به نام خدا

ساخت ابر رسانای پایه ایتریوم

مولف :

راحله حاجیلو

انتشارات ارسطو

(چاپ و نشر ایران)

۱۴۰۱

نام کتاب : ساخت ابر رسانای پایه ایتریوم
مولف : راحله حاجیلو
ناشر : ارسطو (سامانه اطلاع رسانی چاپ و نشر ایران)
صفحه آرایی، تنظیم و طرح جلد : پروانه مهاجر
تیراژ : ۱۰۰۰ جلد
نوبت چاپ : اول – ۱۴۰۱
چاپ : مدیران
قیمت : ۱۶۰۰۰۰ تومان
فروش نسخه الکترونیکی - کتاب‌رسان :
https://chaponashr.ir/ketabresan
شابک : ۰-۰۰۵-۳۳۹-۶۲۲-۹۷۸
تلفن مرکز پخش : ۰۹۱۲۰۲۳۹۲۵۵
www. chaponashr. ir

با سپاس از سه وجود مقدس:

آنان که ناتوان شدند تا ما به توانایی برسیم...

و عاشقانه سوختند تا گرمابخش وجود ما و روشنگر را همان باشند...

پدرم ، مشفق مهربانی ، بردبار و حامیم.

مادرم مقدس ترین واژه ها در لغت نامه دلم روحش شاد...

استاد فرزانه و فرهیخته ام که آموخت مرا تا بیاموزم.

سپاسگزاری

سپاس یکتای بی همتا، که تفکر را درجهت کسب دانش ومعرفت به بشر ارزانی داشت وعشق را همراه با روح آدمی در کالبدش دمید، عشقی که اگر با هر کاری همراه شود نتیجه آن از کیفیت ناب نیز فراتر میرود.

لذا برخود لازم میدانم از استاد راهنمای فرهیخته ام جناب آقای پروفسور حسن صدقی که درکمال سعه صدر، باحسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی دراین عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی اینجانب را برعهده گرفتند از درگاه خداوند بزرگ شاکرم که افتخار شاگردی ایشان را دارم؛ صمیمانه تقدیر و تشکرنموده، و توفیق و موفقیت روز افزون آن جناب را از ایزدمنان آرزومندم

پیشگفتار

در کار تحقیقاتی این اثر اثرات جانشانی یونهای مغناطیسی ساماریوم، نیوبیوم وایربیوم به جای ایتریم با اکسید مس معمولی و جایگزینی این عناصر با نانو اکسید مس به جای اکسید مس معمولی برروی نمونه‌های ابررسانایی $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$، $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$، $Y_{1-x}Nb_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ و $Y_{1-x}Er_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با مقادیرآلایش و ۰/۰۵ و ۰/۰۲، ۰/۰۱ ۰/۰۰ = x مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه‌های ابررسانا به روش معمولی واکنش حالت جامد تهیه شدند. بررسی‌ها شامل مطالعات الگوهای پراش اشعه X، خواص الکتریکی نمونه‌ها ، ساختار بلوری، خط برگشت ناپذیر ، چگالی جریان بحرانی ، نیروی میخکوبی شار و SEM مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مغناطیس شدگی نمونه ها به صورت تابعی از دما (M-T) و حلقه های هیسترزیس (M-H) را در دمای ۱۰-۶۰ درجه کلوین اندازه گیری کردیم. نتایج حاصل از الگوهای پراش اشعه X موید جانشانی کامل یون مغناطیسی ساماریوم، نیوبیوم و ایربیوم در ساختار ترکیب $YBCO$ با اکسید مس و نانو اکسید مس است. محاسبات مقاومت الکتریکی و مشتق دمایی نمونه ها نشان می‌دهد که با جایگزینی نانو اکسید مس به جای اکسید مس معمولی دمای بحرانی نمونه ها در ساماریوم، نیوبیوم با درصد وزنی x= ۰/۰۱ و ایربیوم با درصد وزنی x= ۰/۰۵ از نمونه خالص بالاتر می شود. همچنین در نمونه های ساماریوم و ایربیوم با درصد وزنی x= ۰/۰۵ گذار های ابررسانایی دو فازی می افتد. در تمام نمونه ها ، توزیع دانه ها همگن هستند.

مقدمه

ابررسانا به معنی فوق‌رسانا می‌باشد و در واقع این واژه در مورد رسانایی فوق العاده بالا به کار می‌رود و اجسامی که دارای این خاصیت باشند، اجسام ابررسانا نامیده می‌شوند. ابررسانایی پدیده‌ای است که در بعضی از مواد در دماهای پایین اتفاق می‌افتد. در این حالت مقاومت الکتریکی در این مواد به صفر می‌رسد. مقاومت الکتریکی رساناهای فلزی معمولی، مثل مس و نقره، با کاهش دما کم می‌شود، با این حال در اثر وجود ناخالصی در این رساناها، حتی در دمای صفر مطلق نیز، مقاومت الکتریکی آنها صفر نخواهد بود. اما مقاومت الکتریکی یک ابررسانا، با کاهش دمای آن به زیر دمای مشخصی، که دمای بحرانی(T_c) نامیده می شود، به صفر خواهد رسید. خاصیت ابررسانایی در مواد مختلف، شامل عناصر ساده همانند آلومینیوم و قلع، آلیاژهای فلزی مختلف و بعضی از نیمه رساناها که به آنها ناخالصی زیادی افزوده شده است، رخ می‌دهد. لیکن این خاصیت در فلزات نجیب، مثل طلا و نقره، و در فلزات فرومغناطیسی به ندرت اتفاق می‌افتد و یا در دماهای فوق‌العاده پایین رخ می‌دهد. بعضی از خواص فیزیکی مواد ابررسانا با یکدیگر متفاوت است از جمله‌ی این خواص، ظرفیت گرمایی و دمای بحرانی است. از طرفی خواص دیگری نیز وجود دارد که مستقل از نوع ماده ی به کار رفته می‌باشد .برای مثال همه‌ی ابررساناها در غیاب میدان مغناطیسی، دقیقاً دارای مقاومت الکتریکی صفر هستند. ابررساناها در حالت کلی به دو دسته ابررساناهای دمای پایین (نوع I) وابررساناهای دمای بالا (نوع Π) تقسیم بندی می شوند. ابررساناهای نوع I را که دمای بحرانی پایین (کمتراز ۱۰ درجه کلوین) دارند، موادی هستندکه جنس آنها از فلزاتی از قبیل آلومینیوم، ایندیم،... می باشد. ابررساناهای نوع Π دارای دمای بحرانی بالا می باشد. ابررساناهای دمای پایین امروزه در ساخت آهنرباهای ویژه، طیف سنجهای رزونانسی هسته، رزونانس مغناطیسی برای مقاصد تشخیص طبی، شتاب دهنده ذرات، ترنهای سریع مغناطیسی وانواع ابزارهای رسانایی الکترونیکی بکار می روند. از دیگر

کاربردهای آنها می توان به دستگاه‌های عکسبرداری تشدید مغناطیسی هسته و قطارهای جدیدی که توسط نیروهای مغناطیسی در هوا معلق هستند و با سرعت بالای۴۰۰ کیلومتر بر ساعت حرکت می کنند، اشاره کرد. اما برای اینکه ابررساناهای دمای بالا در کاربردهای میدان مغناطیسی در دمای بالا رقابت کنند هنوز زمان لازم دارد، علت این امر به دشواری تولید انبوه با کیفیت بالای این نوع از ابررساناهای مربوط می شود. اگر چه در حال حاضر، بازار ابررساناهای دمای بالا رونق کمی دارد، گمان می رود که در خلال دو دهه آینده کاربرد این نوع از ابررساناها فراگیر و پر رونق می شود. در بین ابررساناهای دمای بالا، ابررساناهای پایه ایتریم با توجه به دمای بالای گذارشان جایگاه ویژه ای دارند. روشهای مختلفی برای ساخت ابررساناهای دمای بالا وجود دارد. روش حالت جامد یکی از پر کاربردترین روش، در ساخت اینگونه از ابررساناها می باشد. در این پژوهش طراحی مغناطیسی و الکتریکی ابررساناهای مورد تحقیق با اندازه گیریهای مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱. فصل اول : مقدمه ای بر پدیده ابررسانایی ۲۷

۱-۱. مقدمه ۲۷

۱-۲. مقاومت الکتریکی صفر ۳۰

۱-۳. میدان بحرانی ۳۲

۱-۴. دمای بحرانی ۳۲

۱-۵. جریان بحرانی ۳۴

۱-۶. رفتار مغناطیسی یک ابررسانا ۳۵

۱-۷. ابررساناهای نوع I و II ۳۷

۱-۸. کوانتش شار ۴۱

۱-۸-۱. تابع موج حالت ابررسانایی ۴۱

۱-۸-۲. کوانتش شار در یک حلقه ابررسانا ۴۲

۱-۹. ترمودینامیک ابررسانایی ۴۵

۲. فصل دوم : نظریه های ابررسانایی ۴۹

۲-۱. مقدمه ۴۹

۲-۲. نظریه لاندون ۴۹

۲-۳. نظریه BCS (اندرکنش الکترون با شبکه) ۵۳

۲-۴. نظریه گینزبرگ- لاندوا ۵۵

۲-۴-۱. گذارهای فاز مرتبه دوم (نظریه لاندوا) ۵۶

۲-۴-۲. معادلات گینزبرگ-لاندوا..... ۵۷
۲-۴-۳. نتایج معادلات گینزبرگ-لاندوا..... ۵۸
۲-۵. فرمولبندی ابررساناهای نوع I و II ۶۱
۲-۶. گردابه منزوی..... ۶۴
۲-۷. اثر جوزفسون ۶۸
۲-۷-۱. تونل زنی در ساختارNIN:فلز -عایق-فلز..... ۶۸
۲-۷-۲. تونل زنی در ساختار NIS: فلز معمولی- عایق- ابررسانا..... ۶۹
۲-۷-۳. تونل زنی در ساختارSIS: ابررسانا- عایق –ابررسانا ۷۰
۲-۸. رفتار مغناطیسی ابررساناهای نوعI وII..... ۷۵
۲-۸-۱. حالت میانی در ابررساناهای نوعI ۷۵
۲-۸-۲. حالت مخلوط در ابررساناهای نوع **II** ۷۷
۲-۹. گردابیها و میخکوبشدگی شار در ابررساناهای نوع **II** ۸۴
۲-۹-۱. حالت گردابی و میدانهای بحرانی ۸۴
۲-۹-۲. جریان خزش و جریان شار ۸۶
۲-۹-۳. میخکوبی شار (Fp)..... ۸۶
۲-۹-۴. مراکز میخکوبی..... ۸۷
۳. فصل سوم : ساختارهای ابررساناهای دما بالای بالک وسیستمهای آنالیز و اندازه گیری ۹۱
۳-۱. مقدمه ۹۱
۳-۲. ساختار کریستالی ابررساناهای دمای بالا ۹۱
۳-۳. ساختار لایهای و ناهمسانگردی..... ۹۳

۳-۴. معرفی و نامگذاری ترکیب YBCO ۹۶
۳-۵. ساختار پروسکیت ۹۸
۳-۵-۱. ساختار تتراگونال کریستال $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ۹۹
۳-۵-۲. ساختار اورتورمبیک ۱۰۳
۳-۶. پراش پرتو X (XRD) ۱۰۶
۳-۷. ساختار برخی از ابزار ابررسانایی ۱۱۰
۳-۸ نحوه ی اندازهگیری مقاومت الکتریکی ابررساناهای دمای بالا ۱۱۲
۴. فصل چهارم : روشهای ساخت ابررساناهای کپه ای پایه ایتریم ۱۲۱
۴-۱. مقدمه ۱۲۱
۴-۲. روش ساخت ابررساناهای دمای بالای سرامیکی ۱۲۲
۴-۲-۱. ساخت نمونههای YBCO به روش واکنش حالت جامد ۱۲۵
۴-۲-۲. روش محلول شیمیایی ۱۲۷
۴-۲-۳. روش هم روسوبی ۱۲۷
۴-۲-۴. روش خشک شدن سرد ۱۲۸
۴-۲-۵. روش خشک سل-ژل ۱۲۹
۴-۲-۶. روش ذوب ۱۲۹
۴-۳. ابررساناهای خانواده پایه ایتریم ۱۳۰
۴-۴. ساخت نمونه های با پایه ایتریم به روش حالت جامد ۱۳۰
۴-۴-۱. توزین ومخلوط شیمیایی پودرهای اولیه ۱۳۲
۴-۴-۲. مرحله تکلیس یا آهکی شدن: ۱۳۴
۴-۴-۳. مرحله کلوخه سازی ۱۳۵
۵. فصل پنجم : نتیجه گیری و بحث ۱۳۹

۵-۱. مقدمه ۱۳۹
۵-۲. مروری بر کارهای قبلی محققین در ابررساناهای پایه ایتریم ۱۴۰
۵-۳. نتایج اندازه گیری طیف XRD..... ۱۴۱
۵-۴. نتایج اندازه گیری مقاومت الکتریکی نمونه ها ۱۷۰
۵-۵. نتایج اندازه گیری تغییرات مغناطیدگی و چگالی جریان بحرانی و نیروی میخکوبی شار ۱۸۹
۵-۶. نتایج SEM ۲۳۴
۵-۷. جمع بندی نتایج ۲۴۴
منابع و مراجع ۲۴۹
پیوست ها ۲۵۵
پیوست (۱) ۲۵۵
پیوست (۲) ۲۶۳
پیوست(۳) ۲۶۵

فهرست جدول ها

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱ : جرم مولی ترکیبات $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ ۱۳۳
جدول ۴-۲ :مقادیر ترکیبات مورد نیاز برای ساخت قرص۱۰ گرمی از ترکیب اسمی $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ۱۳۳
جدول ۴-۳ : مقادیر ترکیبات مورد نیاز برای ساخت قرص ۱۰ گرمی از ترکیب اسمی $Y_{1-x}Nb_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ۱۳۳
جدول ۴-۴ : مقادیر ترکیبات مورد نیاز برای ساخت قرص ۱۰ گرمی از ترکیب اسمی $Y_{1-x}Er_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ۱۳۴
جدول ۵-۱ : نتایج حاصله برای پارامترهای شبکه، حاملهای بار، اکسیژن نمونه ها، میزان اورتورومبیکی نمونه ها با جایگزینی ساماریوم به جای ایتریم با اکسیدمس ۱۴۸
جدول ۵-۲ : نتایج حاصله برای پارامترهای شبکه، حاملهای بار، اکسیژن نمونه ها، میزان اورتورومبیکی نمونه ها با جایگزینی ساماریوم به جای ایتریم با اکسیدمس ۷.۶۸۷۱۰.۰۷۶..... ۱۴۸
جدول ۵-۳ : نتایج حاصله برای پارامترهای شبکه، حاملهای بار، اکسیژن نمونه ها، میزان اورتورومبیکی نمونه ها با جایگزینی نیوبیوم به جای ایتریم با اکسیدمس ۱۴۹
جدول ۵-۴ : نتایج حاصله برای پارامترهای شبکه، حاملهای بار، اکسیژن نمونه ها، میزان اورتورومبیکی نمونه ها با جایگزینی نیوبیوم به جای ایتریم بانانو اکسیدمس ۱۴۹
جدول ۵-۵ : نتایج حاصله برای پارامترهای شبکه، حاملهای بار، اکسیژن نمونه ها، میزان اورتورومبیکی نمونه ها با جایگزینی ایربیوم به جای ایتریم با اکسیدمس ۱۵۰
جدول ۵-۶ : نتایج حاصله برای پارامترهای شبکه، حاملهای بار، اکسیژن نمونه ها، میزان اورتورومبیکی نمونه ها با جایگزینی ایربیوم به جای ایتریم بانانو اکسیدمس..... ۱۵۰

جدول ۵-۷ : نتایج حاصله از مکان اصلی θ۲ مربوط به پیک های اصلی، در صد شدت پیک ها و مقادیر hkl ۱۵۱
جدول ۵-۸ : نتایج حاصله برای دمای بحرانی، پهنای گذار، و اندازه دانه ها با جایگزینی ساماریوم به جای ایتریم بااکسید مس معمولی ۱۸۷
جدول ۵-۹ : نتایج حاصله برای دمای بحرانی، پهنای گذار، و اندازه دانه ها با جایگزینی ساماریوم به جای ایتریم با نانواکسید مس ۱۸۷
جدول ۵-۱۰ : نتایج حاصله برای دمای بحرانی، پهنای گذار، و اندازه دانه ها با جایگزینی نیوبیوم به جای ایتریم با اکسید مس معمولی ۱۸۸
جدول ۵-۱۱ : نتایج حاصله برای دمای بحرانی، پهنای گذار، و اندازه دانه ها با جایگزینی نیوبیوم به جای ایتریم با نانو اکسید مس ۱۸۸
جدول ۵-۱۲ : نتایج حاصله برای دمای بحرانی، پهنای گذار، و اندازه دانه ها با جایگزینی ایربیوم به جای ایتریم با نانو اکسید مس ۱۸۹
جدول ۵-۱۳ : نتایج حاصله برای دمای بحرانی، پهنای گذار، و اندازه دانه ها با جایگزینی ایربیوم به جای ایتریم با نانو اکسید مس ۱۸۹
جدول ۵-۱۴ : نتایج حاصله برای ماکزیمم دمای برگشت ناپذیر ، چگالی جریان بحرانی و نیروی پینینگ برای عناصر با اکسید مس ۲۳۳
جدول ۵-۱۵ : نتایج حاصله برای ماکزیمم دمای برگشت ناپذیر ، چگالی جریان بحرانی و نیروی پینینگ برای عناصر با جایگزینی نانو اکسید مس ۲۳۴

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ : مقاومت الکتریکی جیوه برحسب دما ۳۰
شکل ۱-۲ : منحنی آستانه میدان بحرانی برحسب دما برای چند ا بررساناهای متعارف ۳۳
شکل ۱-۳ : گذار به حالت ابررسانایی برای فلز قلع ۳۳
شکل ۱-۴ : دفع شار مغناطیسی در رسانای کامل(a,b) و ابررسانا(c,d) ۳۶
شکل ۱-۵ : یک مغناطیس استوانهای روی یک قطعه ابررسانا که توسط نیتروژن خنک شده شناور است ۳۷
شکل ۱-۶ : تغییرات مغناطش برحسب میدان اعمال شده در ابررساناهای نوع I ۳۸
شکل ۱-۷ : میدان های بحرانی بالا و پایین برای ابررسانای نوع II ۳۹
شکل ۱-۸ : تغییرات شارمغناطش بر حسب میدان اعمال شده در ابررساناهای نوع II ۴۰
شکل ۱-۹ : سطح بحرانی در فضای سه بعدی از دما، میدان مغناطیسی و جریان در ابررساناهای نوع II ۴۱
شکل ۱-۱۰ : شار مغناطیسی در یک حلقه ابررسانا ۴۴
شکل ۲-۱: نفوذ میدان به صورت نمایی به داخل ابررسانا ۵۲
شکل ۲-۲ : تغییرات انرژی آزاد هلمولتز برای دو دمای مختلف: $T < T_{CM}, T > T_{CM}$ ۵۷
شکل ۲-۳ : دفع یک میدان مغناطیسی ضعیف خارجی از داخل ابررسانای نوع I ۶۲
شکل ۲-۴ : سطح مقطع یک گردابه منزوی در ابررسانای نوع II ۶۶

شکل ۲-۵ : الف- ترازهای فرمی قبل از اعمال پتانسیل ب- ترازهای فرمی بعد از اعمال پتانسیل ۶۸
شکل ۲-۶ : دیاگرام ترازهای انرژی درNIS ۶۹
شکل ۲-۷ : دیاگرام ترازهای انرژی در SIS..... ۷۰
شکل ۲-۸ : همزیستی نواحی نرمال و ابررسانا در یک استوانه ابررسانای نوع I..... ۷۷
شکل ۲-۹ : نمایی شماتیک از گرد شارها ونواحی استوانه ای نرمال ۷۹
شکل ۲-۱۰ : حالت آمیخته (فاز شابیکوف) ابررساناهای نوع**Π** ۷۹
شکل ۲-۱۱ : (الف) تغییرات میدان میانگین **I** (ب) تغییرات مغناطیدگی ابررسانای نوع**Π** ۸۰
شکل ۲-۱۲ : (الف) شبکه مغزیها وگردشاره های مربوطه (ب) تغییرات چگالی ابرالکترونها با فاصله (پ) تغییرات چگالی شار ۸۲
شکل ۲-۱۳ : الف) منحنی مغناطش در مقابل میدان نشانگر شار اکسیدها می باشد (که به نمونه در میدان Hc_1 و گردابیهای همپوشانی در میدان Hc_2 نفوذ می کنند). ب) فلوکسیدهایی که هسته عادی را نشان می دهند و دارای ابرجریان در حال گردش هستند ۸۵
شکل ۲-۱۴ : نمایی از مراکز میخکوبی مصنوعی 1D ، 2D و 3D ۸۸
شکل ۲-۱۵ : نمودار فاز ابررسانای نوع II خط برگشت ناپذیر واقع در داخل را نشان می دهد ۸۹
شکل ۳-۱ : صفحات Cuo_2 برای ابررساناهای کوپرات La_2CuO_4 ..... ۹۲
شکل ۳-۲ : ساختارهای بلوری پروسکیت..... ۹۷
شکل ۳-۳ : ساختار لایهای AX_3 ..... ۹۹
شکل ۳-۴ : مقایسه شکلهای (الف) تتراگونال و (ب) ارتورمبیک ترکیب $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ۱۰۰
شکل ۳-۵: طرح نمایشی از لایههای $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ به همراه نمایش فاصله بین لایهها ۱۰۱

شکل ۳-۶ : ردیفی از هرم، صفحات مربعی و معکوسهای آنها در ماده $YBa_2Cu_3O_7$ ۱۰۳
شکل ۳-۷ : (a) شماتیکی از پراش اشعه ایکس (b) تداخل امواج فرودی و بازتابی از بلور ۱۰۷
شکل ۳-۸ : نمایی از میکروسکوپ الکترونی روبشی ۱۱۲
شکل ۳-۹ : نمایی از نمونه مکعبی بریده شده برای اندازهگیری مقاومت الکتریکی ۱۱۴
شکل ۳-۱۰ : آرایش ۲ و ۴ میلهای برای اندازهگیری مقاومت الکتریکی ۱۱۴
شکل ۳-۱۱: دیاگرام نمونه ابررسانای مورد مطالعه ۱۱۸
شکل ۴-۱ : منحنی تغیرات دمای در مرحله تکلیس وکلوخه سازی ۱۳۶
شکل ۵-۱ : طیف پراش ایکس نمونه ایبکو با اکسید مس معمولی با فرمول $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ ۱۵۲
شکل ۵-۲ : طیف پراش ایکس نمونه ایبکو با نانواکسید مس با فرمول $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ ۱۵۳
شکل ۵-۳ : طیف پراش ایکس نمونه یون جایگزین شده ساماریوم به جای ایتریم بادرصد وزنی ۰/۰۱ با فرمول $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ۱۵۴
شکل ۵-۴ : طیف پراش ایکس نمونه یون جایگزین شده ساماریوم به جای ایتریم با در صد وزنی ۰/۰۲ با فرمول $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ۱۵۵
شکل ۵-۵ : طیف پراش ایکس نمونه یون جایگزین شده ساماریوم به جای ایتریم با درصد وزنی ۰/۰۵ با فرمول $Y_{1-X}Sm_XBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ۱۵۵
شکل ۵-۶ : طیف پراش ایکس نمونه یون جایگزین شده ساماریوم به جای ایتریم با درصد وزنی ۰/۰۱ با فرمول $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس..... ۱۵۷
شکل ۵-۷ : طیف پراش ایکس نمونه یون جایگزین شده ساماریوم به جای ایتریم با درصد وزنی ۰/۰۲ با فرمول $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس..... ۱۵۷
شکل ۵-۸ : طیف پراش ایکس نمونه یون جایگزین شده ساماریوم به جای ایتریم با درصد وزنی ۰/۰۵ با فرمول $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس..... ۱۵۸

شکل ۵-۹ : طیف پراش ایکس نمونه یون جایگزین شده نیوبیوم به جای ایتریم با درصد وزنی ۰/۰۱ با فرمول $Y_{1-x}Nb_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس ۱۵۹
شکل ۵-۱۰ :طیف پراش ایکس نمونه یون جایگزین شده نیوبیوم به جای ایتریم با درصد وزنی ۰/۰۲ با فرمول $Y_{1-x}Nb_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس ۱۶۰
شکل ۵-۱۱ : طیف پراش ایکس نمونه یون جایگزین شده نیوبیوم به جای ایتریم با درصد وزنی ۰/۰۵ با فرمول $Y_{1-x}Nb_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس ۱۶۰
شکل ۵-۱۲ :طیف پراش ایکس نمونه یون جایگزین شده نیوبیوم به جای ایتریم با درصد وزنی ۰/۰۱ با فرمول $Y_{1-x}Nb_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانواکسید مس.....۱۶۲
شکل ۵-۱۳ : طیف پراش ایکس نمونه یون جایگزین شده نیوبیوم به جای ایتریم با درصد وزنی ۰/۰۲ با فرمول $Y_{1-x}Nb_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانواکسید مس.....۱۶۲
شکل ۵-۱۴ : طیف پراش ایکس نمونه یون جایگزین شده نیوبیوم به جای ایتریم با درصد وزنی ۰/۰۵ با فرمول $Y_{1-x}Nb_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانواکسید مس.....۱۶۳
شکل ۵-۱۵ : طیف پراش ایکس نمونه یون جایگزین شده ایربیوم به جای ایتریم با درصد وزنی ۰/۰۱ با فرمول $Y_{1-x}Er_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانواکسید مس.....۱۶۴
شکل ۵-۱۶ : طیف پراش ایکس نمونه یون جایگزین شده ایربیوم به جای ایتریم با درصد وزنی ۰/۰۲ با فرمول $Y_{1-x}Er_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس.....۱۶۵
شکل ۵-۱۷ : طیف پراش ایکس نمونه یون جایگزین شده ایربیوم به جای ایتریم با درصد وزنی ۰/۰۵ با فرمول $Y_{1-x}Er_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس ۱۶۵
شکل ۵-۱۸ : طیف پراش ایکس نمونه یون جایگزین شده ایربیوم به جای ایتریم با درصد وزنی ۰/۰۱ با فرمول $Y_{1-x}Er_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس.....۱۶۷
شکل ۵-۱۹ : طیف پراش ایکس نمونه یون جایگزین شده ایربیوم به جای ایتریم با درصد وزنی ۰/۰۲ با فرمول $Y_{1-x}Er_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس.....۱۶۷
شکل ۵-۲۰ : طیف پراش ایکس نمونه یون جایگزین شده ایربیوم به جای ایتریم با درصد وزنی ۰/۰۵ با فرمول $Y_{1-x}Er_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس.....۱۶۸
شکل ۵-۲۱ : نمودار $(\rho-T)$برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ ۱۷۱

شکل ۵-۲۲ : نمودار مشتق دمایی مقاومت برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ ۱۷۱
شکل ۵-۲۳ : نمودار $(\rho-T)$ برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس ۱۷۳
شکل ۵-۲۴ : نمودار مشتق دمایی مقاومت برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ برای نانو اکسید مس..... ۱۷۳
شکل ۵-۲۵ : نمودار $(\rho-T)$برای ترکیب $Y_1Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس ۱۷۶
شکل ۵-۲۶ : نمودار مشتق دمایی مقاومت برای ترکیب $Y_1Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس..... ۱۷۷
شکل ۵-۲۷ : نمودار $(\rho-T)$برای ترکیب $Y_1Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس .. ۱۷۹
شکل ۵-۲۸ : نمودار مشتق دمایی مقاومت برای ترکیب $Y_1Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس ۱۷۹
شکل ۵-۲۹ : نمودار $(\rho-T)$ برای ترکیب $Y_{1-x}Nb_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس .. ۱۸۰
شکل ۵-۳۰ : نمودار مشتق دمایی مقاومت برای ترکیب $Y_{1-x}Nb_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس..... ۱۸۱
شکل ۵-۳۱ : نمودار $(\rho-T)$ برای ترکیب $Y_{1-x}Nb_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانواکسید مس ۱۸۲
شکل ۵-۳۲ : نمودار مشتق دما برای ترکیب $Y_{1-x}Nb_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس ۱۸۲
شکل ۵-۳۳ : نمودار $(\rho-T)$برای ترکیب $Y_{1-x}Er_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس.... ۱۸۳
شکل ۵-۳۴ : نمودار مشتق دمایی مقاومت برای ترکیب $Y_{1-x}Er_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس..... ۱۸۴
شکل ۵-۳۵ : نمودار $(\rho-T)$برای ترکیب $Y_{1-x}Er_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس .. ۱۸۵
شکل ۵-۳۶ : نمودار مشتق دمایی مقاومت برای ترکیب $Y_{1-x}Er_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس ۱۸۵
شکل ۵-۳۷ : مقایسه رفتار سرد شدن نمونه در میدان (FC) و درغیاب میدان (ZFC) بر روی یک ابررسانای نوع اول و رسانای کامل ۱۹۱

شکل ۵-۳۸ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس در میدان kG ۱۰ ..... ۱۹۲
شکل ۵-۳۹ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس در میدان kG ۲۰ ..... ۱۹۳
شکل ۵-۴۰ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس در میدانkG ۳۰ ..... ۱۹۳
شکل ۵-۴۱ : نمودار **M–T** برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس در میدان **kG ۴۰** ۱۹۴
شکل ۵-۴۲ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس در میدان kG ۵۰ ..... ۱۹۴
شکل ۵-۴۳ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس در میدان kG ۶۰ ..... ۱۹۵
شکل ۵-۴۴ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس در میدان kG ۷۰ ..... ۱۹۵
شکل ۵-۴۵: نمودار M–T برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس در میدان ۱۰ kG ۱۹۶
شکل ۵-۴۶: نمودار M–T برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس در میدان ۲۰ kG ۱۹۷
شکل ۵-۴۷ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس در میدان ۳۰ kG ۱۹۷
شکل ۵-۴۸ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس در میدان ۴۰ kG ۱۹۸
شکل ۵-۴۹ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس در میدان ۵۰ kG ۱۹۸

شکل ۵-۵۰ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس در میدان ۶۰ kG ۱۹۹
شکل ۵-۵۱ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس در میدان ۱۰ kG ۲۰۰
شکل ۵-۵۲ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس در میدان ۲۰ kG ۲۰۰
شکل ۵-۵۳ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس در میدان ۳۰kG ۲۰۱
شکل ۵-۵۴ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس در میدان ۴۰ kG ۲۰۱
شکل ۵-۵۵ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس در میدان ۵۰ kG ۲۰۲
شکل ۵-۵۶ : نمودار $M-T$ برای ترکیب $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس در میدان kG ۶۰ ..... ۲۰۲
شکل ۵-۵۷ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانواکسید مس در میدان ۱۰ kG ۲۰۳
شکل ۵-۵۸ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانواکسید مس در میدان ۲۰ kG ۲۰۴
شکل ۵-۵۹ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانواکسید مس در میدان۳۰ kG ۲۰۴
شکل ۵-۶۰ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانواکسید مس در میدان ۴۰ kG ۲۰۵
شکل ۵-۶۱ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانواکسید مس در میدان ۵۰ kG ۲۰۵

شکل ۵-۶۲ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانواکسید مس در میدان kG ۶۰ ..... ۲۰۶
شکل ۵-۶۳ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_{1-x}Er_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانواکسید مس در میدان kG ۱۰ ..... ۲۰۷
شکل ۵-۶۴ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_{1-x}Er_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانواکسید مس در میدان kG ۲۰ ..... ۲۰۷
شکل ۵-۶۵ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_{1-x}Er_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانواکسید مس در میدان kG ۳۰ ..... ۲۰۸
شکل ۵-۶۶ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_{1-x}Er_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانواکسید مس در میدان kG ۴۰ ..... ۲۰۸
شکل ۵-۶۷ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_{1-x}Er_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانواکسید مس در میدان kG ۵۰ ..... ۲۰۹
شکل ۵-۶۸ : نمودار M–T برای ترکیب $Y_{1-x}Er_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانواکسید مس در میدان kG ۶۰ ..... ۲۰۹
شکل ۵-۶۹ : نمودارخط برگشت ناپذیر T_{irr} (H) برحسب میدان مغناطیس برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس ۲۱۱
شکل ۵-۷۰ : نمودار Ln (1-Tirr / Tc (0)) برحسب Ln (H) برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس ۲۱۲
شکل ۵-۷۱ : نمودارخط برگشت ناپذیر T_{irr} (H) برحسب میدان مغناطیس برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس ۲۱۳
شکل ۵-۷۲ : نمودار Ln (1-Tirr / Tc (0)) برحسب Ln (H) برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس ۲۱۳
شکل ۵-۷۳ : نمودارخط برگشت ناپذیر T_{irr} (H) برحسب میدان مغناطیس برای ترکیب $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس ۲۱۴

شکل ۵-۷۴ : نمودارخط برگشت ناپذیر(T_{irr} (H برحسب میدان مغناطیس برای ترکیب $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس..... ۲۱۵
شکل ۵-۷۵ : نمودار((0) Tc / (1-Tirr) Ln بر حسب(H) Ln برای ترکیب $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانواکسید مس.....۲۱۶
شکل ۵-۷۶ : نمودارخط برگشت ناپذیر(T_{irr} (H برحسب میدان مغناطیس برای ترکیب $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانواکسید مس.....۲۱۶
شکل ۵-۷۷ : نمودارخط برگشت ناپذیر Tirr (H) برحسب میدان مغناطیس برای ترکیب $Y_{1-x}Er_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانواکسید مس..... ۲۱۷
شکل ۵-۷۸ : نمودار((0) Tc / (1-Tirr) Ln برحسب (H) Ln برای ترکیب $Y_{1-x}Er_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانواکسید مس..... ۲۱۸
شکل ۵-۷۹ : نمودارخط برگشت Tirr (H) برحسب میدان مغناطیس برای تمامی نمونه های انداز ه گیری شده ناپذیر..... ۲۱۹
شکل ۵-۸۰ : نمودار ((0) Tc / (1-Tirr) Ln برحسب (H) Ln برای ترکیب تمامی نمونه های اندازه گیری شده ۲۱۹
شکل ۵-۸۱ : نمودار M-H برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس در میدان kG ۱۰ ..... ۲۲۱
شکل ۵-۸۲ : نمودار M-H برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس در میدان kG ۱۰ ..... ۲۲۱
شکل ۵-۸۳ : نمودار M-H برای ترکیب $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس در میدان ۱۰kG ۲۲۲
شکل ۵-۸۴ : نمودارM-H برای ترکیب $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس در میدان ۱۰ kG ۲۲۲
شکل ۵-۸۵ : نمودارM-H برای ترکیب $Y_{1-x}Nb_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس در میدان ۱۰kG ۲۲۳

شکل ۵-۸۶ : نمودار M-H برای ترکیب $Y_{1-x}Nb_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس در میدان ۱۰ kG ۲۲۳
شکل ۵-۸۷ : نمودار J_c-H برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس در میدان ۱۰ kG ۲۲۵
شکل ۵-۸۸ : نمودار J_c-H برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانواکسید مس در میدان ۱۰kG ۲۲۵
شکل ۵-۸۹ : نمودار J_c-H برای ترکیب $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ اکسید مس در میدان ۱۰kG ۲۲۶
شکل ۵-۹۰ : نمودار J_c-H برای ترکیب $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس در میدان ۱۰ kG ۲۲۶
شکل ۵-۹۱ : نمودار J_c-H برای ترکیب $Y_{1-x}Nb_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ اکسید مس در میدان ۱۰ kG ۲۲۷
شکل ۵-۹۲ : نمودار J_c-H برای ترکیب $Y_{1-x}Nb_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$با نانو اکسید مس در میدان۱۰ kG ۲۲۷
شکل ۵-۹۳ : نمودار F_P-H برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس در میدان kG ۱۰ ..... ۲۲۹
شکل ۵-۹۴ : نمودار F_P-H برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$با نانو اکسید مس در میدانkG ۱۰ ..... ۲۳۰
شکل ۵-۹۵ : نمودار F_P-H برای ترکیب $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$با اکسید مس در میدان ۱۰ kG ۲۳۰
شکل ۵-۹۶ : نمودار F_P-H برای ترکیب $Y_{1-x}Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس در میدان۱۰ kG ۲۳۱
شکل ۵-۹۷ : نمودار F_P-H برای ترکیب $Y_{1-x}Nb_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس در میدان ۱۰ kG ۲۳۱

شکل ۵-۹۸ : نمودار F_P-H برای ترکیب $Y_{1-x}Nb_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانواکسید مس در میدان ۱۰ kG ۲۳۲
شکل ۵-۹۹ : تصاویرSEM برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$با اکسید مس ۲۳۵
شکل ۵-۱۰۰ : تصاویرSEM برای ترکیب $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$با نانو اکسید مس ۲۳۶
شکل ۵-۱۰۱ : تصاویرSEM برای ترکیب $Y_1Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس ۲۳۷
شکل ۵-۱۰۲ : تصاویرSEM برای ترکیب $Y_1Sm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس .. ۲۳۸
شکل ۵-۱۰۳ : تصاویرSEM برای ترکیب $Y_1Nb_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس..... ۲۴۰
شکل ۵-۱۰۴ : تصاویرSEM برای ترکیب $Y_1Nb_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس .. ۲۴۱
شکل ۵-۱۰۵ : تصاویرSEM برای ترکیب $Y_1Er_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با اکسید مس ۲۴۲
شکل ۵-۱۰۶ : تصاویر SEM برای ترکیب $Y_1Er_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با نانو اکسید مس ... ۲۴۴