tanımlanır.

$W_i^A(\sigma_i \rightarrow \sigma'_i)$ i. spinin σ_i durumundan σ'_i durumuna (B, C ve D alt örgülerindeki spinler sabit kaldığı durumda), $W_j^B(\sigma_j \rightarrow \sigma'_j)$ i. spinin σ_j durumundan σ'_j durumuna (A, C ve D alt örgülerindeki spinler sabit kaldığı durumda), $W_i^C(S_i \rightarrow S'_i)$ i. spinin S_i durumundan S'_i durumuna (A, B ve D alt örgülerindeki spinler sabit kaldığı durumda) ve $W_j^D(S_j \rightarrow S'_j)$

j. spinin S_j durumundan S'_j durumuna (A, B ve C alt örgülerindeki spinler sabit kaldığı durumda) birim zamandaki geçiş olasılığıdır. B, C ve D alt örgülerindeki spinlerin bir an için sabit olduğu düşünülürse, A alt örgüsü için master denklemi,

$$\frac{d}{dt} P^A(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_N; t) = -(\sum W_i^A(\sigma_i)) P^A(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_i, \dots, \sigma_N; t) + \sum W_i^A(-\sigma_i) P^A(\sigma_1, \sigma_2, \dots, -\sigma_i, \dots, \sigma_N) \quad (2.3)$$

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

$$\frac{d}{dt} P^A(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n; t) = 0, \quad (2.4)$$

ve master denklemden olasılık yoğunlukları oranı,

$$\frac{W_i^A(-\sigma_i)}{W_i^A(\sigma_i)} = \frac{P^A(\sigma_1, \sigma_2, \dots, -\sigma_i, \dots, \sigma_N)}{P^A(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_i, \dots, \sigma_N)}, \quad (2.5)$$

olduğu kolayca görülebilir. Buradan

$$P^A(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_N) \propto \exp(-\beta \mathcal{H}), \quad (2.6)$$

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

$$W_i^A(\sigma_i) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-\beta \Delta E^A(\sigma_i))}{\sum_{\sigma_i} \exp(-\beta \Delta E^A(\sigma_i))} \quad (2.7)$$

şeklinde verilir. Burada $\beta = 1/k_B T$, k_B Boltzmann faktörü, \sum_{σ_i} ise toplamın $\sigma_i = \pm 1/2$,

üzerinden alınacağını göstermektedir. Eşitlik (2.1) ile verilen Hamiltonyen ifadesinden

yararlanılarak A alt örgüsündeki enerji değişimi ifadesi,

$$\Delta E^A(\sigma_i) = 2\sigma_i(J_1 \sum_i S_i + J_2 \sum_j \sigma_j + J_3 \sum_j S_j + J_4 \sum_i \sigma_i + h(t)) \quad (2.8)$$

şeklinde bulunur. Bulunan bu enerji değişimi ifadeleri (2.7) denkleminde yerine yazılırsa $W_i^A(\sigma_i)$ olasılık yoğunlukları;

$$W_i^A\left(-\frac{1}{2}\right) = \frac{1}{2\tau} \frac{\exp(-\beta x/2)}{\cosh(\beta x/2)} \quad (2.9a)$$

$$W_i^A\left(\frac{1}{2}\right) = \frac{1}{2\tau} \frac{\exp(\beta x/2)}{\cosh(\beta x/2)} \quad (2.9b)$$

şeklinde elde edilir. Burada $X = 2\sigma_i (J_1 \sum_i S_i + J_2 \sum_j \sigma_j + J_3 \sum_j S_j + J_4 \sum_i \sigma_i + h(t))$ ile tanımlanır. Master denkleminde yararlanılarak, A altörgüsü için genel ortalama-alan dinamik denklemi şu şekilde elde edilir:

$$\tau \frac{d}{dt} \langle \sigma_k \rangle = -\langle \sigma_k \rangle + \frac{1}{2} \tanh \left[\frac{\beta}{2} (X) \right] \quad (2.10)$$

Ortalama-alan yaklaşımı kullanılarak (2.12) denklemi,

$$\tau \frac{d}{dt} \langle \sigma_i \rangle_A = -\langle \sigma_i \rangle_A + \frac{1}{2} \tanh \left[\frac{\beta}{2} (X_1) \right] \quad (2.11)$$

olarak yazılabilir. Burada $x_1 = 3J_1 \langle S_i \rangle_C + 6J_2 \langle \sigma_j \rangle_B + 3J_3 \langle S_j \rangle_D + 2J_4 \langle \sigma_i \rangle_A + h_0 \sin(\omega t)$.

Elde edilen bu ortalama-alan dinamik denklemi,

$$\Omega \frac{d}{d\xi} m_1 = -m_1 \frac{1}{2} \tanh \left[\frac{1}{2T} (3J_1 m_3 + 6J_2 m_2 + 2J_4 m_1 + 3J_3 m_4) + h \sin(\xi) \right] \quad (2.12)$$

şeklinde de yazılabilir. Burada $m_1 \equiv \langle \sigma_i \rangle_A$, $m_2 \equiv \langle \sigma_j \rangle_B$, $m_3 \equiv \langle S_i \rangle_C$, $m_4 \equiv \langle S_j \rangle_D$, $\xi = wt$, $T = (\beta j_z)^{-1}$, $h = h_0 \sin(wt)$, $h = \frac{h_0}{J_2}$ ve $\Omega = \tau w$ $\Omega = \tau w$ olarak tanımlanmıştır. T, h ve Ω boyutsuz parametrelerdir. Sistemimizde $\Omega = 2\pi$ değerinde sabit olarak ele alınacaktır.

Aynı yöntemler uygulanarak bu sefer A, C ve D alt örgülerindeki spinlerin bir an için sabit olduğu düşünülürse, B alt örgüsü için ortalama-alan dinamik denklemi,

$$\Omega \frac{d}{d\xi} m_2 = -m_2 \frac{1}{2} \tanh\left[\frac{1}{2T} (3J_1 m_3 + 6J_2 m_1 + 2J_4 m_2 + 3J_3 m_4) + h \sin(\xi)\right] \quad (2.13)$$

şeklinde elde edilir. Aynı yöntemler uygulanarak bu sefer A, B ve D alt örgülerindeki spinlerin bir an için sabit olduğu düşünülürse, C alt örgüsü için ortalama-alan dinamik denklemi,

$$\Omega \frac{d}{d\xi} m_3 = -m_3 + \frac{2\text{Sinh}(3J_1 m_1 + 6J_2 m_4 + 2J_4 m_3 + 3J_3 m_2)}{2\text{Cosh}(3J_1 m_1 + 6J_2 m_4 + 2J_4 m_3 + 3J_3 m_2) + \exp(-\beta D)} \quad (2.14)$$

şeklinde elde edilir. Aynı yöntemler uygulanarak bu sefer A, B ve D alt örgülerindeki spinlerin bir an için sabit olduğu düşünülürse, D alt örgüsü için ortalama-alan dinamik denklemi,

$$\Omega \frac{d}{d\xi} m_4 = -m_4 + \frac{2\text{Sinh}(3J_1 m_2 + 6J_2 m_3 + 2J_4 m_4 + 3J_3 m_1)}{2\text{Cosh}(3J_1 m_2 + 6J_2 m_3 + 2J_4 m_4 + 3J_3 m_1) + \exp(-\beta D)} \quad (2.15)$$

şeklinde elde edilir. Bu denklemlerde $m_1 = \langle \sigma_i \rangle$, $m_2 = \langle \sigma_j \rangle$, $m_3 = \langle S_i \rangle$, $m_4 = \langle S_j \rangle$, $\xi = wt$, and $\Omega = w\tau = 2\pi$. Böylece, sistemin dinamik davranışını tanımlayan üç adet ortalama alan dinamik denklemleri (2.12), (2.13), (2.14) ve (2.15) elde edilir. Böylece, sistemin dinamik davranışını tanımlayan dört ortalama alan dinamik denklemleri elde edilir.

BÖLÜM 3

KARMA SPİN (1/2, 1) ISING GRAFEN NANOADALARI SİSTEMİNİN NÜMERİK ÇÖZÜMÜ

3.1. Ortalama Alt Örgü Miknatıslanmalarının Zamanla Değişimi

Sistemde var olan fazları bulmak için denklem (2.12), (2.13), (2.14) ve (2.15) ile verilen dinamik ortalama-alan denklemlerinin kararlı çözümleri farklı kristal alan (D), manyetik alan genliği (h) ve sıcaklık (T) değerleri için incelenecektir. Denklem (2.12), (2.13), (2.14) ve (2.15)'in devinimsiz çözümleri, periyodik bir fonksiyonun 2π periyodu için ξ 'nin periyodik bir fonksiyonu olacaktır, yani

$$m_1(\xi + 2\pi) = m_1(\xi), \quad (2.16a)$$

$$m_2(\xi + 2\pi) = m_2(\xi), \quad (2.16b)$$

$$m_3(\xi + 2\pi) = m_3(\xi), \quad (2.16c)$$

ve

$$m_4(\xi + 2\pi) = m_4(\xi). \quad (2.16d)$$

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

$$m_1(\xi + \pi) = -m_1(\xi), \quad (2.17a)$$

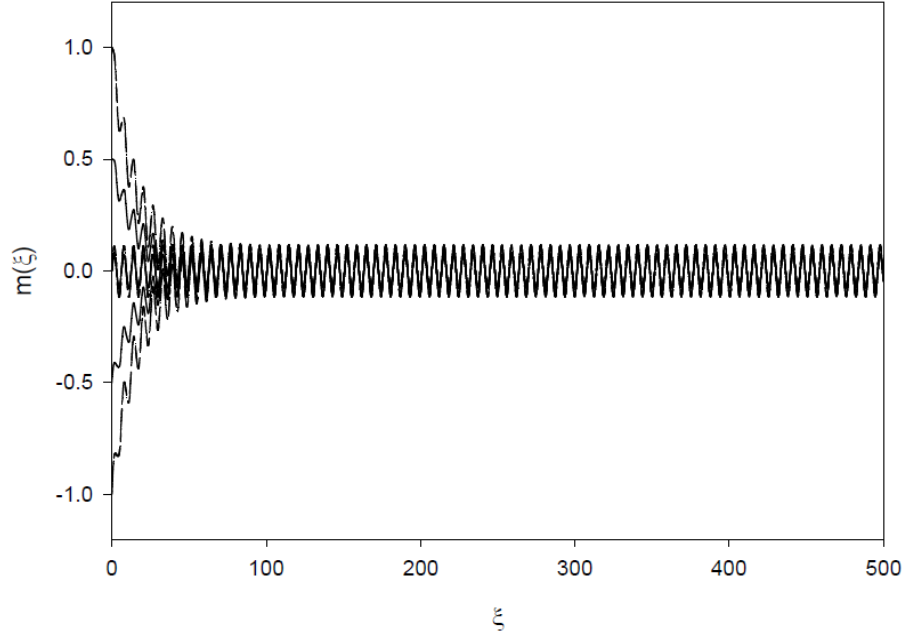
$$m_2(\xi + \pi) = -m_2(\xi), \quad (2.17b)$$

$$m_3(\xi + \pi) = -m_3(\xi), \quad (2.17c)$$

ve

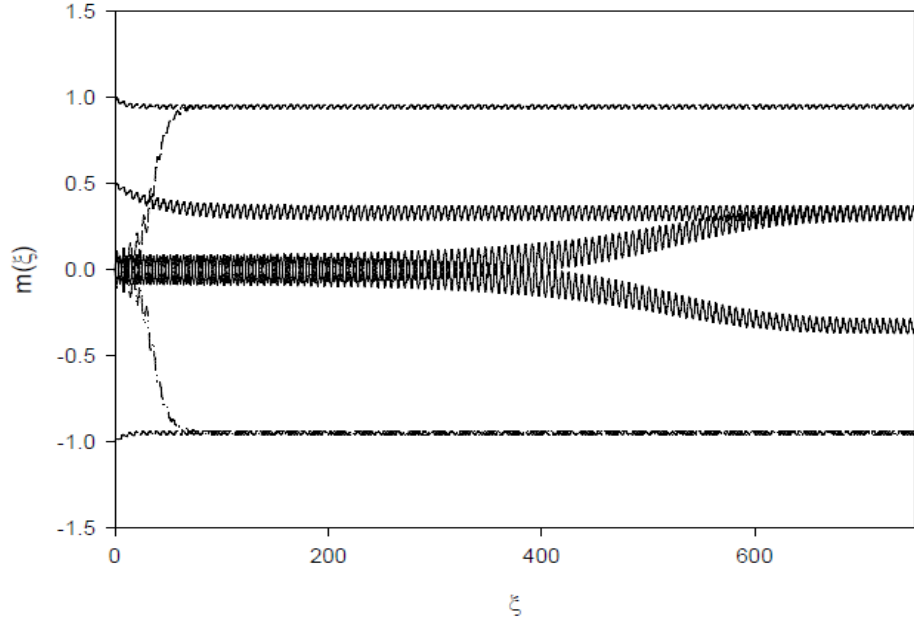
$$m_4(\xi + \pi) = -m_4(\xi). \quad (2.17d)$$

Bu çözümlerde örgü ve yüzey için ortalama alt örgü miknatislanmaları sırasıyla $m_1(\xi)$, $m_2(\xi)$, $m_3(\xi)$, ve $m_4(\xi)$ olarak çözülecektir. Buradaki denklem (2.17)'nin 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 $m_1(\xi)$, $m_2(\xi)$, $m_3(\xi)$ ve $m_4(\xi)$ birbirine eşittir ve sıfır değeri civarında salınarak dış manyetik alana uyum gösterirler. İkinci tip çözümde, elde ettiğimiz çözüm (2.17) denklemlerine uymaz ve bu simetrik olmayan çözümdür, bu çözüm ferrimanyetik (i) çözüme karşılık gelir. Bu çözümde $m_1(\xi) = m_2(\xi)$, $m_3(\xi) = m_4(\xi)$ ve $m_1(\xi) = m_2(\xi) \neq m_3(\xi) = m_4(\xi)$ olduğundan sıfır olmayan değerler etrafında salınırlar, yani $m_1(\xi) = m_2(\xi) = \pm 1/2$, $m_3(\xi) = m_4(\xi) = \pm 1.0$ etrafında salınırlar ve dış manyetik alana uymazlar. Üçüncü tip çözüm, (2.17a) ve (2.17b) ile verilen denkleme uymazken, (2.17c) ve (2.17d) ile verilen denklemlere uyar. Bu çözüm manyetik olmayan (nm) çözüme karşılık gelir ve bu çözümde $m_1(\xi) = m_2(\xi) = \pm 1/2$, değerleri etrafında salınırken $m_3(\xi) = m_4(\xi) = 0$ sıfır etrafında salınır. Bu çözümler, açık bir şekilde (2.12), (2.13), (2.14) ve (2.15) ile verilen dinamik ortalama-alan denklemlerin nümerik olarak çözülmesiyle görülür. (2.12), (2.13), (2.14) ve (2.15) numaralı denklemler, verilen parametreler ve başlangıç değerleri için Adams-Moulton kestirme ve düzeltme yöntemi kullanılarak çözülmesiyle sistemde paramanyetik (p), ferrimanyetik (i) ve manyetik olmayan (nm) temel fazlarının yanında dört adet i + nm, i + p, nm + p ve i+nm+p karma fazları bulunur. Bu fazlara karşılık gelen çözümler Şekil 3.1-3.7' de gösterilmiştir. Şekil 3.1'de yalnızca simetrik çözüm elde edildi ve bundan dolayı sistemde sadece paramanyetik (p) faz mevcuttur. Bu durumda $m_1(\xi) = m_2(\xi)$, $m_3(\xi) = m_4(\xi)$ birbirine eşittir ve sıfır değeri civarında salınırlar $m_1(\xi) = m_2(\xi) = m_3(\xi) = m_4(\xi) = 0$.



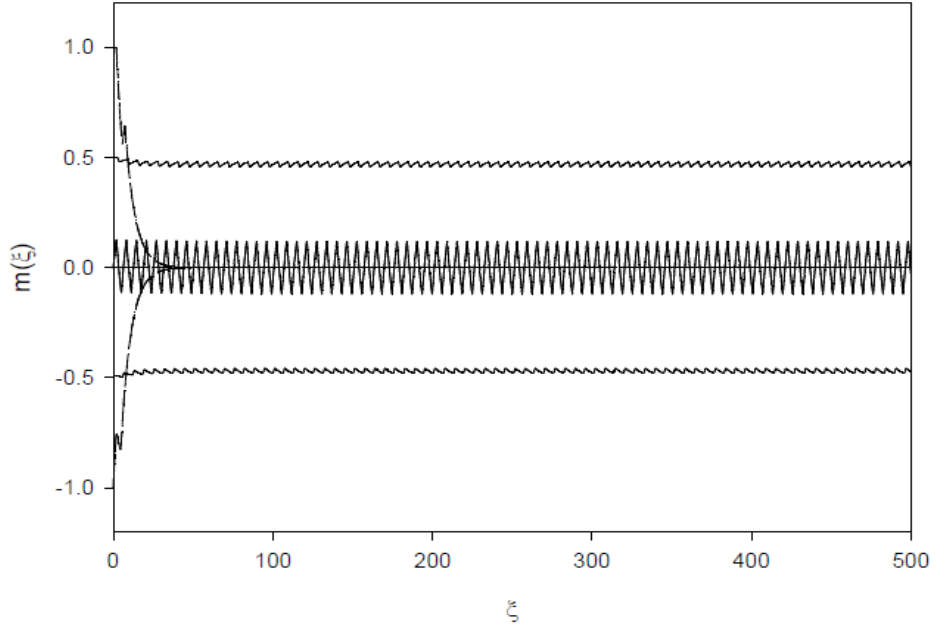
Şekil 3.1. Karma spin (1/2, 1) grafen nanoadaları sistemi için ortalama alt örgü mıknatıslanmalarının $m_1(\xi), m_2(\xi), m_3(\xi)$ ve $m_4(\xi)$ 'ün zamanla değişimi. Sistemde $D/J_4=1.0$, $h/J_4=11.0$, $T/J_4=9.0$ değerleri için paramanyetik (p) faz mevcuttur.

Şekil 3.2'de simetrik olmayan çözümler elde edilmiştir. Şekil 3.2'de $m_1(\xi) = m_2(\xi) = \pm 1/2$ civarında salınırken ve $m_3(\xi) = m_4(\xi) = \pm 1.0$ değeri etrafında salınırlar, bu durumda sistemde ferrimanyetik (i) faz mevcuttur.



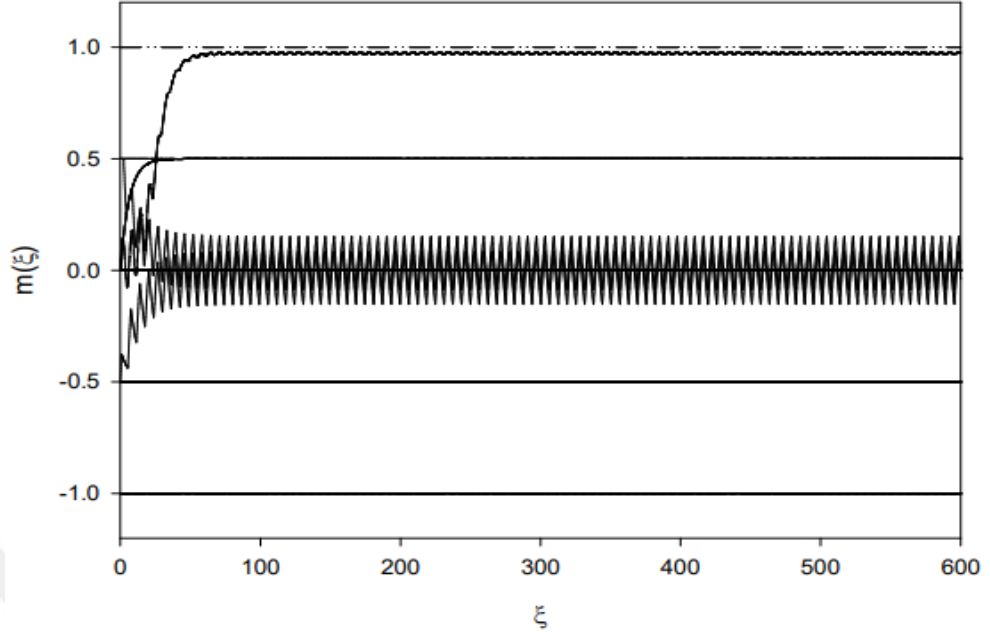
Şekil 3.2. Karma spin (1/2, 1) grafen nanoadaları sistemi için ortalama alt örgü mıknatıslanmalarının $m_1(\xi), m_2(\xi), m_3(\xi)$ ve $m_4(\xi)$ 'ün zamanla değişimi. Sistemde $D/J_4=-2.0$, $h/J_4=4.0$, $T/J_4=2.0$ değerleri için ferrimanyetik (i) fazlar mevcuttur.

Şekil 3.3'de simetrik ve simetrik olmayan çözümler bir arada elde edilmiştir. Şekil 3.3'de $m_1(\xi) = m_2(\xi) = \pm 1/2$ değerleri etrafında salınırken $m_3(\xi) = m_4(\xi) = 0$ sıfır etrafında salınmaktadır. Bundan dolayı sistemde manyetik olmayan (nm) faz elde edilmiştir. Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'de elde edilen bu çözümler başlangıç değerlerine bağlı değildir.



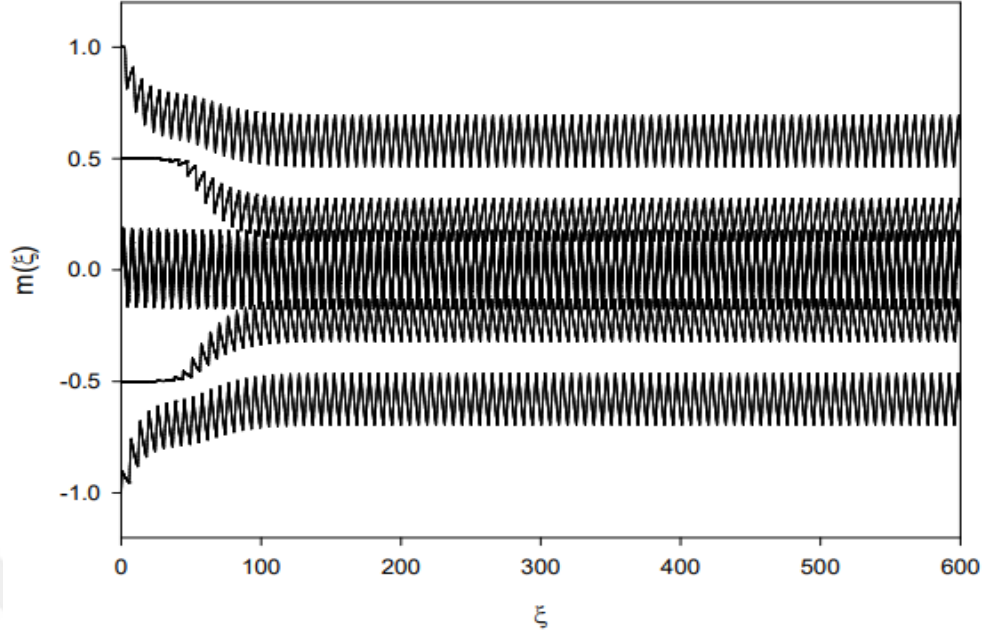
Şekil 3.3. Karma spin (1/2, 1) grafen nanoadaları sistemi için ortalama alt örgü mıknatıslanmalarının $m_1(\xi), m_2(\xi), m_3(\xi)$ ve $m_4(\xi)$ 'ün zamanla değişimi. Sistemde $D/J_4=-12.0$, $h/J_4=1.0$, $T/J_4=3.0$ değerleri için nonmanyetik (nm) fazı mevcuttur.

Şekil 3.4'de iki farklı çözüm elde edilmiştir ve sistemde i ve nm fazları bir arada bulunmaktadır. İlk çözümde $m_1(\xi) = m_2(\xi) = \pm 1/2$ civarında salınırlar ve $m_3(\xi) = m_4(\xi) = \pm 1.0$ değeri etrafında salınırlar, bu durumda sistemde ferrimanyetik (i) faz gözlenmiştir. İkinci çözümde ise $m_1(\xi) = m_2(\xi) = \pm 1/2$ civarında salınırlar ve $m_3(\xi) = m_4(\xi) = 0$ değeri etrafında salınırlar, bu durumda sistemde nonmanyetik (nm) faz gözlenmiştir. Bundan dolayı sistemde i ve nm fazlarının bir arada bulunduğu i + nm karma fazı elde edilmiştir.



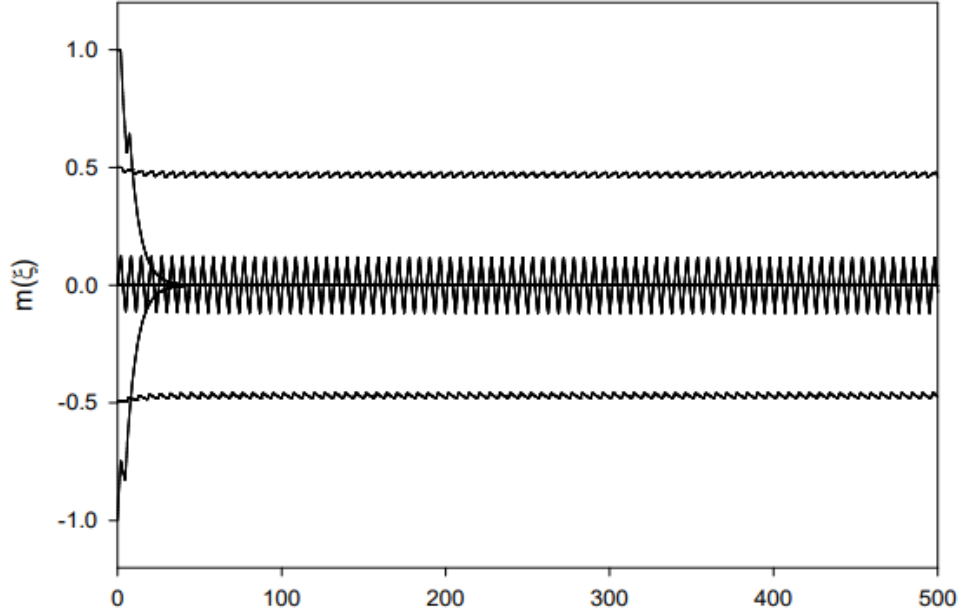
Şekil 3.4. Karma spin (1/2, 1) grafen nanoadaları sistemi için ortalama alt örgü mıknatıslanmalarının $m_1(\xi), m_2(\xi), m_3(\xi)$ ve $m_4(\xi)$ 'ün zamanla değişimi. Sistemde $D/J_4=-6.0$, $h/J_4=1.0$, $T/J_4=0.5$ değerleri için hem ferrimanyetik (i) hem de nonmanyetik (nm) fazları birarada mevcuttur.

Şekil 3.5'de yine iki farklı çözüm elde edilmiştir ve sistemde p ve i fazları bir arada bulunmaktadır. İlk çözümde $m_1(\xi) = m_2(\xi) = m_3(\xi) = m_4(\xi) = 0$ değeri civarında salınırken sistemde paramanyetik (p) faz gözlenmiştir. İkinci çözümde ise $m_1(\xi) = m_2(\xi) = \pm 1/2$ civarında salınırken ve $m_3(\xi) = m_4(\xi) = \pm 1.0$ değeri etrafında salınırlar, bu durumda sistemde ferrimanyetik (i) faz gözlenmiştir. Bundan dolayı sistemde i + p karma fazı bulunduğu gözlenmiştir.



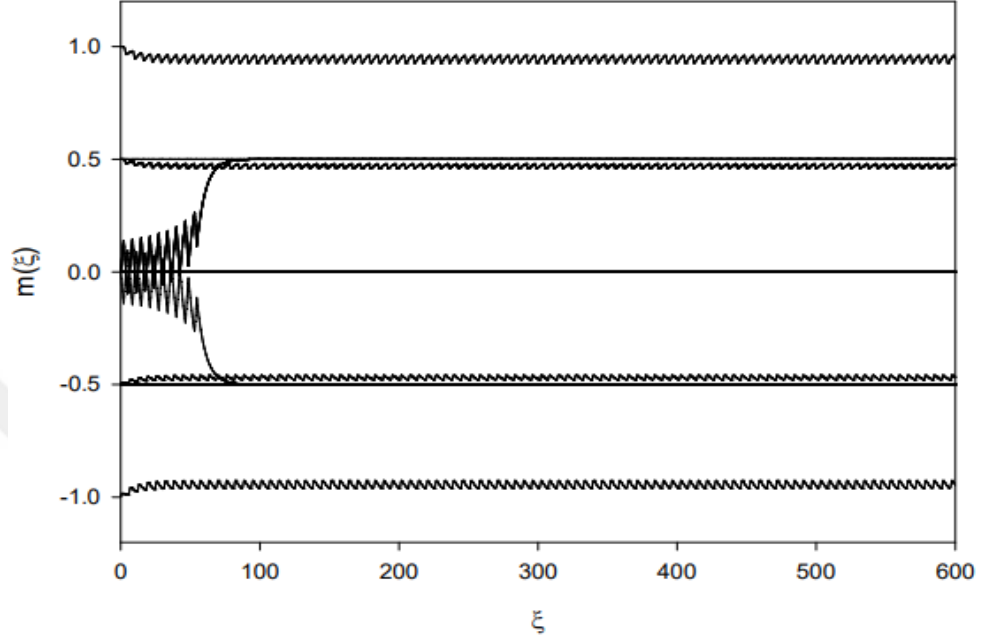
Şekil 3.5. Karma spin $(1/2, 1)$ grafen nanoadaları sistemi için ortalama alt örgü mıknatıslanmalarının $m_1(\xi), m_2(\xi), m_3(\xi)$ ve $m_4(\xi)$ 'ün zamanla değişimi. Sistemde $D/J_4=-5.0$, $h/J_4=8.5$, $T/J_4=0.2$ değerleri için hem ferrimanyetik (i) hem de paramanyetik (p) fazları bir arada mevcuttur.

Şekil 3.6'da yine iki farklı çözüm elde edilmiştir ama bu sefer sistemde p ve nm fazları bir arada bulunmaktadır. Buradaki ilk çözümde $m_1(\xi) = m_2(\xi) = m_3(\xi) = m_4(\xi) = 0$ değeri civarında salınırlar ve bundan dolayı sistemde paramanyetik (p) faz elde edilmiştir. İkinci çözümde ise $m_1(\xi) = m_2(\xi) = \pm 1/2$ değerleri etrafında salınırken $m_3(\xi) = m_4(\xi) = 0$ sıfır etrafında salınır. Bundan dolayı sistemde manyetik olmayan (nm) faz elde edilmiştir. Bundan dolayı sistemde nm + p karma fazı da elde edilmiştir.



Şekil 3.6. Karma spin (1/2, 1) grafen nanoadaları sistemi için ortalama alt örgü mıknatıslanmalarının $m_1(\xi), m_2(\xi), m_3(\xi)$ ve $m_4(\xi)$ 'ün zamanla değişimi. Sistemde $D/J_4=-10.0$, $h/J_4=10.0$, $T/J_4=0.2$ değerleri için hem manyetik olmayan (nm) hem de paramanyetik (p) fazlar bir arada mevcuttur.

Şekil 3.7'de üç farklı çözüm elde edilmiştir ama bu sefer sistemde i, nm ve p fazları bir arada bulunmaktadır. Buradaki ilk çözümde $m_1(\xi) = m_2(\xi) = \pm 1/2$ değeri civarında salınırken $m_3(\xi) = m_4(\xi) = \pm 1.0$ etrafında salınmaktadır. Bundan dolayı sistemde ferrimanyetik (i) faz elde edilmiştir. İkinci çözümde ise $m_1(\xi) = m_2(\xi) = \pm 1/2$ değerleri etrafında salınırken $m_3(\xi) = m_4(\xi) = 0$ sıfır etrafında salınır. Bundan dolayı sistemde manyetik olmayan (nm) faz elde edilmiştir. Üçüncü çözümde ise $m_1(\xi) = m_2(\xi) = m_3(\xi) = m_4(\xi) = 0$ değeri civarında salınırlar ve bundan dolayı sistemde paramanyetik (p) faz elde edilmiştir.



Şekil 3.7. Karma spin (1/2, 1) grafen nanoadaları sistemi için ortalama alt örgü mıknatıslanmalarının $m_1(\xi), m_2(\xi), m_3(\xi)$ ve $m_4(\xi)$ 'ün zamanla değişimi. Sistemde $D/J_4=-8.0$, $h/J_4=2.5$ $T/J_4=0.02$ değerleri için hem paramanyetik (p) hem nonmanyetik (nm) hem de ferrimanyetik (i) fazlarının bir arada olduğu $i+nm+p$ fazı mevcuttur.

Şekil 3.1 – Şekil 3.7’de görüldüğü gibi sistemde yedi farklı faz bölgesi mevcuttur. Bu fazlar, sırasıyla p, i, nm temel fazları ve $i + nm$, $i + p$, $nm+p$ ve $i+nm+p$ karma fazlarıdır. Bir sonraki bölümde bu faz bölgeleri arasındaki dinamik faz sınırları belirlenecektir.

3.2 Dinamik Düzen Parametreleri ve Dinamik Faz Geçiş Noktaları

Bu kesimde, sistemde mevcut olan altı farklı faz arasındaki dinamik faz sınırlarını belirleyebilecektir. 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:

$$M_{\alpha} = \frac{w}{2\pi} \oint m_{\alpha}(t) dt, \quad (2.18)$$

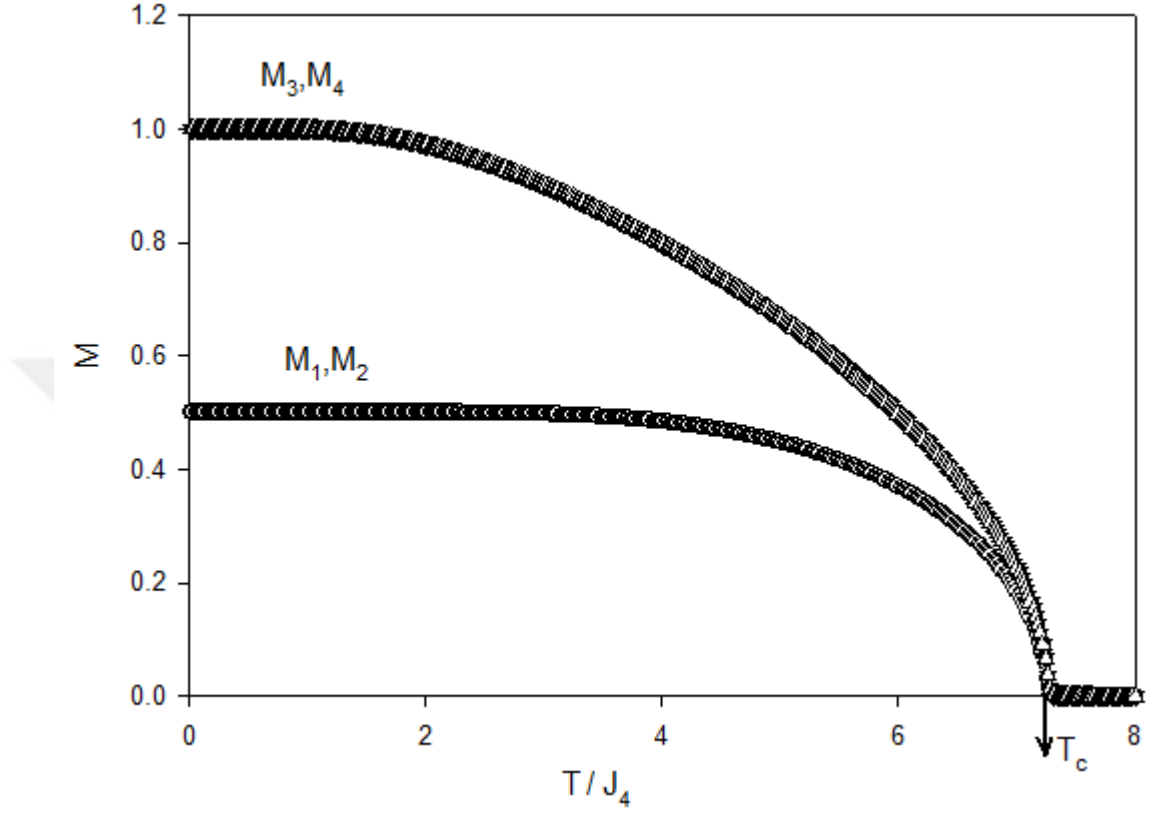
Burada $\alpha = m_1, m_2, m_3$ ve m_4 ; sistemdeki dinamik alt örgü mıknatıslanmalarına karşılık gelmektedir. (2.18)'deki bu denklem, Simpson integrasyonu ile Adams-Moulton prediktör düzeltme metodu kullanılarak sayısal olarak alt örgü mıknatıslanmalarının başlangıç koşullarına bağlı olarak çözülecektir. Bir sonraki bölümde bu denklemlerin sayısal sonuçları detaylıca incelenecektir.

3.3. Dinamik mıknatıslanmaların termal davranışı

Bu alt bölümde, karma spin (1/2, 1) Ising grafen nanoadaları sisteminin sıcaklık değerinin bir fonksiyonu olarak, dinamik alt örgü mıknatıslanmaları (M_{α}) termal değişiminin farklı etkileşim parametresi değerleri için incelenecektir. M_{α} 'nin termal davranışlarını denklem (2.18) kullanılarak dinamik düzen parametrelerinin davranışını etkileşme parametrelerinin farklı değerleri için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Adams-Moulton kestirme ve düzeltme metodu ile Romberg integrasyon metodu birleştirilerek incelenecektir. Mevcut olan fazlar arasındaki dinamik faz sınırlarını belirleyebilmemiz için, dinamik faz geçiş (DFG) sıcaklıklarını hesaplamalı ve DFG'lerinin doğasını sürekli ya da süreksiz (kesikli) yani birinci- veya ikinci-derece faz geçişleri karakterize etmeliyiz. Dinamik düzen parametrelerinin M_{α} davranışı etkileşme parametrelerinin farklı değerleri için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Adams-Moulton kestirme ve düzeltme metodu ile Romberg integrasyon metodu gibi nümerik metotların birleştirilmesiyle incelendi. Fazlar arasındaki dinamik faz sınırlarının ve DFG sıcaklıklarının nasıl elde edildiği Şekil 3.8 – 3.12'de gösterilmektedir. Bu şekillerde, T_1 birinci-derece faz geçiş sıcaklığını gösterirken, T_c ise ikinci-derece faz geçiş sıcaklıklarını göstermektedir.

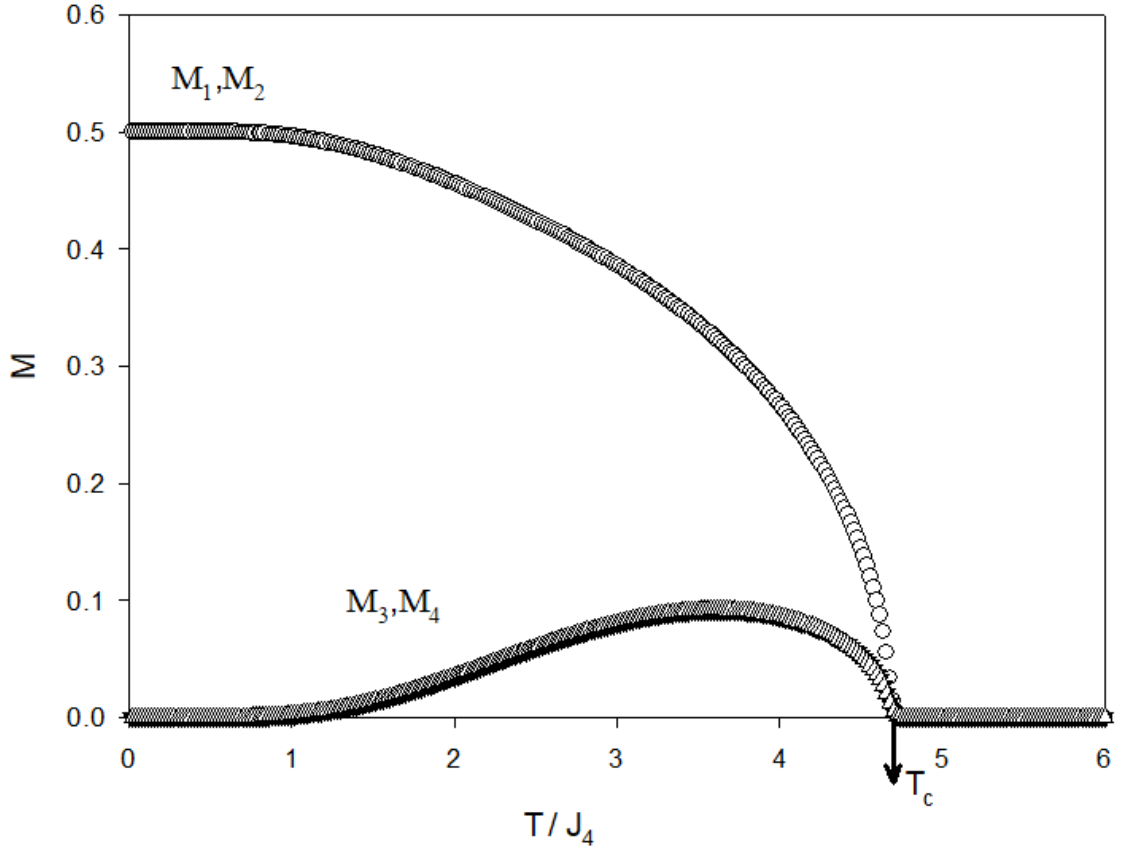
Şekil 3.8. M 'nin termal davranışları $J_1 = 1.0, J_2 = 1.0, J_3 = 1.0, J_4 = 1.0, D/J_4 = -3.2$ ve $h/J_4 = 2.0$ değerleri için elde edilmiştir. Bu şekilde mutlak sıfır sıcaklık değerinde $M_1 = M_2 = 0.5$ ve $M_3 = M_4 = 1.0$ iken sıcaklık arttıkça alt örgü mıknatıslanmaları sürekli olarak

sıfıra yaklaştığını ve $T_c/J_4 = 7.30$ sıcaklığında ferrimanyetik (i) fazdan paramanyetik (p) faza ikinci-derece faz geçişi meydana geldiğini göstermektedir.



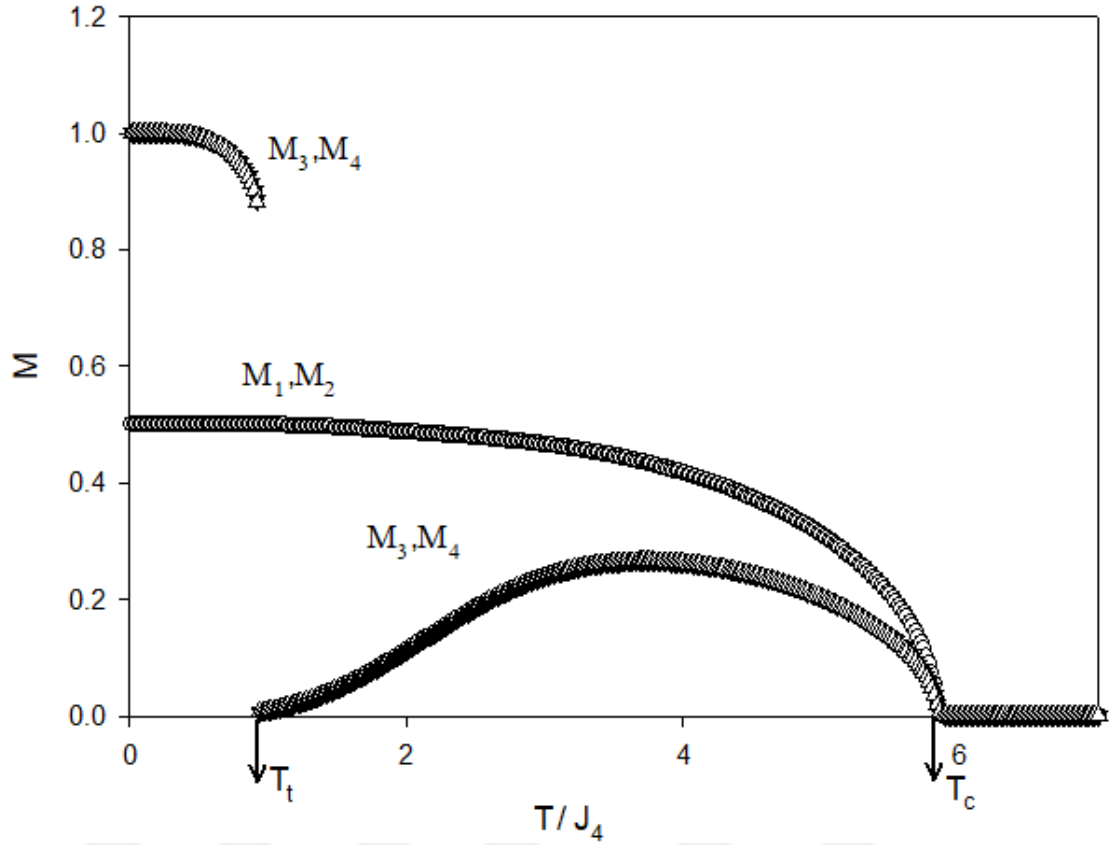
Şekil 3.8. $J_1 = 1.0, J_2 = 1.0, J_3 = 1.0, J_4 = 1.0, D/J_4 = -3.2$ ve $h/J_4 = 2.0$ değerleri için M_α 'nın sıcaklığa bağlı davranışı. $T_c/J_4 = 7.30$ değerinde ferrimanyetik (i) fazdan paramanyetik (p) faza ikinci-derece faz geçişi meydana gelmektedir.

Şekil 3.9. M 'nin termal davranışları $J_1 = 1.0, J_2 = 1.0, J_3 = 1.0, J_4 = 1.0, D/J_4 = -10.0$ ve $h/J_4 = 2.0$ değerleri için modelin $m_1 = m_2 = 0.5$ ve $m_3 = m_4 = 0$ başlangıç değerlerinde elde edilmiştir. $T_c/J_4 = 4.72$ sıcaklık değerinde aniden (süresiz) sıfıra inmektedir. Yani $T_c/J_4 = 4.72$ sıcaklık değerinde manyetik olmayan (nm) fazdan paramanyetik (p) faza ikinci-derece faz geçişi olmuştur.



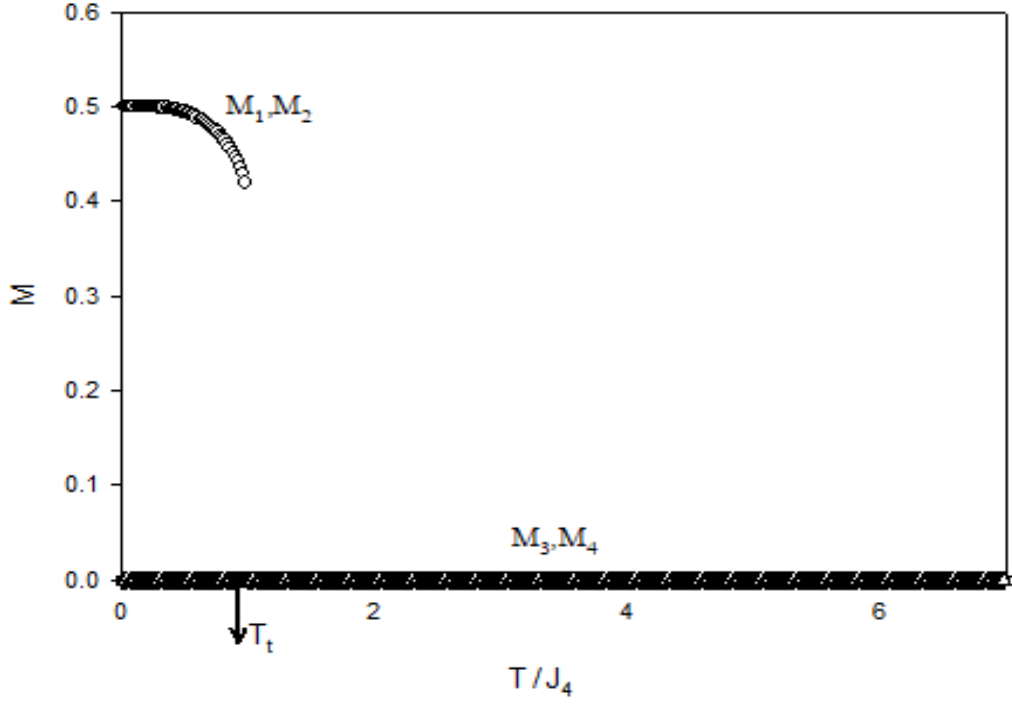
Şekil 3.9. $J_1 = 1.0, J_2 = 1.0, J_3 = 1.0, J_4 = 1.0, D/J_4 = -10.0$ ve $h/J_4 = 2.0$ değerleri için M 'nin sıcaklığa bağlı davranışı. Sistemde $T_c/J_4 = 4.72$ 'ye kadar nm fazı, $T_c/J_4 = 4.72$ sıcaklık değerinde büyük sıcaklıklarda manyetik olmayan (nm) fazdan paramanyetik (p) faza ikinci-derece faz geçişi olmuştur.

Şekil 3.10. M 'nin termal davranışları $J_1 = 1.0, J_2 = 1.0, J_3 = 1.0, J_4 = 1.0, D/J_4 = -8.0$ ve $h/J_4 = 1.0$ değerleri ve sistemin farklı başlangıç değerleri için elde edilmiştir. Mutlak sıfır sıcaklık değerinde $M_1 = M_2 = 0.5$ ve $M_3 = M_4 = 1.0$ yani sistemde ferrimanyetik faz mevcut iken sıcaklık arttıkça öz ve kabuk mıknatıslanmaları $T_t/J_4 = 0.94$ değerinde aniden $M_1 = M_2 = 0.5$ ve $M_3 = M_4 = 0$ yani sistemde manyetik olmayan birinci derecen faz geçişi meydana gelmiştir. Sıcaklık artmaya devam ettikçe öz ve kabuk mıknatıslanmaları sürekli bir şekilde azalarak $T_c/J_4 = 5.94$ değerinde sistemde ikinci dereceden paramanyetik faz geçişi gerçekleşmiştir. Şekil dikkatlice incelendiğinde sistemde $T_t/J_4 = 0.94$ 'e kadar i fazı, $T_t/J_4 = 0.94$ ile $T_c/J_4 = 5.94$ arasında nm fazı ve $T_c/J_4 = 5.94$ 'den yüksek sıcaklıklarda p fazı mevcuttur.



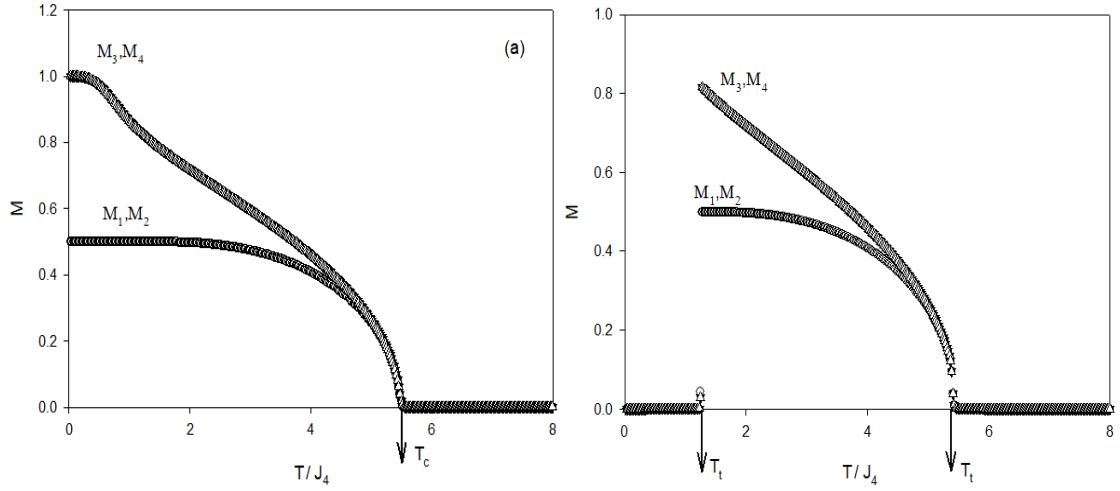
Şekil 3.10. $J_1 = 1.0$, $J_2 = 1.0$, $J_3 = 1.0$, $J_4 = 1.0$, $D/J_4 = -8.0$ ve $h/J_4 = 1.0$ değerleri için M_α 'nin termal davranışları. $m_1=m_2=0.5$, $m_3=m_4=1.0$ başlangıç değerleri, $T_t/J_4 = 0.94$ 'e kadar i fazi, $T_t/J_4 = 0.94$ ile $T_c/J_4 = 5.94$ arasında nm fazi ve $T_c/J_4 = 5.94$ 'den yüksek sıcaklıklarda p fazi mevcuttur.

Şekil 3.11. M 'nin termal davranışları $J_1 = 1.0$, $J_2 = 1.0$, $J_3 = 1.0$, $J_4 = 1.0$, $D/J_4 = -12.0$ ve $h/J_4 = 3.2$ değerleri için modelin $m_1 = m_2 = 0.5$ ve $m_3 = m_4 = 0$ başlangıç değerlerinde elde edilmiştir. Bu şekilde mutlak sıfır sıcaklık değerinde $M_1 = M_2 = 0.5$ ve $M_3 = M_4 = 0$ iken sıcaklık artıkça öz ve kabuk mıknatıslanmaları $T_t/J_4 = 1.01$ sıcaklık değerinde aniden (süresiz) sıfıra inmektedir. Yani $T_t/J_4 = 1.01$ sıcaklık değerinde manyetik olmayan (nm) fazdan paramanyetik (p) faza birinci-derece faz geçişi olmuştur.



Şekil 3.11. $J_1 = 1.0, J_2 = 1.0, J_3 = 1.0, J_4 = 1.0, D = -12.0$ ve $h = 3.2$ değerleri için M 'nin sıcaklığa bağlı davranışı. $T_t/J_4 = 1.01$ ' e kadar sistemde $nm+p$ fazı $T_t/J_4 = 1.01$ ' den değerinden sonra sistemde paramanyetik (p) faza mevcuttur.

Şekil 3.12. M 'nin termal davranışları $J_1 = 1.0, J_2 = 1.0, J_3 = 1.0, J_4 = 1.0, D/J_4 = -6.0$ ve $h/J_4 = 4.0$ değerleri ve sistemin a) $m_1=m_2=0.5, m_3=m_4= 0$ başlangıç değerleri için elde edilmiştir. Mutlak sıfır sıcaklık değerinde $M_1= M_2=1/2, M_3= M_4= 1$ değerlerinde sistemde ferrimanyetik faz mevcut iken sıcaklık arttıkça öz ve kabuk mıknatıslanmaları $T_c/J_4 = 5.43$ değerinde aniden ikinci derece faz geçişi ile sistem paramanyetik faza geçmiştir. (b) $m_1= m_2= 0.5$ ve $m_3= m_4= 1.0$ başlangıç değerleri için elde edilmiştir. Mutlak sıfır sıcaklık değerinde $M_1= M_2= 0.5$ ve $M_3= M_4= 1.0$ değerlerinde sistemde paramanyetik faz sistemde mevcut iken sıcaklık arttıkça öz ve kabuk mıknatıslanmaları $T_t/J_4 = 1.25$ değerinde aniden birinci derece faz geçişi ile sistem ferrimanyetik faza geçmiştir. Sıcaklık artmaya devam ettikçe öz ve kabuk mıknatıslanmaları sürekli bir şekilde azalarak $T_c/J_4 = 5.43$ değerinde sistem paramanyetik faza geçmiştir. Şekil dikkatlice incelendiğinde sistemde $T_t/J_4 = 1.25$ ' e kadar $i+ p$ fazı $T_t/J_4 = 1.25$ ile $T_c/J_4 = 5.43$ arası kadar i fazı, $T_t/J_4 = 5.43$ ' den yüksek sıcaklıklarda p fazı mevcuttur.



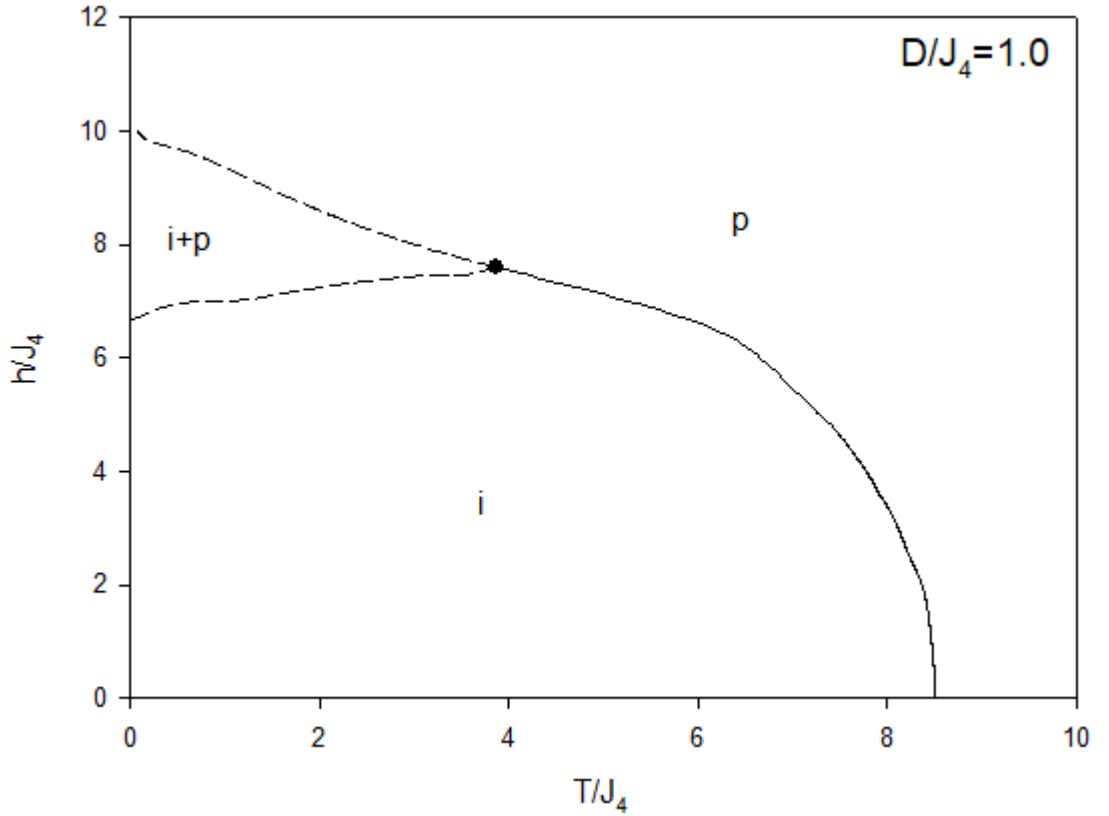
Şekil 3.12. $J_1 = 1.0$, $J_2 = 1.0$, $J_3 = 1.0$, $J_4 = 1.0$, $D/J_4 = -6.0$ ve $h/J_4 = 4.0$ değerleri için M_α 'nin termal davranışları. (a) $m_1=m_2=0.5$, $m_3=m_4=0$ başlangıç değerleri için elde edilmiştir. Sistemde $T_c/J_4 = 5.43$ ' e kadar i fazı $T_c/J_4 = 5.43$ 'den yüksek sıcaklıklarda p fazı mevcuttur. (b) $m_1=m_2=0.5$, $m_3=m_4=1.0$ başlangıç değerleri için elde edilmiştir. Sistemde $T_c/J_4 = 1.25$ ' e kadar i+p fazı $T_t/J_4 = 1.25$ ile $T_c/J_4 = 5.43$ arası kadar i fazı, $T_c/J_4 = 5.43$ ' den yüksek sıcaklıklarda p fazı mevcuttur.

3.4. (T_c/J_4 , h/J_4) Düzleminde Dinamik Faz Diyagramları

Önceki bölümde elde edilen dinamik faz geçiş (DFG) sıcaklıklarından yararlanılarak artık sistemin dinamik faz diyagramlarını (T_c/J_4 , h/J_4) düzleminde sunabiliriz. Bu bölümde etkileşim parametreleri J_1 , J_2 , J_3 , J_4 ve kristal alan (D)'nin farklı değerleri için (T_c/J_4 , h/J_4) düzlemindeki dinamik faz diyagramları şekillerle ifade edilecektir. Böylece (T_c/J_4 , h/J_4) 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 etmektedir. Elde edilen faz diyagramlarının özellikleri ile etkileşim parametrelerinin dinamik faz diyagramları üzerindeki etkisi aşağıdaki gibi sunulmuştur. Bu faz diyagramları:

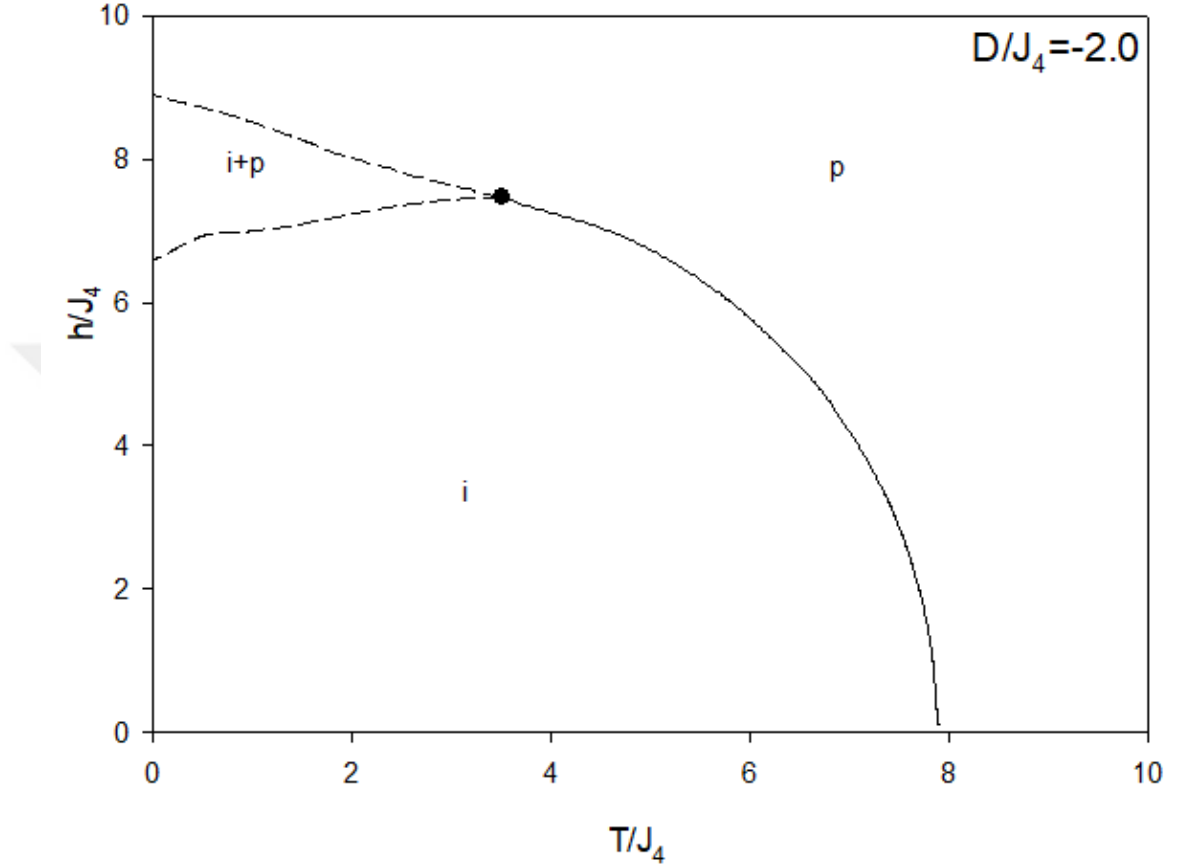
i) $J_1=1.0$, $J_2=1$, $J_3=1$, $J_4=1$ ve $D/J_4=1.0$ değerleri için (T_c/J_4 , h/J_4) düzleminde elde edilen faz diyagramı Şekil 3.13'de gösterilmektedir. Bu faz diyagramında kristal alanın pozitif değerinde birinci-dereceden faz geçiş çizgisinin bitip, ikinci-dereceden faz geçiş çizgisinin ve kritik üçlü noktanın, T ve h 'ın küçük değerlerinde yine başka bir birinci-dereceden faz geçiş çizgisi olduğu görülmektedir. T ve h 'nin düşük değerlerinde sistemde

ferrimanyetik (i) faz mevcuttur. Bu iki bölge arasındaki dinamik faz sınırı, $i \rightarrow p'$ ye ikinci-derece faz geçiş çizgisidir. Ayrıca indirgenmiş sıcaklık ve manyetik alan genliğinin belirli değerlerinde i ve p fazının birlikte bulunduğu karma i+p fazı bulunmaktadır. Karma i+p fazı, i fazı ve p fazından birinci-derece faz geçiş çizgileriyle ayrılmıştır. Bu iki birinci-derece faz geçiş çizgileri birbirine 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 [139] (bu sistemde i fazı yerine ferromanyetik (f) faz gelmektedir), spin-1 [156, 157, 158], Ising sistemlerinde elde edilmiştir. Yine bu faz diyagramının benzeri faz diyagramı karma spin (1/2, 1) [114, 185], Ising modellerinde de elde edilmiştir.



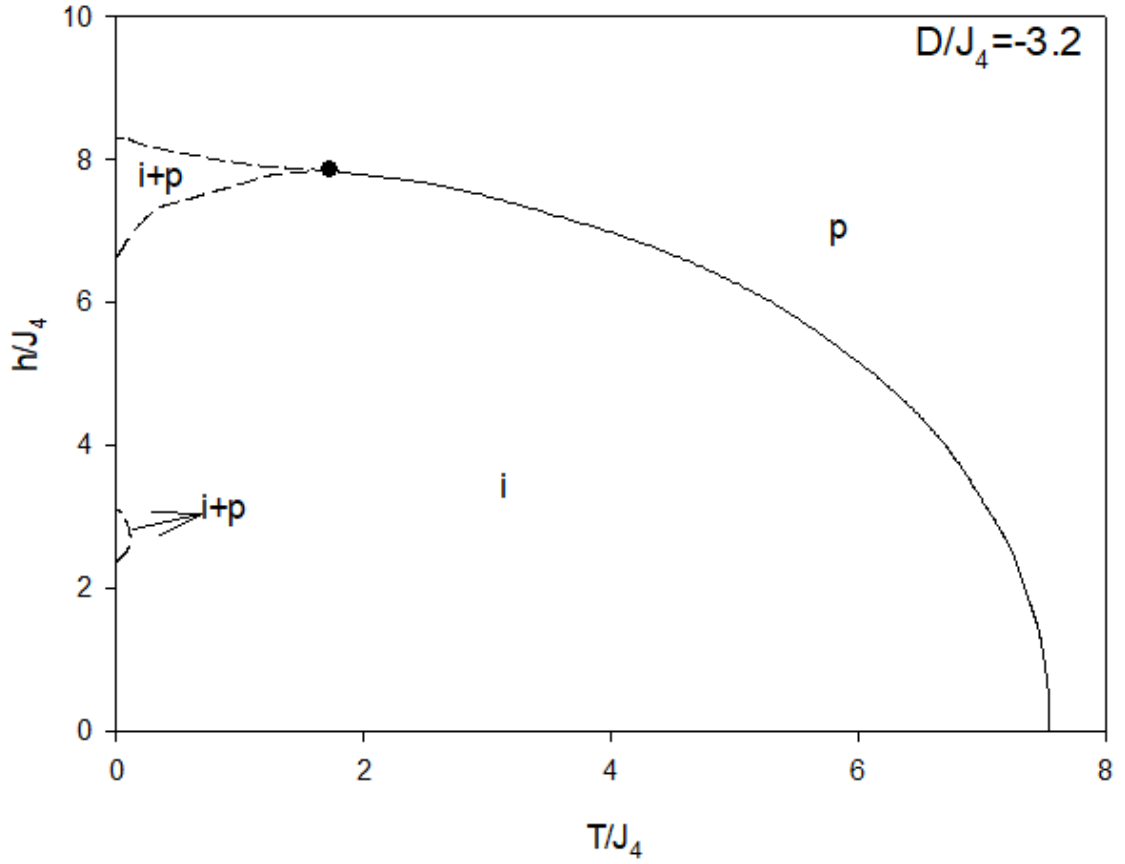
Şekil 3.13 Karma spin (1/2, 1) Ising grafen nanoadaları sisteminde $D/J_4=1.0$ değeri için ($T_c/J_4, h/J_4$) düzleminde dinamik faz diyagramı.

ii) $D/J_4 = -2.0$ değerleri için elde edilen faz diyagramı Şekil 3.14’de gösterilmiştir. $D/J_4 = -2.0$ Şekil olarak Şekil 3.13 ile benzer özellikler göstermektedir. Bu faz diyagramının Şekil 3.13’den farkı faz geçiş sıcaklıklarının küçüldüğü gözlenmiştir.



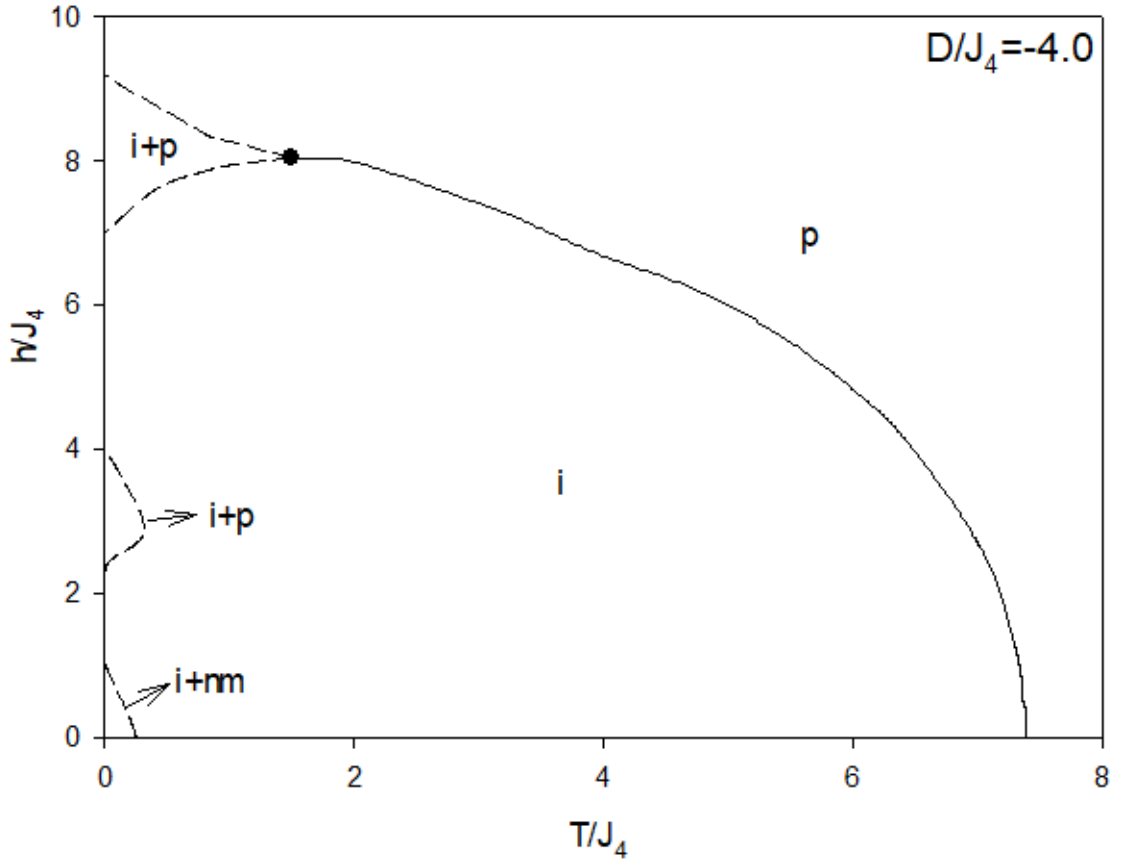
Şekil 3.14. Karma spin $(1/2, 1)$ Ising nanoadaları sisteminde $D/J_4 = -2.0$ değeri için $(T_c/J_4, h/J_4)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

iii) nc tip dinamik faz diyagramı $D/J_4 = -3.2$ değeri için elde edilen bu faz diyagramı Şekil 3.15’de sunulmuştur. Sistemde düşük sıcaklık ve manyetik alanın (h) orta değerlerinde sistemde ferrimanyetik (i) fazının yanında paramanyetik (p) bir bölgenin olduğu, sistemde bulunan $i+p$ karma fazının yanı sıra ayrıca düşük sıcaklık ve ortalama manyetik alan değerinde yeni bir $i+p$ karma faz bölgesi oluştuğu, faz geçiş sıcaklığının azaldığı gözlenmeye başlanıyor.



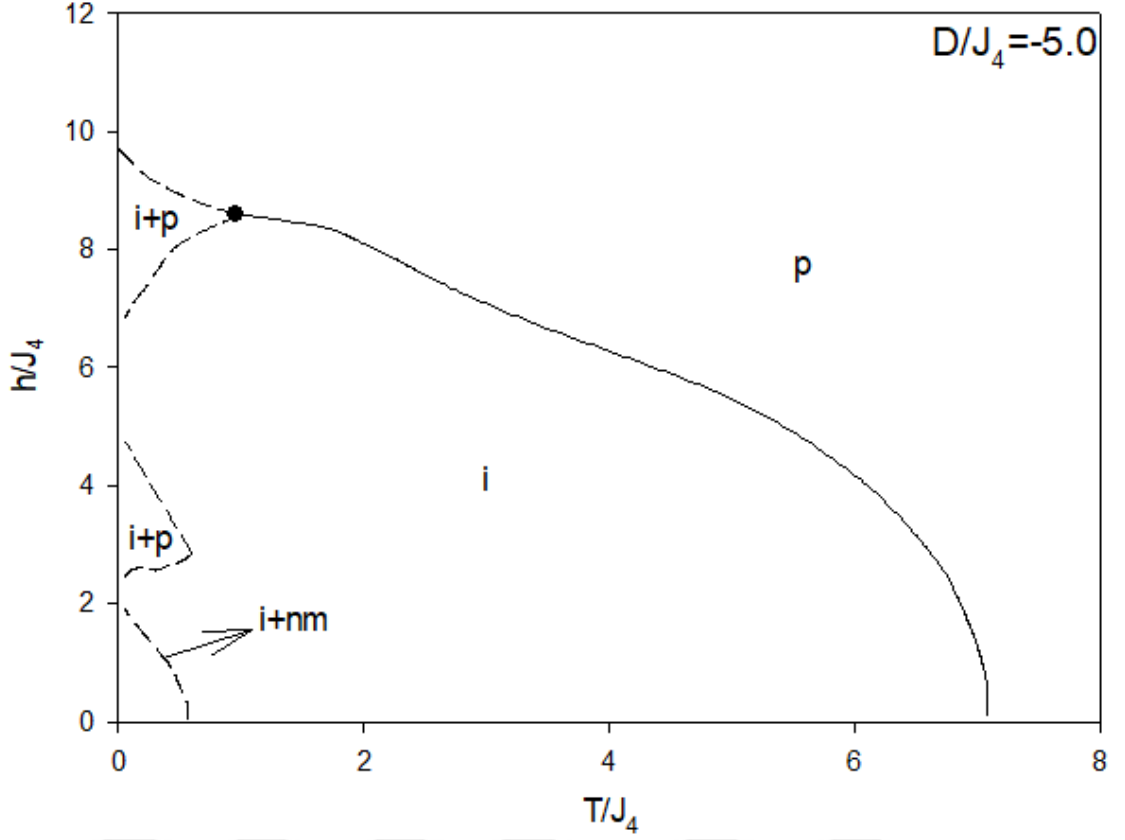
Şekil 3.15 Karma spin (1/2, 1) grafen nanoadaları sisteminde $D/J_4 = -3.2$ değeri için $(T_c/J_4, h/J_4)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

iv) $D/J_4 = -4.0$ değerleri için $(T_c/J_4, h/J_4)$ düzleminde elde edilen faz diyagramı Şekil 3.16'da gösterilmektedir. Bu faz diyagramında, Şekil 3.15'de ortaya çıkan i+p karma fazı daha fazla büyüdüğü, faz geçiş sıcaklığının daha da azaldığı, düşük sıcaklık ve manyetik alan değerinde aşağıdan yeni bir i+ nm karma fazının oluştuğu görüldü. Sistemde ikinci derece faz geçiş değeri azalmış ve artık düzensiz fazın (p), düzenli fazın (i) içine doğru baskı yapmaya başladığı görülmüştür.



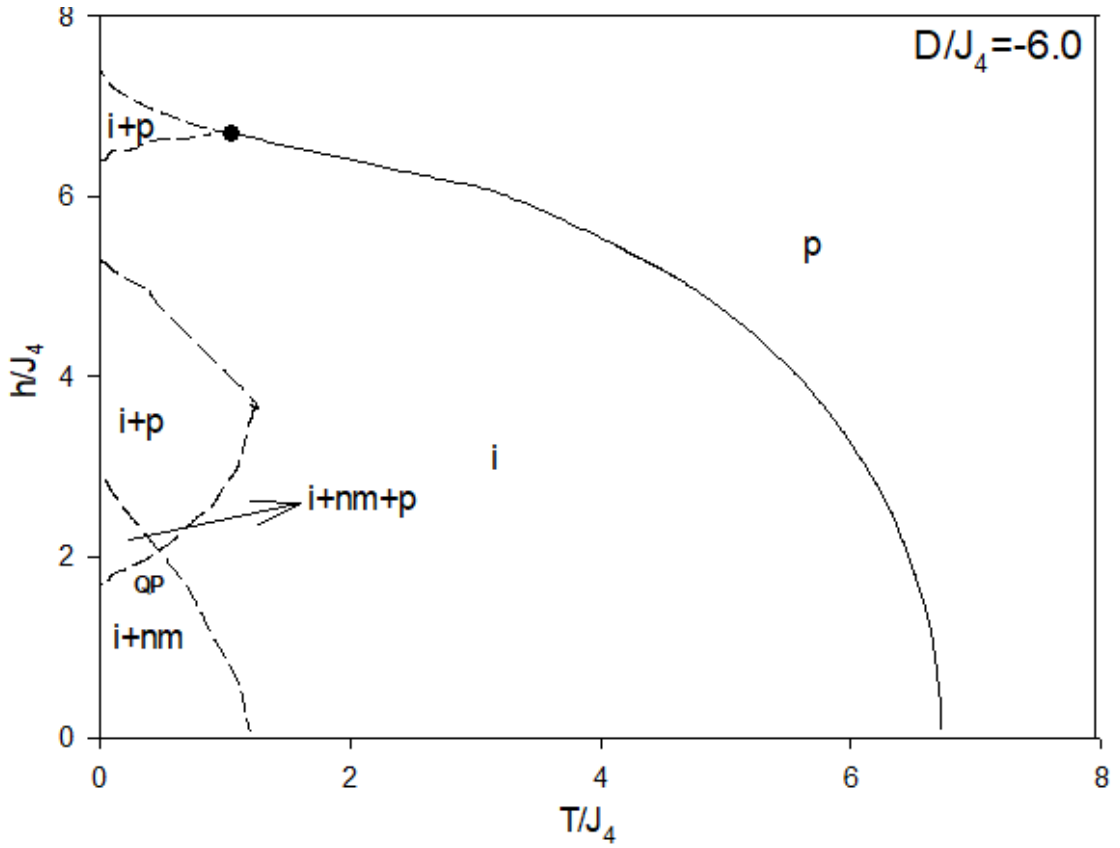
Şekil 3.16. Karma spin (1/2, 1) Ising grafen nanoadaları sisteminde $D/J_4 = -4.0$ değeri için $(T_c/J_4, h/J_4)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

v) $D = -5.0$ değerleri için $(T_c/J_4, h/J_4)$ düzleminde elde edilen faz diyagramı Şekil 3.17’de gösterilmektedir. Bu faz diyagramını yapısal olarak Şekil 3.16’daki faz diyagramına benzemektedir. Sistemde $i+p$ ve $i+nm$ fazının daha da büyüyerek sistemde bulunmaya devam etmektedir. Ayrıca yüksek dış manyetik alan değerlerinde sistem reentrant davranış sergilemektedir.



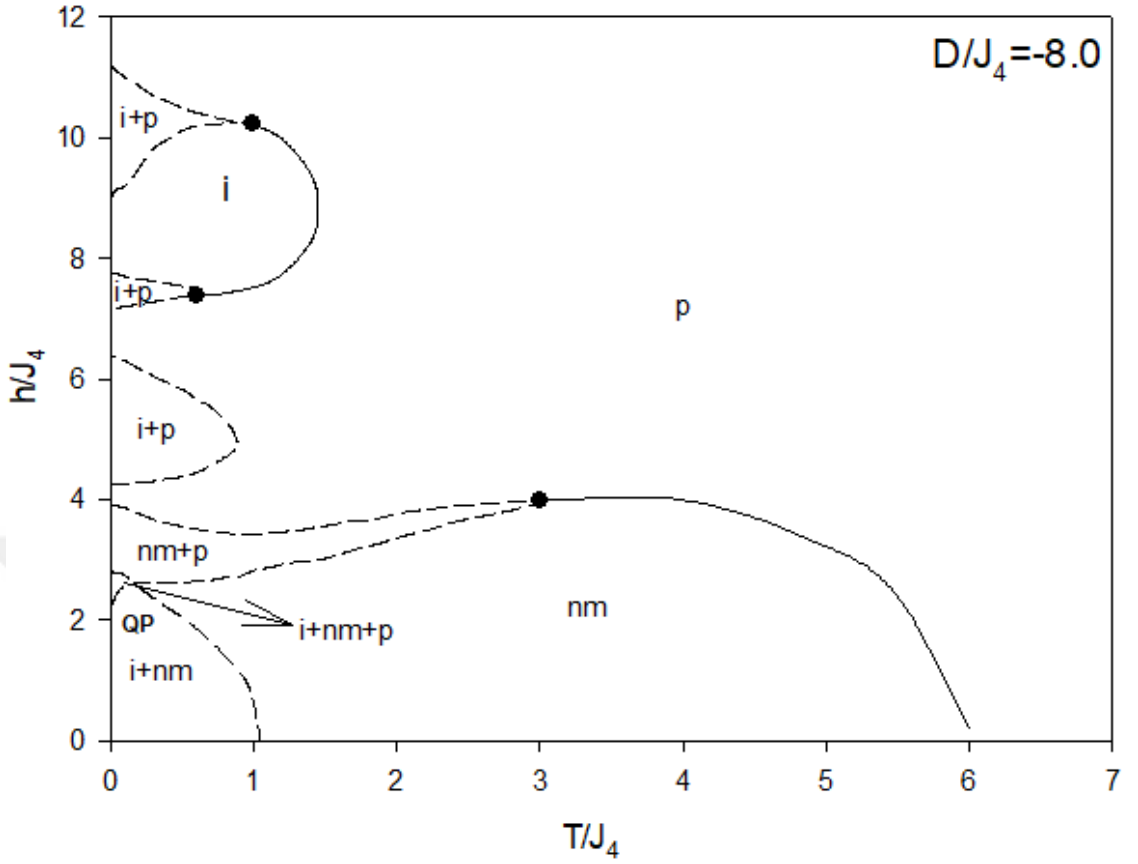
Şekil 3.17. Karma spin (1/2, 1) Ising grafen nanoadaları sisteminde $D/J_4 = -5.0$ değeri için $(T_c/J_4, h/J_4)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

vi) $D/J_4 = -6.0$ değerleri için $(T_c/J_4, h/J_4)$ düzleminde elde edilen faz diyagramı Şekil 3.18'de gösterilmektedir. Bu faz diyagramında $i+p$ ve $i+nm$ fazlarının daha da büyüdüğü, artık birbirlerinin içine girdikleri ve kristal alanın etkisi ile düzensiz fazın (p), düzenli fazın (i) içine doğru girdiği, faz geçiş sıcaklıklarının daha da azaldığı, ayrıca dört tane birinci derece faz geçiş çizgisinin birleştiği Q_p (dörtlü kritik nokta) noktası görüldü. Sistemde ayrıca iki karma fazın bir araya geldiği noktada da $i+p+nm$ üçlü fazının oluştuğu görüldü.



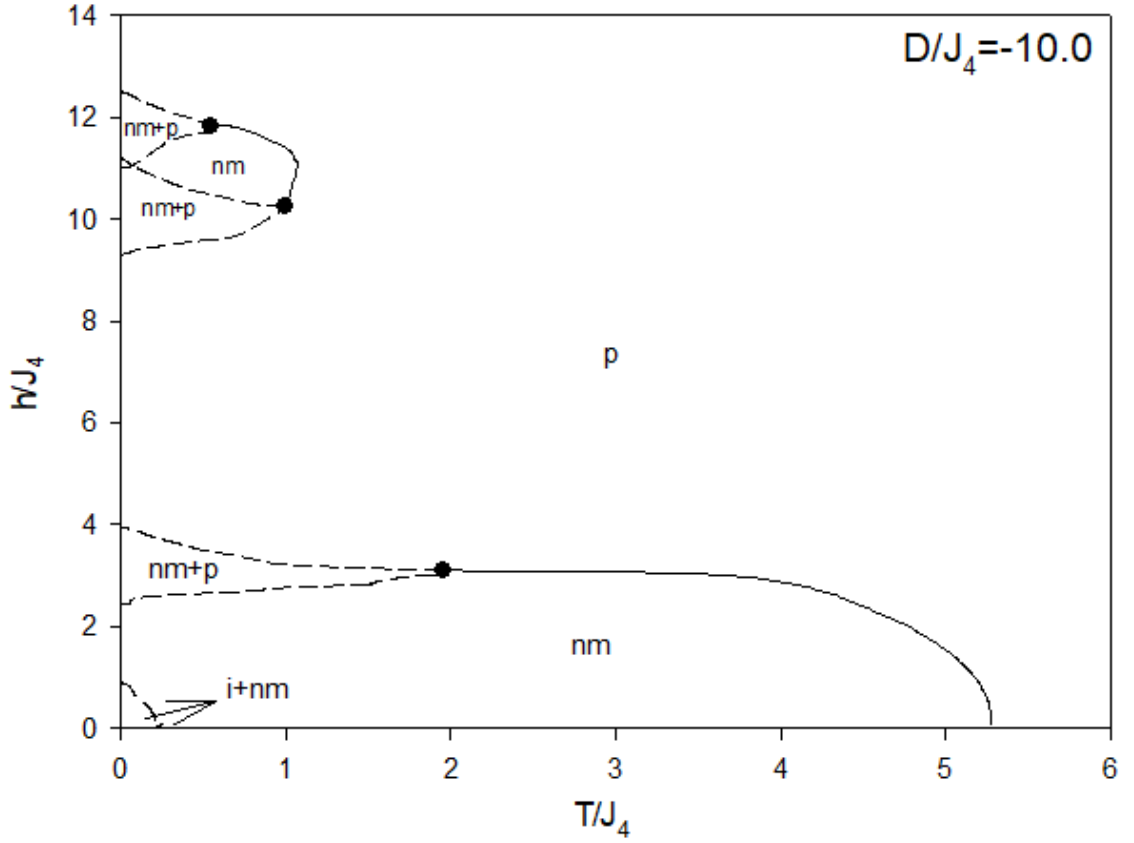
Şekil 3.18. Karma spin (1/2, 1) Ising grafen nanoadaları sisteminde $D/J_4 = -6.0$ değeri için $(T_c/J_4, h/J_4)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

vi) $D/J_4 = -8.0$ değerleri için $(T_c/J_4, h/J_4)$ düzleminde elde edilen faz diyagramı Şekil 3.19'da gösterilmektedir. Bu faz diyagramının da artık fazların birbirine değdiği ve küçük bir $i+p$ fazının oluştuğunu, sistemde kristal alandan dolayı spinler doygunluk değerlerine ulaştığı için sistemin i fazından nm fazına geçtiği görülmektedir. Bu faz diyagramında da p fazı düzenli fazların içine ve sıfır sıcaklık değerlerine yerleşmiş olup, ortamda nm fazı oluşmuştur. Ayrıca düşük sıcaklık ve manyetik alan değerlerindeki $i+nm$ karma fazı ortamda bulunmaya devam etmekte olup, $i+nm+p$ karma fazı küçülmeye başlamıştır. Düşük sıcaklık değerlerinde ferrimanyetik faz küçülmüş, yeni $i+p$ fazları oluşmuştur. Sistem yüksek dış manyetik alan değerlerinde reentrant davranış sergilemektedir.



Şekil 3.19. Karma spin (1/2, 1) Ising grafen nanoadaları sisteminde $D/J_4 = -8.0$ değeri için $(T_c/J_4, h/J_4)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

vii) $D/J_4 = -10.0$ değerleri için $(T_c/J_4, h/J_4)$ düzleminde elde edilen faz diyagramı Şekil 3.20'de gösterilmektedir. Bu faz diyagramını yapısal olarak Şekil 3.19'deki faz diyagramına benzemektedir. Bu faz diyagramında artık sistemde $i+p$ ve $i+nm+p$ fazının yok olduğunu $i+nm$ fazının da küçüldüğünü görüyoruz. Sistemde p fazının düzenli fazların içine daha fazla yerleştiği, düşük sıcaklık ve yüksek manyetik alan değerlerinde i fazının yerine nm fazının geldiği görülmüştür.



Şekil 3.20. Karma spin (1/2, 1) Ising grafen nanoadaları sisteminde $D/J_4 = -10.0$ değeri için $(T_c/J_4, h/J_4)$ düzleminde dinamik faz diyagramı.

viii) $D/J_4 = -12.0$ değerleri için $(T_c/J_4, h/J_4)$ düzleminde elde edilen faz diyagramı Şekil 3.21'de gösterilmektedir. Bu faz diyagramını yapısal olarak Şekil 3.20'deki faz diyagramına benzemektedir. Bu faz diyagramında artık i fazının hepsinin nm fazına dönüştüğü ve alt bölgede düşük sıcaklık ve manyetik alan değerlerinde bulunan $i+nm$ fazının yok olduğu, ayrıca düzensiz fazın (p) düzenli fazın (i) içine daha çok baskı yaparak daha fazla yerleştiği görülmektedir.

BÖLÜM 4

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında karma spin (1/2, 1) Ising grafen nanoadaları sisteminin dinamik davranışları ortalama-alan yaklaşıklığı ve Glauber-tipi stokastik dinamik kullanılarak incelendi. Silindirik grafen nanoadaları 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 (1/2, 1) Ising grafen nanoadaları sistemi detaylıca incelendi. Zamana bağlı salınımlı dış manyetik alan varlığında karma spin (1/2, 1) Ising grafen nanoadaları sistemi için sistemin dinamik davranışlarını açıklayan ortalama-alan dinamik denklemlerini elde etmek için Glauber dinamiği ve Master denklemlerinden yararlandı. Karma spin (1/2, 1) Ising grafen nanoadaları sistemi Glauber- tipi stokastik dinamiğe göre birim zamanda $1/\tau$ oranında değişim gösterdiği ortalama-alan dinamik denklemlerin denklemleri elde edildi. Öncelikle sistemde var olan fazları bulmak için sistemin dinamik denklemlerden (denklem (2.12), (2.13), (2.14) ve (2.15) yararlanılarak, bu denklemlerin kararlı çözümleri farklı kristal alan (D), manyetik alan genliği (h) ve sıcaklık (T) değerleri için incelendi. Bu denklemlerin çözümleri, verilen sistem parametreleri ve başlangıç değerleri için Adams-Moulton kestirme ve düzeltme yöntemi kullanılarak detaylıca incelendi ve sistemde paramanyetik (p), manyetik olmayan (nm) ve ferrimanyetik (i) temel fazlarının yanında, $i + nm$, $i + p$, $nm + p$ ve $i + nm + p$ karma fazları bulundu. Bu fazlara karşılık gelen çözümler Şekil 3.1-3.7’de gösterildi. Şekil 3.1’de yalnızca simetrik çözüm elde edildi ve bundan dolayı sistemde sadece paramanyetik (p) faz mevcut olduğu görüldü. Bu durumda $m_1(\xi), m_2(\xi), m_3(\xi), m_4(\xi)$ birbirine eşittir ve sıfır değeri civarında salınırlar ve dış manyetik alanla uyum içinde olduğu görüldü. $m_1(\xi) = m_2(\xi) = m_3(\xi), = m_4(\xi) = 0$. Şekil 3.2. ve Şekil 3.3’de simetrik olmayan çözümler elde edildi. Şekil 3.2.’de $m_1(\xi) = m_2(\xi) = \pm 1/2$ civarında salınırken ve $m_3(\xi), = m_4(\xi) = \pm 1.0$ değeri etrafında salınırlar, bu durumda sistemde ferrimanyetik (i) faz mevcut olduğu ve dış manyetik alana uyum göstermediği görüldü. Şekil 3.3’de $m_1(\xi) = m_2(\xi) = \pm 1/2$, $m_3(\xi), = m_4(\xi) = 0$ etrafında salınırken sistemin manyetik olmayan (nm) faza sahip olduğu görüldü. Elde edilen bu çözümlerin başlangıç değerlerine bağlı olmadığı görüldü. Şekil 3.4’de iki farklı çözüm elde edilmiştir ve sistemde i ve nm fazları bir arada bulunmaktadır. İlk çözümde $m_1(\xi) = m_2(\xi) = \pm 1/2$ civarında salınırken ve $m_3(\xi), = m_4(\xi) = 1$ değeri etrafında

salınırlar, bu durumda sistemde ferrimanyetik (i) faz mevcut olduğu ve dış manyetik alana uyum göstermediği görüldü. İkinci çözümde ise $m_1(\xi) = m_2(\xi) = \pm 1/2$ değerleri etrafında salınırken $m_3(\xi), = m_4(\xi) = 0$ sıfır etrafında salınır. Bundan dolayı sistemde manyetik olmayan (nm) faz elde edilmiştir. İki çözümle sistemde i + p karma fazı bulunduğu gözlenmiştir. Şekil 3.5’de iki farklı çözüm elde edilmiştir ve sistemde p ve i fazları bir arada bulunmaktadır. İlk çözüm $m_1(\xi) = m_2(\xi) = m_3(\xi), = m_4(\xi) = 0$ değeri civarında salınırken sistemde paramanyetik (p) faz gözlenmiştir. İkinci çözümde ise $m_1(\xi) = m_2(\xi) = \pm 1/2$ civarında salınırken ve $m_3(\xi), = m_4(\xi) = 0$ değeri etrafında salınırlar, bu durumda sistemde ferrimanyetik (i) faz gözlenmiştir. Bundan dolayı sistemde i + p karma fazı bulunduğu gözlenmiştir. Şekil 3.5’de yine iki farklı çözüm elde edilmiştir ama bu sefer sistemde p ve nm fazları bir arada bulunmaktadır. Buradaki ilk çözüm de $m_1(\xi) = m_2(\xi) = m_3(\xi), = m_4(\xi) = 0$ yine sıfır değeri civarında salınırlar ve bundan dolayı sistemde paramanyetik (p) faz elde edilmiştir. İkinci çözümde ise $m_1(\xi) = m_2(\xi) = \pm 1/2$ değerleri etrafında salınırken $m_3(\xi), = m_4(\xi) = 0$ sıfır etrafında salınır. Bundan dolayı sistemde manyetik olmayan (nm) faz elde edilmiştir. Bundan dolayı sistemde nm + p karma fazı da elde edilmiştir. Şekil 3.6’da üç farklı çözüm elde edilmiştir ama bu sefer sistemde i, nm ve p fazları bir arada bulunmaktadır. Buradaki ilk çözüm de $m_1(\xi) = m_2(\xi) = \pm 1/2$ değeri civarında salınırken $m_3(\xi) = m_4(\xi) = \pm 1.0$ etrafında salınır. Bundan dolayı sistemde ferrimanyetik (i) faz elde edilmiştir. İkinci çözümde ise $m_1(\xi) = m_2(\xi) = \pm 1/2$ değerleri etrafında salınırken $m_3(\xi) = m_4(\xi) = 0$ sıfır etrafında salınır. Bundan dolayı sistemde manyetik olmayan (nm) faz elde edilmiştir. Üçüncü çözümde ise $m_1(\xi), m_2(\xi), m_3(\xi), m_4(\xi) = 0$ değeri civarında salınırlar ve bundan dolayı sistemde paramanyetik (p) faz elde edilmiştir. Özetle, Şekil 3.1-3.7’de görüldüğü gibi sistemde yedi farklı faz mevcuttur. Bu fazlar, sırasıyla p, i, nm fazları ve i + nm, i + p, nm+p ve i+nm+p karma fazlarıdır.

Dinamik düzen parametrelerinin M_α 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 3.8 – 3.12’ de gösterildi. Bu şekillerde, T_t birinci-derece faz geçiş sıcaklığını

gösterirken, T_c ise ferrimanyetik ve manyetik olmayan fazlardan paramanyetik faza ikinci-derece faz geçiş sıcaklıklarını göstermektedir. Daha sonra dinamik faz geçiş (DFG) sıcaklıklarından yararlanılarak, farklı etkileşim parametreleri ve kristal alan (D)'nin farklı değerleri için $(T/J_4, h/J_4)$ düzlemindeki dinamik faz diyagramları Şekil 3.13 – 3.21 arasında sunuldu. $(T/J_4, h/J_4)$ düzleminde yedi 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 üçlü kritik noktayı temsil ederken, QP dinamik dördümlü noktayı temsil etmektedir. Karma spin $(1/2, 1)$ Ising grafen nanoadaları sisteminin dinamik faz diyagramları incelendiğinde sistemin davranışının kuvvetli bir şekilde etkileşim parametreleri olan 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 (DEAT), dinamik Monte Carlo (DMC) simülasyonu gibi daha iyi sonuç veren yöntemlerle incelenmesine ışık tutacağını ümit etmekteyiz.

KAYNAKLAR

1. Çalışkan, S., ‘‘Polipirol/Grafen, Pedot/Grafen Nanokompozitlerinin Sentezi, Karakterizasyonu ve Süperkapasitör Cihaz Uygulamaları’’, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s.95, Tekirdağ, 2017.
2. Li, C., Chou, T.W., ‘‘A structural mechanics approach for the analysis of carbon nanotubes’’, *International Journal of Solids and Structures*, 40, 2487-2499, 2003
3. Bali, G., ‘‘Grafen Nano Partikül Takviyeli Yapısal Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Tek Bindirmeli Bağlantıların Yorulma Yükleme Sonrası Çekme Davranışının Araştırılması’’, *Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s.63, Batman, 2021.
4. Kut, D., Güneşoğlu, C., ‘‘Nanoteknoloji ve tekstil sektöründeki uygulamaları’’, *Tekstil & Teknik Dergisi*, 224-230, 2005.
5. Lee, C., Wei, X., Kysar, J. W., Hone, J., ‘‘Measurement of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer graphene’’, *science*, 321(5887), 385-388, 2008.
6. İnternet: Grafen <https://tr.wikipedia.org/wiki/Grafen>.
7. Walsh, A., ‘‘Application of atomic absorption spectra to chemical analysis’’, *Spectrochimica Acta*, 7, 108-117, 1955.
8. Roy, E., Patra, S., Kumar, D., Madhuri, R., Sharma, P.K., ‘‘Multifunctional magnetic reduced graphene oxide dendrites: Synthesis, characterization and their applications’’, *Biosens. Bioelectron*, 68, 726-735, 2015.
9. Singh V., Joung D., Zhai L., Das S., Khondaker S.I., Seal S., ‘‘Modeling and Simulation of Graphene Based Polymer Nanocomposites: Advances in the Last Decade’’, *Prog. Mater. Sci.*, 56(8) 1178-1271, 2011.
10. Shabeeba, P., Thasneema, K.K., Thayyil, M.S., Pillai, M.P., Niveditha, C.V., ‘‘A graphene-based flexible supercapacitor using trihexyl(tetradecyl)phosphonium bis(trifluoromethanesulfonyl)imide ionic liquid electrolyte’’, *Mater. Res. Express*, 4 (8), 085501, 2017.

11. Karpiak, B., Dankert, A.E., Dash, S.P., “Gate-tunable Hall sensors on large area CVD graphene protected by h-BN with 1D edge contacts”, *J. Appl. Phys.* 122 (5), 054506, 2017.
12. Markovic, Z.M., Matijasevic, D.M., Pavlovic, V.B., Jovanovic, S.P., Antunovic, I.H.D., Spitalsky, Z., Micusik, M., Dramicanin, M.D., Milivojevic, D.D., Niksic, M.P., Markovic, B.M.T. M., “Antibacterial potential of electrochemically exfoliated graphene sheets.”, *J. Colloid Interface Sci.* 500 (30), 30-43, 2017.
13. X.J. Wang, T. Wang, D.Z. Yang, Z.L. Yang, D. Li, M.Y. Chen, et al., *Carbon* 123 (2017) 106.
14. Cihat, Ç., Eymirli, E. B., Çakal, M.A., T.C Kuzeydoğu anadolu kalkınma ajansı, “Tra1 bölgesi linyit ve oltu taşı madenlerinin grafen hammaddesi olarak kullanımına yönelik analiz çalışması”, *Kuzey Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı*, s.42, 2016.
15. Atılğan, M. G., “Grafen Oksit ve İndirgenmiş Grafen Oksit Esaslı Uyumlaştırılmış Pet/ Pbt Kompozitlerin Özelliklerinin İncelenmesi” *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi*, s.84, 2021, Kocaeli.
16. Katsnelson, M. I., “Graphene: carbon in two dimensions”, *Materials Today*, 10 (1-2), 20-27, 2007.
17. Boehm, H. P., Clauss, A., Fischer, G., Hofmann, U., “Das adsorptionsverhalten sehr dünner kohlenstoff-folien”, *Z Anorg Allg Chem*, 316 (3- 4), 119-127, 1962.
18. Kohlschütter, V., Haenni, P., “ Zur Kenntnis des graphitischen Kohlenstoffs und der Graphitsäure”. *Z Anorg Allg Chem*, 105 (1), 121-144, 1919.
19. Wallace, P. R., “The band theory of graphite”, *Physical Review*, 71 (9), 622-634, 1947.
20. Novoselov, K. S., “Nobel Lecture: Graphene: Materials in the Flatland”, *Reviews of Modern Physics*, 83 (3), 837-849, 2011.
21. McAllister, M. J., Li, J. L., Adamson, D. H., Schniepp, H. C., Abdala, A. A., Liu, J., Herrera-Alonso, M., Milius, D. L., Car, R., Prud'homme, R. K., Aksay, I. A.,

- “Single sheet functionalized graphene by oxidation and thermal expansion of graphite”, *Chemistry of Materials*, 19 (18), 4396-4404, 2007.
22. Bernal, J. D., “The structure of graphite. Proceedings of the Royal Society of London”, *Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 106(740), 749-773, 1924.
23. Whitener, K. E., Sheehan, P. E., “Graphene synthesis”, *Diamond and Related Materials*, 46, 25-34, 2014.
24. Eroğlu, M., “Sıvı fazda grafen üretiminde çalışma koşullarının grafen verimine etkisinin incelenmesi”, *Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s.87, Eskişehir, 2019.
25. Dörtoğul, C., “Grafen oksitin sentezlenmesi ve karakterizasyonu”, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s.34, Konya, 2018.
26. Eryiğit, M., “Poli(3,4-Etilendioksitiyofen)/elektrokimyasal indirgenmiş grafen oksit (pedot/ergo), prussian blue/elektrokimyasal indirgenmiş grafen oksit (pb/ergo) ve pedot/pb/ergo elektrotların elektrokimyasal sentezi ve karakterizasyonu”, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Erzurum, s.96, 2017.
27. Alwarappan, S., Boyapalle, S., Kumar, A., Li, C., Mohapatra, S., “Comparative study of single-, few-, and multilayered graphene toward enzyme conjugation and electrochemical response”, *J. Phys. Chem. C*, 116, 6556–6559, 2012.
28. Rao, C.N.R., Sood, A.K., Subrahmanyam, K.S. and Govindaraj, A., “Graphene: The new two-dimensional nanomaterial”, *Angew. Chem., Int. Ed.*, 48, 7752-7777, 2009.
29. İnternet: Süper Malzeme: Grafen
https://kimya.balikesir.edu.tr/Seminerler/dokuman/201710105017FadimeCoban_2.pdf
30. İnternet: Web of Science <https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search>
31. Novoselov, K., Geim, A. K., Morozov, S., Jiang, D., Katsnelson, M., Grigorieva, I., Dubonos, S., Firsov, A., “Two-dimensional gas of massless Dirac fermions in graphene”, *Nature*, 438, 7065, 197-200, 2005.

32. Jayasena, B. ve Subbiah, S., ‘A novel mechanical cleavage method for synthesizing few-layer graphenes’, *Nanoscale research letters*, 6 (1), 95, 2011.
33. Chung, D., ‘Exfoliation of graphite’, *Journal of materials science*, 22 (12), 4190-4198, 1987.
34. Tetlow, H., Posthuma de Boer, J., Ford, I. J., Vvedensky, D. D., Coraux, J., Kantorovich, L., ‘Growth of epitaxial graphene: Theory and experiment’, *Physics Reports*, 542 (3), 195-295, 2014.
35. Arseven, M., ‘Polikristalin bakır folyo üzerinde grafen sentezi’, *Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s.72, Ankara, 2011.
36. Hummers Jr, W. S. ve Offeman, R. E., 1958, Preparation of graphitic oxide, *Journal of the American Chemical Society*, 80 (6), 1339-1339.
37. Erdiş, E., ‘Grafen nano parçacıklarla katkılanmış farklı erime sıcaklıklarına sahip faz değişken malzeme kompozitlerin termal özelliklerinin belirlenmesi’, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s.72, Sivas, 2011.
38. Çalık Bostancı, Ş., ‘Fen bilimleri öğretmen adaylarının nanoteknolojiye yönelik tutumlarının çeşitli değişkenlere göre incelenmesi’, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s.64, Konya, 2022.
39. The Royal Society And The Royal Academy Of Engineering (2004). Nanoscience and nanotechnologies: Opportunities and uncertainties. https://royalsociety.org/~media/royal_society_content/policy/publications/2004/9693
40. Balaban, M., Nanometrology. İçinde M. Ersöz, I. Arzum, ve M. Balaban (Eds.), *Nanotechnology 1 fundamentals of nanotechnology*, s. 47–57, Bilal Ofset, 2018.
41. Wang, G., Nanotechnology: The new features. <https://arxiv.org/abs/1812.04939>
42. Roco, M.C., W.S., Bainbridge, ‘Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology’, *National Science Foundation Report, Arlington, Virginia (also published by Kluwer Academic Publishers, Boston)*, s. 370, 2001.
43. Erkoç, Ş., ‘Nanobilim ve nanoteknoloji’, *ODTÜ Yayıncılık*, s. 107, Ankara, 2012.

44. İnternet: Ferris, P., “Process engineering of nanotechnology” Emerson <https://www.emersonprocessxperts.com/2014/01/process-engineering-of-nanotechnology/>
45. Boyraz, A., “Fen bilimleri eğitiminde nanobilim ve nanoteknoloji üzerine yapılmış tez ve makalelerin içerik analizi”, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 55, Konya, 2022.
46. İnternet: Özcan, B., “Evrende gözlemlenebilen en büyük ve en küçük şey nedir?” [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=oB2u8dbYQLI>.
47. Soltani, A. M., Tabatabaeian, S. H., Hanafizadeh, P., Soofi, J. B. “An evaluation scheme for nanotechnology policies”, *Journal of Nanoparticle Research*, 13, 7303–7312, 2011, <https://doi.org/10.1007/s11051-011-0584-8>
48. Ban, K., Kocijancic, S., “Introducing topics on nanotechnologies to middle and high school curricula”, *2nd World Conference on Technology and Engineering Education*, s. 78-83, Slovenia, 2011.
49. Murty, B. S., Shankar, P., Raj, B., Rath, B. B., Murday, J., “Textbook of nanoscience and nanotechnology” *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, s. 231, 2013.
50. Zor, E., “Grafen tabanlı modifiye elektrotlarının kiral yapılarını ayırt etme özelliklerinin incelenmesi”, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, s. 156, Konya, 2016.
51. Bhushan, B., “Introduction to nanotechnology”, Springer handbook of nanotechnology, In B. Bhushan (Ed.), *Springer-Verlag*, s. 1-13, 2010.
52. Bhushan, B., “Governance, policy, and legislation of nanotechnology”, A perspective, *Microsystem Technologies*, 21, 1137–1155. <https://doi.org/10.1007/s00542-015-2511-x>
53. 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.

54. Kodama, R.H., “Magnetic nanoparticles”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 200(1-3), 359-372, 1999.
55. Kim, T.Y., Yamazaki, Y., Hirano, T., “Magneto-optical properties of Bi-YIG nanoparticle with polymethacrylate matrix materials”, *Phys. Status Solidi*, 241, 1601, 2004.
56. Alexiou, C., Schmidt, A., Klein, R., Hullin P., Bergemann, C., Arnold, W., “Magnetic drug targeting: biodistribution and dependency on magnetic field strength”, *J. Magn. Magn. Mater*, 252, 363-366, 2002.
57. Tans, S.J., Verschueren, A.R.M., Dekker, C., “Room-temperature transistor based on a single carbon nanotube”, *Nature* 393, 49–52, 1998.
58. Sui, Y.C., Skomski, R., Sorge, K.D., Sellmyer, D.J., “Nanotube magnetism, Appl”, *Phys. Lett*, 84, 1525–1527, 2004.
59. He, P.B., Liu, W.M., “Nonlinear magnetization dynamics in a ferromagnetic nanowire with spin current”, *Phys. Rev. B*, 72, 064410, 2005.
60. Sharif, R., Shamalia S., Ma, M., Yao, L.D., Yu, R.C., Han, X.F., Khaleeq-ur-Rahman, M., “Magnetic switching of ferromagnetic nanotubes”, *Appl. Phys. Lett.* 92, 032505, 2008.
61. Ji, L., Tan, Z., Kuykendall T.R., Aloni, S., Xun, S., Lin, E., Battaglia, V., Zhang, Y. “Fe₃O₄ nanoparticle-integrated graphene sheets for high-performance half and fulllithium ion cells”, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 13, 7170–7, 2011.
62. Grinys, T., Silinskas, M., Mekys, A., Kalpakovaite, A., Tomasiunas, R., “Self-organization of iridium nanoislands for GaN applications”, *Phys. Status Solidi C*, 10, 421–424, 2013.

63. Lin, Z.Q., Xiu, X.Q., Zhang S.Y., Hua, X.M., Xie, Z.L., Zhang, R., Han, P., Zheng, Y.D., “Arrays of GaN nano-pillars fabricated by nickel nano-island mask”, *Mater. Lett.* 108, 250–252, 2013.
64. Zaretski, A.V., Root, S.E., Savchenko, A., Molokanova, E., Printz, A.D., Jibril, L., Arya, G., Mercola, M., Lipomi, D.J., “Metallic Nanoislands on graphene as highly sensitive transducers of mechanical, biological, and optical signals”, *Nano Lett.* 16 (2), 1375–1380, 2016.
65. Cox, J.D., deAbajo, F.J.G., “Electrically tunable nonlinear plasmonics in graphene nanoislands”, *Nature Commun.* 5, 5725, 2014.
66. Ma, Z.L., Sheng, W.D., “A spin-valve device based on dumbbell-shaped graphene nanoislands,” *Appl Phys. Lett.*, 99 (8), 083101, 2011.
67. Manjavacas, A., Thongrattanasiri, S., de Abajo, F.J.G., “Plasmons driven by single electrons in graphene nanoislands”, *Nanophotonics* , 2 (2), 139–151, 2013.
68. Rigutti, L., Tchernycheva, M., De Luna Bugallo, A., Jacopin, G., Julien, F.H., Zagonel, L.F., March, K., Stephan, O., Kociak, M., Songmuang, R., “Ultraviolet photodetector based on GaN/AlN quantum disks in a single nanowire”, *Nano Lett.* 10, 2939, 2010.
69. 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”, *Appl. Phys. Lett.* 82, 3053-3055, 2003.
70. Wegrowe, J.E., Kelly, D., Jaccard, Y., Guittienne, Ph., Ansermetü J. Ph, *Europhys. Lett.* 45 (1999) 626.

71. Fert, A., Piraux, L., “Magnetic nanowires”, *J. Magn. Magn Mater*, 200 (1-3), 338-358, 1999.
72. Kisslinger, F., Ott, C., Heide, C., Kampert, E., Butz, B., Spiecker, E., Shallcross, S., Weber, H.B., “Linear magnetoresistance in mosaic-like bilayer graphene”, *Nat. Phys.*, 11, 650, 2015.
73. Song, Y., X.M., Li, Mackin, C., Zhang, X., Fang, W.J., Palacios, T., Zhu, Kong, H.W., “Role of Interfacial Oxide in High-Efficiency Graphene–Silicon Schottky Barrier Solar Cells” *J. Nano Lett.* 15, 2104-2110, 2015.
74. Sun, X., LiH ., “Gold nanoisland arrays by repeated deposition and post-deposition annealing for surface-enhanced Raman spectroscopy”, *Nanotechnology* 24, 355706, 2013.
75. Lin, Z.Q., Xiu, X.Q., S., Zhang, Y., Hua, X.M., Xie, Z.L., Zhang, R., Han, P., Zheng, Y.D., “GaN nanopillars with a nickel nano-island mask”, *Mater. Lett.* 108, 250, 2013.
76. Krupinski, M., Perzanowski, M., Zarzycki, Zabala, A., Y., Marszalek., M., “Ordered FePdCu nanoisland arrays made by templated solid-state dewetting”, *Nanotechnology*, 26, 425301-425308, 2015.
77. O. Pietzsch, A. Kubetka, M. Bode, R. Wiesendanger., ‘Spin-Polarized Scanning Tunneling Spectroscopy of Nanoscale Cobalt Islands on Cu(111)’, *Phys. Rev. Lett.*, 92, 057202, 2004.
78. Loving, M. Jimenez-Villacotra F., Kaeswurm, B., Arena, D.A., Marrows, C.H., Lewis, L.H., *J. Phys. D Appl. Phys.* 46 (2013) 162002.

79. Yamada, T.K., Gerhard, L., Balashov, T., Takacs, A. F., Wesselink, R. J.H., Wulfhekel, W., “Electric Field Control of Fe Nano Magnets: Towards Metallic Nonvolatile Data Storage Devices”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 50, 08LA03-8, 2011.
80. T.K. Yamada, L. Gerhard, R.J. H. Wesselink, A. Ernst, W. Wulfhekel., Electric Field Control of Fe Nano Magnets, *J. Magn. Soc. Jpn.* 36 (2012) 100-103.
81. D. Prezzi, D. Om, K.T. Rim, H. Zhou, S.X. Xiao, C. Nuckolls, T.F. Heinz, G.W. Flynn, M.S. Hybertsen, Edge structures for nanoscale graphene islands on Co(0001) surfaces, *ACS Nano* 8 (6) (2014) 5765–5773.
82. A.G. Lekue, M. Olle, D.S. Portal, J.J. Palacios, A. Mugarza, G. Ceballos, P. Gambardella, Substrate-induced stabilization and reconstruction of zigzag edges in graphene nanoislands on Ni (111), *J. Phys. Chem. C* 119 (8) (2015) 4072–4078.
83. K.K. Luo, W.D. Sheng, Many-body effects in the spin-polarized electron transport through graphene nanoislands, *J. Appl. Phys.* 115 (5) (2014) 053705.
84. J.F. Rossier, J.J. Palacios, Magnetism in graphene nanoislands, *Phys. Rev. Lett.* 99 (17) (2007) 177204.
85. Raza, H. 2012. Graphene Nanoelectronics-Metrology, Synthesis, Properties and Applications, *NanoScience and Technology*, Springer, pp. 598.
86. Lemme, M.C. 2010. Current Status of Graphene Transistors. *Solid State Phenomena*, 158: 499-509.
87. Wei Wang* , Shao-qing Yang, Yi Yang, Zhou Peng, Bo-chen Li, Min Yang, Magnetic behaviors in a bilayer graphene nanoisland structure: A Monte Carlo study 109 (2019) 30-38

88. K. Szalowski, *J. Magn. Magn Mater.* 382 (2015) 318.
89. A.T. Raji, E.B. Lombardi, *Physica B* 464 (2015) 28.
90. K. Harigaya, *Chem. Phys. Lett.* 340 (2001) 123.
91. A. Boumali, *Phys. Scripta* 90 (2015) 45702.
92. Y. Yang, P. Zhang, *J. Nanosci. Nanotechnol.* 10 (2010) 6461.
93. T. Kaneyoshi, *Solid State Commun.* 152 (2012) 1686.
94. T. Kaneyoshi, *J. Magn. Magn Mater.* 323 (2011) 1145.
95. T. Kaneyoshi, *J. Magn. Magn Mater.* 339 (2013) 151.
96. T. Kaneyoshi, *Solid State Commun.* 151 (2011) 1528.
97. T. Kaneyoshi, *Int. J. Mod. Phys. B* 30 (2016) 13.
98. T. Kaneyoshi, *J. Magn. Magn Mater.* 374 (2015) 321.
99. T. Kaneyoshi, *J. Phys. Chem. Solid.* 87 (2015) 104.
100. T. Kaneyoshi, *Physica B* 472 (2015) 11.

101. T. Kaneyoshi, *Physica E* 65 (2015) 100.
102. T. Kaneyoshi, *Phase Transit.* 87 (2014) 603.
103. [53] W. Jiang, Y.N. Wang, *J. Magn. Magn Mater.* 426 (2017) 785.
104. W. Jiang, Z. Wang, A.B. Guo, K. Wang, Y.N. Wang, *Physica E* 73 (2015) 250.
105. Z.X. Lu, *Phase Transit.* 89 (2016) 273.
106. J.F. Rossier, J.J. Palacios, *Phys. Rev. Lett.* 99 (2007) 177204.
107. R. Masrour, A. Jabar, *J. Comput. Electron.* 16 (2017) 12.
108. R. Masrour, A. Jabar, M. Hamedoun, A. Benyoussef, *J. Supercond. Nov. Magnetism* 29 (2016) 2413.
109. A. Jabar, R. Masrour, A. Benyoussef, M. Hamedoun, *J. Supercond. Nov. Magnetism* 30 (2017) 1807.
110. E. Albayrak and M. Keskin, *J. Magn. Magn. Mater.*, 261 (2003) 196
111. Savaş, E., 2019, Karma Spin-1 Ve Spin-2 Ising Sisteminin Dinamiği, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir.
112. 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.

113. Boughrara, M., Kerouad, M. and Zaim, A., "Phase diagrams of ferrimagnetic mixed spin 1/2 and spin 1 Ising nanowire with diluted surface", *Physica A*, 433 (2015) 59.
114. Buendía, G. M., Machado, E., Kinetics of a mixed Ising ferrimagnetic system, *Phys. Rev. E*, 58, 1260, 1998.
115. Polat, Y., 2010, Karma Spin-1 Ve Spin-2 Ising Sisteminin Dinamiği, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
116. Q. Jiang, N. Yang, G.C. Wang, *Phys. Rev. B* 52 (1995) 14911.
117. Y.L. He, G.C. Wang, *Phys. Rev. Lett.* 70 (1993) 2336.
118. E. Vatansever, *Phys. A* 511 (2018) 232.
119. E. Vatansever, *Phys. Lett. A* 381 (2017) 1535.
120. J.D. Alzate-Cardona, H. Barco-Ríos, E. Restrepo-Parra, *Phys. Lett. A* 382 (2018) 792.
121. E. Vatansever, U. Akinci, H. Polat, *J. Magn. Magn. Mater.* 344 (2013) 89.
122. E. Vatansever, H. Polat, *J. Magn. Magn. Mater.* 392 (2015) 42.
123. Y. Benhouria, I. Essaoudi, A. Ainane, R. Ahuja, *Phys. E* 108 (2019) 191.
124. A. Punya, R. Yimnirun, P. Laoratanakul, Y. Laosiritaworn, *Phys. B* 405 (2010) 3482.

125. M. Ertaş, Phys. B 550 (2018) 154.
126. J.D. Alzate-Cardona, E. Restrepo-Parra, C.D. Acosta-Medina, Mater. Chem. Phys. 213 (2018) 362.
127. Y. Benhouria, I. Bouziani, I. Essaoudi, A. Ainane, R. Ahuja, J. Magn. Magn. Mater. 460 (2018) 223.
128. Y. Benhouria, N. Khossossi, M. Houmad, I. Essaoudi, A. Ainane, R. Ahuja, Phys. E 105 (2019) 139.
129. Bobak A., Pokorny V., Dely J., Critical properties of the mixed spin-1 and spin1/2 anisotropic Heisenberg model in the Oguchi approximation, Physica A, 388 2157 (2009).
130. Keskin, M., Ertas, M.: J. Stat. Phys. 139, 333 (2010) Mixed-Spin Ising Model in an Oscillating Magnetic Field and Compensation Temperature
131. Bahmad, L., Benyoussef, A., El Kenz, A.: Physica A 387, 825 (2008)
132. Htoutou, K., Ainane, A., Saber, M.: J. Magn. Magn. Mater 269, 245 (2004)
133. Albayrak, E., Yigit, A.: Phys. Lett. A ~ 353, 121 (2006) 39
134. Yigit, A., Albayrak, E.: J. Magn. Magn. Mater ~ 329, 125 (2013)
135. Ertas, M., Deviren, B., Keskin, M.: Phys. Rev. E 86, 051110 (2012)

136. Hou, Y., Zhang, Q., Jia, Y.: *Physica B* 442, 52 (2014)
137. Ertas, M., Keskin, M., Deviren, B.: *Physica A* 391, 1038 (2012)
138. Glauber, R.J., Time-Dependent Statistics of the Ising Model, *J. Math. Phys.*, 4, 294-307, 1963.
139. 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.
140. Mendes, J.F.F., Lage, E.J.S Dynamics of the Ranged Potts Model, *J. Stat. Phys.*, 64, 653-672, 1991.
141. 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.
142. Chatterjee, A., Chakrabarti, B.k., fluctuation Cumulant Behavior for the FieldPulse-Induced Magnetization-Reversal Transition in Ising Models, *Phys. Rev. E*, 67,046113-1-046113-5, 2003.
143. Sides, S.W., Rikvold, P.A., Novotny, M.A., Kinetic Ising Model in an Oscilating Field: Finite-Size Scaling at the Dynamic Phase Transition, *Phys. Rev. Lett.*, 81, 834-837, 1998.
144. Sides, S.W., Rikvold, P.A., Novotny, M.A., Kinetic Ising Model in an Oscilating Field: Avrami Theory for the Hysteretic Response and Finite-Size Scaling for the Dynamic Phase Transition, *Phys, Rev. E*, 59, 2710-2729, 1999.

145. 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.
146. 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.
147. Chakrabarti, B.K., Acharyya, M., Dynamic Transitions and Hysteresis, *Rev. Mod. Phys.*, 71, 847-859, 1999.
148. Goday, M., Figueirode, W., Kinetic Phase Transition in the Mixed-Spin Ising Model, *Braz. J. Phys.*, 34, 422-424, 2004.
149. Krawiecki, A., Dynamical Phase Transition in the Ising Model on a Scale-Free Network, *Int. J. Mod. Phys. B*, 19, 4769-4776, 2005.
150. Zimmer, M.F., Ising Model in an Oscillating Magnetic Field: Mean-Field Theory, *Phys. Rev. E*, 47, 3950-3955, 1993.
151. Acharyya, M., Chakrabarti, B.K., Response of Ising Systems to Oscillating And Pulsed Fields: Hysteresis, ac, and Pulse Susceptibility, *Phys. Rev. B*, 52, 6550-6568, 1995.
152. Acharyya, M., Nonequilibrium Phase Transition in the Kinetic Ising Model: Is the transition Point the Maximum Lossy Point?. *Phys. E*, 58, 179-186, 1998.

153. Fujisaka, H., Tutu, H., Rikvold, P.A., Dynamic Phase Transition in a TimeDependent Ginzburg-Landau Model in an Oscillating Field, *Phys. Rev. E*, 63, 036109-1-036109-11, 2011.
154. Tutu, H., Fujiwara, N., Landau Theory of Dynamic Phase Transitions and Systematic Perturbation Expansion Method for Getting Phase Diagrams, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 73, 2680-2696, 2004.
155. Khorrami, M., Aghamohammadi, A., Dynamical Phase Transition of a OneDimensional Kinetic Ising Model with Boundaries, *Phys. Rev. E*, 65, 056129-1- 056129-5, 2002.
156. Keskin, M., Canko, O., Temizer, Ü., Dynamic Phase Transition in the Kinetic Spin-1 Blume-Capel Model Under a Time-Dependent Oscilating External Field, *Phys. Rev. E*, 72, 036125-1-036125-10, 2005.
157. Keskin, M., Canko, O., Temizer, Ü., Dynamic Phase Transition in the Kinetic Spin-1 Blume-Capel model: Phase Diagrams in the Temperature and Crystalfield Interaction Plane, *J. Exp. Theor. Phys.*, 104, 936-942, 2007.
158. 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.
159. Keskin, M., Canko, O., Temizer, Ü., Dynamic Phase Transition in the Kinetic Blume-Emery-Griffiths in an Oscilating External Field, *Int. J. Mod. Phys. C*, 17, 1717-1737,2006.

160. Keskin, M., Temizer, Ü., Canko, O., Dynamic Phase Transition in the Kinetic Blume-EmeryGriffiths Model: Phase Diagrams in the Temperature and Interaction Parameters Planes, *Phase Transition*, 80, 855-866, 2007.
161. Jang. H., Grimson, M.J., Hysteresis and the Dynamic Phase Transition in Thin ferromagnetic Film, *Phys. Rev. E*, 63, 066119-066128, 2001.
162. Jang. H., Grimson, M.J., Hall, C.K, Dynamic Phase Transitions in Thin Ferromagnetic Films, *Phys. Rev. B*, 67, 094411-094421, 2003.
163. Jang, H., Grimson, M.J., Hall, C.K., Exchange Anisotropy and the Dynamic Phase Transition in Thin ferromagnetic Heisenberg Films, *Phys. Rev. E*, 68, 046115-046119, 2003.
164. Huang, Z., Chen, Z., Zhang, F., Du, Y., Dynamic Phase Transition in the Heisenberg Model Under a Time-Dependent Oscillating Field, *Phys. Lett. A*, 338, 485-493, 2005.
165. Machado, E., Buendia, G.M., Rikvold, P.A., Ziff, R.M., Response of a Catalytic Reaction to Periodic Variation of the Co Pressure: Increased CO₂ Production and Dynamic Phase Transition, *Phys. Rev. E*, 71, 016120-016126, 2005.
166. Yasui, T., Tutu, H., Yamamoto, M., Fujisak, H., Dynamic Phase Transitions in the Anisotropic XY Spin System in an Oscillating Magnetic Field, *Phys. Rev. E*, 66, 036123-036140, 2002.
167. Yasui, T., Tutu, H., Yamamoto, M., Fujisak, H., Erratum: Dynamic Phase Transitions in the Anisotropic XY spin system in an Oscillating Magnetic Field, 67, 019901, 2003.

168. Shi, X.L., Wei, G.Z., Li, L., Effective-Field Theory on the Kinetic Ising Model, *Phys. Lett. A*, 372 , 5922-5927, 2008.
169. Shi, X.L., Wei, G.Z., Effective-Field Theory for Kinetic Ising Model on Honeycomb Lattice, *Commun. Theor. Phys.*, 51, 927-930, 2009.
170. Shi, X.L., Wei, H.L., Effective-Field Theory on the Transverse Ising Model Under a Time Oscillating Longitudinal Field, *Phys. Lett A*, 374, 1885-1888, 2010.
171. Deviren, B., Canko, O., Keskin, M., kinetic Ising Model in a Time-Dependent Oscilating External Magnetic Field: Effective-Field Theory, *Chin. Phys. B*, 19, 050518, 2010.
172. Kinoshita, T., Fujiyama, S., Tokita, M., Idogaki, T., Effective-Field Theory with Differential Operator Technique for Dynamic Phase Transition in Ferromagnetic Ising Model, *J. Phys: Conf. Series*, 150, 042091, 2009.
173. Jiang, Q., Yang, H.N., Wang, G.C., Scaling and Dynamics of Low-Frequency Hysteresis Loops in Ultrathin Co Films on a Cu (001) Surface, *Phys. Rev. B*, 52, 14911-14916, 1995.
174. Jiang, Q., Yang, H.N., Wang, G.C., Field Dependent Resonance frequency of Hysteresis Loops in a Few Monolayer Thick Co/Cu(001) Fimls, *J. Appl. Phys.*, 79, 5122-5124, 1996.
175. Kleemann, W., Braun, T., Dec, J., Petracic, O., Dynamic Phase Transitions in Ferroic Systems with Pinned Domain Walls, *Phase Trans.*, 78, 811-816, 2005.

176. Samoilenko, Z.A., Okunev, V.D., Pushenko E.I., Isaev, V.A., Gierlowski, P., Kolwas, K., Lewandowski, S.J., Dynamic Phase Transitions in Amorphous YbaCuo Films Under ar Laser Irradition, *Inorganic. Mater.*, 39, 836-842, 2003.
177. Oliviero, C., Coppol, L., Gianferri, R., Nicotera I., Olsson, U., Dynamic Phase Diagram and Onion Formation in the System C10E3/D2O, *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects*, 228, 85-90, 2003.
178. He, Y.L., Wang, G.C., Observation of Dynamic Scaling of Magnetic Hysteresis in Ultrathin Ferromagnetic Fe/Au(001) films, *Phys. Rev. Lett.*, 70, 2336-2339, 1993.
179. He, Y.L., Liew, Y.F., Wang, G.C., Groeth and Magnetic Dynamic Scaling of Ultrathin Ferromagnetic Films Fe/Au(001), *J. Appş. Phys.*, 75, 5580-5587, 1994.
180. Robb, D.T., Xu, Y.H., Hellwing, O., McCoord, J., Berger, A., Novotny, M.A., Rikvold, P.A., Evidence for a Dynamic Phase Transition in [Co/Pt]3 Magnetic Multilayers, *Phys. Rev. B*, 78, 134422, 134422-11, 2008.
181. Choi, B.C., Lee, W.Y., Samad, A., Bland, J.A.C., Dynamic of Magnetization Reversal in Thin Polycrystalline Ni80Fe20 Films, *Phys. Rev. B*, 60, 11906-11909, 1990.
182. Yamauchi, T., Nakamura, A., Moritomo, Y., Hozumi, T., Hashimoto, K., Ohkoshi, S., Spectroscopic Investigtion of the Dynamical Behavior of the Photoinduced Phase Transition of Na0.6Co1.3[CN]6Δ4H2O, *Phys. Rev. B*, 72, 214425-214431, 2005.

183. Maeda, A., Togawa, Y., Kitano, H., An Experimental Approach to Understand Dynamical Phase Diagram of Driven Vortices of High-Tc Superconductors, *Physica C*, 369, 177-181, 2002.
184. Kanuga, K., Cakmak, M., Dynamic Phase Diagram Derived from Large Deformation Non-Linear Mechano-Optical Behavior of Polyethylene Naphthalate Nanocomposites, *Polymer*, 48, 7176-7192, 2007.
185. 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.