



دانشگاه پیام نور

دانشکده علوم پایه

پایان نامه

برای دریافت مدرک کارشناسی ارشد

رشته فیزیک حالت جامد

گروه علمی فیزیک

عنوان پایان نامه

بررسی اثر اندازه نانوجامدات ابررسانا، فرومغناطیس و

پادفرومغناطیس از منظر دما

مرضیه فرشته

استاد راهنما:

دکتر سیده نسرین حسینی مطلق

استاد مشاور:

دکتر عبدالرسول قرائتی

بهمن ماه ۱۳۹۱



دانشگاه پیام نور

دانشکده علوم پایه

مرکز شیراز

پایان نامه

برای دریافت مدرک کارشناسی ارشد

رشته فیزیک حالت جامد

گروه علمی فیزیک

عنوان پایان نامه

بررسی اثر اندازه نانوجامدات ابررسانا، فرومغناطیس و

پادفرومغناطیس از منظر دما

مرضیه فرشته

استاد راهنما:

دکتر سیده نسرین حسینی مطلق

استاد مشاور:

دکتر عبدالرسول قرائتی

بهمن ماه ۱۳۹۱

تاریخ : ۹/۱۱/۱۳۹۱
شماره : ۵۱۲۷۵
پوست :



دانشگاه پیام نور استان فارس
پاسرتهالی

جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

صور تجلسه دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

جلسه دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد خانم مرفیبه فرشته دانشجوی رشته فیزیک گرایش حالت جامد به شماره دانشجویی ۸۸۰۰۰۳۷۱۲ با عنوان:

"بررسی اثر اندازه نانوجامدات ابرسانا، فرومغناطیس و پاد فرومغناطیس از منظر دما"

با حضور هیأت داوران در روز پنج شنبه مورخ ۱۳۹۱/۱۱/۲۶ ساعت ۱۰:۳۰ در محل ساختمان غدیر دانشگاه پیام نور شیراز برگزار شد و هیأت داوران پس از بررسی پایان نامه مذکور را شایسته نمره به عدد ۱۹/۳ به حروف نهم و سه با درجه معالجی تشخیص داد.


ردیف	نام و نام خانوادگی	هیأت داوران	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه	امضاء
۱	دکتر سیده نسرين حسینی مطلق	رئیس	استاد یار	آزاد اسلامی شیراز	
۲	دکتر عبدالرسول فراتی جهرمی	مشاور	دانشیار	پیام نور شیراز	
۳	دکتر محمود مرادی	داور	استاد	شیراز	
۴	آقای امیر اکبری	نماینده تحصیلات تکمیلی	مربی	پیام نور شیراز	

رئیس اداره تحصیلات تکمیلی
شیراز


شیراز - شهرک گلستان، بلوار دهخدا
قبل از نهادیشگاه بین المللی
تلفن : ۰۷۱۱-۶۲۲۲۲۲۰-۳
دورنگار : ۰۷۱۱-۶۲۲۲۲۲۹
صندوق پستی : ۱۳۶۸۱ - ۷۱۹۵۵
www.spsu.ac.ir
Email : admin@spnu.ac.ir

اینجانب میرزا حسین قزوینی دانشجوی ورودی سال ۱۳۸۸ مقطع کارشناسی ارشد رشته فیزیک گواهی می نمایم چنانچه در پایان نامه خود از فکر، ایده و نوشته دیگری بهره گرفته ام با نقل قول مستقیم یا غیر مستقیم منبع و ماخذ آن را نیز در جای مناسب ذکر کرده ام. بدیهی است مسئولیت تمامی مطالبی که نقل قول دیگران نباشد بر عهده خویش می دانم و جوابگوی آن خواهم بود.

دانشجو تائید می نماید که مطالب مندرج در این پایان نامه نتیجه تحقیقات خودش می باشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده است.

نام و نام خانوادگی دانشجو میرزا حسین قزوینی
تاریخ و امضاء 

اینجانب میرزا حسین قزوینی دانشجوی ورودی سال ۱۳۸۸ مقطع کارشناسی ارشد رشته فیزیک گواهی می نمایم چنانچه بر اساس مطالب پایان نامه خود اقدام به انتشار مقاله، کتاب، و ... نمایم ضمن مطلع نمودن استاد راهنما، با نظر ایشان نسبت به نشر مقاله، کتاب، و ... به صورت مشترک و با ذکر نام استاد راهنما مبادرت نمایم.

نام و نام خانوادگی دانشجو میرزا حسین قزوینی
تاریخ و امضاء 

کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات، آزمایشات و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه مطعلق به دانشگاه پیام نور می باشد.

ماه و سال بهمن ۱۳۹۱

تقدیم بہ

پدر و مادر کرامی

و

ہمسفر مہربانم

در اینجا جای دارد که از تمامی اساتید محترمی که در این پایان نامه به من یاری رسانده‌اند و در این راه زحمت بسیار کشیده‌اند تشکر نمایم تا گوشه‌ای هرچند کوچک از زحمات بی‌دریغ ایشان جبران شود. ابتدا از سرکار خانم دکتر حسینی مطلق که به عنوان استاد راهنما مرا قدم به قدم از ابتدا تا انتهای راه پیش بردند سپاسگزارم. ایشان در این مسیر علم واقعی را به من آموختند. سپس از جناب آقای دکتر قرائتی تشکر می‌کنم چراکه ایشان با راهنمایی‌های خود روزنه‌هایی را برای کار در آینده گشودند. همچنین از جناب آقای دکتر مرادی کمال تشکر را دارم که با انرژی خود در روز دفاع به اینجانب لطف بسیار نمودند.

چکیده

بررسی اثر اندازه نانوجامدات ابررسانا، فرومغناطیس و پادفرومغناطیس از منظر دما

مرضیه فرشته

موضوع مورد بحث در این تحقیق بررسی تاثیر اندازه‌ی نانوبلورهای ابررسانا، فرومغناطیس و پادفرومغناطیس روی دمای گذار آنها می‌باشد. بنا به نتایج آزمایشگاهی که اخیراً روی مواد مختلف انجام شده است، دانشمندان متوجه شده‌اند که با کاهش اندازه‌ی آن مواد، دمای گذار آنها نیز تغییرات متفاوتی می‌کند. اولین موادی که در این تحقیق بررسی شده است ابررساناها می‌باشند. دمای گذار برای مواد ابررسانا دمایی است که در آن دما جسم معمولی به ماده‌ای تبدیل می‌شود که دارای مقاومت ناچیزی است و از خود یک ابرجریان را عبور می‌دهد. بر طبق نتایج آزمایشگاهی برای بعضی از مواد، با کاهش اندازه‌ی آن ماده، دمای گذار زیاد شده و برای بعضی دیگر کم می‌شود. بر این اساس مدل‌های بسیاری توسط محققان و دانشمندان مختلف مطرح شده و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردیده است. اما هیچ یک از این مدل‌ها کاملاً با نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها کاملاً همخوانی نداشته است. مواد دیگری که تاثیرات اندازه‌ی آنها بر دمای گذارشان مورد بررسی قرار گرفته است، مواد فرومغناطیس و پادفرومغناطیس می‌باشند. دمای گذار برای مواد فرومغناطیس به عنوان دمای کوری و برای مواد آنتی فرومغناطیس به دمای نیل معروف است. برای اثرات اندازه‌ی این مواد، روی دمای گذار آنها مانند ابررساناها، مدل‌های متفاوتی ارائه شده است که هر کدام بنا به علتی کاملاً مورد تایید نمی‌باشند. بر همین اساس اخیراً مدلی مطرح شده است که تاکنون با نتایج آزمایشگاهی برای مواد مختلف مطابقت داشته است. این مدل تنها دارای دو پارامتر و بسیار ساده می‌باشد و همچنین برای هر سه گروه از مواد که شامل ابررسانا، فرومغناطیس و پادفرومغناطیس دارای فرمول یکسانی می‌باشد. در واقع هدف اصلی از این تحقیق ارائه‌ی یک مدل یکتا که وابستگی دما به اندازه برای انواع مواد می‌باشد.

واژگان کلیدی - ابررسانا، فرومغناطیس، دمای گذار، نانوبلور، فیلم نازک، نانولوله

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول کلیتی در مورد فیزیک ماده چگال و نانو تکنولوژی.....
۱	۱-۱ فیزیک ماده‌ی چگال.....
۲	۱-۱-۱ مروری بر تاریخچه‌ی بلورها.....
۲	۱-۱-۲ تعریف بلور.....
۳	۱-۱-۳ بردارهای انتقال شبکه.....
۳	۱-۱-۴ یاخته‌ی بسیط شبکه.....
۴	۱-۱-۵ انواع شبکه‌های سه‌بعدی.....
۵	۱-۱-۶ دستگاه شاخص‌گذاری صفحات بلور.....
۶	۱-۱-۷ علت مطالعه ساختارهای بلوری.....
۷	۲-۱ مروری بر علم نانو و تغییرات ویژه‌ی مواد در این حوزه.....
۹	۱-۲-۱ نانومواد.....
۱۰	۱-۲-۱-۱ نانو مواد صفر بعدی.....
۱۰	۱-۲-۱-۱ نانوذرات.....
۱۱	۱-۲-۱-۲ نانو مواد یک بعدی.....

- ۱۲-۱-۲-۱ (الف) نانوسیم..... ۱۲
- ۱۲-۱-۲-۱ (ب) نانولوله..... ۱۲
- ۱۳-۱-۲-۱ نانومواد دوبعدی..... ۱۳
- ۱۳-۱-۲-۱ (الف) نانوفیلم‌ها یا فیلم‌های نازک..... ۱۳
- ۱۳-۱-۲-۱ (ب) ویژگی‌های لایه‌های نازک..... ۱۳
- ۱۴-۲-۲-۱ ساختار نانومواد..... ۱۴
- ۱۷-۲-۲-۱ بررسی مزیت‌ها در ابعاد نانومتری..... ۱۷
- ۱۸-۳-۱ نگاهی اجمالی بر پایان‌نامه..... ۱۸
- ۲۲- فصل دوم مبانی نظری تحقیق..... ۲۲
- ۲۲-۱-۲ انواع بلورها..... ۲۲
- ۲۲-۱-۱-۲ بلورهای ابرسانایی..... ۲۲
- ۲۴-۱-۱-۱-۲ بررسی تغییرات ابرسانایی در حوزه‌ی نانومتری..... ۲۴
- ۲۵-۱-۱-۲ نظریه‌ی میکروسکوپی ابرسانایی..... ۲۵
- ۲۵-۱-۱-۲ نظریه‌ی BCS..... ۲۵
- ۲۸-۲-۱-۲ بلورهای مغناطیسی..... ۲۸
- ۳۰-۱-۲-۱-۲ بررسی مواد مغناطیسی در حوزه‌ی نانومتری..... ۳۰

- ۳۱.....فیلم نازک مغناطیسی.....۲-۲-۱-۲
- ۳۱.....درجه حرارت نظم یافته در نانوبلورهای فرومغناطیس و آنتی فرومغناطیس.....۳-۲-۱-۲
- ۳۲.....بلورهای فلزی.....۲-۱-۳
- ۳۲.....خواص و ویژگی کلی فلزات در حالت توده‌ای.....۱-۳-۱-۲
- ۳۳.....ذوب از دیدگاه میکروسکوپی.....۲-۳-۱-۲
- ۳۵.....ترمودینامیک ذوب.....۳-۳-۱-۲
- ۳۵.....ارتباط دمای ذوب و اندازه در نانوفلزات.....۴-۳-۱-۲
- ۳۶.....انرژی همدوسی.....۵-۳-۱-۲
- ۳۸.....دمای ذوب و ارتباط آن با انرژی همدوسی.....۶-۳-۱-۲
- ۳۹.....نظریه‌ی موت: مقاومت فلزات مایع.....۷-۲-۱-۲
- ۴۳.....یک ضابطه برای ذوب (ضابطه‌ی لیندمان).....۹-۳-۱-۲
- ۴۴.....دمای دبای.....۸-۳-۱-۲
- ۴۷.....نانوکاتالیست‌ها.....۴-۱-۲
- ۴۸.....اثر اندازه در نانوکاتالیست‌ها.....۱-۴-۱-۲
- ۴۸.....کاتالیست‌های نانوذره‌ی دوفلزی.....۲-۴-۱-۲
- ۴۹.....اثر ترمودینامیکی.....۳-۴-۱-۲
- ۴۹.....سوابق و پیشینه‌ی تحقیق.....۲-۲

- ۵۰..... ۱-۲-۲ اثرات شکست پیوندهای تبادل بر دمای کوری
- ۵۲..... ۲-۲-۲ ارتباط دمای کوری و ضخامت در فیلم‌های بسیار نازک مغناطیسی
- ۵۶..... ۳-۲-۲ مدلی برای مواد فرومغناطیس و ابررسانا
- ۵۸..... فصل سوم ارتباط دمای گذار با اندازه و ساختار در نانوجامدات
- ۵۸..... ۱-۳ تاثیرات اندازه نانوبلورهای ابررسانا بر دمای گذار و دمای ذوب آنها
- ۵۸..... ۱-۱-۳ نظریه‌ی میکروسکوپی: فضای فوک
- ۶۴..... ۲-۱-۳ مایع فرمی معمولی به عنوان یک شبه ذرات گاز
- ۶۷..... ۳-۱-۳ هامیلتونی BCS
- ۷۴..... ۴-۱-۳ دمای غیرصفر
- ۷۵..... ۵-۱-۳ ارتباط اندازه و دمای بحرانی در نانوجامدات ابررسانا
- ۷۸..... ۶-۱-۳ پارامتر D
- ۷۸..... ۷-۱-۳ پارامتر D_0
- ۷۹..... ۸-۱-۳ پارامتر α
- ۷۹..... ۸-۱-۳ الف) تعریف α برای نانوبلورهای فلزی با سطح آزاد
- ۸۰..... ۸-۱-۳ ب) تعریف α برای نیمه‌رساناها با سطح آزاد
- ۸۱..... ۸-۱-۳ ج) تعریف α برای نانوجامدات فلزی اکسیدشده در سطح
- ۸۱..... ۲-۳ تاثیرات اندازه و ساختار نانوبلورهای مغناطیسی بر دما

- ۱-۲-۳ اثرات اندازه‌ی نانوبلورهای فرومغناطیس و آنتی فرومغناطیس بر دمای کوری و دمای نیل..... ۸۱
- ۲-۲-۳ بررسی تاثیرات ساختاری نانوبلورهای فرومغناطیس بر دمای کوری و دمای ذوب..... ۸۴
- ۳-۲-۳ اثرات اندازه و ساختار کاتالیست‌ها بر دمای ذوب..... ۸۷
- فصل چهارم محاسبات عددی ارتباط دمای گذار و اندازه‌ی نانوجامدات..... ۸۹
- ۱-۴ محاسبات عددی مربوط به ارتباط دمای گذار نانوجامدات ابررسانا و اندازه‌ی آنها..... ۸۹
- ۱-۱-۴ دی‌برمید منیزیم..... ۸۹
- ۲-۱-۴ نیوبیوم..... ۹۳
- ۳-۱-۴ بیسموت..... ۹۶
- ۴-۱-۴ سرب..... ۹۸
- ۵-۱-۴ آلومینوم..... ۱۰۱
- ۶-۱-۴ جمع‌بندی..... ۱۰۳
- ۲-۴ محاسبات عددی برای وابستگی دمایی نانوفرومغناطیس‌ها به ساختار هندسی و اندازه..... ۱۰۶
- ۱-۲-۴ بررسی ارتباط دمای کوری و اندازه در نانوفرومغناطیس‌ها..... ۱۰۶
- ۲-۲-۴ بررسی ارتباط دمای کوری و ساختار هندسی در نانوفرومغناطیس‌ها..... ۱۱۷
- ۳-۴ بررسی ارتباط دمای نیل و اندازه در نانوذرات آنتی فرومغناطیس..... ۱۲۰
- ۴-۴ محاسبات عددی برای وابستگی دمایی نانوکاتالیست‌ها به ساختار هندسی و اندازه..... ۱۲۶
- ۱-۴-۴ بررسی ارتباط دمای ذوب و ساختار هندسی در نانوکاتالیست‌ها..... ۱۲۶

۴-۵ بررسی ارتباط دمای ذوب و اندازه در نانوذرات فلزی..... ۱۲۹

فصل پنجم نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۱۳۳

۵-۱ نتیجه گیری..... ۱۳۳

۵-۲ پیشنهادات..... ۱۳۴

فهرست منابع و مراجع..... ۱۳۵

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱. نمایی از یک بلور.....	۲
شکل ۱-۲. قرارگیری اتمها در بلور مکعبی مرکز سطحی.....	۴
شکل ۱-۳. قرارگیری اتمها در بلور مکعبی مرکز حجمی.....	۵
شکل ۱-۴. بردارهای نشان‌دهنده‌ی جهت و مکان صفحات بلور.....	۶
شکل ۱-۵. جام مشهور لیکرگوس در موزه‌ی بریتانیا نور انعکاس یافته از آن سبز است ولی اگر نوری از درون آن بتابد، به رنگ قرمز دیده می‌شود.....	۹
شکل ۱-۶. دو ساختار بلوری (الف) کیوبیکتاهدرون (ب) ایکوساهدرون.....	۱۵
شکل ۱-۷. سلول واحد FCC - با یک انتقال $1/2$ در سه جهت که کوچکترین نانو کریستال کیوبواکتاهدرون را می‌سازد.....	۱۵
شکل ۱-۸. صفحه (۱۰۰) شبکه مکعبی.....	۱۶
شکل ۱-۹. منحنی انرژی فصل مشترک (راست) و کریستال تعادلی (چپ) شبکه مکعبی.....	۱۶
شکل ۱-۲. این جدول شامل عناصر ابررسانایی، ساختار بلوری آنها و دمای گذارشان می‌باشد.....	۲۴
شکل ۲-۲. افزایش نسبت اتمهای سطح با کاهش قطر ذره.....	۳۷
شکل ۲-۳. منحنی های حاصل مدل Qi برای انرژی پیوستگی نانوذرات.....	۳۸

شکل ۲-۴. تغییرات دمای ذوب نانوذرات طلا بر حسب اندازه ذره. نقاط سیاه نشان‌دهنده‌ی نتایج آزمایشگاهی می‌باشند..... ۳۹

شکل ۲-۵. ظرفیت گرمایی جامد انیشتین به دما وابسته بوده و در دماهای بالاتر به مقدار $3NK$ میل می‌کند..... ۴۶

شکل ۲-۶. پارامتر نقص Δr برای نانوذرات Fe_2O_3 به عنوان تابعی از r ۵۳

شکل ۳-۱. ایجاد یک الکترون برانگیخته و یک حفره..... ۶۴

شکل ۳-۲. طیف برانگیخته مربوط به یک گاز فرمی..... ۶۵

شکل ۳-۳. توابع u و v ۷۲

شکل ۴-۱. نمودار تغییرات سه‌بعدی دمای گذار برحسب پارامتر اندازه‌ی نانوذره (D) و بعد نانوذره (d) در محدوده ۰ تا ۲ برای نانوجامد MgB_2 ۹۰

شکل ۴-۲. نمودار مقایسه بین نتایج محاسباتی و آزمایشگاهی برای فیلم نازک MgB_2 . نمودار آبی نشان‌دهنده‌ی رابطه‌ی (۳-۸۴) نمودار قرمز نشان‌دهنده‌ی رابطه‌ی (۲-۴۳) می‌باشد. همچنین نقاط نشان‌دهنده‌ی نتایج آزمایشگاهی فیلم نازک MgB_2 می‌باشد..... ۹۲

شکل ۴-۳. نمودار دوبعدی تغییرات دمای گذار نانوجامد MgB_2 برحسب اندازه به ازای $d=0$ برای نانوذرات $d=1$ ، برای نانولوله‌ها و $d=2$ برای فیلم‌های نازک..... ۹۲

شکل ۴-۴. نمودار تغییرات $\Delta \frac{T_c(D)}{T_c(\infty)}$ برحسب S_{vib} و D برای فیلم نازک ابررسانای MgB_2 (رابطه‌ی (۳-۴))..... ۹۲

شکل ۴-۵. نمودار تغییرات دمای گذار برحسب اندازه‌ی فیلم نازک ابررسانای MgB_2 ۹۲

شکل ۶-۴ نمودار تغییرات سه بعدی دمای گذار برحسب پارامتر اندازه‌ی نانوذره (D) و بعد نانوذره (d) در محدوده ۰ تا ۲ برای نانو جامد Nb ۹۴

شکل ۷-۴ نمودار دوبعدی تغییرات دمای گذار برحسب اندازه به ازای d=0 برای نانوذرات، d=1 برای نانولوله‌ها و d=2 برای فیلم‌های نازک ۹۵

شکل ۸-۴ نمودار مقایسه بین نتایج محاسباتی و آزمایشگاهی برای فیلم نازک Nb. نمودار آبی نشان-دهنده‌ی رابطه‌ی (۳-۸۴) نمودار قرمز نشان‌دهنده‌ی رابطه‌ی (۲-۴۳) می‌باشد. همچنین نقاط مربع شکل نشان‌دهنده‌ی نتایج آزمایشگاهی فیلم نازک Nb می‌باشد ۹۵

شکل ۹-۴ نمودار تغییرات $\Delta \frac{T_c(D)}{T_c(\infty)}$ برحسب S_{vib} و D برای فیلم نازک ابررسانای Nb. (رابطه‌ی (۳-۴)) ۹۵

شکل ۱۰-۴ نمودار تغییرات دمای گذار برحسب اندازه‌ی فیلم نازک ابررسانای Nb ۹۵

شکل ۱۱-۴ نمودار تغییرات سه بعدی دمای گذار برحسب پارامتر اندازه‌ی نانوذره (D) و بعد نانوذره (d) در محدوده ۰ تا ۲ برای نانو جامد Bi ۹۶

شکل ۱۲-۴ نمودار دوبعدی تغییرات دمای گذار برحسب اندازه به ازای d=0 برای نانوذرات، d=1 برای نانولوله‌ها، d=1.33 برای فیلم دانه‌ای و d=2 برای فیلم‌های نازک ۹۷

شکل ۱۳-۴ در این تصویر توابع دمای گذار فیلم دانه‌ای Bi برحسب اندازه رسم شده است. نمودار آبی نشان‌دهنده‌ی رابطه (۳-۸۴) نمودار قرمز نشان‌دهنده‌ی رابطه‌ی (۲-۴۳) می‌باشد ۹۷

شکل ۱۴-۴ نمودار $\Delta \frac{T_c(D)}{T_c(\infty)}$ برحسب S_{vib} و D برای فیلم دانه‌ای ابررسانای Bi (رابطه‌ی (۳-۴)) ۹۷

شکل ۱۵-۴ نمودار اختلاف دو رابطه (۴-۸۳) و (۴-۱) برای فیلم نازک ابررسانای بیسموت که در آن دمای گذار برحسب اندازه رسم شده است ۹۷

شکل ۱۶-۴ نمودار سه بعدی تغییرات $T_c(D)$ (رابطه‌ی (۳-۸۴)) برحسب دو پارامتر d و D برای نانو-جامد Pb ۹۹

شکل ۴-۱۷. نمودار دوبعدی تغییرات دمای گذار برحسب اندازه به ازای $d=0$ برای نانوذرات، $d=1$ برای نانولوله‌ها، $d=1.33$ برای فیلم دانه‌ای و $d=2$ برای فیلم‌های نازک..... ۱۰۰

شکل ۴-۱۸. نمودار تغییرات دمای گذار فیلم دانه‌ای Pb برحسب اندازه. نمودار آبی نشان‌دهنده‌ی رابطه (۳-۸۴) نمودار قرمز نشان‌دهنده‌ی رابطه (۲-۴۳) می‌باشد..... ۱۰۱

شکل ۴-۱۹. نمودار $\Delta \frac{T_c(D)}{T_c(\infty)}$ برحسب S_{vib} و D برای فیلم دانه‌ای ابررسانای Pb..... ۱۰۱

شکل ۴-۲۰. نمودار تغییرات دمای گذار برحسب اندازه‌ی فیلم دانه‌ای ابررسانای Pb..... ۱۰۱

شکل ۴-۲۱. نمودار سه‌بعدی تغییرات $T_c(D)$ (رابطه‌ی (۳-۸۴)) برحسب دو پارامتر d و D برای نانوجامد Al..... ۱۰۲

شکل ۴-۲۲. نمودار دوبعدی تغییرات دمای گذار برحسب اندازه به ازای $d=0$ برای نانوذرات، $d=1$ برای نانولوله و $d=2$ برای فیلم‌های نازک. (رابطه‌ی (۳-۸۴))..... ۱۰۳

شکل ۴-۲۳. نمودار $\Delta \frac{T_c(D)}{T_c(\infty)}$ برحسب S_{vib} و D برای فیلم دانه‌ای ابررسانای Al (رابطه‌ی (۳-۱۰۴)..... ۱۰۴

شکل ۴-۲۴. نمودار تغییرات دمای گذار برحسب اندازه‌ی فیلم دانه‌ای ابررسانای Al..... ۱۰۴

شکل ۴-۲۵. مقایسه‌ی کلی تغییرات $T_c(D)$ (رابطه‌ی (۳-۸۴)) برحسب دو پارامتر d و $D=0..10$ برای نانو نانوجامدات ابررسانای آلومینیوم، بیسموت، سرب و نیوبیوم..... ۱۰۶

شکل ۴-۲۶. مقایسه‌ی کلی تغییرات $T_c(D)$ (رابطه‌ی (۳-۸۴)) برحسب دو پارامتر d و $D=0..100$ برای نانو جامدات ابررسانای آلومینیوم، بیسموت، سرب و نیوبیوم..... ۱۰۶

شکل ۴-۲۷. نمودار دوبعدی تغییرات دمای گذار نانوفرومغناطیس Fe برحسب اندازه به ازای $d=0$ برای نانوذرات، $d=1$ برای نانولوله‌ها و $d=2$ برای فیلم‌های نازک. (رابطه‌ی (۳-۱۰۴))..... ۱۰۹

شکل ۴-۲۸. نمودار دوبعدی تغییرات دمای گذار نانوفرومغناطیس Co برحسب اندازه به ازای $d=0$ برای نانوذرات، $d=1$ برای نانولوله‌ها و $d=2$ برای فیلم‌های نازک. (رابطه‌ی (۳-۱۰۴)).....۱۰۹

شکل ۴-۲۹. نمودار دوبعدی تغییرات دمای گذار نانوفرومغناطیس Gd برحسب اندازه به ازای $d=0$ برای نانوذرات، $d=1$ برای نانولوله‌ها و $d=2$ برای فیلم‌های نازک. (رابطه‌ی (۳-۱۰۴)).....۱۰۹

شکل ۴-۳۰. نمودار دوبعدی تغییرات دمای گذار نانوفرومغناطیس Tb برحسب اندازه به ازای $d=0$ برای نانوذرات، $d=1$ برای نانولوله‌ها و $d=2$ برای فیلم‌های نازک. (رابطه‌ی (۳-۱۰۴)).....۱۰۹

شکل ۴-۳۱. نمودار دوبعدی تغییرات دمای گذار نانوفرومغناطیس Gd برحسب اندازه به ازای $d=0$ برای نانوذرات، $d=1$ برای نانولوله‌ها و $d=2$ برای فیلم‌های نازک. (رابطه‌ی (۳-۱۰۴)).....۱۱۰

شکل ۴-۳۲. نمودار مقایسه‌ی تغییرات دمای گذار برحسب اندازه برای نانوذرات فرومغناطیس Fe, Co , Ni Gd و Tb..... ۱۱۰

شکل ۴-۳۳. نمودار مقایسه‌ی تغییرات دمای گذار برحسب اندازه برای فیلم‌های نازک فرومغناطیس Fe , Co Ni , Gd و Tb..... ۱۱۰

شکل ۴-۳۴. نمودار مقایسه‌ی تغییرات دمای گذار برحسب اندازه برای نانولوله‌های فرومغناطیس Fe , Co , Ni Gd و Tb..... ۱۱۰

شکل ۴-۳۶. نمودار مقایسه‌ای رابطه‌ی (۲-۴۳) با رابطه‌ی (۳-۱۰۴) و نتایج آزمایشگاهی برای فیلم نازک فرومغناطیس آهن که در آن دمای گذار برحسب اندازه رسم شده است.....۱۱۴

شکل ۴-۳۷. نمودار مقایسه‌ای رابطه‌ی با رابطه‌ی و نتایج آزمایشگاهی برای فیلم نازک فرومغناطیس نیکل که در آن دمای گذار برحسب اندازه رسم شده است.....۱۱۴

شکل ۴-۳۸. نمودار مقایسه‌ای رابطه‌ی با رابطه‌ی و نتایج آزمایشگاهی برای فیلم نازک فرومغناطیس کبالت که در آن دمای گذار برحسب اندازه رسم شده است.....۱۱۴

- شکل ۴-۳۹. نمودار مقایسه‌ای دو رابطه‌ی (۳-۱۰۴) و (۴-۴) برای سه نانوذره‌ی فرومگناطیس کبالت، نیکل و آهن. ۱۱۷.....
- شکل ۴-۴۰. نمودار مقایسه‌ای دمای کوری برحسب عدد اتمی n برای مقادیر مختلف فاکتور شکل در نانوذره‌ی کبالت. ۱۱۹.....
- شکل ۴-۴۱. نمودار مقایسه‌ای دمای کوری برحسب عدد اتمی n برای مقادیر مختلف فاکتور شکل در نانوذره‌ی آهن. ۱۱۹.....
- شکل ۴-۴۲. نمودار مقایسه‌ای دمای کوری برحسب عدد اتمی n برای مقادیر مختلف فاکتور شکل در نانوذره‌ی نیکل. ۱۱۹.....
- شکل ۴-۴۳. نمودار مقایسه‌ای دمای کوری برحسب عدد اتمی n برای مقادیر مختلف فاکتور شکل در نانوذره‌ی گادولیم. ۱۱۹.....
- شکل ۴-۴۴. نمودار مقایسه‌ای دمای کوری برحسب عدد اتمی n برای مقادیر مختلف فاکتور شکل در نانوذره‌ی تریپیم. ۱۲۰.....
- شکل ۴-۴۵. نمودار دما برحسب عدد اتمی برای نانوذرات مکعبی شکل آهن، نیکل، کبالت، گادولیم و تریپیم. ۱۲۰.....
- شکل ۴-۴۶. نمودار دما برحسب اندازه برای نانوذره و نانولوله آنتی فرومگناطیس CuO (رابطه‌ی ۳-۱۰۵) و مقایسه‌ی آن با نتایج آزمایشگاهی. ۱۲۲.....
- شکل ۴-۴۷. نمودار دما برحسب اندازه برای فیلم نازک آنتی فرومگناطیس NiO (رابطه‌ی ۳-۱۰۵) و مقایسه‌ی آن با نتایج آزمایشگاهی. ۱۲۴.....
- شکل ۴-۴۸. نمودار دما برحسب اندازه برای فیلم نازک آنتی فرومگناطیس HO (رابطه‌ی ۳-۱۰۵) و مقایسه‌ی آن با نتایج آزمایشگاهی. ۱۲۴.....

- شکل ۴-۴۹. نمودار دما برحسب اندازه برای فیلم نازک آنتی فرومغناطیس CoO (رابطه‌ی (۳-۱۰۵)) و مقایسه‌ی آن با نتایج آزمایشگاهی.....۱۲۵
- شکل ۴-۵۰. رسم تابع دمای ذوب برحسب اندازه برای اشکال مختلف نانوذره‌ی پلاتینیم، (رابطه‌ی (۳-۱۳۱)).....۱۲۹
- شکل ۴-۵۱. رسم تابع دمای ذوب برحسب اندازه برای اشکال مختلف نانوذره‌ی پالادیم، (رابطه‌ی (۳-۱۳۱)).....۱۲۹
- شکل ۴-۵۲. رسم تابع دمای ذوب برحسب اندازه برای اشکال مختلف نانوذره‌ی طلا، (رابطه‌ی (۳-۱۳۱)).....۱۲۹
- شکل ۴-۵۳. مقایسه‌ی تغییرات دمای ذوب برحسب اندازه برای حالت چهاروجهی نانوذرات پلاتینیم، پالادیم و طلا.....۱۲۹
- شکل ۴-۵۴. نمودار تغییرات دمای ذوب برحسب اندازه برای فیلم نازک آلومینیم و مقایسه‌ی آن با نتایج آزمایشگاهی.....۱۳۲
- شکل ۴-۵۵. نمودار تغییرات دمای ذوب برحسب اندازه برای نانوذره و نانولوله طلا و مقایسه‌ی آن با نتایج آزمایشگاهی.....۱۳۲