Prof. Dr. Mustafa KESKİN danışmanlığında **Bayram DEVİREN** tarafından hazırlanan **"Zamana bağlı salınımlı dış manyetik alan varlığında karma spin (1/2, 3/2; 1/2, 5/2; 3/2, 5/2) Ising sistemlerinin dinamik faz geçişleri ve dinamik faz diyagramları"** adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında **Doktora** tezi olarak kabul edilmiştir.

03/08/2010

JÜRİ :

Başkan : Prof. Dr. Fevzi BÜYÜKKILIÇ

Üye : Prof. Dr. Mustafa KESKİN

Üye : Prof. Dr. Sedat ÖZSOY

Üye : Prof. Dr. Erhan ALBAYRAK

Üye : Doç. Dr. Kazım KEŞLİOĞLU

ONAY :

Bu tezin kabülü Enstitü Yönetim Kurulunun 06/08/2010 tarih ve 2010/27-11. sayılı kararı ile onaylanmıştır.

06 / 08 / 2010

Prof. Dr. Nusret AYYILDIZ

Enstitü Müdürü

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ

ZAMANA BAĞLI SALINIMLI DIŞ MANYETİK ALAN VARLIĞINDA KARMA SPİN (1/2, 3/2; 1/2, 5/2; 3/2, 5/2) ISING SİSTEMLERİNİN DİNAMİK FAZ GEÇİŞLERİ VE DİNAMİK FAZ DİYAGRAMLARI

Proje No: FBD-08-593

Doktora Tez Projesi

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:
Prof. Dr. Mustafa KESKİN
Fen Fakültesi / Fizik Bölümü

Araştırmacı:
Bayram DEVİREN
Fen Bilimleri Enstitüsü / Fizik Bölümü

Ekim 2010
KAYSERİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
TEŞEKKÜR……...	ii
ÖZET…….....	iii
ABSTRACT……	vi
1. GİRİŞ……..	1
2. GEREÇ VE YÖNTEM……...	6
3. KARMA SPİN (1/2, 3/2; 1/2, 5/2; 3/2, 5/2) ISING SİSTEMLERİNİN DİNAMİK DAVRANIŞI……...	9
4. SPİN-5/2 BLUME-CAPEL MODELİ……	11
5. DENGE DAVRANIŞLARI KAPSAMLICA İNCELENMEYEN KARMA-SPİN ISING	12
SİSTEMLERİ……	15
6. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER……..	19
7. KAYNAKLAR……...	26
8. EKLER……	

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında değerli fikir ve tecrübeleri ile bana destek sağlayan emeğini ve yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Mustafa KESKİN'e ve tez izleme komitesi üyeleri değerli hocalarım Prof. Dr. Erhan ALBAYRAK, Doç. Dr. Kazım KESLIOGLU ve Doç. Dr. Cüneyt BERKDEMIR'e en içten dileklerimle teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, tez çalışmamı tamamlayabilmem için gerekli izinleri veren Nevsehir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü Başkanı Doç. Dr. Selçuk KERVAN'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının oluşumu sırasında birçok konuda yardımlarını gördüğüm Erciyes Üniversitesi, Fen Fakültesi öğretim üyesi Doç. Dr. Osman CANKO'ya, değerli yorum ve tartışmalarından ötürü Yrd. Doç. Dr. Ümüt TEMIZER ve tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması süresince 105T114 ve 107T533 kodlu projeler kapsamında sağladıkları destekten dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknoloji Araştırma Kurumuna (TÜBİTAK), ve FBD-08-593 kodlu projeler kapsamında Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimine teşekkür ederim. Ayrıca, bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından 2211-Yurt İçi Doktora bursu kapsamında desteklenmiştir.

ZAMANA BAĞLI SALINIMLI DIŞ MANYETİK ALAN VARLIĞINDA KARMA SPİN (1/2, 3/2; 1/2, 5/2; 3/2, 5/2) ISING SİSTEMLERİNİN DİNAMİK FAZ GEÇİŞLERİ VE DİNAMİK FAZ DİYAGRAMLARI

ÖZET

Zamana bağlı salınımlı dış manyetik alan altında karma spin (1/2, 3/2; 1/2, 5/2; 3/2, 5/2), ve ayrıca spin-5/2 Ising sistemlerinin dinamik davranışı Glauber-tipi stokhastik dinamik kullanılarak incelendi. Glauber geçiş oranları kullanılarak, bu sistemler için ortalama-alan dinamik denklemleri elde edildi. Elde edilen diferansiyel denklemler Adams-Moulton ve Romberg integrasyon metotlarıyla çözüldü. Sistemlerdeki fazları bulmak için ortalama düzen parametrelerinin zamanla değişimleri incelendi. Dinamik faz geçişlerinin doğasını (birinci- ve ikinci-derece) karakterize etmek ve dinamik faz geçiş (DFG) sıcaklıklarını elde etmek için dinamik düzen parametrelerinin davranışı indirgenmiş sıcaklığın bir fonksiyonu olarak incelendi. Bu sistemlerin dinamik faz diyagramları farklı düzlemlerde sunuldu ve faz diyagramlarının etkileşme parametrelerine kuvvetli bir şekilde bağlı olduğu bulundu. Dahası, bu faz diyagramları, üçlükritik nokta, çift kritik son nokta, kritik son nokta, çoklu nokta, üçlü nokta ve dörtlü nokta gibi dinamik kritik noktalara sahiptir. Dinamik telafi sıcaklığı, birbirini takip eden tabakalı altıgen örgüler üzerinde, karma spin (1/2, 3/2) ve spin (3/2, 5/2) Ising sistemlerinde dinamik toplam mıknatıslanmanın sıcaklıkla değişimi araştırıldı ve sırasıyla N-, L-tipi ve Q-, P-, R-, N-, L-tipi davranışlar tespit edildi. Bu sistemlerdeki temel fazlar arasındaki dinamik faz sınırları çoğunlukla ikinci-derece faz geçiş çizgileridir, ancak karma fazlar arasındaki yada temel ve karma fazlar arasındaki sınırlar çoğunlukla birinci-derece faz geçiş çizgileridir.

Anahtar Kelimeler: Karma spin Ising sistemi; Glauber dinamiği; Dinamik faz geçişleri; Dinamik faz diyagramları; Dinamik telafi sıcaklığı.

DYNAMIC PHASE TRANSITIONS AND DYNAMIC PHASE DIAGRAMS IN THE MIXED SPIN (1/2, 3/2; 1/2, 5/2; 3/2, 5/2) ISING SYSTEMS UNDER A TIME-DEPENDENT OSCILLATING EXTERNAL MAGNETIC FIELD

ABSTRACT

Dynamic behaviors of the mixed spin (1/2, 3/2; 1/2, 5/2; 3/2, 5/2), and also spin-5/2 Ising systems under a time-dependent oscillating external magnetic field are investigated by using the Glauber-type stochastic dynamics. The mean-field dynamic equations are obtained for these systems by employing the Glauber transition rates. The calculated differential equations are solved by Adams-Moulton and Romberg integrasyon methods. The time variations of average order parameters are investigated to find the phases in the systems. The behaviors of the dynamic order parameters as a function of the reduced temperature are studied to characterize the nature (first- and second-order) of the dynamic phase transitions and obtain the dynamic phase transition (DPT) temperatures. The dynamic phase diagrams are presented in different planes and found that the dynamic phase diagrams strongly depend on the interaction parameters. In addition, these phase diagrams exhibit many dynamic critical points, such as tricritical point, double critical end point, critical end point, multicritical point, triple point, and quadruple point. The dynamic compensation temperature is studied by investigating the thermal behavior of the dynamic total magnetization of the mixed spin (1/2, 3/2) and spin (3/2, 5/2) Ising systems on alternate layers of a hexagonal lattice, and the N-, L-type and Q-, P-, R-, N-, L-type behaviors are found, respectively. The dynamic phase boundaries among the fundamental phases at these systems are mostly a second-order phase transition lines, but among the mixed phases or between the fundamental and mixed phases are mostly first-order phase transition lines.

Keywords: Mixed spin Ising system; Glauber dynamics; Dynamic phase transitions; Dynamic phase diagrams; Dynamic compensation temperature.

1. GİRİŞ

İstatistik ve yoğun madde fiziğinde, aralarında kuvvetli bir şekilde etkilesen parçacıklardan oluşan sistemlerin istatistiksel olarak incelenmesi birçok zor matematiksel problemi içine almaktadır. Bu zor problemler, teorikçileri doğada mevcut bu sistemlerin basit matematiksel modellerini kurmaya ve çalışmaya yöneltmiştir. Günümüzde bu problemleri asabilmek için yaklaşık çözümler bulmada modern bilgisayarların gücünden yararlanılmaktadır. Matematiksel kolaylıklar bu yöntem ve çözümlerde aranılan temel özelliktir. Daha farklı bir ifadeyle, aralarında kuvvetli bir şekilde etkilesen parçacıklardan oluşan sistemlerde parçacıkların davranışını açıklayan basit bir matematiksel ifade bulmak çok önemlidir. Bu modellerden ilklerinden birisi ve en başarılısı tek boyutta ferromanyetik faz dönüşümünü açıklamak için Wilhelm Lenz [1] tarafından önerilmiş ve örgencisi Ernest Ising [2, 3] tarafından çözülmüştür. Bu model genel olarak Ising modeli diye adlandırılır. Ising modeli manyetik sistemleri çözmek için ortaya atılmış fakat basit dönüşümlerle çok farklı sistemlere kolayca uygulanabilen ve günümüzde çok aktif olarak kullanılmakta olan bir modeldir. Ising modelinde, kristaldeki sabit örgü noktalarında, iki yönelime sahip "çubuklar" seklinde manyetik momentlerin olduğu düşüncesi klasik olarak ele alınmıştır. Ayrıca Ising modeli, akışkanlar sistemindeki örgü-gaz modeline benzeyen bir modeldir. Modelin iki boyutta kesin çözümü Onsager [4] tarafından yapılmıştır. Ising modelleri içinde en basit ve en yaygın olarak kullanılan model, spin-1/2 Ising modelidir. Bu model, akışkan konsantrasyonu, gazların soğurulması, ikili sıvı veya gazların faz geçişleri, ikili alaşımlardaki düzenli-düzensiz faz geçişleri, vb. gibi sistemlerin incelenmesinde kullanılmıştır [5, 6].

Ayrıca son yıllarda, karma spin Ising sistemleri istatistiksel ve yoğun madde fiziğinde en fazla çalışılan konular arasında olmasının sebepleri ise: (i) Bu sistemlerin, termomanyetik kayıt sistemleri alanında potansiyel teknolojik uygulamaları olması [7]. (ii) Bu sistemler saf spin sistemlerine göre daha az öteleme simetrisine sahip olduklarından, saf spin sistemlerinde gözlenmeyen birçok yeni ilginç kritik olayların karma-spin sistemlerinde gözlenmesi. (iii) Bu sistemlerin, moleküler tabanlı manyetik malzemelerin incelenebilmesine model oluşturması [8]. (iv) Belirli sartlar altında bu sistemlerde kritik sıcaklıktan düşük bir sıcaklık değerinde toplam mıknatıslanmanın yok olduğu telafi sıcaklıklarının gözlenmesidir. Telafi sıcaklıklarının varlığı ise teknolojik uygulamalar için önemli bir özelliktir.

Karma-spin sistemlerinin denge durumundaki özellikleri, düzen parametrelerinin sıcaklıkla değişimi, kritik üsteller, reentrant olaylar, denge faz geçişleri ve denge faz diyagramları v.b., denge istatistiksel fiziğinde geliştirilen ve iyi bilinen kapalı form yaklaşıkları (ortalama-alan yaklasığı (OAY), Bragg-Williams, Bethe-Peierls (BP), kümesel degişim, v.s.), seriye açılım, transfer matris (TM), etkin-alan teorisi (EAT), Monte Carlo (MC) hesaplamaları, renormalizasyon grup (RG) teknikleri v.b. gibi yöntemlerle incelenmiş ve incelenmeye devam edilmektedir.

Karma (yarım tamsayılı-yarım tamsayılı) spin (1/2, 3/2); spin (1/2, 5/2); spin (3/2, 5/2) Ising sistemleri; karma (yarım tamsayılı-tamsayılı) spin (1/2, 1); spin (1, 3/2); spin (1/2, 2); spin (1, 5/2); spin (3/2, 2); spin (2, 5/2) Ising sistemleri ve karma (tamsayılı-tamsayılı) spin (1, 2) Ising sistemi, önemli karma spin sistemlerindendir. Bu karma spin sistemlerinin kesin çözümleri, bal peteği örgüsü, banyo döşeme (bathroom tile) tipi örgü, zar (dice) örgüsü, Bethe örgüsü, iki-katlı Cayley ağacı ve dekore edilmiş düzlemsel örgülerde incelenmiştir. Yarım tamsayılı-yarım tamsayılı karma spin sistemleri diğer karma spin sistemlerine nazaran çok ilginç yapıya sahiptirler, sebebi bu sistemlerin çoklu kritik davranış, manyetoelastik geçişler veya degişkenlik (instability) sergilemesi ve az çalışılmış olmalarıdır [9]. En iyi bilinen ve üzerinde yoğun bir şekilde çalışılan yarım tamsayılı-yarım tamsayılı karma spin Ising sistemlerinden birisi karma spin (1/2, 3/2) Ising modelidir. Karma spin (1/2, 3/2) Ising modeli, ilk olarak Bobák ve Jurcišin tarafından EAT kullanılarak çalışılmış ve telafi sıcaklıklığının sadece spinlerin büyüklüğüne değil örgünün yapısına da bağlı olduğu bulunmuştur [10]. Bobák ve Jurcišin bilineer ve kristal-alan etkileşim parametreli seyreltik karma spin-1/2 ve spin-3/2 Ising modelini EAT kullanarak bal peteği örgüsünde incelemiş ve modelin ikili telafi noktaya sahip olduğunu göstermişlerdir [11]. Ayrıca, bu karma spin sisteminin denge davranışları EAT [12] ve MC yöntemi [13] ile detaylıca çalışılmıştır. Kristal-alan etkileşimli karma spin (1/2, 3/2) enine Ising modelinin manyetik özellikleri, EAT kullanılarak detaylı biçimde araştırılmıştır [14–16]. Bu modelin faz diyagramları düzen parametrelerinin termal davranışı incelenerek elde edilmiştir. Boyuna manyetik alan varlığında da, bu modelin manyetik özellikleri (manyetizasyonun termal davranışı, manyetik alınganlığı ve faz diyagramları) EAT ile incelenmiştir [17]. Karma spin (1/2, 3/2) Heisenberg ferrimanyetik sisteminde en yakın ve ikinci en yakın spin etkileşimleri incelemek için Green-fonksiyon tekniği kullanılmıştır [18]. Modelin manyetik özellikleri Bethe [19], kare merkezli (union jack) [20], Kagomé [21], iki-katlı Cayley ağacı [22] ve bal peteği [23] örgüleri için incelenmiştir. Bunlara ilaveten seyreltik karma spin-1/2 ve spin-3/2 modeli OAY ile de

detaylıca incelenmiştir [24]. Ayrıca deneysel olarak amorf V (TCNE)x.y (çözücü) organometalik bileşiğinin yaklaşık 400K gibi bir sıcaklıkta spin-1/2 - 3/2 ferrimanyetik yapı ve ferrimanyetik düzene sahip olduğu gözlenmiştir [25–27].

Diğer bir yarım tamsayılı karma spin sistemi olan, karma spin (1/2, 5/2) Ising sistemi üzerine yapılan çalışmalar genellikle son yıllarda yapılmıştır. Bu karma spin sistemiyle ilgili çalışmalar aşağıdaki gibidir. Karma spin (1/2, 5/2) sisteminin Bethe örgüsündeki kesin çözümü kristal-alan etkisi göz önünde bulundurularak incelenmiş ve faz diyagramları ile mıknatıslanma eğrileri verilmiştir [28]. Strecka [29], karma spin-1/2 ve spin-5/2 sisteminin banyo döşeme (bathroom tile) tipi örgü üzerindeki kesin çözümünü yapmış ve özellikle mıknatıslanmanın sıcaklığa göre değişimini inceleyerek, faz diyagramını elde etmiştir. Matasovska ve Jascur [30], dekore edilmiş düzlemsel örgülerde karma spin-S ve spin-1/2 Ising modelinde kesin çözümü elde etmek için genelleştirilmiş eşleştirme dönüşümünü kullanarak, reentrant ve telafi (kompeyseysin) davranışları incelemişlerdir. Karma spin (1/2, 5/2) Ising sisteminin dengeli davranışı hakkında en iyi bilgilerimiz dâhilinde EAT kullanılarak şimdiye kadar bir çalışma yapılmamıştır. Bu karma spin sisteminin dış manyetik alan varlığında ve yokluğundaki manyetik özellikleri (iç enerji, ısı kapasitesi, alınganlık) bu tez çalışmasında korelâsyonlu EAT kullanılarak bal peteği ve kare örgülerinde incelenecektir. Sunuda belirtmek gerekir ki, karma spin (1/2, 5/2) Ising sisteminin dengeli davranışını incelemek, bu karma spin sisteminin dinamik faz geçişleri ve dinamik faz diyagramlarının yorumlanması ve sonuçların karşılaştırılması için temel oluşturacaktır.

En yüksek spin değerlerine sahip olan yarım tamsayılı karma spin sistemi, karma spin (3/2, 5/2) Ising sistemidir. Bu karma spin Ising sistemi ile ilgili ilk çalışmada sistemin iç enerjisi ve faz diyagramları bal peteği örgüsünde EAT kullanılarak incelenmiştir [31]. Sistemin aynı zamanda Bethe örgüsündeki çözümü tekrarlama bağıntıları kullanılarak araştırılmış ve kristal alan değerlerine bağlı olarak bir yada iki telafi sıcaklığı sergilediği bulunmuştur [32]. Ayrıca sistem birinci- ve ikinci-derece faz geçişleri sergilemesine rağmen üçlü kritik noktaya sahip değildir. Son yıllarda, iki-katlı Cayley ağacı üzerinde karma spin (3/2, 5/2) Ising modeli tekrarlama bağıntıları cinsinden çalışılmış ve modelin birinci ve ikinci-derece faz geçişleri sergiledikleri bulunmuştur [33]. Bu karma spin sisteminin taban durum faz diyagramları, de la Espriella ve Buendía [34] tarafından detaylı biçimde incelenmiştir. Karma spin sistemleri, basitliği ve manyetik olarak zengin davranışlarından dolayı, çeşitli çoklu kritik olaylar üzerinde çalışmak için mükemmel bir laboratuar malzemesidir. Özellikle,

üzerinde diğer karma spin sistemlerine oranla daha az çalışılmış karma spin (3/2, 5/2) modelinin bazı biyolojik bileşiklerin doğasının anlaşılması için uygun olduğu bilinmektedir. Birçok deney, ferrisitokrom (ferricytochrome) c' olarak bilinen belirli tipteki ferric heme proteinin fazla bilinmeyen manyetik özelliklerin arkasında, spin-3/2 ve spin-5/2 atomlarının birleşiminin olduğunu göstermektedir [35–38]. Heme proteinleri, kan tarafından oksijen taşınmasında önemli bir rolü olmasının yanında optiksel iletişimdeki potansiyel uygulamalar ile yeni bio materyelleri dizayn etmek için temel olan sentetik olarak kullanılmaktadır ve nano gözenekli geçirgen (nanoporous) katalik materyaller için de temel oluşturmaktadır [39–41]. Diğer taraftan, bazı yüksek spinli karmaşık magnetler sentezlenebildiklerinden dolayı [42], karma spin (3/2, 5/2) gibi yüksek spinli Ising modellerinin denge ve dengesiz davranışları ayrıntılı bir şekilde araştırılmalıdır.

Denge davranışları, manyetik ve özellikle de ferrimanyetik malzemeleri incelemek için, bu kadar detaylı araştırılan karma-spin sistemlerinin dengesiz özellikleri hakkında çok az sayıda çalışma yapılmıştır. Bunlar ise, en basit Hamiltoniyenli karma spin-1/2 ve spin-1 sistemi üzerine yapılan çalışmalardır [43-46]. Diğer karma spin sistemlerinin dengesiz davranışları üzerine, en iyi bilgilerimiz dâhilinde, herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Dengesiz sistemlerdeki ilginç problemlerden birisi, dengesiz veya dinamik faz geçiş (DFG) sıcaklıklarının hesaplanması ve dinamik faz diyagramlarının elde edilmesidir. Dinamik faz geçişlerinin arkasındaki, yani sebep olan mekanizma kesin olarak keşfedilmediği gibi temel fenomenolojisi de halen çok az geliştirilebilmiştir ve bundan dolayı da üzerinde çok çalışılan konulardan birisi olmuştur. DFG ilk olarak Glauber tipi stokastik dinamiği [47] kullanılarak, zamana bağlı salınımlı manyetik alan altında kinetik spin-1/2 Ising modelinin kararlı durumları ortalama alan yaklaşık metodu ile incelenmesi sonucu bulundu [48, 49]. Daha sonra, kinetik spin-1/2 Ising modelindeki dinamik faz geçişleri, dinamik ortalama alan yaklaşık metoduyla [50] ve dinamik Monte-Carlo hesaplamaları ile incelenmiştir [51-55]. Tutu ve Fujiwara [56], Landau tipi potansiyelleri olan sistemlerde DFG sıcaklıklarını elde edebilecek sistematik metot geliştirmişler ve dinamik faz diyagramları sunmuşlardır. Tek boyutlu kinetik spin-1/2 Ising modelindeki DFG'ler Galuber metoduyla incelenmiştir [57]. Son yıllarda ise daha karmaşık sistemlerde, yani spin-1 [58] ve spin-3/2 [59] ve spin-2 Ising sistemleri için [60], DFG noktaları hesaplanması ve dinamik faz diyagramlarının elde edilmesi çalışmaları yapılmış ve yapılmaya da devam edilmektedir. Aynı zamanda, vektör-tipi düzen parametreli sistemler, örneğin Heisenberg spin sistemleri [61], XY modeli [62], CO oksitlenmesi için Ziff-Gulari-Barshad modeli [63], vb gibi, için DFG çalışmaları yapılmıştır.

Ayrıca, DFG sıcaklıkları deneysel olarak ilk defa çok ince Co/Cu (001) ferromanyetik filmler [64], ferroik (ferromanyetler, ferroelektrikler ve ferroelastikler) sistemlerde ve çok ince manyetik filmler de gözlenmiştir [65]. Bunlara ilaveten, DFG'lerin evrenin ilk oluşumunun açıklanmasında rol oynayabileceği de düşünülmektedir [66].

Bu proje kapsamında, karma spin-1/2 ve spin-3/2; spin-1/2 ve spin-5/2; spin-3/2 ve spin-5/2 Ising sistemlerinin dinamiği Glauber geçiş oranları temelli dinamik ortalama-alan yaklaşıklığı (DOAY) ile kapsamlıca incelenecektir. Bu karma-spin sistemlerinin dengesiz davranışlarını veren oran veya diferansiyel denklemler elde edilerek, bu diferansiyel denklemleri Adams-Moulton kestirme ve düzeltme, Runge-Kutta, vb gibi nümerik yöntemlerle çözülecek ve ortalama düzen parametrelerinin zamana göre değişimleri 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 sıcaklığa göre değişimleri kapsamlıca incelenerek, sistemlerde meydana gelen faz geçişlerinin tabiatı (birinci- ve ikinci-derece) karakterize edilecek ve aynı zamanda DFG sıcaklıkları bulunacaktır. Sonrada, hesaplanan DFG sıcaklıkları kullanılarak sistemlerin dinamik faz diyagramları farklı düzlemlerde; indirgenmiş sıcaklık (T) ile indirgenmiş manyetik alan (h) düzleminde, (T, h), indirgenmiş sıcaklık ile indirgenmiş kristal alan etkileşim parametresi (d) düzleminde, (T, d), ayrıca indirgenmiş sıcaklık ve indirgenmiş bikuadratik etkileşme parametresi (k) düzleminde, yani (T, k), sunulacak ve literatürdeki mevcut sonuçlarla karşılaştırılacaktır. Sonuçların aynı zamanda deneysel elde edilen DFG sıcaklıklarının, özellikle manyetik sistemler için, analizlerinde faydalı olabileceğini ümit etmekteyiz. Bu tezin diğer iki önemli amacı: (1) Karma spin sistemlerinin veya benzer sistemlerin dinamiğini daha duyarlı sonuçlar veren dinamik Monte-Carlo hesaplamaları, renormalizasyon grup teknikleri gibi spin dalgalanma ilişkilerini (correlations) hesaba katan yöntemlerle yapılacak araştırmalara temel oluşturmaktır. (2) Karmaşık sistemlerin dinamiğini mikroskobik teorilerle inceleyen veya mikroskobik teorisini geliştirmeye çalışan bilim adamlarının araştırmalarına temel oluşturmaktır. Aynı zamanda bu proje kapsamında elde edilen sonuçlardan, Bayram Deviren'in Doktora Tezi üretilmiş olup, tez 06.08.2010 tarih ve 2010/27-11 sayılı kararı ile Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanmıştır. Tezin; ilk, onay, teşekkür, türkçe özet ve içindekiler sayfaları ekte verilmiştir (Bknz. Ek-1).

Son olarak denge davranışları kapsamlıca incelenmeyen yüksek spinli karma spin Ising sistemlerinin dengeli davranışları etkin-alan teorisi kullanılarak kapsamlıca incelenmiştir. Öncelikle sistemlerin olası spin kombinasyonları için enerjiler bulunmuş ve bu enerjiler kıyaslanarak taban durum faz diyagramları elde edilmiştir. Balpeteği ve kare örgü için etkin-alan teorisi kullanılarak sistemlerin dengeli davranışlarını veren denklemler elde edilmiştir. Elde edilen denklemler, nümerik olarak çözülerek, düzen parametrelerinin davranışı incelenmiş ve faz diyagramları sunulmuştur. Balpeteği örgüsü için sistemlerin iç enerjileri, ısı kapasiteleri, manyetik alınganlıkları bulunarak, bulunan faz geçiş noktalarıyla uyumluluğu test edilmiştir. Daha sonra manyetik alanın termodinamik niceliklere etkisi incelenmiştir. Ayrıca, dengeli davranışı incelenmemiş olan karma-spin (1/2, 3/2, 5/2) sistemin manyetik özellikleri, bilineer etkileşim parametrelerinin aynı olduğu ve farklı olduğu durumlar için, Bethe örgüsü üzerinde tekrarlama bağıntıları kullanılarak incelenmiştir.

Sekiz bölümden oluşan bu projenin ilk bölümü giriş bölümü olup, Bölüm 2'de proje kapsamında kullanılan gereç ve yöntem, Bölüm 3'de karma spin (1/2, 3/2; 1/2, 5/2; 3/2, 5/2) Ising sistemlerinin dinamik davranışı, Bölüm 4'de spin-5/2 Blume-Capel modeli, Bölüm 5'de ise denge davranışları kapsamlıca incelenmeyen karma-spin Ising sistemlerinin denge davranışları incelenmiştir. Her bölümün arkasında sonuç ve tartışma kapsamlıca verildiğinden, gereksiz tekrarlamadan kaçınmak için, Bölüm 6'da ise çok kısaca ve maddeler halinde sonuç ve öneriler sunulmuştur.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu proje, manyetik malzemelerin ve özellikle de ferrimanyetik malzemelerin incelenmesinde basit modeller oluşturan karma-spin sistemlerinin dinamiğinin araştırılması üzerinedir. Bu malzemeler ise ileri teknolojik cihaz ve malzemelerin yapımında kullanılan ve kullanma potansiyeline sahip olan en önemli malzeme sınıflarından birisidir. Bu sistemlerin, Literatür Özeti kesimindeki kaynaklarda açıkça belirtildiği gibi, dengeli davranışları dengeli istatistik fizikte iyi bilinen yöntemlerle incelenmiş ve halen yoğun bir şekilde incelenmektedir. Diğer taraftan, bu sistemlerin dinamikleri üzerine hemen hemen hiç bir önemli veya kilometre taşı olacak çalışma yapılmamıştır. Yine bu sistemler, tek-spin sistemlerine göre daha az dönüşümsel simetrisine sahip olduklarından ve tek-spinli sistemlerde gözlenmeyen bir çok yeni ilginç olaylar gözlenmekte olduğundan üzerinde yoğun

araştırmalar yapılması gereken ilginç ve önemli konular sınıfına girmiştir. Dolayısıyla, bu hem teknolojik hem de akademik araştırmalar bakımından önemli olan karma-spin sistemlerinin dinamiklerinin incelenmesi üzerine yapılacak çalışmalar literatürdeki önemli boşluğu dolduracağı gibi, manyetik ve özellikle ferrimanyetik malzemeler üzerine çalışanlara da ışık tutacaktır. İşte projenin kapsamında, zamana bağlı salınımlı manyetik alan varlığında, karma-spin sistemlerinin dinamik davranışları incelenecek, özellikle de dinamik faz geçiş sıcaklıkları hesaplanacak ve farklı düzlemlerde dinamik faz diyagramları elde edildi, ve bu faz diyagramları literatürdeki mevcut farklı sistemler için olan faz diyagramlarıyla (teorik veya deneysel) karşılaştırıldı.

Zamana bağlı salınımlı dış manyetik alan varlığı altında kinetik karma spin (1/2, 3/2; 1/2, 5/2; 3/2, 5/2) Ising sistemlerinin kararlı durumları ortalama alan yaklaşımı ile incelendi. Sistemin zamanla gelişiminin anlatımı ise Glauber tipi stokhastik dinamik ile yapılarak, sistemin dinamik davranışını açıklayan ve DFG noktalarını elde etmeyi sağlayan diferansiyel denklemler elde edildi. Bu diferansiyel denklemler ise her bir alt örgü için Glauber dinamiğinden yararlanılarak master denklemi kullanılarak hesaplandı. Sistemin B alt örgüsündeki spinlerin biran için sabit kaldığı düşünülerek, A alt örgüsü için master denklemi;

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt}P_A(\sigma_1^A,\sigma_2^A,...,\sigma_2^N;t) = &-\sum_i\left(\sum_{\sigma_i^A\neq\sigma_i^{'A}} W_i^A\left(\sigma_i^A\to\sigma_i^{'A}\right)\right)P^A(\sigma_1^A,\sigma_2^A,...,\sigma_i^A,...,\sigma_N^A;t)\\ &+\sum_i\left(\sum_{\sigma_i^A\neq\sigma_i^{'A}} W_i^A\left(\sigma_i^{'A}\to\sigma_i^A\right)\right)P^A(\sigma_1^A,\sigma_2^A,...,\sigma_i^{'A},...,\sigma_N^A;t),\end{aligned} \tag{1}$$

şeklinde yazılır. Burada $W_i^A\left(\sigma_i^A\to\sigma_i^{'A}\right)$ ve $W_i^A\left(\sigma_i^{'A}\to\sigma_i^A\right)$ olasılık yoğunlukları veya geçiş yoğunlukları olarak tanımlanır. Genel kanonik dağılım ifadesinden;

$$P_0^A(\sigma_1^A,\sigma_2^A,...,\sigma_i^{'A},...,\sigma_N^A)\ \alpha\ \exp(\beta H), \tag{2}$$

yazılır. Burada $P_0^A(\sigma_1^A,\sigma_2^A,...,\sigma_i^{'A},...,\sigma_N^A)$ sistem dengede iken $(\sigma_1^A,\sigma_2^A,...,\sigma_i^{'A},...,\sigma_N^A)$ konfigürasyonun da spinlerin bulunma ihtimaliyetini gösterir.

Sistem dengede iken, master denklemi ve kanonik dağılımın genel tanımı yardımıyla, her bir spinin durumundan durumuna birim zamanda geçiş olasılığı $W_i^A\left(\sigma_i^A\to\sigma_i^{'A}\right)$;

$$W_i^A\left(\sigma_i^A \to \sigma_i^{'A}\right) = \frac{1}{\tau}\frac{\exp\left(-\beta\Delta E^A\left(\sigma_i^A \to \sigma_i^{'A}\right)\right)}{\sum_{\sigma_i^{'A}}\exp\left(-\beta\Delta E^A\left(\sigma_i^A \to \sigma_i^{'A}\right)\right)}, \tag{3}$$

ile verilir. Burada $\beta = 1/k_B T$'dir ve k_B Boltzman faktörüdür. Daha sonra Hamiltonyen ifadesinin kullanılması ile $\Delta E^A\left(\sigma_i^A \to \sigma_i^{'A}\right)$ değeri bulunur. $\Delta E^A\left(\sigma_i^A \to \sigma_i^{'A}\right)$ spinler arası geçişte sistemin enerjisindeki değişmedir. 'nın zaman içindeki beklenen değerindeki değişme ile daha önce bulunan $W_i^A\left(\sigma_i^A \to \sigma_i^{'A}\right)$ ve $\Delta E^A\left(\sigma_i^A \to \sigma_i^{'A}\right)$'ninde kullanılmasıyla, A alt örgüsü için dinamik diferansiyel denklem elde edilir. Benzer işlemler yapılarak, B alt örgüsü içinde dinamik diferansiyel denklem elde edilir.

Elde edilen bu diferansiyel denklemlerin analitik çözümü yoktur. Bu denklemler bilgisayar ortamında nümerik analiz ile çözülebilir. Biz bu tezde bu tarz denklemleri çözmek için dördüncü mertebeden Runge-Kutta ve dört noktalı Adams–Bashferth–Moultan kestirme düzeltme ve benzeri yöntemleri kullanacağız. Bu diferansiyel denklemlerin çözülmesi ile simetrik ve anti simetrik çözümler elde edilir. Etkileşme parametrelerinin değerlerine göre sadece simetrik çözümlerin veya sadece anti simetrik çözümlerin olduğu bölgelerin yanı sıra simetrik ve anti simetrik çözümlerin bir arada bulunduğu bölgelerde mevcuttur. Bu çözümlerden yararlanarak sistemde mevcut olan fazlar belirlenir.

Diğer taraftan, bir periyot için sistemin A ve B alt örgüleri için ortalama mıknatıslanmalar (M_A ve M_B) ki bunlara dinamik mıknatıslanmalarda denilir ve

$$M_A = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} m_A(\xi)\,d\xi, \qquad M_B = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} m_B(\xi)\,d\xi,, \tag{4}$$

ile verilir. M_A ve M_B dinamik düzen parametreleri diye de adlandırılır. Eşitlik (4) ile verilen integraller, Adams-Moulton kestirme düzeltme yöntemi ve Romberg integrasyon yönteminin kullanılmasıyla çözülerek, dinamik düzen parametrelerinin sıcaklıkla olan değişimleri incelenir. Bu incelemeler sonucunda DFG sıcaklıkları tespit edildi.

Bu aşamadan sonra, farklı düzlemlerde, (T, h) ve (T, d) düzlemlerinde, dinamik faz diyagramları elde edilip sunuldu ve tartışmaları yapıldı.

3. KARMA SPİN (1/2, 3/2; 1/2, 5/2; 3/2, 5/2) ISING SİSTEMLERİNİN DİNAMİK DAVRANIŞI

3.1. KARMA-SPİN (1/2, 3/2) ISING MODELİ

Karma yarım tamsayılı-yarım tamsayılı spin sistemlerinin en basit olanı karma-spin (1/2, 3/2) Ising sistemidir. Bu sistem iki alt-örgü mıknatıslanma düzen parametresi ile incelenmiştir. Sistemde, antiquadrupolar (a) temel fazı meydana gelmez. Sistemin dinamik faz diyagramları (T, h) ve (d, T) düzlemlerinde elde edilmiştir. (T, h) düzleminde iki farklı ve (d, T) düzleminde üç farklı faz diyagramı bulunmuştur. Faz diyagramları, paramanyetik (p), ferromanyetik (f) ve ferrimagnetik (i) temel fazlarının yanı sıra i + p ve f + p karma fazlarını da içermektedir. Sistem aynı zamanda dinamik üçlükritik davranışta sergilemektedir. Çalışma **J. Magn. Magn. Mater. 321, 458 (2009)** dergisinde yayınlanmıştır. Daha kapsamlı bilgiler bu çalışmadan elde edilebilir **(Bknz. Ek-2)**. Bu çalışma aynı zamanda, **99. İstatistiksel Mekanik Toplantısı, Rutgers University, Hill Center, ABD, 11-13 Mayıs 2008,** sözlü bildiri olarak sunulmuştur **(Bknz. Ek-3)**.

3.2. İKİ-TABAKALI ALTIGEN ÖRGÜDE KARMA-SPİN (1/2, 3/2) ISING MODELİ

Karma-spin (1/2, 3/2) Ising sistemini birbirini takip eden tabakalı altıgen örgü üzerinde çözüp, dinamik telafi sıcaklığının meydana gelip gelmediği incelenmiştir. Çalışma **IEEE Transactions on Magnetics, 45, 2640, (2009)** dergisinde basılmıştır **(Bknz. Ek-4).** Özetle, üzerinde çalışılan örgünün birbirini takip eden her tabakasında sırasıyla $\sigma = \pm 1/2$ ve $S = \pm 3/2$, $\pm 1/2$ spinli parçacıklar yer almaktadır ve tabakalar arasındaki bilineer etkileşim parametrisi (J_{ab}) antiferromanyetik alınmıştır. Dinamik alt-örgü mıknatıslanmalar (M_σ ve M_S) ile dinamik toplam mıknatıslanmanın (M_T) sıcaklığa göre davranışları kapsamlıca incelenmiş ve inceleme sonucu dinamik faz geçiş sıcakları ile dinamik telafi sıcaklıkları elde edilmiştir. Sistemin Hamiltoniyeninde bulunan, ilk tabakadaki spinlerin yine aynı tabakadaki en yakın komşu spinlerle bilineer etkileşim parametresi (J_a), ikinci tabakadaki spinler arasındaki bilineer etkileşim parametresi (J_b), kristal-alan etkileşim parametresi (Δ) ve uygulanan salınımlı dış manyetik alanı genliğinin (H_0) değerlerine bağlı olarak dinamik telafi sıcaklıkları ve faz diyagramları sunulmuştur. Faz diyagramları (J_a, T) ve ($-J_b$, T) düzlemlerinde sunulmuştur. Faz diyagramlarında, paramanyetik (p), antiferrmanyetik (af), ferrimanyetik (i) fazlarnın yanında

af + p, i + p ve i + af karma fazları elde edilmiştir. Daha kapsamlı bilgiler bu çalışmadan elde edilebilir. Bu çalışma aynı zamanda, 10-12 Aralık 2008 tarihlerinde, **Asya Manyetik Konferans 2008** toplantısında, **Paradise Otel, Busan, Kore**, sözlü bildiri olarak sunulmuştur. **(Bknz. Ek-5).**

3.3. KARMA-SPİN (1/2, 5/2) ISING MODELİ

Karma-spin (1/2, 5/2) Ising sistemi için dinamik faz diyagramları elde edilmiştir. Özetle bulunan sonuçlar: (i) Dinamik faz diyagramları (T, h) ve (d, T) düzlemlerinde elde edilmiş, burada d indirgenmiş kristal alan etkileşme parametresidir. (T, h) düzleminde dört, (d, T) düzleminde ise beş farklı dinamik faz diyagramı elde edildi. (ii) Bu faz diyagramlarında ferrimagnetik (1/2, 3/2), ferrimagnetik (1/2, 5/2), ferromagnetik (1/2, 1/2) ve paramanyetik (p) temel fazlarının yanında ferrimagnetik (1/2, 3/2) + p, ferrimagnetik (1/2, 5/2) + p ve ferromanyetik (1/2, 1/2) + p karma fazları da elde edilmiştir. Çalışma **Phase Trans. 83, 526 (2010)** dergisine basılmıştır (**Bknz. Ek-6**). Bu çalışma aynı zamanda, 25-30 Nisan 2010 tarihlerinde, **International Conference on Superconductivity and Magnetism (ICSM-2010)** toplantısında, **Porto Bello Hotel, Antalya, Türkiye**, poster bildiri olarak sunulmuştur. **(Bknz. Ek-7)**.

3.4. İKİ-TABAKALI ALTIGEN ÖRGÜDE KARMA-SPİN (3/2, 5/2) ISING MODELİ

Karma-spin (3/2, 5/2) Ising sistemini birbirini takip eden tabakalı altıgen örgü üzerinde çözülmüş ve dinamik telafi sıcaklığı incelenmiştir. Özetle, önce ortalama alt-örgü mıknatıslanmalarının zamanla değişimi incelenerek sistemdeki fazlar bulunmuş ve sonra da dinamik alt-örgü mıknatıslanmaları ($M\sigma$ ve Ms) ile dinamik toplam mıknatıslanmanın (MT) sıcaklığa göre davranışları incelenerek, dinamik faz geçiş sıcakları ile dinamik telafi sıcaklıkları elde edilmiştir. Dinamik faz diyagramları farklı düzlemlerde elde edilmiştir. Bu çalışmada diğer telafi çalışmalarından farklı olarak sistemde, Q-, P-, R-, N- ve L-tipi compensetion (telafi) davranışlarının olduğuda gözlemlenmiştir. Çalışma **J. Stat. Phys. 140, 934 (2010)** dergisine basılmıştır **(Bknz. Ek-8)**. Daha kapsamlı bilgiler yayımlanmak üzere gönderilecek bu çalışmadan elde edilebilir. Bu çalışma aynı zamanda, 15-19 Mart 2010 tarihlerinde, **35th Conference of the Middle European Cooperation in Statistical Physics (MECO 35)** toplantısında, **Abbaye des Prémontrés, Pont-à-Mousson, France** poster bildiri olarak sunulmuştur **(Bknz. Ek-9)**.

4. SPİN-5/2 BLUME-CAPEL MODELİ

Tek örgülü bilineer ve kristal-alan etkileşme Hamiltonyenli spin-5/2 Ising sisteminin, yani spin-5/2 Blume-Capel (BC) sisteminin dinamik faz diyagramları elde edilmiştir. Bu model altı durumlu model olduğundan çalışması daha zor, fakat elde edilen faz diyagramları daha zengin olmuştur. Sistemin dinamik denklemi elde edilmiş ve dinamik mıknatıslanmanın (M) sıcaklığa göre davranışı kapsamlıca incelenerek DFG noktaları hesaplanmıştır. (T, h) düzleminde on, (d, T) düzleminde sekiz farklı faz diyagramı elde edilmiştir. Faz diyagramlarının indirgenmiş kristal alan etkileşim sabitine (d) ve indirgenmiş manyetik alan genliğine (h) kuvvetli bir şekilde bağlı olduğu gözlenmiş ve paramagnetik (p), ferromagnetik-5/2 ($f_{5/2}$) ve ferromagnetik-1/2 ($f_{1/2}$) temel fazlarına ilaveten $f_{3/2} + f_{1/2}$, $f_{5/2} + f_{1/2}$, $f_{5/2} + f_{3/2}$, $f_{1/2} + p$, $f_{3/2} + p$, $f_{5/2} + p$, $f_{3/2} + f_{1/2} + p$, $f_{5/2} + f_{1/2} + p$, $f_{5/2} + f_{3/2} + f_{1/2}$ ve $f_{5/2} + f_{3/2} + f_{1/2} + p$ karma fazları da bulunmuştur. Bu fazları birbirinden ayıran dinamik faz sınırları, birinci- veya ikinci-derece faz geçiş çizgileridir. Faz diyagramları bir veya birden fazla dinamik üçlükritik nokta da içermektedir. Çalışma **Phase Trans. 82, 683 (2009)** dergisinde basılmıştır **(Bknz. Ek-10)**. Daha kapsamlı bilgiler baskıda olan bu çalışmadan elde edilebilir. Bu çalışma aynı zamanda, 27-31 Aralık 2009 tarihlerinde, **ISW on Condensed Matter and Material Physics** toplantısında, **Porto Bello Hotel, Antalya, Türkiye** sözlü bildiri olarak sunulmuştur **(Bknz. Ek-11)**.

5. DENGE DAVRANIŞLARI KAPSAMLICA İNCELENMEYEN KARMA-SPİN ISING SİSTEMLERİ

Projemizde belirtildiği gibi, bazı karma-spin sistemlerinin denge davranışları ya hiç incelenmemiş ya da kapsamlıca incelenmemiştir. Bu gibi karma-spin sistemlerinin dengesiz davranışları ile beraber dengeli davranışlarını incelememiz daha uygun olacağından, bu konuda aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır:

5.1. BETHE ÖRGÜSÜ ÜZERİNDE ÜÇLÜ KARMA-SPİN (1/2, 1, 3/2) SİSTEMİ ÜZERİNE BİLİNEER ETKİLEŞİM PARAMETRELERİNİN ETKİSİ

Üçlü karma-spin (1/2, 1, 3/2) sisteminin manyetik özellikleri, Bethe örgüsünde tekrarlama bağıntıları kullanılarak kapsamlıca incelenmiş ve spinler arasındaki bilineer etkileşim parametrelerinin (J_1, J_2, J_3) sistem üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sistemde etkileşim parametrelerinin değerlerine bağlı olarak, bir, iki veya üçlü telafi sıcaklıkları bulunmuştur. Mıknatıslanma ve manyetik alınganlığın, sıcaklığa (kT/J_3) ve kristal-alan etkileşimine (Δ/J_3) göre davranışı araştırılarak, (Δ/J_3, kT/J_3) düzleminde ayrı ayrı q = 3 için dört, q = 6 için yine dört farklı faz diyagramı elde edilmiştir. Çalışma **J. Magn. Magn. Mater. 321, 1231, (2009)** dergisinde basılmıştır. Daha kapsamlı bilgiler yayınlanmış olan bu çalışmadan elde edilebilir. **(Bknz. Ek-12).**

5.2. BETHE ÖRGÜSÜ ÜZERİNDE ÜÇLÜ KARMA-SPİN (1/2, 3/2, 5/2) SİSTEMİ

Bethe örgüsü üzerine üçlü karma-spin (1/2, 3/2, 5/2) sisteminin kritik davranışı tekrarlama bağıntıları kullanılarak kapsamlıca incelenmiştir. Sonuçlar **JETP Letters 92, 242, (2010)** dergisinde yayınlanmıştır **(Bknz. Ek-13).** Özetle bu makalede, σ = 1/2, S =3/2 ve m = 5/2 spinlerini içeren AB_pC_{1-p} tipi üçlü alaşımlı karma Ising modelinin kritik davranışı tekrarlama bağıntıları kullanılarak Bethe örgüsünde araştırılmıştır. Sistemin mıknatıslanma ve manyetik alınganlığının, sıcaklığa ve kristal-alan etkileşimine göre davranışı araştırılarak, (Δ, T) düzleminde iki farklı faz diyagramı elde edildi ve sistemde paramanyetik (P) fazın yanında, ferrimanyetik (1/2, 3/2, 5/2), (1/2, 3/2, 3/2), (1/2, 3/2, 1/2) ve ferromanyetik (1/2, 1/2, 1/2)

fazlarının olduğu görülmüştür. Bu fazları, paramanyetik fazla birbirinden ayıran faz geçiş çizgilerinin, koordinasyon sayısından bağımsız olarak ikinci-derece faz geçiş çizgileri olduğu bulunmuştur. Sitemde ayrıca reentrant davranış gözlenmiştir. Daha kapsamlı bilgiler bu makaleden elde edilebilir.

5.3. KARMA-SPİN (1/2, 5/2) ISING SİSTEMİ

Karma-spin (1/2, 5/2) sisteminin denge davranışı kapsamlıca incelenmediğinden, bu sistemin denge davranışını etkin-alan teorisiyle incelemiş ve çalışma **Physica A 388, 1835 (2009)** dergisinde yayınlanmıştır **(Bknz. Ek-14)**. Özetle, bu çalışmada bal peteği (δ=3, δ en yakın komşu çift sayısı) ve kare örgüde (δ=4) boyuna manyetik alan varlığında ve yokluğunda sistemin manyetik özellikleri (mıknatıslanma, manyetik alınganlık, iç enerji, ısı sığası) incelenmiş ve sistemin faz diyagramı ($\Delta/|J|$, $k_BT/|J|$) düzleminde sunulmuştur. Ayrıca toplam mıknatıslanmanın sıcaklığa göre değişimi araştırılarak, faz diyagramlarının bir, iki ya da üçlü telafi sıcaklıklara sahip oldukları görüldü. Daha kapsamlı bilgiler yayınlanan bu makaleden elde edilebilir. Bu çalışma aynı zamanda, **Türk Fizik Derneği, 26. Uluslararası Fizik Kongresinde, Bodrum, Türkiye,** 25-29 Ağustos 2008, sözlü bildiri olarak sunulmuştur **(Bknz. Ek-15)**.

5.4. KARMA-SPİN (1, 5/2) ISING SİSTEMİ

Karma-spin (1, 5/2) sisteminin denge davranışı etkin-alan teorisi kullanılarak incelenmiştir. Taban durum faz diyagramları elde edilmiş ve sistemde ondört farklı faz bölgesi bulunmuştur. Bal peteği ve kare örgüde boyuna manyetik alan varlığında ve yokluğunda sistemin manyetik özellikleri (mıknatıslanma, manyetik alınganlık, iç enerji, ısı sığası) incelenmiş ve sistemin faz diyagramı ($\Delta/|J|$, $k_BT/|J|$) düzleminde sunulmuştur. Çalışma **Physica Scripta**, **79, 065006 (2009)** dergisinde yayınlanmıştır **(Bknz. Ek-16)**. Daha kapsamlı bilgi bu çalışmadan elde edilebilir**.** Çalışma aynı zamanda, **16. İstanbul İstatistiksel Fizik Günleri, Koç Üniversitesi, İstanbul,** 25-27 Haziran 2009, toplantısında sözlü bildiri olarak sunulmuştur **(Bknz. Ek-17)**.

5.5. KARMA-SPİN (3/2, 2) ISING SİSTEMİ

Karma-spin (3/2, 2) sisteminin denge davranışı kapsamlıca incelenmediğinden, bu sistemin denge davranışı etkin-alan teorisiyle incelenmiştir ve çalışma **J. Korean Phys. Soc., 56, 1738, (2010)** dergisinde yayınlanmıştır **(Bknz. Ek-18)**. Sistemin faz diyagramları elde edilmiş ve faz diyagramlarında birinci-derece ve ikinci-derece faz geçişi ve üçlükritik noktanın varlığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, sistemlerin reentrant davranış sergilediği tespit edilmiştir. Termodinamik niceliklerden, manyetik alınganlık (χ), iç enerji (U) ve ısı kapasitesi (C) hesaplanmış ve bu niceliklerin sıcaklığa göre davranışı incelenmiştir. Kritik sıcaklıkta sistemin cevap fonksiyonlarının (alınganlık, ısı kapasitesi) ıraksadığı gözlemlenmiştir. Son olarak, manyetik alanın (h) termodinamik niceliklere etkisi incelenerek, manyetik alan varlığında sistemlerin faz geçişi vermediği görülmüştür. Çalışma aynı zamanda, **Fourth Saudi Science Conference, Contribution of Science Faculties in the Development Process of Kingdom of Saudi Arabia, 21-24 March 2010, Saudi Arabia,** toplantısında sözlü bildiri olarak sunulmuştur **(Bknz. Ek-19)**.

5.6. KARMA-SPİN (1, 2) ISING SİSTEMİ

Bal peteği (δ=3, δ en yakın komşu çift sayısı) ve kare örgü (δ=4) üzerinde denge davranışı kapsamlıca incelenmeyen karma-spin (1, 2) Ising ferrimanyetik sisteminin denge davranışı etkin-alan teorisi ile kapsamlıca incelenmiştir. Özetle bu çalışmada boyuna manyetik alan varlığında ve yokluğunda sistemin mıknatıslanma, manyetik alınganlık, iç enerjisi ve ısı sığası gibi manyetik özellikleri incelendi ve sistemin faz diyagramı ($\Delta/|J|$, $k_BT/|J|$) düzleminde sunulmuştur. Sistemin taban durum faz diyagramı elde edilmiş ve sistemde on iki farklı faz bölgesi tespit edilmiştir. Çalışma **Physica A 389, 2036 (2010)** dergisinde yayınlanmıştır. Daha kapsamlı bilgiler yayınlanmak üzere gönderilen bu çalışmadan elde edilebilir **(Bknz. Ek-20).**

6. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Projenin öneri aşamasında ortaya konulan hedeflerin hepsi tamamlanmış, Fen Bilimleri Enstitüsü'nde "Zamana bağlı salınımlı dış manyetik alan varlığında karma spin (1/2, 3/2; 1/2, 5/2; 3/2, 5/2) Ising sistemlerinin dinamik faz geçişleri ve dinamik faz diyagramları" isimli Doktora tezi olarak kabul edildi ve uluslararası saygın dergilerde **11 (onbir)** adet makale yayımlanmıştır. Ayrıca ulusal ve uluslararası konferanslarda **8 (sekiz)** adet bildiri sunulmuştur. Her bir sistem için bulunan sonuçlar ve teklif edilen öneriler, yapılan yayınların sonuç ve tartışma bölümlerinde kapsamlıca verildiğinden; burada sonuç ve öneriler, özetle maddeler halinde verilecektir.

Bulunan sonuçlar:

1- Karma-spin Ising sistemlerinin incelenmesi sonucu elde edilen sonuçlar:

a) Karma-spin (1/2, 3/2; 1/2, 5/2; 3/2, 5/2) Ising sistemlerinde, spin değerleri büyüdükçe sistemler daha zengin ve ilginç dinamik faz diyagramları vermektedir.

b) Karma-spin Ising sistemlerinde, paramanyetik (p), ferromanyetik (f), ferrimanyetik (i) gibi temel fazların yanı sıra, sistemlerin karmaşıklığına göre i + p, f + p, i + f,… v.b. gibi çok sayıda karma faz elde edilmiştir.

c) Temel fazlar arası dinamik faz sınırları genellikle ikinci-derece faz geçiş çizgileri olduğu halde, karma fazlar ise çoğunlukla birinci-derece ve az sayıda ikinci-derece faz geçiş çizgileri ile ayrılmaktadır.

d) Etkileşim parametrelerine bağlı olarak genelde bir veya birden fazla dinamik üçlükritik nokta bulunmuştur. Sistemlerde üçlükritik nokta dışında, dinamik çift kritik son nokta, dinamik sıfır kritik son nokta, dinamik çoklu kritik nokta ve benzeri gibi özel kritik noktalar da gözlenmiştir.

e) Yine etkileşim parametrelerine bağlı olarak bazı sistemlerde reentrant davranış gözlemlenmiştir.

f) Birbirini takip eden tabakalı altıgen örgüler üzerinde karma-spin Ising sistemlerinin dinamik telafi sıcaklıklarının incelenerek bu sistemlerin hangi tip (N, L, P, vs) davranış gösterdiği tespit edilmiş ve sistemlerin dinamik faz diyagramları farklı düzlemlerde sunulmuştur. Karma-spin (1/2, 3/2) Ising sisteminde L ve P tipi ve karma-spin (3/2, 5/2) Ising sisteminde N, L, P, Q, R, S tipi davranışlar gözlemlenirken, diğer karma-spin Ising sistemlerinde yalnızca N tipi davranış gözlemlenmiştir.

2- Yüksek spinli karma-spin Ising sistemlerinin denge davranışlarının incelenmesiyle elde edilen sonuçlar:

a) Etkin-alan teorisi kullanılarak, taban durum faz diyagramları elde edilmiş ve spin sistemlerinin karışıklığına göre faz diyagramlarında bulunan fazların sayısı ve spin konfigürasyonlarının değiştiği gözlenmiştir.

b) İncelenen her sistem için balpeteği ve kare örgüler üzerinde ortalama altörgü mıknatıslanmalarının sıcaklıkla değişimleri incelenerek ($D/|J|$, $k_BT/|J|$) düzleminde faz diyagramları sunulmuştur.

c) Faz diyagramlarında birinci- ve ikinci-derece faz geçişi ve üçlükritik noktanın varlığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, sistemlerin reentrant davranış sergilediği tespit edilmiştir.

d) Termodinamik niceliklerden, manyetik alınganlık (χ), iç enerji (U) ve ısı kapasitesi (C) hesaplanmış ve bu niceliklerin sıcaklığa göre davranışı incelenmiştir. Kritik sıcaklıkta sistemin cevap fonksiyonlarının (alınganlık, ısı kapasitesi) ıraksadığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçların literatürle uyumlu sonuçlar verdiği bulunmuştur.

e) Manyetik alanın (h) termodinamik niceliklere etkisi incelenerek, manyetik alan varlığında sistemlerin faz geçişi vermediği görülmüştür.

f) Aynı zamanda, Bethe örgüsü üzerinde üçlü karma-spin (1/2, 3/2, 5/2) sisteminin kritik davranışı, bilineer etkileşim parametrelerinin aynı olduğu ve farklı olduğu durumlar için, tekrarlama bağıntıları kullanılarak kapsamlıca incelenmiştir. Sistemin mıknatıslanması ve manyetik alınganlığı, sıcaklığa ve kristal-alan etkileşimine göre davranışı araştırılarak, (Δ, T) düzleminde iki farklı faz diyagramı elde edilmiş ve sistemde paramanyetik (P) fazın yanında, ferrimanyetik (1/2, 3/2, 5/2), (1/2, 3/2, 3/2), (1/2, 3/2, 1/2) ve ferromanytik (1/2, 1/2, 1/2) fazlarının olduğu görülmüştür. Bu ferrimanyetik fazları, paramanyetik fazla birbirinden ayıran faz geçiş çizgilerinin, koordinasyon sayısından bağımsız olarak ikinci-derece faz geçiş çizgileri olduğu bulunmuştur. Sistemde ayrıca reentrant davranış gözlenmiştir.

Öneriler:

1- Glauber-tipi stokastik dinamik kullanılarak değişik ve özellikle de daha karmaşık fiziksel sistemlerin dinamik davranışları incelenebilir ve dinamik faz diyagramları elde edilebilir.

2- Hesaplamaların belli aşamasından sonra kullandığımız dinamik ortalama-alan yaklaşığı (DOAY), sistemlerdeki dalgalanmaların korrelasyonlarını içermediğinden dolayı, şayet sistem birinci dereceden enerji kuyusuna gelirse, buradan en düşük enerjili duruma geçemeyecektir. Çünkü DOAY da gürültü (noise) ve dalgalanmalar (fluctuations) hesaplamalar içine girmemektedir. Bundan dolayı da faz diyagramlarında bulunmuş olan bazı birinci-derece faz geçiş çizgileri ve dolayısıyla bazı özel noktalar, özellikle dinamik üçlükritik nokta, dinamik çift kritik son nokta ve dinamik kritik son nokta, muhtemelen ortalama-alan yaklaşığının bir yapay sonucu olabilir. Dolayısıyla, bu ve benzeri sistemler aşağıda belirtilen ve daha hassas sonuç veren yöntemlerle incelenmesi önem arz etmektedir.

i) Dinamik Monte Carlo (DMC) hesaplamaları: Bu metot en hassas sonuç veren yöntemdir. Fakat bu yöntemin yüksek spinli, spin-1 ve spin-3/2, v.b. gibi sistemlere ve karma-spin sistemlerine uygulanması çok daha zordur. Özellikle, düzen parametrelerinin tanımlanması en büyük zorluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Dolaysıyla, DMC kullanılırken düzen parametrelerinin tanımına dikkat edilmesi önem arz etmektedir.

ii) Zamana bağlı çift yaklaşım (ZBÇY) yöntemi: Bu yöntem, gerçek fiziksel sistemler dâhil olmak üzere birçok farklı sistemlerin dengesiz davranışlarını incelemede kullanılan önemli dinamik yöntemlerden birisidir. Dolayısıyla bu yöntem, DFG sıcaklıklarının hesaplanması ve dinamik faz diyagramlarının elde edilmesi araştırmalarında önemli bir dinamik yöntem potansiyeline sahiptir. Bu yöntemde, spin dalgalanmalarının ilişkileri (correlations) hesaplamalara katıldığından dinamik ortalama-alan yaklaşığından (DOAY) daha üstündür ve dolayısıyla bu yöntemde birinci-derece faz geçişleri ve bazı özel noktalar, özellikle dinamik üçlükritik nokta, dinamik çift kritik son nokta ve dinamik kritik son nokta, daha doğru olarak hesaplanabilmektedir. Bu sebeple, bu yöntem kullanılarak yapılacak çalışmalar önem arz etmektedir.

iii) Dinamik etkin-alan teorisi: Bu yöntemde korelasyonlar göz önüne alındığından bu sistemlerin dinamiğinin bu yöntemle incelenmesi, bu önemli konuya katkılar sağlayacaktır.

7. KAYNAKLAR

1. Lenz, W., Beitrag zum Verständnis der Magnetischen Erscheinungen in Festen Körpern, Z. Physik, 21, 613-615, 1920.
2. Ising, E., Beitrag zur Theorie des Ferro- und Paramagnetismus, Dostora Dissertation. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Hamburgischen Universität, Hamburg, 1924.
3. Ising, E., Beitrag zur Theorie des Ferromagnetismus, Z. Physik, 31, 253-258, 1925.
4. Onsager, L., Crystal Statistics. I.A. Two-Dimensional Model with an Order-Disorder Transition, Phys. Rev., 65, 117-149, 1944.
5. Ma, S.K., Modern Theory of Critical Phenomena, Benjamin, New York, 1976.
6. Ma, S.K., Statistical Mechanics, World Scientific Publishing Co, 1985.
7. Mansuripur, M., Magnetization Reversal, Coercivity, and the Process of Thermomagnetic Recording in Thin Films of Amorphous Rare Earth Transition Metal Alloys, Journal of Applied Physics, 61, 1580-1587, 1987.
8. Coronado, E., et al., Molecular Magnetism: From Molecular Assemblies to the Devices (NATO ASI Series E, Vol. 321), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1996.
9. Li, P.F., Chen, Y.G., Chen, H., Second- to First-Order Transition in Two Coupled Antiferromagnetic Rings, Eur. Phys. J. B, 51, 473-476, 2006.
10. Bobák, A. and Jurcisin, M., Ferrimagnetism in Diluted Mixed-Spin Two-Dimensional Ising Models, J. Magn. Magn. Mater., 163, 292-298, 1996.
11. Bobák, A. and Jurcisin, M., Ferrimagnetism in Diluted Mixed Spin-1/2 and Spin-3/2 Ising Systems, Journal de Physique IV, 7, 179-180, 1997.
12. Benayad, N., et al., Mixed Spin-3/2 and Spin-1/2 Ising Models with Random Nearest-Neighbour Interactions, Annalen Der Physik, 5 (4), 387-398, 1996.
13. Buendia, G. M., Cardona, R., Monte Carlo Study of a Mixed Spin-3/2 and Spin-1/2 Ising Ferrimagnetic Model, Phys. Rev. B, 59, 6784-6789, 1999.
14. Benayad, N., Dakhama, A., Klümper, A., Zittartz, J., Magnetic Properties of a Mixed Spin-1/2 and Spin-3/2 Transverse Ising model, Zeitschrift Fur Physik B, 101, 623-630, 1996.
15. Bobák, A., Horváth, D., Magnetic Properties of Diluted Mixed Spin-1/2 and Spin-s Ising Ferrimagnets with a Crystal Field, Phys. Stat. Sol. b, 213, 459-470, 1999.

16. Jiang, W., Wei, G.-Z., Xin, Z.-H., Magnetic Properties of a Mixed Spin-1/2 and Spin-3/2 Transverse Ising Model with a Crystal Field , Physica A 293, 455-464, 2001.
17. Wei, G.-Z., et al, Magnetic Properties of Mixed-Spin Ising Systems in a Longitudinal Magnetic Field, J. Magn. Magn. Mater., 271, 246-253, 2004.
18. Li, J., Wei, G., Du, A., Green Function Study of a Mixed Spin-3/2 and Spin-1/2 Heisenberg Ferrimagnetic Model, J. Magn. Magn. Mater., 269, 410-418, 2004.
19. Albayrak, E., Alçi, A., Mixed Spin-1/2 and Spin-3/2 Blume-Capel Ising Ferrimagnetic System on the Bethe Lattice, Physica A, 345, 48-60, 2005.
20. Strecka, J., Weak Universality, Bicritical Points and Reentrant Transitions in the Critical Behaviour of a Mixed Spin-1/2 and Spin-3/2 Ising Model on the Union Jack (entered square) Lattice, Phys. Stat. Sol. b, 243, 708-715, 2006.
21. Strecka, J., Canová, L., Non-Universal Critical Behaviour of a Mixed-Spin Ising Model on the Extended Kagome Lattice, Condensed Matter Physics, 9, 179-186, 2006.
22. Zhang, X., Kong, X.-M., Ferromagnetism in the Mixed Spin-1/2 and Spin-3/2 Blume-Capel System on the Two-Fold Cayley Tree, Physica A, 369, 589-598, 2006.
23. Jascur, M., Strecka, J., Magnetic Properties of a Mixed Spin-1/2 and Spin-3/2 Ising Model with an Uniaxial and Biaxial Crystal-Field Potential, Physica A, 358, 393-412, 2005.
24. Mackowiak, J., Mean-Field Heat Capacity of Dilute Magnetic Alloys, Cond-Mat/0703146.
25. Manriquez, J. M., et al., A Room Temperature Molecular/Organic-Based Magnet, Science, 252, 1415, 1991.
26. Morin, G., et al, Complex Ac Susceptibility Studies of the Disordered Molecular Based Magnets V (TCNE)X: Role of Spinless Solvent, J. Appl. Phys., 73, 5648-5650, 1993.
27. Du, G., et al., Anomalous Charge-Transport Phenomena in Molecular-Based Magnet V (TCNE)X.Y(Solvent), J. Appl. Phys., 73, 6566-6568, 1993.
28. Ekiz, C., Mixed Spin-1/2 and Spin-S Ising Ferrimagnets with a Crystal Field, Physica A, 353, 286-296, 2005.
29. Strecka, J., Exact Results of a Mixed Spin-1/2 and Spin-S Ising Model on a Bathroom Tile (4-8) Lattice: Effect of Uniaxial Single-Ion Anisotropy, Physica A, 360, 379, 2006.
30. Matasovska, S., Jascur, M., Reentrant Transitions and Multicompensation Phenomena of the Exactly Solvable Mixed Spin-S and Spin-1/2 Ising Model on Decorated Planar Lattice, Physica A, 383, 339-350, 2007.

31. Zhang, Q., Wei, G., Gu, Y., The Study of the Phase Diagram and Internal Energy of the Mixed Spin-3/2 and Spin-5/2 Ferrimagnetic Ising System with Interlayer Coupling by Effective-Field Theory; A Simple Approach of Calculating Internal Energy, Phys. Stat. Sol. b, 242, 924-932, 2005.
32. Albayrak, E., Yigit, A., Mixed Spin-3/2 and Spin-5/2 Ising System on the Bethe Lattice, Phys. Lett. A, 353, 121-129, 2006.
33. Yessoufou, R. A., Amoussa, S. H., Hontinfinde, F., Magnetic Properties of the Mixed Spin-5/2 and Spin-3/2 Blume-Capel Ising System on the Two-Fold Cayley Tree, Cent. Eur. J. Phys., 7, 555-567, 2009.
34. De La Espriella, N., Buendía, G.M., Ground State Phase Diagrams for the Mixed Ising 3/2 and 5/2 Spin Model, Physica A, 389, 2725-2732, 2010.
35. Maltempo, M.M., Moss, T.H., The spin 3/2 State and Quantum Spin Mixtures in Haem Proteins, Quar. Rev. Biophys. 9, 181-215, 1976.
36. Dugad, L.B., Marathe, V.R., Mitra, S., Electronic Structure of Spin-Mixed Iron (III) Porphyrins: A Proton Magnetic Resonance Study, Proc. Indian Acad. Sci. 95, 189-205, 1985.
37. Weiss, R., Gold, A., Terner, J., Cytochromes c': Biological Models for the S = 3/2, 5/2 Spin-State Admixture, Chem. Rev., 106, 2550-2579, 2006.
38. Zeng, Y.,et al., Azide-Inhibited Bacterial Heme Oxygenases Exhibit an S=3/2 (D(Xz),D(Yz))(3) (D(Xy))(1)(D(Z)(2))(1) Spin State: Mechanistic Implications for Heme Oxidation, J. Am. Chem. Soc. 127, 9794-9807, 2005.
39. Patel, B.R., Suslick, K.S., Discotic Liquid Crystals from a Bis-Pocketed Porphyrin, J. Am. Chem. Soc. 120, 11802-11803, 1998.
40. Rakow, N.A., Suslick, K.S., A Colorimetric Sensor Array for Odour Visualization, Nature, 406, 710, 2000.
41. Kosal, M.E., Suslick, K.S., Microporous Porphyrin and Metalloporphyrin Materials, J. Solid State Chem. 152, 87-98, 2000.
42. Bellessa, G., High-Spin Tunneling in Fe-8 Molecular Magnets, Europhys. Lett. 52, 358, 2000.
43. Buendía, G. M., Machado, E., Kinetics of a mixed Ising ferrimagnetic system, Physical Review E, 58, 1260-1265, 1998.
44. Godoy M., Figueiredo, W., Mixed-spin Ising model with one- and two-spin competing dynamics, Physical Review E, 61, 218-222, 2000.

45. Godoy, M., Figueiredo, W., Critical behavior of the mixed-spin Ising model with two competing dynamics, Physical Review E, 65, 026111-026118, 2002.
46. Ekiz, C., Keskin, M., Magnetic properties of the mixed spin-1/2 and spin-1 Ising ferromagnetic system, Physica A 317, 517-534, 2003.
47. Glauber, R.J., Time-dependent statistics of the Ising model. Journal of Mathematical Physics, 4, 294-307, 1963.
48. Tomé, T., Oliveira, M., Dynamic phase transition in the kinetic Ising model under a time-dependent oscillating field. Physical Review A, 41, 4251-4254, 1990.
49. Mendes, J.F.F., Lage, E.J.S., Dynamics of the infinite ranged Potts model, Journal of Statistical Physics, 64, 653-672, 1991.
50. Acharyya, M., Nonequilibrium phase transition in the kinetic Ising model: Critical slowing down and the specific-heat singularity. Physical Review E, 56, 2407-2411, 1997; Chatterjee, A., Chakrabarti, B.K., Fluctuation cumulant behavior for the field-pulse-induced magnetization-reversal transition in Ising models. Physical Review E, 67, 046113-046117, 2003.
51. Sides, S.W., Rikvold, P.A., Novotny, M.A., Kinetic Ising model in an oscillating field: Finite-size scaling at the dynamic phase transition, Physical Review Letters, 81, 834-837, 1998; Sides, S.W., Rikvold, P.A., Novotny, M.A., Kinetic Ising model in an oscillating field: Avrami theory for the hysteretic response and finite-size scaling for the dynamic phase transition, Physical Review E, 59, 2710-2729, 1999; Korniss, G., White, C.J., Rikvold, P.A., Novotny, M.A., Dynamic phase transition, universality, and finite-size scaling in the two-dimensional kinetic Ising model in an oscillating field. Phys. Rev. E 63, 016120-016124, 2001; Korniss, G., Rikvold, P.A., Novotny, M.A., Absence of first-order transition and tricritical point in the dynamic phase diagram of a spatially extended bistable system in an oscillating field, Physical Review E, 66, 056127-056138, 2002.
52. Chakrabarti, B.K., Acharyya, M., Dynamic transitions and hysteresis, Reviews of Modern Physics, 71, 847-859, 1999.
53. Godoy, M., Figueiredo, W., Kinetic phase transition in the mixed-spin Ising model, Brazilian Journal of Physics, 34, 422-424, 2004.
54. Krawiecki, A., Dynamical phase transition in the Ising model on a scale-free network, International Journal of Modern Physics B, 19, 4769-4776, 2005.
55. Zimmer, M.F., Ising model in an oscillating magnetic field: Mean-field theory, Physical Review E, 47, 3950-3955, 1993; Acharyya, M., Chakrabarti, B.K., Response of Ising systems to oscillating and pulsed fields: Hysteresis, ac, and pulse susceptibility, Physical

Review B 52, 6550-6568, 1995; Acharyya, M., Nonequilibrium phase transition in the kinetic Ising model: Is the transition point the maximum lossy point?. Physical Review E, 58, 179-186, 1998; Fujisaka, H., Tutu, H., Rikvold, P.A., Dynamic phase transition in a time-dependent Ginzburg-Landau model in an oscillating field, Physical Review E, 63, 036109-036119, 2001.

56. Tutu, H., Fujiwara, N., Landau theory of dynamic phase transitions and systematic perturbation expansion method for getting phase diagrams, Journal of the Physical Society of Japan , 73, 2680-2696, 2004.
57. Khorrami, M., Aghamohammadi, A., Dynamical phase transition of a one-dimensional kinetic Ising model with boundaries, Physical Review E, 65, 056129-056133, 2002.
58. Keskin, M., Canko, O., Temizer, Ü., Dynamic phase transition in the kinetic spin-1 Blume-Capel model under a time-dependent oscillating external field, Physical Review E, 72, 036125-036135, 2005; Keskin, M., Canko, O., Kantar, E., Dynamic dipole and quadrupole phase transitions in the kinetic spin-1 model, International Journal of Modern Physics C, 17, 1239-1255, 2006; Keskin M., Canko O., Temizer Ü., Dynamic phase transition in the kinetic Blume-Emery-Griffiths model in an oscillating external field, International Journal of Modern Physics C, 17, 1717-1737, 2006; Keskin M., Canko O., Temizer Ü., Dynamic phase transition in the kinetic spin-1 Blume-Capel model: Phase diagrams in the temperature and crystal-field interaction plane, Journal of Experimental and Theoretical Physics (JETP), 104, 936-942, 2007; Keskin M., Temizer Ü., Canko O., Kantar E., Dynamic phase transition in the kinetic Blume-Emery-Griffiths model: Phase diagrams in the temperature and interaction parameters planes, Phase Transition, 80, 855-866, 2007; Temizer, Ü., Kantar, E., Canko, O., Keskin, M., Multicritical dynamical phase diagrams of the kinetic Blume-Emery-Griffiths model with repulsive biquadratic coupling in an oscillating field, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, basımda.
59. Keskin, M., Canko, O., Deviren, B., Dynamic phase transition in the kinetic spin-3/2 Blume-Capel model under a time-dependent oscillating external field, Physical Review E, 74, 011110-011119, 2006; Canko, O., Deviren, B., Keskin M., Dynamic phase transition in the spin-3/2 Blume-Emery-Griffiths model in an oscillating field, Journal of Physics: Condensed Matter, 18, 6635-6653, 2006; Keskin, M., Canko, O., Kırak, M., Dynamic dipole and quadruple phase transition in the kinetic spin-3/2 model, Journal of Statistical Physics, 127, 359-380, 2007; Keskin, M., Canko, O., Deviren, B, Dynamic phase transition in the kinetic spin-3/2 Blume–Capel model: Phase diagrams in the

temperature and crystal-field interaction plane, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 313, L1-L5, 2007; Keskin, M., Deviren, B., Canko, O., Kırak M., Dynamic phase transition in the kinetic spin-3/2 Blume-Emery-Griffiths model: Phase diagram in the temperature and interaction parameters planes, Acta Physica Polonica B, 38, 2445-2457, 2007; Keskin M., Canko, O., Kırak, M., Phase diagrams of the kinetic metamagnetic spin-3/2 Blume–Capel model in an oscillating external field, physica status solidi (b), 244, 3775-3788, 2007; Deviren, B., Keskin, M., Canko, O., Dynamic phase transition and multicritical dynamic phase diagrams of the kinetic spin-3/2 Blume-Emery-Griffiths model with repulsive biquadratic coupling undera time-dependent oscillating external field, Computer Physics Communications, 178, 420-437, 2008.

60. Keskin, M., Canko, O., Ertas, M., Kinetics of the spin-2 Blume-Capel model under a time-dependent oscillating external field, Journal of Experimental and Theoretical Physics (JETP), 105, 1190-1197, 2007; Ertas, M., Canko, O., Keskin, M., Dynamic phase transition in the kinetic spin-2 Blume-Emery-Griffiths model in an oscillating field, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, baskıda.
61. Jang, H., Grimson, M.J., Hysteresis and the dynamic phase transition in thin ferromagnetic films, Physical Review E, 63, 066119-066128, 2001; Jang, H., Grimson, M.J., Hall, C.K, Dynamic Phase Transitions in Thin Ferromagnetic Films, Physical Review B, 67, 094411-094421, 2003; 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; Huang, Z., Chen, Z., Zhang, F. , Du, Y., Dynamic phase transition in the Heisenberg model under a time-dependent oscillating field, Physics Letters A, 338, 485-493, 2005.
62. Yasui, T., Tutu, H., Yamamoto, M., Fujisaka H., Dynamic phase transitions in the anisotropic XY spin system in an oscillating magnetic field, Physical Review E, 66, 036123-036140, 2002; Yasui, T., Tutu, H., Yamamoto, M., Fujisaka, H., Erratum: Dynamic phase transitions in the anisotropic XY spin system in an oscillating magnetic field, 67, 019901, 2003; Sen(De), A., Sen, U., Lewenstein M., Dynamical phase transitions and temperature-induced quantum correlations in an infinite spin chain, Physical Review A, 72, 052319-052327, 2005; Fujiwara, N., Kobayashi, T., Fujisaka, H., Dynamic phase transition in a rotating external field, Physical Review E, 75, 026202-026212, 2007.

63. Machado, E., Buendía, 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, Physical Review E, 71, 016120-016126, 2005.
64. Jiang, Q., Yang, H. N., Wang, G. C., Scaling and dynamics of low-frequency hysteresis loops in ultrathin Co films on a Cu (001) surface, Phys. Rev. B, 52 14911-14916, 1995; Jiang, Q., Yang, H. N., Wang, G. C., Field dependent resonance frequency of hysteresis loops in a few monolayer thick Co/Cu(001) films, Journal of Applied Physics, 79, 5122-5124, 1996.
65. Kleemann, W., Braun, T., Dec, J., Petracic, O., Dynamic phase transitions in ferroic systems with pinned domain walls, Phase Transition, 78, 811-816, 2005.
66. Kibble T. W. B., Topology of cosmic domains and strings, Journal of Physics A: Mathematical and General, 9, 1387-1398, 1976; Kibble T. W. B., Some implications of a cosmological phase transition, Physics Reports, 67, 183-199 1980; Damski, B., Zurek, W.H., Dynamics of a quantum phase transition in a ferromagnetic Bose-Einstein condensate, Physical Review Letters, 99, 130402-130405, 2007.

8. EKLER

8.1. Proje Kapsamındaki Tezler

DEVİREN B., "Zamana Bağlı Salınımlı Dış Manyetik Alan Varlığında Karma-Spin (1/2, 3/2;1/2, 5/2; 3/2, 5/2) Ising Sistemlerinin Dinamik Faz Geçişleri ve Dinamik Faz Diyagramları", Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora Tezi, Ağustos, 2010).

8.2. Proje Kapsamında Uluslar arası Dergilerde Yayınlanan Makaleler

1- B. Deviren, M. Keskin and O. Canko, "Kinetics of a mixed spin-1/2 and spin-3/2 Ising ferrimagnetic model", J. Magn. Magn. Mater. 321 458-466 (2009).

2- M. Keskin, B. Deviren and O. Canko, "Dynamic compensation temperature in the mixed spin-1/2 and spin-3/2 Ising model in an oscillating field on alternate layers of hexagonal lattice", IEEE Trans. Magn., 45 2640-2643 (2009).

3- B. Deviren, M. Keskin and O. Canko, "Dynamic phase transitions in the kinetic mixed spin-1/2 and spin-5/2 Ising model under a time-dependent oscillating magnetic field", Phase Trans., 83 526-542 (2010).

4- B. Deviren and M. Keskin, "Dynamic phase transitions and compensation temperatures in a mixed spin-3/2 and spin-5/2 Ising system", J. Stat. Phys., 140 934-947 (2010).

5- B. Deviren, M. Keskin and O. Canko, "Dynamic phase transition and dynamic phase diagrams in the spin-5/2 Blume-Capel model under a time-dependent oscillating external field", Phase Trans. 82 683-698 (2009).

6- B. Deviren, O. Canko and M. Keskin, "Magnetic properties of the mixed ferrimagnetic ternary systems with a single-ion anisotropy on the Bethe lattice", J. Magn. Magn. Mater. 321 1231-1239 (2009).

7- B. Deviren, M. Keskin and Y. Aydın, "Compensation temperatures, magnetic susceptibilities and phase diagrams of a mixed ferrimagnetic ternary system on the Bethe lattice", JETP Lett., 92 242-250 (2010).

8- B. Deviren, M. Keskin and O. Canko, "Magnetic properties of anti-ferromagnetic and ferrimagnetic mixed spin-1/2 and spin-5/2 Ising model in the longitudinal magnetic field within the effective-field approximation", Physica A, 388 1835-1848 (2009).

9- B. Deviren, M. Batı and M. Keskin, "The effective-field study of a mixed spin-1 and spin-5/2 Ising ferrimagnetic system", Phys. Scr. 79 065006 (2009).

10- B. Deviren, E. Kantar and M. Keskin, "Magnetic properties of a mixed spin-3/2 and spin-2 Ising ferrimagnetic system within the effective-field theory", J. Korean Phys. Soc. 56, 1738-1747 (2010).

11- B. Deviren, M. Ertas and M. Keskin, "The effective-field theory studies of critical phenomena in a mixed spin-1 and spin-2 Ising model on honeycomb and square lattices", Physica A 389 2036-2047 (2010).

8.3. Proje Kapsamında Ulusal ve Uluslararası Konferanslarda Sunulan Bildiriler

1. M. Keskin, B. Deviren, and O. Canko, "Kinetics of a mixed spin-1/2 and spin-3/2 Ising ferrimagnetic model", 99th Statistical Mechanics Conference, Rutgers University, Hill Center, ABD, 11-13 Mayıs 2008.

2. M. Keskin, B. Deviren, and O. Canko, "Dynamic compensation temperature in the mixed spin-1/2 and spin-3/2 Ising model in an oscillating field on alternate layers of hexagonal lattice", Asian Magnetics Conference, Paradise Otel, Busan, Kore, 10-14 Kasım 2008.

3. B. Deviren, M. Keskin, and O. Canko, "Dynamic phase transitions in the kinetic mixed spin-1/2 and spin-5/2 Ising model under a time-dependent oscillating magnetic field", International Conference on Superconductivity and Magnetism (ICSM-2010), 25-30 April, 2010, Porto Bello Hotel, Antalya, Turkey.

4. B. Deviren and M. Keskin, "Dynamic phase transitions and dynamic compensation temperatures in the mixed spin-3/2 and spin-5/2 Ising system in an oscillating field on a hexagonal lattice", 35th Conference of the Middle European Cooperation in Statistical Physics (MECO 35), 15-19 March, 2010, Abbaye des Prémontrés, Pont-à-Mousson, France.

5. B. Deviren, M. Keskin, and O. Canko, "Dynamic phase transition and dynamic phase diagrams in the spin-5/2 Blume-Capel model under a time-dependent oscillating external field", ISW on Condensed Matter and Material Physics 27-31 December 2009, Antalya Porto Bello Hotel- Turkey.

6. B. Deviren and M. Keskin "Magnetic properties of the mixed spin-1/2 and spin-5/2 Ising anti-ferromagnetic and ferrimagnetic model in the longitudinal magnetic field within the effective-field approximation", Turkish Physical Society, 26th International Physics Congress, Bodrum, Turkey, 24-27 September, 2009.

7. B. Deviren, M. Batı and M. Keskin, "The effective-field study of a mixed spin-1 and spin-5/2 Ising ferrimagnetic system", 16. İstanbul İstatistiksel Fizik Günleri, Koç Universitesi, 25-27 Haziran 2009, İstanbul, Türkiye.

8. M. Keskin, B. Deviren and E. Kantar, "Magnetic properties of a mixed spin-3/2 and spin-2 Ising ferrimagnetic system within the effective-field theory", Fourth Saudi Science Conference, Contribution of Science Faculties in the Development Process of Kingdom of Saudi Arabia, 21-24 March 2010, Saudi Arabia.