

عنوان پایان نامه :

ابرسیانا

چکیده

ابرسانا ها ، برخی از فلزها ، آلیاژها یا ترکیبهای فلزها هستند که در دماهای پایین نزدیک به صفر مطلق ، مقاومت الکتریکی و نفوذپذیری مغناطیسی خود را از دست میدهند و رسانایی الکتریکی آنها بینهایت زیاد میشود ، محدوده دمایی به ماهیت ماده بستگی دارد ، که از حدود 0.5 تا 18 درجه کلوین است ، خاصیت ابر رسانایی در فلزات قلیایی، فلزهای نجیب و مواد فرو مغناطیس مشاهده نشده است ، بلکه به طور عمده در عنصرهایی که اتم آنها 3 ، 5 یا 7 الکترون در لایه ظرفیت خود دارد و مقاومت الکتریکی آنها در دمای معمولی زیاد است بوجود می آید.

پدیده ابر رسانایی از همان آغاز کشف ، توجه دانشمندان را بخود جلب کرده بود ، اوزن اولین کسی بود که هلیوم را مایع کرد و نخستین بار خواص ابر رسانایی مواد را در چنین دماهای پایینی اندازه گرفت و معلوم داشت که مقاومت الکتریکی جیوه در دمای 4.2 درجه کلوین به شدت محو میشود ، در طول 75 سال اخیر ، فلزات و آلیاژهای دیگر هم به فهرست ابررسانا ها افزوده شدند . ابر رسانایی در دماهای بالا هم امکان پذیر است ، کوپرات با فرمول شیمیایی $YBr_2 Cu_3O_{6.9}$ که در دمای 93 درجه کلوین خواص ابر رسانایی را نشان میدهد . در سال های پایانی دهه 1950 سه فیزیکدان - به نام های دکتر جان باردین، دکتر لئون کوپر و دکتر جان شرایفر - سازوکارهای فیزیکی را که به ابررسانایی منجر می شوند، درک کردند . کار آنها به افتخار این سه دانشمند، تئوری (S.C.B) نام گرفت آنها جایزه نوبل فیزیک در سال 1972 را از آن خود کردند. در اواخر سالهای 1980 ابر رساناها در دماهای بالا نیز کشف شد. ابر رساناهای دمای پایین امروزه در ساخت آهنرباهای ویژه طیف سنجهای رزونانس مغناطیسی هسته ، رزونانس مغناطیسی برای مقاصد تشخیص طبی ، شتاب دهنده ذره ها ، ترنهای سریع مغناطیسی و انواع ابزارهای رسانایی الکترونیکی بکار میرود از دیگر کاربردهای آنها می توان به دستگاه های عکس برداری تشدید مغناطیسی هسته و قطارهای جدیدی که توسط نیروهای مغناطیسی در هوا معلق هستند و با سرعت 400 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 ، این بعلت دشواری در تولید انبوه و با کیفیت بالاست . اگر چه در حال حاضر ، بازار ابررساناهای دمای بالا رونق کمی دارد ، گمان میرود که در خلال دو دهه آینده کاربرد آن فراگیر و پررونق شود .

فصل اول

ابرسانا

از کشف ابرسانایی در سال ۱۹۱۱ میلادی تا سال ۱۹۸۶ ، باور عموم بر آن بود که ابرسانایی فقط می تواند در فلزاتی در دماهای بسیار پایین وجود داشته باشد ، که فقط در دماهای حداکثر ۲۵ درجه بالای صفر مطلق اتفاق می افتاد. با کشف ابرسانایی در دماهای بالاتر در سال ۱۹۸۶ ، در موادی که تقریباً ضد فرو مغناطیسی بودند ، و در اتم های مس و اکسیژن ، فصل جدیدی در علم فیزیک باز کرد. حقیقتاً ، درک ظاهر شدن ابرسانایی در دماهای بالا (حداکثر دمای ۱۶۰ کلوین) یک مساله ی بزرگ برای بحث کردن می باشد. تا آن جا که امروزه بیش از ده هزار محقق روی این موضوع تحقیق و بررسی انجام می دهند . پس از مقدمه ای بر مفاهیم پایه ی فلزات معمولی و مرسوم، دمای پایین، و ابرسانایی، مروری بر نتایج مشاهدات انجام شده در دهه ی گذشته خواهیم داشت ، که نشان می دهند ابرساناهای دمای بالا فلزات عجیبی با خواص غیرعادی بسیار بالای ابرسانایی می باشند. سپس ، پیشرفت های نظری اخیری را شرح خواهیم داد که طبیعت چنین فلزات عجیب را آشکار می سازد، و به شدت این پیشنهاد را که "تعامل مغناطیسی بین تحریکات ذره ی مسطح است که رفتار حالت عادی آن ها را به هم می زند و باعث روی دادن حالت ابرسانایی در دماهای بالا می شود" پشتیبانی و تایید می کنند.

۱-۱-مقدمه:

در سال ۱۹۱۱ ، اوزن هنگام کار کردن در آزمایشگاه دمای پایین خود کشف کرد که در دمای چند درجه بالای صفر مطلق، جریان الکتریسیته می تواند بدون هیچ اتلاف اختلاف پتانسیل در فلز جیوه جریان پیدا کند. او این واقعه ی منحصر به فرد را " ابرسانایی " نامید. هیچ نظریه ای برای توضیح این رخداد در طول پنجاه و شش سال بعد از کشف ارائه نگردید. تا وقتی که در ۱۹۵۷ ، در دانشگاه الینویس ، سه فیزیکدان : دکتر جان باردین، دکتر لئون کوپر و دکتر جان شریفر ، نظریه ی میکروسکوپی خود ارائه کردن که بعداً با نام تئوری (BCS) حروف ابتدایی نام

محققان شناخته شد. سومین رخداد مهم در تاریخ ابرسانایی در سال ۱۹۸۶ اتفاق افتاد، وقتی که گورگ بدنزر و الس مولر، در حال کار کردن در آزمایشگاه IBM نزدیک شهر زوریخ سوئیس، یک کشف مهم دیگر کردند: ابرسانایی در دماهای بالاتر از دماهایی که قبلاً برای ابرسانایی شناخته شده بودند در فلزاتی کاملاً متفاوت از آنچه قبلاً فلز ابرسانا شناخته می‌شود. این کشف باعث ایجاد زمینه‌ی جدیدی در علم فیزیک شد: مطالعه ابرسانایی دمای بالا، یا T_c در این مقاله، که برای غیر متخصصان تنظیم گشته است، این را که ما چقدر در فهم دمای بالا پیشرفت کرده ایم را توضیح خواهیم داد و درباره چشم اندازهای آینده‌ی توسعه‌ی یک نظریه‌ی میکروسکوپی بحث خواهیم کرد. من با مروری بر برخی مفاهیم پایه‌ی نظریه‌ی فلزات شروع می‌کنم؛ برخی اقدامات که منجر به ارائه‌ی نظریه BCS گشت را توضیح می‌دهم؛ و کمی در باره‌ی تئوری BCS بحث خواهیم کرد و آن را توضیح خواهیم داد. سپس مختصراً در باره‌ی پیشرفت‌هایی که به فهم ما از ابرسانایی و ابرسیالی، در جهان ارائه شده است، بحث خواهیم کرد، پیشرفت‌هایی که بوسیله الهام از تئوری BCS بدست آمده اند. که شامل کشف رده‌های زیادی از مواد ابرسیال می‌باشد، از هلیوم ۳ مایع که چند میلی درجه بالاتر از صفر مطلق به حالت ابرسیالی در می‌آید تا ماده‌ی نوترون موجود در پوسته‌ی سیاره‌ی نوترون، که در چند میلیون درجه به حالت ابرسیالی در می‌آید. سپس درباره‌ی تاثیرات کشف مواد ابرسانای دمای بالا بحث خواهیم کرد، و برخی نتایج تجربی کلیدی را جمع بندی خواهیم کرد. سپس یک مدل برای ابرسانایی دمای بالا ارائه خواهیم داد، نزدیک به نظریه‌ی ضد فرومغناطیسی مایع فرمی، که به نظر دارای توانایی ارائه‌ی مقدار زیادی از خواص غیرعادی حالت معمولی مواد ابرسانای سطح بالا می‌باشد. من با یک توضیح تجربی برای خواص جالب توجه حالت عادی ابرساناهای پیش بینی شده و در دست بررسی جمع بندی و نتیجه گیری می‌کنم، که یک رده جالب از مواد را معرفی می‌کند: مواد قابل تطبیق پیچیده. که در آن بازخورد غیرخطی طبیعی، چه مثبت و چه منفی، نقشی حیاتی در تعیین رفتار سیستم باز می‌کنند.

۲-۱ ابرساناهای مرسوم: از کشف تا درک

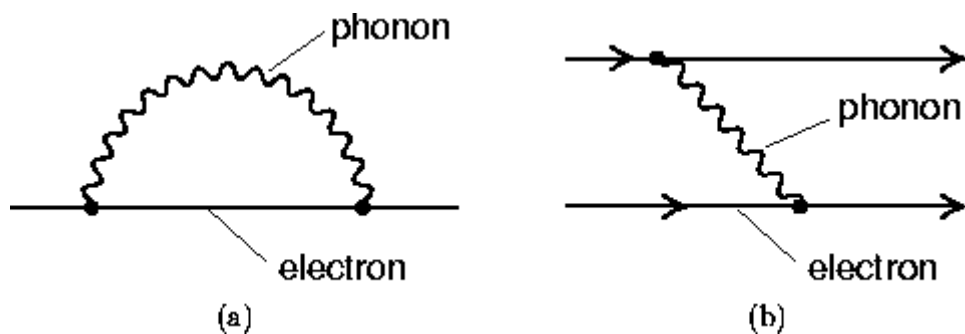
در سخنرانی نوبل خود در سال ۱۹۱۳، اونزگزارش داد که "جیوه در ۴.۲ درجه کلوین به حالت جدیدی وارد می‌شود، حالتی که با توجه به خواص الکتریکی آن، می‌تواند ابرسانایی نام بگیرد. او گزارش داد که این حالت می‌تواند به وسیله‌ی اعمال میدان مغناطیسی به اندازه‌ی کافی بزرگی از بین برود. در حالی که یک جریان القاء شده در یک حلقه بسته ابرسانا به مدت زمان فوق العاده زیادی باقی می‌ماند و از بین نمی‌رود. او این رخداد را به طور عملی با

آغاز یک جریان ابرسانایی در یک سیم پیچ در آزمایشگاه لیدن، و سپس حمل سیم پیچ همراه با سرد کننده ای که آن را سرد نگه می داشت به دانشگاه کمبریج به عموم نشان داد.

این موضوع که ابرسانایی مساله ای به این مشکلی ارائه کرد که ۴۶ سال طول کشید تا حل شود، خیلی شگفت آور می باشد. دلیل اول این می تواند باشد که جامعه ی فیزیک تا حدود بیست سال مبانی علمی لازم برای ارائه ی راه حل برای این مسئله را نداشت: تئوری کوانتوم فلزات معمولی. دوم اینکه، تا سال ۱۹۳۴ هیچ آزمایش اساسی در این زمینه انجام نشد. سوم اینکه، وقتی مبانی عملی لازم بدست آمد، به زودی واضح شد انرژی مشخصه وابسته به تشکیل ابرسانایی بسیار کوچک می باشد، حدود یک میلیونیم انرژی الکترونیکی مشخصه ی حالت عادی. بنابراین، نظریه پردازان توجه شان را به توسعه ی یک تفسیر رویدادی از جریان ابرسانایی جلب کردند. این مسیر را فریتز لیدن رهبری می کرد. کسی که در سال ۱۹۵۳ به نکته ی زیر اشاره کرد: "ابرسانایی یک پدیده کوانتومی درمقیاس ماکروسکوپی می باشد... با جداسازی حالت حداقل انرژی از حالات تحریک شده بوسیله ی وقفه های زمانی یک مشخصه بنیادی می باشد. اجازه بدهید کمی درباره ی مبانی علمی کوانتومی بحث کنیم. الکترون ها در فلز در پتانسیل متناوب تولید شده از نوسان یون ها حول وضعیتشان حرکت می کنند. حرکت یون ها را می توان بوسیله ی مد های جمعی کوانتیزه شده ی آنها، فونون ها، توجیه کرد. سپس در طی توسعه ی نظریه ی کوانتوم، نظریه ی پاولی اصل انفجار وجود دارد، که معنای آن بیانگر مفهوم آن است و آن اینکه - الکترونها به صورت اسپین نیمه کامل ذاتی قرار می گیرند، و در نتیجه هیچ الکترونی نمی تواند طوری قرار بگیرد که عدد کوانتوم آنها با هم یکی باشد. ذراتی که به صورت اسپین نیمه کامل ذاتی قرار می گیرند با نام فرمیون ها شناخته می شوند، به خاطر گرمیداشت کار های فرمی که، همراه با دیاک، نظریه ی آماری رفتار الکترون در دماهای محدود را توسعه دادند، این تئوری با نام Fermi-Diac statistics شناخته می شود. در توضیح فضای اندازه حرکت یک فلز ساده، حالت پایه یک کره در فضای اندازه ی حرکت می باشد، که اندازه ی شعاع آن، pf بوسیله ی چگالی فلز تعیین می گردد. انرژی خارجی ترین الکترون ها، $E_f = p_f^2/2m$ در مقایسه با انرژی گرمایی میانگین آن ها، Kt بسیار بزرگ می باشد. به عنوان نتیجه، تنها بخش کوچکی از الکترون ها، kT/E_f ، در بالاتر از حالت پایه تحریک می شوند. الکترون ها با هم دیگر (قانون کلمب) و با فونون ها تعامل می کنند و رابطه دارند. تحریکات ابتدائی آن ذرات شبیه می باشند، الکترون ها با اضافه ی ابر الکترونی وابسته به آنها و فونون هایی که هنگام حرکت از میان شبکه الکترون را همراهی می کند. یک بحث و مذاکره ی ابتدائی نشان می دهد که طول عمر یک quasiparticle

تحریک شده بالای سطح فرمی (سطح کره ی فرمی) تقریباً برابر $(kT)^2 / E_f^2$ می باشد. مساله و مشکلی که برای نظریه پردازان در رابطه با این مساله پیش آمده، فهم چگونگی تحمل پذیری الکترون ها ی تعامل کننده هنگام رفتن به حالت ابرسانایی ، می باشد. این امر چگونه انجام می شود؟ توضیح ریاضی مناسب برای این امر چه می باشد؟

یک کلید راهنمای بسیار لازم در سال ۱۹۵۰ میلادی بدست آمد ، وقتی محققان در دانشگاه روتگرز کشف کردند که دمای انتقال به حالت ابرسانایی سرب بستگی به جرم ایزوتوپ آن ، یعنی M ، دارد ، و رابطه ی عکس با $M^{1/2}$ دارد. از آنجایی که انرژی لرزشی شبکه ای همان بستگی را با $M^{1/2}$ دارد، کوانتای پایه ی آنها، فونون ها ، باید نقشی در ظهور و ایجاد حالت ابرسانایی بازی کند. در سال های بعدی، هبر فرلیک ، که از پوردو از دانشگاه لیورپول بازدید می کرد ، و جان باردن کسی که آن زمان در آزمایشگاه های بل کار می کرد ، تلاش کردند نظریه ای با استفاده از تعامل الکترون ها و فونون ها ارائه بدهند ، ولی شکست خوردند و موفق نشدند. کار انجام شده توسط آن ها را می توان به کمک دیاگرام های معرفی شده توسط ریچارد فاینمن به تصویر کشید، که در قسمت (a) تصویر زیر نشان داده شده است. در تصویر زیر می توان یک الکترون را مشاهده کرد که یک فونون را آزاد می کند و سپس آن را جذب می کند. خواص آن بوسیله جفت شدن پویا با شبکه تغییر می یابند و تغییر در انرژی آن نسبت عکس با $M^{1/2}$ دارد . اما این ها به حالت ابرسانایی در نمی آیند.



شکل ۱-۱

سپس فرلیک احتمال دوم را در نظر گرفت ، حالتی که در تصویر بالا قسمت (b) نشان داده شده است ، که در آن یک الکترون یک فونون را آزاد می کند و الکترون دومی آن فونون را جذب می کند. این تعامل فونون القایی می تواند برای الکترون ها ی نزدیک سطح فرمی جذاب باشد. این یک معادله فلزی $waterbed$ می باشد : دو شخص که یک

waterbed را به اشتراک می گذارند، تمایل دارند تا به مرکز آن جذب شوند، همان طوری که روند القاء الکترون ها را جذب می کند. (یک شخص تورفتگی را در waterbed القاء می کند، تورفتگی که شخص دوم را جذب می کند.) تعامل مطالعه شده توسط Frohlich در نگاه جذاب و زیبا به نظر می رسد، که هم جدید بود و هم ذاتا تناسب درستی با جرم ایزوتوپی، M ، داشت. اگر چه مشکلی بزرگ در درک چگونگی نقش بازی کردن آن وجود داشت، از آن جا که تعامل پایه ای کلمب بین الکترون ها دفع کننده می باشد، و خیلی قوی تر می باشد. همانطور که لاندو قرار داد: "شما نمی توانید قانون کولمب را لغو کنید". این اشکالی بود که جان بردن و نویسنده ی این مقاله، دیوید پائینس هنگامی که اولین دانشجوی دکترا در دانشگاه ایلینویس در سال های ۱۹۵۵-۱۹۵۲ بود، آن را مورد انتقاد قرار دادند. چیزی که آن ها پیدا کردند، به وسیله ی توسعه ی یک راهبرد که دیوید بوهم و دیوید پائینس قبلا برای فهم تعامل های جفت الکترون ها در فلزات توسعه داده بودند، این بود که "پیام، متوسط است". وقتی آن ها اثر رویه ی به پرده در آوردن الکترونیکی روی هر دو تعامل الکترون-الکترون و الکترون-آهن را در نظر گرفتند، فهمیدند که حضور جزء تشکیل دهنده ی دومی، یونها، یک تعامل جذاب شبکه ای را بین یک جفت الکترون که تفاوت انرژی آن ها از انرژی یک فونون بنیادین کمتر می باشد، ممکن می سازد.

تعامل موثر وابسته به تکرار و اندازه حرکتی که آن ها پیدا کردند، در شکل زیر آمده است:

$$V_{eff}(\mathbf{q}, \omega) = \frac{4\pi\epsilon^2}{q^2 \epsilon(\mathbf{q}, 0)} \left[\frac{\omega^2}{\omega^2 - \Omega_q^2} \right] \quad (1)$$

که در آن $\epsilon(\mathbf{q}, 0)$ ثابت دی الکترون استاتیک وابسته به water vector می باشد، Ω_q انرژی فونون می باشد، \mathbf{q} انتقال اندازه ی حرکت می باشد، و تفاوت بین انرژی الکترون ها می باشد. ترتیب ها آن به صورت جزئی تر توسط لان کوپر مطالعه شده است. او فهمید که به خاطر این جذابیت شبکه ای، سطح فرمی حالت عادی می تواند در دماهای پائین به تشکیل جفت الکترون هایی با اسپین و اندازه حرکت مخالف، بی ثبات شود. با کار او، راه حلی برای ابررسانایی نزدیک بود. در سال ۱۹۵۷ میلادی، هنگامی که باب شیفر، باردن کسی که دانشجوی فارغ التحصیلی در دانشگاه یونیس بود، فهمید که توضیح میکروسکوپی داوطلب حالت ابررسانایی، می تواند با به کار بردن راهبردی که قبلا برای پلارن ها توسعه یافته بود، توسعه یابد. (به وسیله ی تدلی، فرانسیس لو و دیوید پائینس) به جفت های تعامل کننده ی کوپر. در هفته های بعدی، باردن، کوپر و شیفر نظریه ی میکروسکوپی ابررسانایی خود، تئوری BCS را ارائه دادند. که این تئوری در توضیح و تفسیر رویداد ها ی ابررسانایی موجود و هم چنین در پیش گویی

رویداد های جدید بسیار موفق بود. در جولای ۱۹۵۹، در اولین کنفرانس عظیم در رابطه با ابررسانایی بعد از ارائه ی نظریه ی (BCS) در دانشگاه کمبریج، دیودشونبرگ کنفرانس را با این جمله آغاز کرد: "حالا ببینیم تا چه حدی مشاهدات با حقایق نظری جور در می آیند"...

۳-۱ تئوری BCS و اثرات آن

در تئوری BCS جذابیت زیادی بین جفت الکترون های دارای اسپین و اندازه حرکت مخالف هستند و مسئول انتقال به حالت ابررسانایی هستند وجود دارد. پایین درجه ی حرارت تبدیل به حالت ابررسانایی، T_c ، جفت هایی از هم چگال ها، یک حالت کوانتومی یگانه ی اشغال شده ی ماکروسکوپی، که بدون مقاومت جریان می یابد، و میدان های مغناطیسی خارجی ضعیف را screen out می کند، باعث بوجود آمدن یک دیامگنتیزم اندازه گیری شده در اثر میز نر می شود. در دماهای پایین، این باعث مصرف انرژی محدودی می گردد، $\Delta \sim 1.75kT_c$ ، برای جداسازی یکی از جفت ها در هم چگال؛ این شکاف انرژی است که توسط لوندن پیش بینی شده بود؛ و اثرات آن بر روی خواص ابررسانایی توسط جان باردن در سال های قبل از کشف و ارائه ی تئوری میکروسکوپی به صورت رخدادی بررسی شده بود. بنابراین، حالت ابررسانایی توسط دو جزء تشکیل دهنده مجزا مشخص می شود: یک ابرمیدان، هم چگال، و یک سیال معمولی تشکیل شده از تحریکات تک ذره ای که از جدا شدن از هم هم چگال در دماهای محدود نتیجه می شود quasiparticle. های تحریک شده که سیال معمولی را تشکیل می دهد، در پاسخ به میدان های خارجی، اثرات منسجم معلوم و مشخصی را از خود نشان می دهند، پدیده ی انسجام که یکی از مشخص کننده های تئوری جفت کننده ی BCS می باشد، اما وگرنه بصورت معمولی رفتار می کنند، که در آن با یکدیگر، با فونون ها، و با دیواره های ظرف شامل آن ها برخورد می کنند. طول بنیادی که رفتار منسجم در آن می تواند اتفاق بیافتد، طول انسجام، چند هزار برابر فاصله ی بین ذرات داخلی می باشد. برای درک کردن آن چه اتفاق می افتد، در نظر گرفتن قیاس با یک زمین رقص پر شده از زوج های رقص که هماهنگ با موزیک حرکت می کنند، می تواند کمک کننده باشد. در حالت عادی، زوج ها مرتبا با یکدیگر برخورد می کنند، اما در حالت ابررسانایی، آن زوج هایی که تعلق به هم چگال دارند، دارای یک قید و بند نامرئی می باشند که به آن ها اجازه می دهد تا به راحتی به حول سالن رقص رقص کنند و پرواز کنند. اگر زوج های جدا کننده ای وجود دارند؛ فقط

منفردهای تحریک شده ی غیر متصل هستند که با یکدیگر و دیواره ی سالن رقص برخورد می کنند. تبدیل به ابرسانایی BCS اساسا متفاوت از آن چه ممکن است اگر زوج ها بالای T_c تشکیل شده باشند ، سپس متراکم شوند، اتفاق بیافتد ، می باشد. و در مورد اخر، طول انسجام چندین برابر فضای بین ذره ای می باشد و بستگی به T_c ندارد.

نظریه ی BCS اثر قابل توجهی در زمینه های دیگر فیزیک داشت. این نظریه پیش بینی می کند که هر سیستم دارای فرمیون های تعامل کننده ، می تواند به حالت ابرسانایی برود ، یا در صورت فرمیون های بدون بار ، یک تبدیل ابرسیالی ، یکی دارای تعامل جذاب برای فرمیون های شبکه ای در مجرای تکانه ی زاویه ای ارائه دهد. کمی بعد از انتشار نتایج اولیه ی تئوری BCS ، Aage Bohr ، Ben Mottleson و David Pines ، در حال کار در کپنهاگ در سال ۱۹۵۷ ، نشان دادند که نوترون ها و پروتون های موجود در هسته ی اتم به خاطر جذب دوسویه شان جفت می شوند ، و اینکه می توان معمای قدیمی پدیده ی هسته ای را توجیه کند ، در حالی که Yoichiro Nambu در شیکاگو کشف کرد که ترتیب جفت کردن BCS برای پدیده های انرژی بالا در فیزیک ذرات ابتدائی پیدا می شود. حضور ابرسیالات پروتون و نوترون در پالسارهای (pulsar) تازه کشف شده در ۱۹۸۹ احضار شد. توسط Gordon Baym ، Chris Pethick ، Mal Ruderman ، و David Pines به عنوان توضیح برای زوال طولانی مدت glitch ها (پرش های ناگهانی در مدت چرخش پالسار) که در پالسارهای Crab و Vela در سپتامبر و مارس ۱۹۶۹ کشف شده بود. از آنجایی که اتمهای هلیوم ۳ فرمیون هستند و دارای جذب برد بالا می باشند ، به طور وسیعی انتظار می رفت که هلیوم ۳ به تبدیل حالت ابرسیال برود ، و جامعه فیزیک دمای پایین به دنبال نشانه هایی از آن تبدیل گشت ، یک جستجویی که برای David ، Doug Osheroff ، Lee ، و Bob Richardson در دانشگاه کورنل موفقیت آمیز بود ، و در سال ۱۹۷۲ کشف کردند که هلیوم ۳ چند میلی درجه بالای صفر مطلق ابر سیال می شود .

نیازی به گفتن نیست که ، الهام شده توسط تئوری BCS ، آزمایشگر های مواد منقبض ، رده ی جدیدی از فلزات ابررسانا را معرفی کردند ، و مشتاقانه به دنبال موادی که در دماهای نسبتا بالاتر از دماهای تبدیل کمتر از ۲۰ کلوین ، که فلزات ابررسانای معمولی را مشخص می کند ، ابررسانا می شوند ، گشتند. دو رده ی جدید از ابررساناها کشف شدند : مواد الکترون سنگین ، $CeCu_2Si_2$ ، Upt_3 ، و UBe_{13} که توسط Frank Steglich ، Jim Smith ، Zackary Fisk ، و Hans Ott در آلمان، در حال کار کردن در Los Alamos ، به عنوان

ابرسانا در دماهای حدود یک کلوین شناخته شدند. در حالی که Daniel Jerome در پاریس ابرسانی را در فلزات آلی تقریباً دو بعدی در حدود ده درجه ی کلوین را کشف کرد. اگرچه ، باوجود تلاش های زیاد Bend Matthias، که حدود صد ماده ی ابرسانا را کشف کرد، هنوز حد بالایی برای دمای مواد ابرسانا وجود داشت : ۲۳ درجه ی کلوین ، درجه ی حرارتی که از مکانیسم به کار رفته برای ابرسانی ناشی می شد ، تعامل فونون-القائی .

۴-۱ ابرساناهای دما بالا

زمینه ای جدید در علم فیزیک آغاز شد هنگامی که در ۲۷ ژانویه ۱۹۸۶ میلادی، Bednorz و Mueller یک افت مقاومت تیز را در $La_2-mBamCuO_4$ در دمای حدود ۳۰ درجه ی کلوین مشاهده کردند. آن ها مقاله ای در این باره به یکی از روزنامه های معتبر اروپائی، *ZeitSchrift fur Physik* فرستادند و مطالعه ی خود را بر روی این ماده ی جدید ادامه دادند تا اطمینان حاصل کنند که تغییر مقاومت ناگهانی ، تبدیل به یک حالت ابرسانی بوده. تا ماه اکتبر، آن ها اثر مایزner (The Meissner Effect) را مشاهده کرده بودند ، بنابراین یک ماده ابرسانی جدید را به ثبت رساندند. نتایج آن ها در دنیا پخش شد، یک ماه بعد ، Tanaka و همکاران وی در توکیو نتایج Bednorz-Muller را تأیید نمودند (یک تأییدیه در یکی از روزنامه های ژاپنی چاپ شد) در حالی که کار آن ها در پکن توسط Zou و همکارانش پشتیبانی و حمایت شد. (کار آنها در دسامبر در یکی از روزنامه ها توضیح داده شد). در ماه بعد ، در نتیجه ی یک تلاش همکارانه بین Paul Chu از دانشگاه هوستون و -Mang Kang Wu از دانشگاه آلاباما، عضو جدیدی از خانواده مواد ابرساناهای دما بالا کشف شد ، $YBa_2Cu_3O_7$ که دارای T_c بالای ۷۰ درجه ی کلوین بود. بنابراین فقط در طی یک سال از کشف اصلی ، دمای انتقال به حالت ابرسانی افزایش سه برابر داشت. و واضح بود که انقلاب ابرسانا ها هنوز شروع شده است. یک جشن برای بوجود آمدن این فصل در علم فیزیک طی یک جلسه در نیویورک توسط انجمن فیزیک دانان آمریکایی در یک بعد از ظهر یکی از روزهای مارس ۱۹۸۷ برگزار شد. این جشن ۳۰۰۰ شرکت کننده داشت و ۳۰۰۰ نفر نیز این جشن را از طریق تلویزیون مشاهده می کردند...

در طول شش سال بعد ، چند خانواده ی دیگر از ابرساناها کشف شدند ، که شامل سیستمهای مبنی بر Tl - و Hg می باشند ، که به ترتیب دارای T_c حداکثر ۱۲۰ کلوین و ۱۶۰ کلوین می باشند. همگی آنها یک ویژگی که موجب روی دادن ابرسانایی دمای بالا بود ، داشتند ، وجود پلین های شامل اتم های O و Cu ی که جدا شده بوسیله ی مواد پل کننده ای که به عنوان حامل بار عمل می کنند هستند. در طی این مدت ، حدود چند هزار مقاله در رابطه با ابرساناها منتشر گشت (و در زمان حاضر هم منتشر می شود) بدیهی گشت که ابرسانایی دمای بالا وابسته به مسائل بزرگ فیزیک بسیاری در طول دهه ی گذشته ی این قرن بود. حداقل چهار دلیل برای علاقه ی شدید به T_c بالا وجود دارد : یک علاقه ی علمی ذاتی و باطنی ، طبیعت انتقال نظم و ترتیبی ، (این به حدود جدا کننده ی دانشمندان و شیمی دان های مواد از طریق فیزیکدان های نظری و تجربی می رسد) ؛ کاربردهای بالقوه برای مواد ی که در دماهای بالاتر از ۷۷ کلوین (دمایی که نیتروژن مایع می شود) به عنوان ابرسانا عمل می کنند ، کاربردهایی که می توان در سیستم های تلفن سلولی اعمال کرد ، خطوط انتقال ابرسانایی ، ماشین های MRI استفاده کنند از مغناطیس های T_c بالا ، میکروویو های استفاده کننده از مواد ابرسانای جدید ، سیستم های ابرسانا/نیمه رسانای هیبریدی؛ و در آخر پیدا کردن ابرسانای دمای اتاق .

برخی مشخصه ها و خواص ابرسانا های جدید عبارتند از اینکه آن ها سرامیک ، و اکسید های ورقه ورقه می باشند که در دمای اتاق فلزات ضعیف و بی ارزشی هستند ، و مواد متفاوتی برای کار کردن هستند. شامل کمی حامل بار در مقایسه با فلزات معمولی هستند ، و خواص انیسوتروپیک الکتریکی و مغناطیسی هستند که بطور قابل ملاحظه ای حساس به محتوای اکسیژن می باشند. در حالی که ، نمونه های ابرسانای مواد $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ ، را یک دانش آموز دبیرستانی نیز می تواند در یک اجاق میکروویو تولید کند ، کریستال های یکتای دارای درجه ی خلوص بالا برای تشخیص خواص فیزیکی ذاتی موادی که ساختن آن ها به طور خیلی زیادی سخت است ، لازم است.

در ادامه ی یک دهه کار ، یک وفاق عمومی بر سر این موضوع وجود دارد که رفتار تحریکات ابتدائی در پلین های $Cu-O$ یک کلید برای درک خواص حالت عادی این ابرساناها ارائه می دهد ، و اینکه آن خاصیت غیر حالت عادی شبیه به حالت عادی ابرساناهای معمولی و دمای پایین می باشند. همانطور که می توان در جدول زیر مشاهده کرد اندازه گیری شده در مشاهدات نوری و انتقالی ، هم پاسخ بارو هم پاسخ اسپین اندازه گیری شده در مشاهدات

قابلیت ایستا، تشدید مغناطیسی هسته ای (NMR) و مشاهدات متفرق ساختن غیر الاستیک نوترون ها (INS) مواد T_c بالا بسیار متفاوت از همتهای دمای پایین خود می باشند .

	Conventional	High T_c
Resistivity	$\rho \sim T^2$	$\rho \sim T$
Quasiparticle lifetime, $1/\tau(T, \omega)$	$aT^2 + b\omega^2$	$aT + b\omega$
Spin excitation spectrum	Flat	Peaked at $Q_x \sim (\pi/a, \pi/a)$
Maximum strength of spin excitations	$\sim 1 \text{ state}/\text{eV}$	20 – 300 states/eV
Characteristic spin excitation energy	$\sim E_f$	$\omega_{sf} \sim T \ll E_f$
AF correlations	None	strong, with $\xi_{AF} \geq 2a$
Uniform susceptibility, $\chi_0(T)$	Flat	varies with temperature, possesses a maximum at $T_m > T_c$ for magnetically underdoped systems

علاوه بر این، اساساً هیچ یک از خواص حالت ابررسانایی، با خواص یک ابررسانای عادی یکی نیست، که در آن جفت کردن BCS در حالت خط واحد اتفاق می افتد و شکاف انرژی ذرات *quasi* در دماهای پائین و ایزوتوپریک، هنگامی که یکی حول سطح فرمی حرکت می کند، محدود می باشد. علی رغم این حقیقت که چیزی نسبتاً جدید و متفاوت نیاز است تا رفتار حالت عادی را درک کنیم، یک توافق و اجماع وجود دارد که تئوری BCS، اگر بطور مناسبی تغییر یابد، یک توضیح راضی کننده برای انتقال به حالت ابررسانایی و خواص مواد در آن حالت، می دهد. یک توافق تقریبی همچنین در رابطه با اجزای سازنده ی پایه ی لازم برای درک ابررساناهای دمای بالا وجود دارد. آن ها را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- عمل ابتدا در پلین های Cu-O رخ می دهد، پس در تخمین اول، برای متمرکز کردن هم توجه نظری و هم عملی روی رفتار تحریکات پلانار، و همچنین برای متمرکز کردن بر روی دو سیستم مطالعه شده، سیستم ۱-۲-۳ (YBa2Cu3O7-m) و سیستم ۲-۱-۴ (La2-mSrmCuO4)، کفایت می کند.

- دماهای پائین هر دو سیستم عایق های آنتی فرو مغناطیس می باشند با یک آرایه ی محلی $+Cu2$ که علامت آن در داخل شبکه متناوباً عوض می شود.

-شخصی سوراخ هایی را بر روی پلین های $Cu-O$ سیستم ۱-۲-۳ با تزریق اکسیژن ایجاد می کند، برای سیستم ۱-۲-۴ این کار با تزریق استرونتیوم انجام می گیرد. سوراخ های حاصل روی مفر پلانار اکسیژن ، با اسپین های نزدیک $+Cu2$ پیوند پیدا می کنند ، و حرکت را برای دیگر اسپین های $+Cu2$ آسان می سازد، و در روند ، نابود کردن همبستگی های AF طولانی برد در عایق .

-اگر کسی حفره های کافی را ایجاد کند ، سیستم حالات پایه ی خود را از یک عایق به یک ابررسانا تغییر می دهد .

-در حالت عادی مواد ابررسانا ، اسپین های $+Cu2$ سیار، اما محلی یک مایع فرمی غیر مرسوم را تشکیل می دهند ، با اسپین های $quasiparticle$ های نشان دهنده ی ارتباطات AF قوی، حتی برای سیستم های در سطح تخدیر که از حدی که T_e ماکزیمم می باشد، تجاوز می کند ، موادی که با نام فرا-تخدیر شناخته می شوند .

اگر چه هیچ توافقی بین تئوریسین ها بر سر این که چگونه یک توضیح نظریه ای دارای جزئیات برای $curpate$ ها ارائه کنند. راهکرد هایی که برای اینکار امتحان شد ، را می توان به از پایین به بالا- یا از بالا به پایین رده بندی کرد. در راهکرد از بالا به پائین ، یکی مدلی را که از قبل وجود داشته را انتخاب می کند و راه حل هایی برای انتخاب های دیگر پارامترهای مدل را توسعه می دهد ، سپس تست می کند که آیا این راه حل به نتایج منطبق بر شواهد و تجربیات رسیده اند یا نه. در یک راهکرد از پائین به بالا ، یک از نتایج تجربی آغاز می کند و تلاش می کند تا یک توضیح پدیده ای از یک زیر مجموعه از نتایج تجربی را بدست آورد. سپس چند آزمایش دیگر را متناسب با توضیح بدست آمده انجام می دهد ، با ترتیب میکروسکوپی برای هر آزمایش ، تا اینکه به نتایج مورد انتظار از محاسبات و مشاهدات دست بیابد. و فقط آن وقت ، بدنبال یک مدل همیلتونی که راه حلش ممکن است تئوری میکروسکوپی کامل را ارائه دهد ، بگردد و جستجو کند .جان باردین از این راهکرد دوم برای کار کردن بر روی ابررساناهای عادی و مرسوم استفاده کرد ، و در دانشگاه اوربانا از روش و راهکرد او برای کار بر روی ابررسانای دمای بالا استفاده کردند .

۵-۱-جلوه ای جدید از نانوسیم های ابررسانا

محققان دانشگاه ایلینوی یک جفت مولکول DNA را با مواد ابررسانا پوشش داده و یک ابزار تداخلی کوانتومی ساختند. این دستگاه دو نانوسیمی نوسان های مقاومتی غیرعادی از خود نشان داد .

به گفته دانشمندان این پروژه در ابتدا به عنوان تحقیقی بر روی نوسان های معروف لیتل-پارکس در نانوایزهای

ابرسانا آغاز شد. اما اندازه‌گیری‌های ما بر روی این ابزارهای دنانوسیمی به طور غیرمنتظره‌ای نمایانگر یک دسته از نوسان‌های دوره‌ای در مقاومت نسبت به میدان مغناطیسی مورد استفاده بود که از نظر کیفی با تاثیر مورد انتظار از اثر لتیل پارکس

• فرق می‌کرد

این ابزارها را با چیدن دو مولکول DNA در طول کانال یک تراشه SiN/SiO₂ به عرض حدود ۱۰۰ نانومتر بر یک تراشه سیلیکونی ساخته شده است و سپس این مولکول‌ها و ماده پایه را با ابرسانی Ge₂₁Mo₇₉ پوشش دادند. نانوسیم‌های به دست آمده در دمای پایین ابرسانا شدند و مقاومت آنها به طور نمایی با دما کاهش می‌یافت اما همانند نانوسیم‌ها مقاومت آنها به صفر نمی‌رسد

• دانشمندان معتقدند که در صورت نبودن میدان مغناطیسی، این سیم‌های فوق‌العاده باریک در محدوده وسیعی از دما مقاومت غیرصفر نشان می‌دهد. در دمایی که نوعاً سیم‌های کلفت‌تر ابرسانا می‌شود این نمونه سیم‌های DNA همچنان مقاوم باقی می‌ماند.

زمانی که میدان مغناطیسی وجود داشته باشد این ابزار نوسان‌های منظمی از مقاومت را با میدان مغناطیسی نشان می‌دهد. برای بررسی این اثر محققان ابزارهایی را با شکل‌های هندسی مختلف آزمایش کردند و فضای داخلی سیم‌ها و قطر آن را تغییر دادند. به این روش آنها توانستند تا برای این رفتار توضیحی ارائه دهند.

میدان‌های مغناطیسی مورد استفاده باعث ایجاد جریان کوچکی در کناره این شیارها می‌شود و جریان هم باعث تغییرات عمده‌ای در مقاومت می‌شود. فقط میدان مغناطیسی و پهنای کناره‌های محافظ سیم‌ها است که توان این جریان را کنترل می‌کنند.

محققان بر این عقیده‌اند که ابزار آنها به میدان‌های مغناطیسی بسیار حساس است و اگر با پروب میکروسکوپ‌های پیمایشی همراه شود می‌توان از آن برای تشخیص تغییرات موضعی میدان مغناطیسی استفاده کرد. به گفته دانشمندان این ابزار همچنین به گرادین‌های فاز ۱ پارامتر ابرسانی حساس هستند. بنابراین می‌توان از آنها به عنوان

• گرادبومتر ۲ فاز ابرسانا استفاده کرد

اکنون دانشمندان در نظر دارند با وارد کردن جریان‌های الکتریکی به داخل الکترودها بدون استفاده از میدان‌های مغناطیسی در این وسیله نوسان‌های فازی ایجاد کنند که در صورت موفقیت‌آمیز بودن آن ثابت می‌شود که (NQID) وسیله رابط کوانتوم نانوسیم) آنها می‌تواند به عنوان گرادبومتر مورد استفاده واقع شود. آنها همچنین در نظر دارند تا راهبردهایی را برای توسعه خودسامان DNA پیدا کرده و از آن برای تولید شبکه‌های نانوسیمی با ساختارهای پیچیده استفاده کند.

گزارش کار این محققان در مجله Science به چاپ رسیده است.

۶-۱ جریان الکتریکی بدون افت در پیچیده ابررسانا

امروزه صرفه جویی در مصرف انرژی، مخصوصا در کشور های صنعتی یکی از مهم ترین نیازهای بشری است. بودجه های زیادی صرف تحقیقات در زمینه کشف راه های موثرتر برای یافتن انرژی های ارزان تر و با ریسک کمتر می شود. در این بین، ابررسانایی، با نقشی که ممکن است در زمینه صرفه جویی در تولید و انتقال انرژی الکتریکی بازی کند، در آینده بشر نقش اساسی خواهد داشت. با وجود این که پدیده ابررسانایی در دهه اول قرن بیستم کشف شد، هنوز هم تحقیقات زیادی هم از لحاظ نظری، برای یافتن نظریه جامعی که همه جنبه های ابررسانایی را در بر داشته باشد و هم از لحاظ تجربی برای یافتن موادی که در دماهای بالاتر خاصیت ابررسانایی داشته باشند، ادامه دارد.

اما یافته جدید پژوهشگران کمیسیون انرژی اتمی فرانسه در گرونوبل، نظریه های قبلی در مورد ابررسانایی را متزلزل کرده است. پیش از این دو نوع ابررسانا در دنیا شناخته شده بود. یکی رساناهای عادی که معمولا در دماهایی نزدیک به صفر مطلق، خاصیت ابررسانایی پیدا می کنند و دیگری ابررساناهای دمای بالا که مواد سرامیکی نارسانایی هستند که در دماهایی حدود ۱۰۰- درجه سانتی گراد ابررسانا می شوند.

هر چند تا کنون هیچ نظریه فیزیکی ای نتوانسته است بگوید علت خاصیت ابررساناهای سرامیکی چیست، در ۱۹۸۰ سه فیزیکدان به نام های باردین، کوپر و شریفر نظریه ای دادند (نظریه BCS) که تمام خواص ابررساناهای معمولی را این طور توضیح می دهد. الکترون هایی که در رسانایی جریان نقش دارند، جفت هایی تشکیل می دهند و متقابلا در مقابل عواملی که باعث مقاومت الکتریکی می شوند، مقاومت می کنند.

اما اکنون پژوهشگران فرانسوی ادعا کرده اند که خاصیت جدیدی را در ابررساناها پیدا کرده اند که قبلا در هیچ نظریه ای پیش بینی نشده بود. خواص ابررسانایی در مواد، علاوه بر دمای محیط به میدان مغناطیسی و شدت جریان عبوری هم بستگی دارد. یعنی اگر حتی جسم در دمایی پایین تر از حد ابررسانایی باشد، وقتی میدان مغناطیسی از میزان مشخصی بیشتر باشد، خاصیت ابررسانایی از بین خواهد رفت.

این محققان بلوری ساخته بودند که در دمای ۰/۰۴ درجه کلوین ابررسانا می شد، ولی وقتی شدت میدان مغناطیسی از ۲ تسلا بیشتر می شد، این خاصیت از بین می رفت. تا این جا همه چیز را قبلا می دانستیم، اما یکی از پژوهشگران این گروه، از روی کنجکاوی، شدت میدان مغناطیسی را باز هم بیشتر کرد. وقتی شدت میدان به ۱۲ تسلا رسید، بلور

دوباره ابرسانا شد. وقتی میدان باز هم بالاتر رفت، این خاصیت دوباره از بین رفت. این گزارش که در نشریه علمی ساینس چاپ شده، توجه بسیاری از فیزیکدانان حالت جامد را برانگیخته است، زیرا هیچ توضیح خاصی برای این پدیده وجود ندارد. به نظر می رسد که میدان مغناطیسی متغیر باعث ایجاد رفتارهای جالب پیش بینی نشده در ابرساناها می شود. باید توجه داشت که ابرسانایی یک خاصیت کاملاً کوانتومی است و به سادگی نمی توان وضعیت پیش آمده در این آزمایش را توصیف کرد.

فصل دوم

اثر مخلوط سه تایی از عناصر خاکی کمیاب بر خواص ابر رسانایی $RE Ba_2CN_3O_x$

ترکیب $Y_{123}(Y_{Gdsm})$ با فرمول اسمی $Y_{.33}Gd_{.33}Sm_{.33}Ba_2Cu_3O_x$ همچنین $YGdEu1$ و $YGdEu2$ با فرمول اسمی $Y_{.33}Gd_{.33}Eu_{.33}Ba_2Cu_3O_x$ که دارای شرایط اکسیژن دهی متفاوت هستند ساخته شده اند خواص مختلف ساختاری، ریخت شناسی، تراپردی و مغناطیسی که شامل اندازه گیریهای پذیرفتاری ac مقاومت الکتریکی ac چگالی جریانی بحرانی J_c و آنالیزهای SEM, XRD, EDX می باشند به عمل آمده است نتایج حاصل از چگالی جریان بحرانی نشان می دهد که مقدار J_c در نمونه $Y_{123}(Y_{Gdsm})$ و $YGdEu1$ نسبت به (Y_{123}) افزایش پیدا کرده است به طوری که مقدار آن در $YGdEu1$ نسبت به نمونه (Y_{123}) حدود ۲ برابر شده است که علت آن احتمالاً حضور یونهای EU و Sm در روی صفحه های BaO می باشد که به عنوان یک ناخالصی عمل می کند و منجر به تولید میخکوبی محلی شده و نهایتاً جریان بحرانی را افزایش می دهد.

جایگزینی عناصری از خاکیهای نادر سه ظرفیتی به جای عنصر ایتریوم در ترکیب ابر رسانای $YBa_2CN_3O_x$ به منظور بررسی خواص ابر رسانایی، مکانیکی، مغناطیسی و کاری است که از چندین سال قبل آغاز شده و هم اکنون نیز ادامه دارد آنچه به طور کلی می توان گفت این است که جایگزینی این دسته از عناصر، به جز عنصر پروسودنیوم (Pr)، به جای ایتریوم تغییر خاصی در خواص ابر رسانایی این سیستم که از این به بعد به نام سیستم (Y_{123}) نامیده می شود، نمی دهد. به طوری که در گزارشات متعدد به آن اشاره شده است، برای استفاده از مواد ابر رسانای گرم سرامیکی در صنعت باید به مشکلات مکانیکی (تردی بیش از حد) و پایین بودن چگالی جریان بحرانی آنها، در مقایسه با ابر رساناهای متعارف فلزی و حتی لایه های نازک ابر رساناهای گرم، غلبه کرد. روشهای متعددی برای اصلاح مکانیکی این سیستم به کار رفته است یکی از این روشها افزودن و جایگزینی یونهای متعددی است که در واقع این یونها در بین دانه های این مواد سرامیکی قرار می گیرد. مطالعات زیادی در این موارد انجام شده است که برای

نمونه می توان به مقاله نویسنده و همکاران در مرجع [۱] مراجعه کرد در این مقاله نشان داده شده است که افزودن نقره به سیستم (Y123) تا حدود ۲۰ درصد، تأثیر زیادی در کاهش دمای گذار این سیستم ندارد و با قرار گرفتن در بین دانه های ابررسانایی، خواص مکانیکی و تراپردی آنها را بهبود می دهد. روش دیگری که کاربرد فراوان دارد جایگزین یون ایتريوم با عناصری مانند گادولینیوم (Gd)، یورپیم (Eu)، نیودیوم (Nd)، سوماریوم (Sm) و ... و عملیات حرارتی متفاوت در مرحله کلوخه سازی آنها است [۲] همان طور که از ساختار بلوری این نوع ابررساناها مشخص است عوامل هدایت الکتریکی در حالت ابررسانایی (ابر الکترونها یا ابر حفره ها) در مواد ابر رسانای محتوی مس در صفحات CuO_2 می باشد جایگزینی عناصر Gd,Sm,Eu,Nd و... به جای Y در ترکیبهای (Y123) و ترکیبی از عناصر فوق امکان اصلاح ساختاری این صفحه ها را فراهم می آورد و احتمال افزایش هدایت الکتریکی و در نتیجه امکان تحمل انتقال جریانهای بیشتر را در این نوع ترکیبها بیشتر می کند.

باید متذکر شد که تنها عامل افزایش هدایت الکتریکی در حالت ابررسانایی (یا افزایش چگالی جریان بحرانی) اصلاح ساختاری با جایگزینی یونهای با شعاعهای متفاوت به جای ایتريوم و یا ترکیبی از عناصر جدول فوق الذکر نیست عوامل دیگری از قبیل برهمکنش همان مغناطیسی یونهای جایگزین شده، روش پخت، وجود ناخالصیها و چندین عامل دیگر ممکن است منجر به افزایش یا کاهش چگالی جریان بحرانی در ابررساناها شود این عوامل که به عنوان مختلف در ساختار یک جسم ابررسانا مؤثر است و ممکن است اثری را که به نام میخکوبی شار معروف است، ایجاد کند.

مطالعات سالهای اخیر نشان می دهد که ترکیبهای از نوع سیستم $(RE:Nd,Sm,Eu,Gd)REBa_2Cu_3O_x$ دارای دمای گذار مناسب و جریان بحرانی نسبتاً بالا هستند [۳] نمونه های تهیه شده به روش رشد ذوب جزئی با کنترل دقیق اکسیژن (OCMG) که در واقع استفاده از روش ذوب جزئی با کنترل دقیق اکسیژن موجود در محیط است، به علت وجود فازهای ناخالصی با درصد بسیار کم که موجب میخکوبی شار می شود، در میدانهای نسبتاً بالا قابلیت عبور جریانهای بسیار زیادی را دارند. یکی از این ترکیبات سه تایی $(Nd_{0/33}Eu_{0/33}Sm_{0/33})Ba_2Cu_3O_x$ است، این ترکیب دارای خصوصیات میخکوبی ضعیف شار در یک گذار ابررسانایی است [۴و۵] با این حال وقتی ایتريوم (F) همین طور نمونه گذار ابر رسانایی تیزی خواهد داشت در واقع نمونه $(NES)_{123}$ یک نمونه تک فاز نیست و با اضافه کردن (Y) تک فاز خواهد شد.

ترکیبات دیگری از قبیل $(EU_{0/33}Nd_{0/33}Gd_{0/33})Ba_2Cu_3O_x$ و $(Gd_{0/33}Eu_{0/33}Sm_{0/33})Ba_2Cu_3O_x$ ساخته شده که همگی دارای

J_C بالاتری نسبت به ترکیب (Y_{123}) هستند [۶]. با یان وجود این معماست که چرا

$(Sm_{0/33}Nd_{0/33}Gd_{0/33})Ba_2Cu_3O_x$ خواص $J_C(B)$ پایینی را از خود نشان می دهد از این که ترکیبات $(Nd_{0/5}Sm_{0/5})_{123}$, $(Sm_{0/5}Eu_{0/5})_{123}$, $(Nd_{0/5}Eu_{0/5})_{123}$ همگی دارای T_C و J_C نسبتاً بالایی هستند به نظر می رسد که بتوان دلیل آن را در Gd خلاصه کرد و بتوان گفت که نبود Gd یا F خواص ابررسانایی را در ترکیب سه تایی $(NES)_{123}$ تا حدودی تضعیف کرده است اضافه کردن Gd یا Y ، به ترکیب $(NES)_{123}$ باعث افزایش J_C می شود [۷۸].

با توجه به نزدیکی شعاعهای یونی (Y) و (Gd) اضافه کردن (Y) هم به ترکیب $(NES)_{123}$ می تواند خواص ابررسانایی را افزایش دهد [۴]. نشان داده شده که اضافه کردن (Gd) به میزان ۲۵٪ به ترکیب $(NES)_{123}$ بهترین تأثیر را در T_C خواهد داشت [۹].

در ساخت نمونه های $(Sm_{0/33}Nd_{0/33}Gd_{0/33})Ba_2Cu_3O_x$ نیز ساخته شده است در این نمونه نیز فاز دوم $(SEG)_{211}$ مشاهده شده که نمونه یا اضافه کردن ترکیبات $Sm-123$ $Eu-123$ $Gd-123$ به سمت تک فاز بودن میل می کند [۱۴]. در مقالاتی دیگر ترکیبات چهارتایی با نسبت استوکیومتری

$(Y_{0/25}Sm_{0/25}Eu_{0/25}Gd_{0/25})Ba_{2/12}Cu_{3/09}O_x$ ساخته شده است که این ترکیب نیز J_C بالایی را از خود نشان می دهد [۱۵].

در این پروژه ترکیبهای سه تایی $(Y,Gd,Sm)_{123}$ $(Y,Gd,Eu)_{123}$ با فرمول اسمی و $(Y_{0/33}Gd_{0/33}Sm_{0/33})Ba_2Cu_3O_x$, $(Y_{0/33}Gd_{0/33}Eu_{0/33})Ba_2Cu_3O_x$ انتخاب شده اند و خواص مختلف ساختاری، ریخت شناسی، تراپردی و مغناطیسی آنها مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است به طوری که در روش آزمایش آمده است، در ساخت این نوع ترکیبها سعی شده که شرایط پخت برای کلیه نمونه ها یکسان باشد و تأثیر حضور عناصر با خواص مختلف ساختاری و مغناطیسی مورد مطالعه قرار گیرد.

۱-۲ آزمایش

برای ساخت نمونه های مورد نیاز از روش معمول حالت جامد استفاده شده است در این روش دو سری اسمی از ترکیبهای $(Y_{0/33}Gd_{0/33}Sm_{0/33})Ba_2Cu_3O_x$, $(Y_{0/33}Gd_{0/33}Eu_{0/33})Ba_2Cu_3O_x$ ساخته شده اند مواد اولیه Eu_2O_3 , Sm_2O_3 , $BaCO_3$, CuO , Y_2O_3 , Gd_2O_3 با درصد خلوص بهتر از ۹۹/۹۹ درصد و استوکیومتری مناسب با یکدیگر مخلوط و برای مدت یک ساعت آسیاب شدند محصول به دست آمده به کروزه های آلومینا ریخته شده و در کوره های مکعبی برای مدت ۲۴ ساعت در دمای ۹۲۰ درجه سانتیگراد تکلیس شده اند. عمل آسیاب و تکلیس برای

دو بار متوالی تکرار شد. محصول به دست آمده در این مرحله آسیاب شده و در قالبهای مخصوص تحت فشاری معادل ۱۰ تن به صورت قرصهایی به قطر حدود ۱۰ میلی متر و ضخامت ۲ تا ۳ میلی متر در آمده اند. قرصها در روی قطعه ای از آلومینا که توسط ورقه ای از طلا پوشیده شده قرار گرفتند و در کوره های لوله ای که شاری از اکسیژن از آنها می گذرد این مدت ۲۴ ساعت در دمای ۹۶۰ درجه سانتیگراد کلوخه سازی شده اند.

بررسی ساختاری نمونه های به دست آمده توسط دستگاه پراش پرتوی ایکس (XRD) ساخت کارخانه فیلیپس (مدل XPERT) انجام شده است.

ریخت شناسی نمونه های فوق توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روشی ساخت شرکت فیلیپس مدل XL30 و بررسی کیفی ساختار شیمیائی آن توسط دستگاه EDX انجام شده است. پذیرفتاری مغناطیسی نمونه های به دست آمده توسط دستگاه اندازه گیری پذیرفتاری مغناطیسی ساخت شرکت Lake shore مدل ۷۰۰۰ انجام شد و مقاومت ویژه نمونه نیز توسط دستگاه اندازه گیری مقاومت، توسط یخچال مدار بسته ساخت شرکت Leybold اندازه گیری شد اندازه گیری مقاومت و کنترل دمای سیستم به وسیله یک کامپیوتر شخصی مجهز به یک Interface و یک برنامه کامپیوتری و توسط یک سنسور مقاومتی Pt-100 و دستگاه کنترل دمای قابل برنامه ریزی با دقتی معدل $\pm 0.1\% k$ انجام شده است.

چگالی جریان بحرانی همه نمونه های به روش ۴ میله در دمای ازت مایع انجام شد.

۲-۲ نتایج و بحث

پذیرفتاری مغناطیسی $X=X'-iX''$ دارای دو مولفه می باشد مؤلفه حقیقی X' افت نسبتاً تیزی را درست زیر دمای بحرانی T_c نشان می دهد و در قسمت موهومی X'' قله ای (T_p) در ناحیه گذار به ابررسانایی شکل می گیرد اما در مورد ابر رساناهای گرم چند بلوری گذار پذیرفتاری مغناطیسی شامل دو مرحله است: مرحله اول گذار درون دانه ای است که افت نسبتاً تیز در قسمت حقیقی X' پذیرفتاری مغناطیسی همراه است و مرحله دوم گذار بین دانه ای است که با کاهش بیشتر دما در قسمت حقیقی پذیرفتاری مغناطیسی افت آرامی ملاحظه می شود دلیل آن وجود اختلاف زیاد در میدان بحرانی پایینی بین دانه ای و خود دانه ها است. میدان بحرانی پایینی بین دانه ای خیلی کوچکتر از دانه ها است و بنابراین شار مغناطیسی ابتدا به قسمت بین دانه ها نفوذ می کند، در واقع قسمت حقیقی معرف اثر مایستر است پذیرفتاری مغناطیسی برای هر سه نمونه اندازه گیری شد.

شکل ۱ معرف رفتار پذیرفتاری مغناطیسی نمونه $(Y_{0/33}Gd_{0/33}Eu_{0/33})Ba_2Cu_3O_x$ است به طوری که نتایج حاصل از اهمال میدان مغناطیسی نسبتاً پایین (حدوداً $0/8-50(A/m)$) نشان می دهد آستانه دمای گذار حدود ۹۰ درجه کلوین است ، اما دمای گذار نمونه حتی در میدانهای نسبتاً پایین به حدود ۸۶ درجه کلوین نزول پیدا می کند احتمال وجود فاز ناخالصی و یا کمبود اکسیژن در این نمونه وجود است که بعداً در مورد آن به طور مفصل صحبت خواهد شد . پذیرفتاری مغناطیسی برای نمونه $(Y_{0/33}Gd_{0/33}Sm_{0/33})Ba_2Cu_3O_x$ نیز اندازه گیری شد . آستانه دمای گذار این نمونه حدود ۹۱ درجه کلوین می باشد و نتایج حاصل از اعمال میدانهای مغناطیسی نسبتاً بالا ($500(A/m)$) تأثیر چندانی در رابطه با دمای گذار نمونه ندارد .

به منظور بررسی و مطالعه بیشتر نمونه $(Y_{0/33}Gd_{0/33}Eu_{0/33})Ba_2Cu_3O_x$ که از این بعد به صورت YGdEu1 معرفی می شود ، این نمونه تحت عملیات حرارتی قرار گرفته و در حضور اکسیژن دوباره کلوخه سازی روی آن انجام شده است نمونه فوق را که دوباره عملیات حرارتی روی آن انجام شده به نام YGdEu2 معرفی می کنیم . شکل ۲ نشانگر رفتار پذیرفتاری مغناطیسی این نمونه هیچ گذاری را تا دمای ۷۷ درجه ی کلوین از خود نشان نمی دهد .

در مرحله بعدی مقاومت الکتریکی نمونه ها اندازه گیری شد مقاومت نمونه $(Y_{0/33}Gd_{0/33}Eu_{0/33})Ba_2Cu_3O_x$ دارای آستانه گذاری برابر ۹۱ درجه کلوین می باشد . مقاومت نمونه YGdEu1 دارای آستانه گذار حدود ۹۰ درجه کلوین است . مقاومت نمونه YGdEu2 نیز اندازه گیری شد و مقدار متوسط دمای گذار آن حدود ۶۵ درجه کلوین تخمین زده شد و مقاومت این نمونه زیر دمای ۵۰ درجه کلوین صفر می باشد . مشاهده می شود که دمای گذار نمونه YGdEu2 نسبت به نمونه YGdEu1 به میزان قابل ملاحظه ای کاهش پیدا کرده است . احتمالاً افزایش بیش از مقدار بهینه اکسیژن در این نمونه ، تعداد حاملین بار را زیاد کرده است با توجه به این که دمای گذار بر حسب تعداد حاملین بار به طور سهموی تغییر می کند [۱۶].

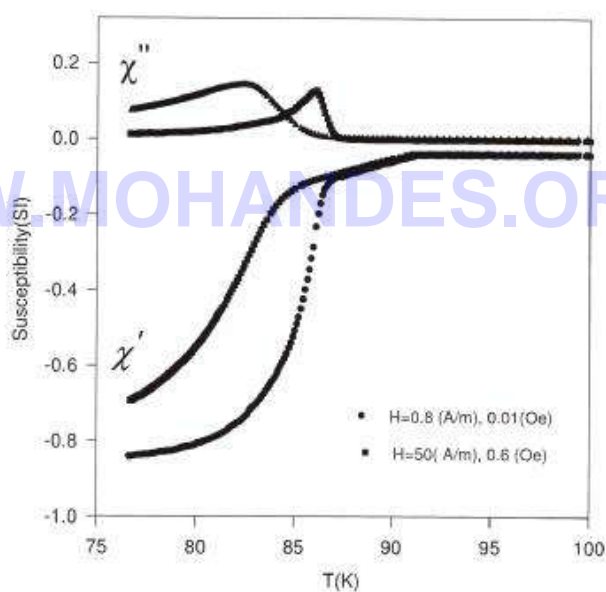
بنابراین افزایش خیلی زیاد حاملین بار دمای گذار این نمونه را کاهش داده ، هر چند مشاهده خواهیم کرد که ناخالصی از بین رفته والگوی ساختاری بهتر شده است .

با استفاده از نتایج نمودار حاصل از پردازش پرتوی ایکس برای نمونه $(Y_{0/33}Gd_{0/33}Sm_{0/33})Ba_2Cu_3O_x$ مقدار پارامترهای شبکه مقادیر $C=11/4942A^0$ ، $b=3/88.3 = A^0$ و $a=3/8688 A^0$ به دست آمد . مقدار پارامترهای شبکه برای نمونه $Y Gd Eu^2$ نیز محاسبه شد و مقادیر آن $c=11/6317 A^0$ ، $b=3/8845 A^0$ ، $a=3/8178 A^0$ به دست آمد البته نتایج نمودار حاصل از پراش پرتوی ایکس برای نمونه $YGdEu^1$ نیز به دست آمد . گرچه طرح

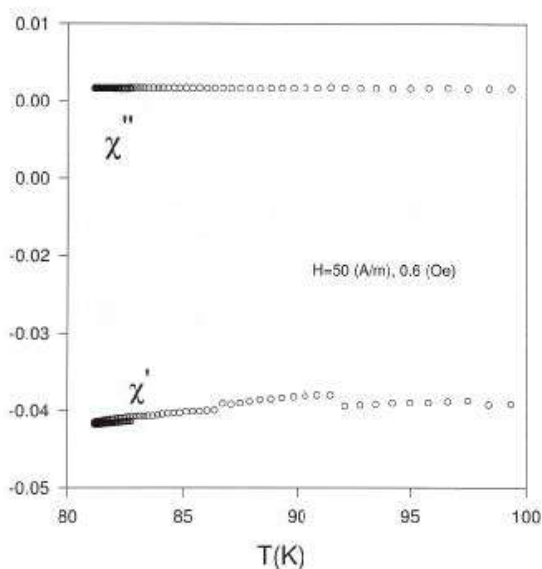
حاصل از این نمونه نیز شباهت زیادی به پراش نمونه (Y123) با اکسیژن ۷ داشت ، اما تعدادی قله ناشناخته در طرح موجود است که معرف وجود فازهای ناخالصی Y_2O_3 در این نمونه است .

نتایج حاصل از محاسبات و اندازه گیریهای این آزمایش بیانگر این مطلب است که پارامتر C در شبکه نمونه های $(Y_{0.79}Gd_{0.21})_{123}$ ، $(Y_{0.66}Gd_{0.34})_{123}$ قدری کوچکتر شده که احتمالاً یونهای Sm (با شعاع یونی A^0) $Eu(1/0.79)$ (با شعاع یونی A^0) با یون Ba نهایتاً پارامتر شبکه C در این ترکیبات کاهش پیدا میکند نتیجه این محاسبات با محاسبات مرجع [۲] و [۱۵] در توافق است .

از نمونه های ساخته شده توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی SEM گرفته شد . تصویر میکروسکوپ الکترونی از سطح نمونه $(Y_{0.33}Gd_{0.33}Sm_{0.33})Ba_2Gu_3O_x$ توده هایی از فاز ابررسانا با دانه هایی به ابعاد $10-30 \mu m$ را نشان می دهد نمودار EDX این نمونه مؤید درصد عناصر اسمی موجود در این نمونه به صورت کیفی است .



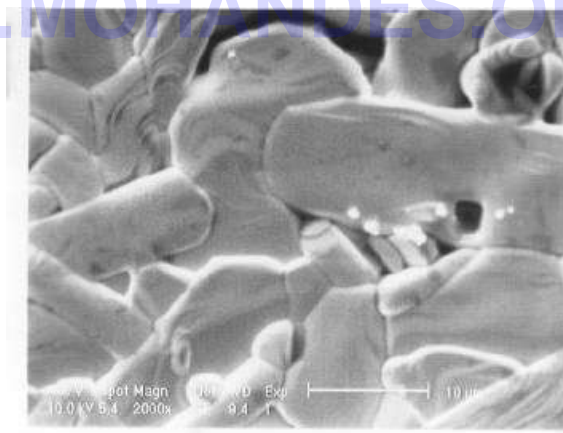
پذیرفتاری مغناطیسی بر
برای نمونه $YGdEu_1$



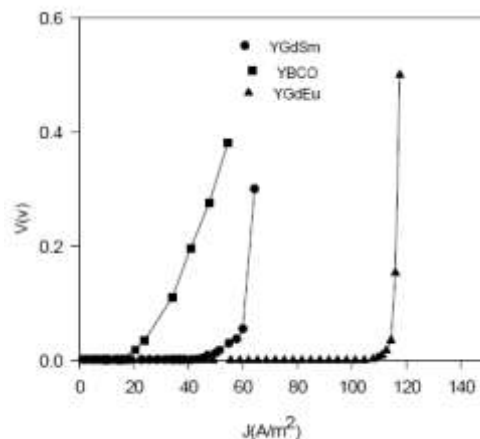
شکل ۲-۱
حساب دما

شکل ۲-۲. پذیرفتاری مغناطیسی بر حسب دما برای نمونه YGdEu_2

WWW.MOHANDES.ORG



شکل ۲-۳. تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه YGdEu_2



شکل ۴-۲. چگالی جریان بحرانی برحسب دما برای نمونه Y-123 و (YGdSm)123

شکل ۳ تصویری از سطح نمونه $Y\text{GdEu}_2$ را نشان می دهد به طوری که در این تصویر مشاهده می شود ، توده های مکعب مستطیلی (که معرف وجود فاز Y123) در این شکل به طور کامل قابل مشاهده است . نتایج حاصل از مطالعه EDX این نمونه ، نشان می دهد که نسبت اتمی عناصر موجود در نمونه به طور کامل حفظ شده است .

شکل ۲ نتایج اندازه گیری چگالی جریان بحرانی برای نمونه های (YGdSm)123 و (Y123) و ($Y\text{GdEu}^1$) را در دمای ازت مایع (۷۷ درجه کلوین) نشان می دهد به طوری که از نتایج حاصل می توان استنتاج کرد ، چگالی جریان بحرانی نمونه های (YGdSm) و ($Y\text{GdEu}^1$) نسبت به نمونه خالص Y^{123} افزایش پیدا کرده است با توجه به دمای ازت مایع قادر به اندازه گیری چگالی جریان بحرانی نمونه ($Y\text{GdEu}^2$) نبودیم .

۳-۲ نتیجه گیری

با انجام آزمایشهای اندازه گیری پذیرفتاری مغناطیسی و مقاومت الکتریکی ، توانستیم گذار ابررسانایی را در کلیه نمونه های ساخته شده مشاهده کنیم اندازه گیری چگالی جریان بحرانی ترکیب سه تایی $Y\text{GdEu}^1$ و (YGdSm)123 افزایش مقدار J_c را نسبت به نمونه (Y123) نشان می دهد . که احتمالاً جایگزینی یونهای Eu^{+3} و Sm^{+3} در این ترکیبات سه تایی با یون Ba^{+2} تعداد حاملین بار را در زنجیره های Cu-O کاهش داده و به همین دلیل دمای گذار نمونه ها اندکی کاهش پیدا کرده است ، اما با توجه به اصلاح ساختاری که در این سیستمها انجام

شده است حضور احتمالی یونهای Sm و Eu در روی صفحه های Ba O به عنوان یک ناخالصی به تولید میخکوبی محلی منجر شده و باعث افزایش جریان بحرانی شده است یون زو [۱۵] در توافق است جایگزینی یونهای مغناطیسی (اگر به مقدار بسیار ناچیز باشد) می تواند منجر به افزایش چگالی جریان بحرانی شود اما اگر این جایگزینی قابل ملاحظه باشد، این خود یک عامل کاهش چگالی جریان بحرانی است در این حا Sm همانند Eu به عنوان یک ناخالصی عمل می کند و چگالی جریان بحرانی افزایش می یابد، اما چون یون جایگزیده Sm، در ترکیب سه تایی YGdSm)123، به مقدار قابل توجه بوده و دارای همان مغناطیسی است، این خود یک عامل باز دارنده بوده و بنابراین افزایش چگالی جریان بحرانی به اندازه ترکیب سه تایی YGdEu¹ نخواهد بود.

احتمالاً افزایش بیش از اندازه اکسیژن از مقدار بهینه در نمونه YGdEu² نسبت به نمونه YGdEu¹ که مجدداً در اکسیژن باز پخت شده، تعداد حاملین بار را زیاد کرده است با توجه به این که دمای گذار برحسب تعداد حاملین باز به طور سهموی تغییر می کند، هر چند ناخالصی از بین رفته و الگوی ساختاری بهتر افزایش خیلی زیاد حاملین بار دمای گذار این نمونه را کاهش داده است.

آنالیزهای XRD, SEM نشان از تشکیل فاز ابر رسانی در نمونه ها و همچنین وجود بعضی فازهای ناخالصی می دهد. آنالیز EDX نشان داد که نشان اسمی عناصر موجود در نمونه به طور کامل حفظ شده است.

تشکر و قدردانی

از معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان به خاطر حمایت از این کار، تشکر و قدردانی می شود.

فصل سوم

آلایش Ca و Pr در ابر رساناهای دمای بالا با پایه Gd

نمونه های ابر رسانای دمای بالای تک فاز چند بلوری $Gd_{1-x-z} Pr_x Ca_z Ba_2 Cu_3 O_{7-\delta} (GdPrCa-123)$ با $0 \leq z \leq 0.35$ و $0 \leq x \leq 0.3$ با روش استاندارد واکنش حالت جامد ساخته شدند و آنالیزهای XRD و SEM روی آنها انجام شد. فازهای ناخالصی $BaCuO_2$ و $CaCu_2O_3$ با درصد کمی [۱] در نمونه های با غلظت بالایی از یون Pr- Ca مشاهده می شوند اندازه گیری الکتریکی نمونه ها نشان می دهند که با آلایش این مواد با یون Ca پله های موجود دیده شده در منحنی $T_e(x)$ از بین نمی روند و هنوز روند کاهش غیر خطی منحنی $T_e(x)$ مشاهده

می شود. همچنین منحنی $T_e(z)$ در نمونه های با $x=0$ یک کاهش غیر خطی را نشان می دهد همچنین منحنیهای $T_e(x,z)$ سهمی شکلی برای سری ترکیبات با غلظت ثابتی از یون Pr و مقادیر متفاوتی از یون Ca به دست آمده اند با مشاهده این منحنی ونیز غیر خطی باقی ماندن منحنی $T_e(x)$ ونیز حضور ناخالصی $BaCuO_2$ پیشنهاد می شود که Pr علاوه بر اثرات شکست جفت و پر کردن حفره های متحرک در صفحات CuO_2 دارای اثر مخرب دیگری مانند موضعی کردن حفره های متحرک می باشد. اندازه گیریهای مغناطیسی نمونه ها مقدار میدان بحرانی پایینی این ترکیبات را از مرتبه Mt به دست داد منحنی مقاومت برحسب دمای نمونه ها تحت میدان مغناطیسی ، پهن شدگیهای را نشان می دهد برآزش این منحنیها با نظریه AH، حضور پدیده TAPS را در این نمونه ها در محدوده دمایی نزدیک دمای گذار ، نشان می دهد روند تغییرات پارامتر Y در نظریه AH نسبت به دما ، میدان و غلظت یونهای آلیش CaPr به دست آمد مشاهده می شود که با افزایش یون Ca به ترکیب ، چگالی جریان بحرانی افزایش و با آلیش یون Pr به ترکیب جریان بحرانی کاهش می یابد پیشنهاد می شود که یون Ca تا حد بهینه آلیش به عنوان مرکز میخکوبی ویون Pr به عنوان ارتباط ضعیف عمل می کنند .

واژه های کلیدی : ابر رساناهای دمای بالای GdPrCa-123 موضعی شدن حفره ، TAPS مرکز میخ کوبی .
با کشف ابررسانایی دمای بالا توسط بدنورز و مولر در سال ۱۹۸۶ [۱]، که دارای دمای گذار T_c خیلی زیادتری از بر رساناهای متعارف ونیز دارای ناهمسانگری زیادی بودند ، سیل تحقیقات و تلاشهای فراوان برای بررسی این پدیده جدید درجهان شروع شد این پدیده ، بر خلاف نظریه های موجود در آن زمان ، و نیز برخلاف فیزیکدانان بود تا به آن زمان ، مقالات و نظریه های مختلفی مبنی بر این وجود داشت که ابر رسانایی دردمای بیشتر از ۴۰k وجود ندارد [۲] ولی دیده شد که این مواد جدید ، با اینکه اکسید غیر فلزی بودند ، دارای T_c بالایی هستند همچنین در این مواد همانند مواد ابر رسانای دمای پایین ، جفت کوپر دیده می شود اما اینکه چه عاملی باعث جفت شدگی الکترونها و سپس ابر رسانایی دمای بالا در این ترکیبات جدید است ، سوالی است که هنوز نیاز به تحقیقات بیشتری دارد . هنگامی که بدنورز و مؤلر این ذهنیت و باور را شکستند که می توان از مرزهای عینی پا فراتر گذاشت ، تحقیقات بسیاری برای یافتن نظریه ای کامل و جامع در مورد ترکیبات جدید ابررسانایی وهمچنین پاسخ به سئوالات فراوانی که در مورد خواص آنها وجود دارد ، شروع شد ، همچنین ، یک گروه دیگر از محققین بر روی این موضوع متمرکز شده اند که چگونه می توان ابر رساناها را در فناوری امروزی به کار گرفت گروه های تحقیقاتی فراوانی در حال رقابت فشرده ای هستند تحقیقات تمام وقت در سالهای اخیر ، موجب شده که پیشرفتهای زیادی در این زمینه

حاصل شود به دست آوردن این نتایج و پیشرفت‌ها باعث شده که محققین به دنبال به واقعیت تبدیل کردن رویای ابر رسانایی در دمای اتاق که به نظر غیر ممکن می‌بود، باشند.

یکی از راه‌های بررسی ساز و کار ابررسانایی جایگزینی عناصر مختلف در ترکیبات $\text{RBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (R-123) است. تحقیقات و آزمایش‌ها نشان می‌دهند که خاصیت ابر رسانایی این ترکیبات، تقریباً مستقل از عنصر R است [۴ و ۳]. عنصر نادر زمین به جز Pr, Pm, Tb, Ce فاز ابر رسانایی 90K را موجب می‌شود Tb و Ce به دلیل دارا بودن ظرفیت $+4$ ، دارای ساختار ناپایدار 123 بوده و در واقع نمی‌توانند فاز 123 را تشکیل دهند و Pm نیز به علت هسته رادیواکتیو آن، عنصری ناپایدار است.

یکی از نکات جالب توجهی که در ترکیبات R-123 دیده می‌شود این است که با اینکه یون R دارای ممان مغناطیسی بالایی است، اما دیده می‌شود که ممان مغناطیسی آن هیچ تأثیری بر روی دمای گذار ابر رسانایی ندارد و مثل این است که صفحات رسانای CuO_2 از عنصر R مجزا می‌باشند در صورتی که در نظریه‌ها دیده می‌شود که حضور ناخالصی مغناطیسی در ابر رساناهای متعارف، موجب اضمحلال ابررسانایی می‌شود.

یک استثنا مشاهده شده در ترکیبات R-123 تنها عنصر Pr است که فاز 123 را تشکیل می‌دهد، اما ترکیب Pr-123 ابر رسانا نبوده و بلکه نیمه رساناست [۶ و ۵]. دیده می‌شود که آلایش Y-123 با یون پارامغناطیسی Pr، باعث افت T_c با افزایش x در ترکیبات $\text{Y}_{1-x}\text{Pr}_x\text{-123}$ ابر رسانایی در حد $x = 0.05 - 0.06$ از بین می‌رود [۶ و ۵]. بحث‌های فراوانی در مورد ظرفیت Pr وجود دارد اندازه گیری‌های پذیرفتاری مغناطیسی [۷] ظرفیتی برابر $+4$ برای این یون نشان می‌دهند ولی از طرف دیگر، آزمایش‌های پراش نوترون ترکیبات Pr-123 ظرفیتی مخلوط برابر $+3/3$ را نشان می‌دهند [۸]. آزمایش‌های شدید باند توسط تابش نور [۹] جذب اشعه x [۱۰] مطالعات ساختاری [۱۱]. اسپکتروسکوپی توسط الکترون‌های کم انرژی [۱۲] و اسپکتروسکوپی لایه‌های مغزی [۱۳] نیز ظرفیت $+3$ را برای Pr نشان می‌دهد همچنین آزمایش‌های اثر هال [۱۴]، جانشینی‌های شیمیایی [۱۵]، توان ترموالکتریک [۱۶]، NMR [۱۷]، XPS [۱۸]، اسپکتروسکوپی مرز باختر [۱۹] و پراکندگی رامان [۲۰] ظرفیتی بین $+3$ و $+4$ برای Pr آشکار کرده‌اند.

برای توضیح و تفسیر اثرات ناشی از یون Pr در ترکیبات ابررسانا، سازو کارهای مختلفی در مقالات گزارش شده است. دو ساز و کار اصلی پیشنهاد شده:

(۱) شکست جفت‌های کوپر به علت پراکندگی تبدالی اسپین حفره‌های موجود در صفحات CuO_2 توسط هیپرید شدن بین حالت‌های باند ظرفیت $4f$ یون Pr و حالت‌های باند ظرفیت $2p$ CuO_2

(۲) پر شدن حفره ها به علت بالا تر بودن ظرفیت یون Pr و از $+۳$ ، و یا موضعی شدن آنهاست. بیشترین مقالاتی که این دو سازوکار را پیشنهاد داده اند، توسط نیومیر و همکارانش در مورد مطالعات رفتار ترکیبات YbPrCa-123 گزارش شده است [۱۵]. آشکارا، بحثهای زیادی در مورد اثرات و ظرفیت Pr در ترکیبات ابررسانایی وجود دارد. بدین ترتیب، برای یافتن این اثرات، کنکاش بر روی این موضوع شروع شد و نمونه های سرامیکی $\text{Gd}_{1-x}\text{Pr}_x\text{-123}$ در آزمایشگاه MRL ساخته شدند اندازه گیریهای الکتریکی که روی این مواد انجام شد [۲۱-۲۴] نشان دادند که منحنی $T_c(X)$ این مواد از نظریه ابریکاسوف - گروکف (AG) [۲۵] که در مورد شکست جفتهای کوپر توسط ناخالصیهای مغناطیسی است، تبعیت نمی کند و برخلاف این نظریه، یک منحنی غیر خطی به دست می دهد همچنین با استفاده از آزمایشهای مغناطیسی و اندازه گیری پذیرفتاری مغناطیسی نمونه های ساخته شده، ظرفیت $+۳/۸۶$ به جای $+۳$ برای یون Pr به دست آمد. یعنی یک اضافه باری برای این یون مشاهده شد با مقایسه منحنی $T_c(X)$ به دست آمده از ترکیبات GdPr-123 و $T_c(\&)$ (منحنی کاهش دمای گذار نسبت به کمبود اکسیژن نمونه های Y-123 و مشاهدات آزمایشگاهی مذکور، پیشنهاد شده است که Pr علاوه بر شکست جفتهای و پر کردن حفره های ابررسانایی باعث موضعی شدن حفره های متحرک می گردد. برای تایید این مطلب، ما به دنبال یونی رفتیم که پس از آلیش با ترکیبات GdPr-123 ، علاوه بر این که با ساختار کریستالی ۱۲۳ همخوانی داشته باشد و دارای شعاع یونی مناسبی نیز باشد، به علت کمبود بار، بتواند زیادی بار یون Pr را حذف کند بدین ترتیب با حذف اثر دوم Pr، حضور و یا عدم اثر مخرب سوم این یون تأیید می شود برای بررسی این فرضیه، ناخالصی Ca^{2+} که شرایط ذکر شده بالا را دارا بود، انتخاب شد و نمونه های $\text{Gd}_{1-x-z}\text{Pr}_x\text{Ca}_z\text{-123}$ (GdPrCa-123) ساخته شدند اندازه گیری های الکتریکی و مغناطیسی کلیه نمونه ها انجام شد و نیز آنالیزهای XRD و SEM روی آنها انجام گرفت.

۱-۳ ساخت و آزمایشات

نمونه های سرامیکی $\text{Gd}_{1-x-z}\text{Pr}_x\text{Ca}_z\text{-123}$ با استفاده از روش استاندارد واکنش حالت جامد، با مقادیر مختلف آلیش $0 \leq x \leq 0.3$ و $0 \leq z \leq 0.35$ و با روش استوکیومتری جرمی، پودرهای CaCO_2 ، BaCO_2 ، Pr_6O_{11} و Gd_2O_3 و CuO با خلوص ۹۹/۹۹٪ مخلوط شده و ساخته شدند در ساخت هر نمونه دو مرحله حرارتی اصلی وجود

دارد مرحله تکلیس و مرحله کلوخه سازی ، مرحله تکلیس ، دومرتبه و در هر مرتبه ، پودرها کاملاً ساییده و مخلوط می شوند و تا دمای 850°C در هوا حرارت داده شده و در این دما به مدت ۲۴ ساعت باقی می ماند و سپس تا دمای اتاق به مرور سرد می شوند فاز 123 در این مرحله حرارتی تشکیل می شود در این مرحله از کار ، پودرهای سیاه رنگ به دست آمده ، دوباره خرد شده و تحت نیروی 5 تن به صورت دیسک درآمده و روی ورقه ای از طلای خالص و در اتمسفر اکسیژن با فشار یک اتمسفر ، منتشر شدند و دمای آنها ، تحت شرایط خاص عملیات حرارتی ، به مدت ۲۴ ساعت ، از دمای اتاق به دمای 930°C رسیده و به مدت ۲۴ ساعت در همین دما نگه داشته شده و سپس با آهنگ دمایی حدود $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ تا دمای اتاق سرد شدند [۲۶]. در پایان مرحله ساخت ، قرصهای سیاه رنگی به دست آمد که دارای سختی بالایی بودند لازم به ذکر است که در هنگام ساخت ، سعی شد که تمامی شرایط ساخت برای کلیه نمونه ها ، یکسان در نظر گرفته شود ، تا بتوان به نتیجه بهتر و قابل اعتمادتری دست یافت .

پس از ساخت ، آزمایشها و آنالیزهای مختلفی روی نمونه ها انجام شد ساختار کریستالی نمونه ها و اینکه چه فازهای ناخالصی دیگری در ترکیب ظاهر شده ، توسط آنالیز XRD به روش پودری (تابش CuK_α و یا استفاده از فیلتر نیکل و با طول موج اشعه $X-\text{A}^0$ $1/540598$ در دمای اتاق) مورد بررسی قرار گرفت . در آنالیز طیفهای اشعه X - نمونه ها ، از نرم افزار Rietveld استفاده شد با استفاده از این نرم افزار توانستیم تغییرات فواصل باندی درون شبکه را نسبت به آلایش یونهای Pr و Ca به ترکیب مورد بررسی قرار داده و نتایج قابل توجهی را به دست آوریم همچنین مقدار اکسیژن نمونه ها ، پارامترهای شبکه (a,b,c) و اندیسهای میلر (hkl) با استفاده از این آنالیز به دست آمدند آزمایش SEM برای تعیین ریز ساختار نمونه ها و کیفیت ساخت صورت گرفت . برای اندازه گیری اکتريکی و مقاومت مغناطیسی نمونه ها ، آنها را به صورت مکعب مستطیل به ابعاد $1/5 \text{ mm}^3 * 4 * 10$ برش دادیم و با روش ۴- میله ای ، سیمهای مسی نازکی را با فواصل مشخصی به کمک چسب نقره روی سطح نمونه وصل کردیم کنترل دمای نمونه با دقت 0.1k توسط یک کنترل کننده دما Lake Shore -330 با یک مقاومت Pr و دیود GaAs انجام گرفت مقاومت ویژه الکتریکی نمونه ها در محدوده دمایی 10 تا 300k با جریان الکتریکی ac برابر $9/3 \text{ mA}$ و با فرکانس 70 Hz اندازه گیری شد . برای دستیابی به دماهای پایین ، از یک یخچال مدار بسته (displex) و با استفاده از گاز هلیوم برای سرد کردن نمونه ها استفاده شده است .

اندازه گیریهای مغناطیسی نمونه ها در محدوده دمایی 10 تا 300k با استفاده از یک دستگاه مگنتومتر با نمونه لر (VSM) با حساسیت 10^{-4} emu که شامل یک آهنربای الکتریکی با قدرت $12/3\text{T}$ است ، انجام شد هنگامی که نمونه در یک میدان مغناطیسی یکنواخت قرار داده می شود ، یک بردار مغناطش متناسب با حاصل ضرب پذیرفتاری ضرب در میدان اعمال شده در

نمونه القا می شود ($M=H$). دستگاه طوری طراحی شده است که نمونه به صورت سینوسی در میدان مغناطیسی نوسان می کند و یک علامت الکتریکی در بوبیتهای دریاق PUC القا می شود این سیگنال پس از چندین مرحله تقویت ، قابل اندازه گیری می شود ، در واقع ، نوسان موجب می شود که شار مغناطیسی عبور کنندگی تغییر کند و در نتیجه یک علامت PUC القا شود . PUC ها روی قطبهای آهنربا قرار دارند نهایتاً برای مشاهده منحنی $M(H)$ ، ولتاژ خروجی را می توان به یکی از ورودی های ثابت-XY داده و به ورودی دیگر نیز خروجی میدان مغناطیسی اعمال شده را داده تا منحنی پسماند مغناطیسی نمونه ابر رسانای مورد نظر را رسم کند برای کاهش دمای نمونه ها ، از یک یخچال نیتروژن مایع استفاده می شود با تغییر میدان مغناطیسی با آهنگ یکنواخت و آرام ، منحنیهای مغناطش نمونه هایی که دمای گذاری بالا دارند ، رسم شدند .

۲-۳ نتایج و بحث

آنالیز طیفهای اشعه X- نمونه ها ، یک ساختار پرووسکایت تک فاز اورتورومبیک با گروه فضایی Pmmm را از خود نشان می دهند . همچنین طیف بعضی نمونه ها ، قبل وبعد از مرحله کلوخه سازی ، گرفته و با هم مقایسه شده اند دیده می شود که فازهای ناخالصی $BaCuO_2$, $PrBaO_2$ و $CaCu_2O_2$ با قله های اصلی به ترتیب در مکانهای $2\theta = 33 / 2^\circ$ و $2\theta = 29 / 3^\circ$ ، $2\theta = 28 / 9^\circ$ به شدت پس از مرحله کلوخه سازی کاهش یافته و فقط در بعضی نمونه ها که دارای درصد بالایی از یونهای Ca و Pr هستند ، فازهای ناخالصی $BaCuO_2$, $CaCu_2O_3$ حدود ۱٪ خود را نشان می دهند و فاز ناخالصی قابل توجه دیگری حضور ندارد [۲۳ و ۲۷]. حضور فاز ناخالصی $BaCuO_2$ ممکن است نشان دهنده جانشینی مقدار جزئی از یون Pr در سامانه Ba باشد [۲۸]. در این صورت با نزدیک شدن یون Pr به زنجیره ها ، اضافی بار مثبت این یون می تواند قسمتی از بار منفی روی اتمهای اکسیژن در زنجیره ها را تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه باعث کاهش غلظت حفره های متحرک ابر رسانایی در ترکیب (موضعی شدن حفره های متحرک) و سپس باعث افت T_c شود [۲۱].

برای آنالیز دقیق طیفهای اشعه X- به دست آمده ، از نرم افزار Rietveld استفاده کردیم با استفاده از این نرم افزار ، طیف پراش اشعه X- نمونه ها با غلظتهای مختلفی از یونهای Pr و Ca آنالیز و اندیس گذاری شده اند و نیز ثابتهای شبکه به دست آمدند جدول ۱ ، یک نمونه از نتایج این آنالیز را برای ترکیب $(x=0/0 , z=0/15)$ نشان می دهد در این جدول ، اندیسهای میلر (hkl) مربوط به قله های مشاهده شده و مقادیر مشاهده شده (Iobs) و محاسبه شده (Icalc) شدت هر قله ، برای مقایسه داده شده اند مقایسه داده های شدت قله های محاسبه شده و مشاهده شده ، نشان بر برازش خوب نمونه ها با کارتهای JCPDS و کیفیت خوب نمونه هاست به علاوه ، با در نظر گرفتن مکان

بعضی یونها مانند $O(2)$, $O(3)$, $O(4)$ و $Cu(2)$ و نیز درصد اشتغال بعضی از نقاط شبکه اتمی مانند $O(3)$, Gd , $O(1)$, $O(2)$ و $O(5)$ به عنوان متغیر ، با استفاده از این نرم افزار توانستیم به روند تغییرات این پارامترها نسبت به درصد آلیش ناخالصیهای $CaPr$ دست یابیم در این آنالیز ، مشاهده شد که مقدار اکسیژن در صفحات ، $CuO_2(O(3)$, $O(2))$ ثابت بوده و مقادیر $O(1)$, $O(5)$ در زنجیره ها متغیرند ، همچنین با استفاده از این اطلاعات ، فواصل بانندی درون ساختار شبکه محاسبه شد [۲۳].

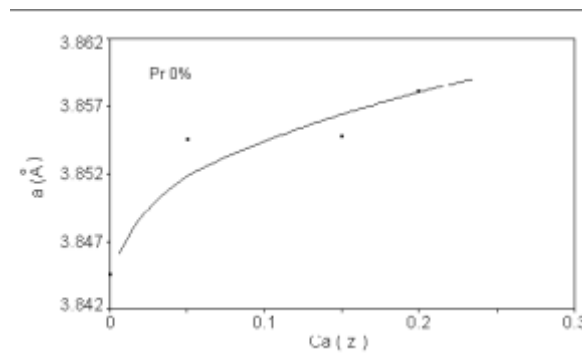
با بررسی و تحلیل داده های به دست آمده از این آنالیزها ، دیده می شود که در نمونه های فقط Ca دار (0% pr) با افزایش یون کلسیم در ترکیب ، پارامتر a شبکه و حجم سلول واحد افزایش می یابد که با گزارشات منتشر شده روی دستگاه های $ErPrCu-123$, $YPrCa-123$ و $Y./4 Pr./6 CaxBa1-xCu2O7-$ تطابق و همخوانی دارد [۲۹-۳۱]. شکل ۱ ، منحنی تغییرات پارامتر a شبکه بر حسب افزایش یون Ca در ترکیبات فاقد یون pr را نشان می دهد از طرفی با محاسبه فواصل بانندی $o(2) - cu(2)$ ، دیده می شود که با افزایش این یون ، طول باند مذکور افزایش می یابد ، یعنی صفحات CuO_2 در این ترکیبات تخت تر می شوند (در توافق با [۳۰]) در نمونه های دارای درصد ثابتی از یون Pr (مثلاً ۱۰٪) و با مقادیر مختلفی از آلیش Ca ، دیده می شود که با افزایش این یون پارامتر a افزایش می یابد این روند تغییرات برای سری ترکیبات با مقدار درصد دیگری از pr (۱۵٪) نیز دیده می شود همچنین از این ترکیبات نیز با محاسبه فواصل بانندی و زوایا در صفحات CuO_2 , $O(2) - Cu(2)$, $Cu(2)$ به خوبی دیده می شود که با افزایش غلظت یون Ca ، تا حد بهینه آلیش ، زاویه نامبرده کوچکتر شده (صفحات خمیده تر می شوند) و فواصل بانندی به همراه کاهش در پارامتر a شبکه ، کاهش می یابند و از این حد بهینه آلیش به بعد ، صفحات رسنای CuO_2 تخت می شوند این روند تغییرات مشاهده شده با روند افزایش و کاهش دمای گذار نمونه ها (T_e) در اندازه گیری های الکتریکی همخوانی داشته و از نظر نظری هم منطقی به نظر می رسد : آلیش حفره در صفحات رسنای CuO_2 باعث کاهش پارامتر a شبکه می شود [۳۲ و ۳۳] افزایش پارامتر a شبکه ، پس از حد بهینه آلیش یون کلسیم ، نشان بر پارامتر a شبکه ، پس

جدول ۳-۱. مقادیر hkl و lobs بر حسب مکان قله های مشاهده شده برای نمونه (x=0/0,z=0/15)

شماره	محل (۲θ)	h	k	l	I _{calc}	I _{obs}
۱۴	۲۴/۳۶۹	۱	۰	۱	۹	۱
۱۵	۲۷/۴۲۴	۰	۱	۲	۰	۰
۱۶	۲۷/۴۹۳	۰	۱	۲	۰	۰
۱۷	۲۷/۷۱۹	۱	۰	۲	۰	۱
۱۸	۲۷/۷۸۹	۱	۰	۲	۰	۰
۱۹	۳۰/۵۹۸	۰	۰	۴	۴	۴
۲۰	۳۰/۷۷۵	۰	۰	۴	۲	۲
۲۱	۳۲/۴۲۳	۰	۱	۳	۹۸	۹۸
۲۲	۳۲/۵۰۵	۰	۱	۳	۴۹	۵۰
۲۳	۳۲/۵۹۷	۱	۱	۰	۸۹	۹۳
۲۴	۳۲/۶۷۷	۱	۰	۳	۹۸	۱۰۵
۲۵	۳۲/۶۷۹	۱	۱	۰	۴۴	۴۸
۲۶	۳۲/۷۶۰	۱	۰	۳	۴۹	۵۳
۲۷	۳۳/۵۱۱	۱	۱	۱	۱	۱۱
۲۸	۳۳/۵۹۶	۱	۱	۱	۱	۲
۲۹	۳۶/۱۳۱	۱	۱	۲	۴	۱
۳۰	۳۶/۲۲۳	۱	۱	۲	۲	۱۷
۳۱	۳۸/۴۴۶	۰	۱	۴	۸	۵۵
۳۲	۳۸/۵۱۵	۰	۰	۵	۴	۲
۳۳	۳۸/۵۴۴	۰	۱	۴	۴	۵
۳۴	۳۸/۶۱۴	۰	۰	۵	۲	۱
۳۵	۳۸/۶۶۵	۱	۰	۴	۷	۵۲
۳۶	۳۸/۶۶۴	۱	۰	۴	۴	۱۹
۳۷	۴۰/۱۶۷	۱	۱	۳	۲۸	۲
۳۸	۴۰/۲۷۱	۱	۱	۳	۱۴	۱
۳۹	۴۵/۱۸۰	۰	۱	۵	۲	۵
۴۰	۴۵/۲۹۸	۰	۱	۵	۱	۱
۴۰	۴۵/۳۱۲	۱	۱	۴	۱۰	۱
۴۲	۴۵/۳۷۳	۱	۰	۵	۲	۰
۴۳	۴۵/۴۳۰	۱	۱	۴	۵	۳۲
۴۴	۴۵/۴۹۱	۱	۰	۵	۱	۱۶
۴۵	۴۶/۳۹۰	۰	۲	۰	۲۵	۲۸
۴۶	۴۶/۵۱۱	۰	۲	۰	۱۲	۱۹
۴۷	۴۶/۶۲۹	۰	۰	۶	۱۷	۱
۴۸	۴۶/۷۵۱	۰	۰	۶	۹	۴۱
۴۹	۴۷/۰۷۵	۰	۲	۱	۱	۱
۵۰	۴۷/۱۴۱	۲	۰	۰	۲۴	۲۴
۵۱	۴۷/۱۹۸	۰	۲	۱	۰	۰
۵۲	۴۷/۲۶۴	۲	۰	۰	۱۲	۰
۵۳	۴۷/۸۱۸	۲	۰	۱	۱	۰
۵۴	۴۷/۹۴۳	۲	۰	۱	۰	۰
۵۵	۴۹/۰۸۵	۰	۲	۲	۲	۰
۵۶	۴۹/۲۱۵	۰	۲	۲	۱	۰
۵۷	۴۹/۸۰۵	۲	۰	۲	۲	۰
۵۸	۴۹/۹۳۷	۲	۰	۲	۱	۰
۵۹	۵۱/۳۲۳	۱	۱	۵	۱	۱
۶۰	۵۱/۴۵۹	۱	۱	۵	۰	۰

با استفاده از آنالیز Rietveld.

از حد بهینه آرایش یون کلسیم ، نشان بر آلییده نشدن حفره به ترکیب و یا احتمالاً بیش از حد آلییده شدن حفره به دستگاه است (اثر Overdoping) [۲۳].



شکل ۱-۳. منحنی تغییرات پارامتر a شبکه بر حسب غلظت یون Ca در ترکیب $GdxCax$

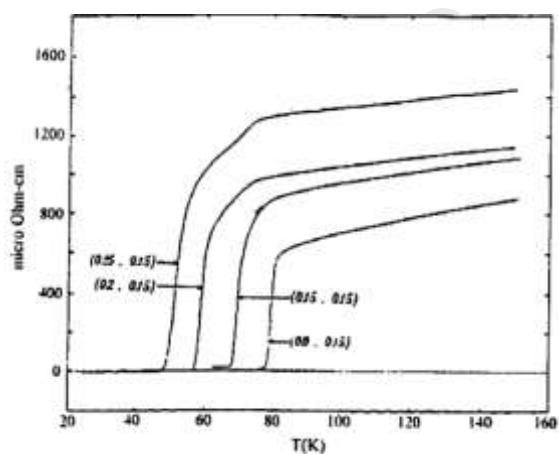


شکل ۲-۳. تصاویر SEM نمونه های GdPrCa-123 (الف) ($x=0/15, z=0/15$) ، (ب) ($x=0/3, z=0/2$) ($\times 5000$)

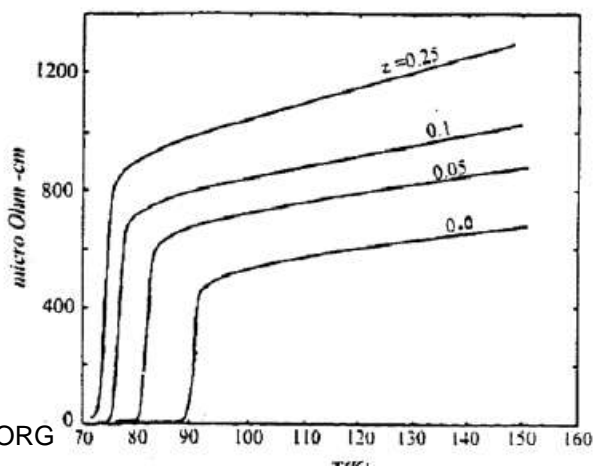
مقدار اکسیژن نمونه ها ، (γ و δ) ، به وسیله نرم افزای Rietveld به دست آمد با توجه به عدم دقت بالای این روش در تعیین مقدار اتمهای سبک ، دیده شد که مقدار اکسیژن نمونه ها نسبت به افزایش یا کاهش غلظت یونهای آلایشی Pr و Ca ثابت می باشد . مقدار متوسط اکسیژن کل نمونه ها برابر $0/2 \pm 6/87$ به دست آمد . تصاویر به دست آمده از آنالیز SEM نشان می دهند که شکل دانه ها در این ترکیبات سوزنی بوده و نمونه ها متخلخل هستند و دانه ها به طور یکنواخت در نمونه پخش شده اند (در توافق با [۳۴]) شکل ۲ ، عکسهای مربوط به آنالیز SEM بعضی از نمونه ها را نشان می دهد با مشاهده و اندازه گیری دانه ها در این عکسها ، به نظر می رسد که با افزایش غلظت یون Pr در نمونه ها ، فاصله بین دانه ها بیشتر می شود ، یعنی فاز عایق قویتر می گردد و با افزایش غلظت یون Ca در نمونه های با $x=0$ ، حجم دانه ها کمی افزایش می یابد ، این مشاهدات با نتایج اندازه گیریهای الکتریکی و آنالیزهای XRD نمونه ها ، همخوانی دارند [۲۷]. چگالی جرمی نمونه ها در حدود $5/6 \text{ gr/cm}^3$ به دست آمد که با مقدار نظری آن همخوانی دارد و مقدار آن به اندازه نیروی اعمال شده در هنگام دیسک کردن پودرها ، اندازه دانه ها و همچنین به عملیات حرارتی در مراحل تکلیس و کلوخه سازی بستگی دارد .

در اندازه گیریهای الکتریکی ، دیده می شود که با افزایش یون Pr در ترکیب ، T_e افت می کند و با افزایش این یون ، پهن شدگی در ناحیه دمای گذار نمونه ها ، بیشتر می شود . همچنین در نمونه های با درصد بالایی از غلظت این یون ، دیده می شود که شیب حالت هنجار نمونه ها کم شده و شانه هایی در نزدیکی Tonset مشاهده می شود که نشان دهنده دور شدن نمونه ها از حالت فلزی و نزدیک شدن به حالت نیمه رسانایی است کم شدن شیب حالت هنجار نمونه و نیز شانه های مذکور ، به علت آلایش یون پارامغناطیسی Pr در ترکیب ، در شکل ۳ کاملاً مشهود است . از طرفی ، با افزایش یون Ca در ترکیب ، تفاوت چشمگیری در شیب حالت هنجار و نیز پهن شدگی در ناحیه گذار دیده نمی شود ، که این مشاهده به غیر مغناطیسی بودن یون Ca نسبت داده می شود شکل ۴ . منحنی مقاومت ویژه

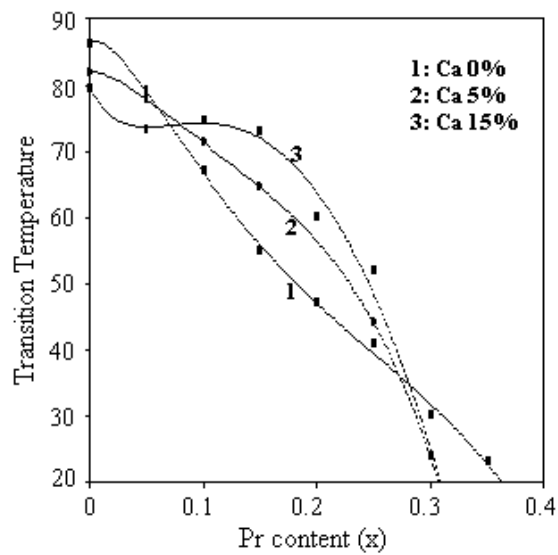
برحسب دمای نمونه های دارای فقط یون کلسیم را نشان می دهد در این شکل دیده می شود که با افزایش یون Ca در ترکیبات فاقد Pr ، T_e افت می کند .



شکل ۳. منحنی مقاومت ویژه برحسب دما نمونه های $GdPrCa-123$ با غلظت ثابت یون Ca (۱۵٪) و با مقادیر متفاوت یون pr $x=0.25, 0.2, 0.15, 0.0$



شکل ۴. منحنی مقاومت نویژه برحسب دمای نمونه های Gd_xCa_x با مقادیر ۰/۲۵ و ۰/۱ و ۰/۰۵ و $z=0\%$



شکل ۵. منحنی دمای گذار برحسب غلظت یون pr در نمونه های $GdPrCa-123$ (الف) Ca% ، (ب) Ca 10% ،

(ج) Ca 15% خطوط راهنمای چشم اند نقاط شکل (الف) از مرجع [۱۲] اخذ شده اند .

با استفاده از داده های اندازه گیریهای الکتريکی، سه منحنی $T_e(x)$ برای $0/15$ و $0/05$ و $0/0$ و با مقادير مختلفی از غلظت Pr را به دست آوردیم در هر سه منحنی، دیده می شود که روندی خطی، طبق نظریه AG، دیده نمی شود یعنی با اضافه کردن یون Ca به ترکیبات و حذف بار اضافی Pr توسط کمبود بار یون Ca، روند غیر خطی مشاهده شده در شکل ۵ (الف) [۲۱]. حذف نگردیده است با وجود اینکه، یون کلسیم مقادير T_e نقاط در محدوده $0/25$ تا $0/15$ را افزایش داده، ولی هنوز روند غیر خطی بودن تداوم دارد (شکل ۵ (ب) و (ج)) این آشکارا نشان می دهد که احتمالاً یون Ca با جبران اضافی بار Pr، در صدد حذف این روند غیر خطی برآمده، اما به دلیل حضور اثر مخرب دیگری برای یون Pr روند غیر خطی هنوز کافی است. اندازه گیریهای الکتريکی نمونه های Ca دار فاقد Pr، نشان می دهند که با افزایش یون Ca در ترکیب، دمای گذار کاهش می یابد نکته جالب مشاهده شده آن است که این روند، یک روند غیر خطی است [۳۳ و ۳۵] (شکل ۶ (الف)) این مشاهده مخالف مشاهدات پیشنهاد شده در نمونه های YCa-123 و RCa-123 [۳۶ و ۱۵] به نظر می آید مطابق شکل ۶ (ب) و (ج)، اندازه گیریهای متفاوت الکتريکی نمونه های دارای Pr یکسان و مقادير مختلف Ca، منجر به مقادير دمای گذار T_e می شود که حد بهینه ای را برای مقادير Ca نشان می دهد با آرایش یون Ca به ترکیبات GdPr-123 بار اضافی Pr جبران شده و T_e بالا می رود از این مقدار بهینه به بعد، با افزایش بیشتر یون Ca.

فصل چهارم

خواص ساختاری، الکترونی و دینامیک شار ابررسانای $Gd(Ba_{2-x}Pr_x)Cu_2O_{x+6}$

به منظور مطالع خواص ساختاری، الکترونی و دینامیک شار نمونه های تک فاز و چند بلوری $Gd(Ba_{2-x}Pr_x)Cu_2O_{x+6}$ با $0/00 \leq x \leq 1/00$ ساخته و مورد ارزیابی قرار گرفتند. نحوه تغییرات پارامترهای شبکه و حجم سلول واحد بر حسب آرایش مقدار اکسیژن بیشتر از مشاهده حد حل پذیری و بروز گذار اورتورومبیک - تتراگونال بر حسب x و عدم مشاهده هر گونه فاز ناخالصی بر پایه Gd همگی حاکی از حضور اتم Pr در مکان Ba است. چنین ادعایی از مقایسه کمیتهای بالا با موارد مشابه در ترکیب $(Gd1XPrx)Ba_2Cu_3O_{2-x}$ و همچنین مقادير مختلف آرایش بحرانی Pr برای بروز گذار ابررسانا- عایق در دو ترکیب بالا به خوبی قابل اثبات است. در بعضی

از مقادیر آرایش Pr یک برآمدگی نامتعارف در منحنی $P(t)$ در دمای حدود $90-80\text{ K}$ مشاهده شد. حضور اتم های Ba در مکان اتم نادر زمین R منجر به بروز ابررسانایی در برخی از نواحی دانه ها شده است که به صورت یک برآمدگی در منحنی $P(t)$ مشاهده می شود. رژیم غالب رسانشی فاز هنجار نمونه ها، رسانش پرشی با برد متغیر در دو بعد (D-2 VRH) به دست آمده است. آرایش Pr فویا حاملها را در فاز هنجار جایگزیده کرده که سرانجام منجر به اضمحلال ابررسانش می شود. مقدار آرایش بحرانی Pr برای اضمحلال ابررسانایی (گذار ابررسانا=عایق) در ترکیب مورد مطالعه $0/35$ و برای مشاهده گذار فلز=عایق $0/20$ است. مطالعه ترکیبات دیگر ابررساناهای دمای بالا نیز حاکی از تمایز این دو گذار است. حضور Pr در مکان Ba در ساختار ترکیبات 123 HTSC افزایش دمای گشایش شبه گاف T و اضمحلال ابررسانش پایه 123-Gd می شود. مطالعه T در دو ترکیب یاد شده نیز حاکی از اثر مخرب تر Pr در مکان Ba نسبت به مکان R است. نمودار فاز ارائه شده بر اساس تغییرات دمای گذار ابررسانایی و دمای گشایش شبه گاف بر حسب میزان آرایش حفره شبیه نمودارهای فاز میدان متوسط ارائه شده همانند RVB است. مقاومت مغناطیسی نمونه ها نیز اندازه گیری شدند و در چارچوب مدل های خزش شار و AH مورد بررسی قرار گرفتند. چگالی جریان بحرانی به دست آمده، $\text{Ho}_2(\text{T})$ و $\text{H o}_2(0)$ و طول ممدوسی ابررسانایی نشان می دهند که آرایش Pr همانند ارتباطات ضعیف، انرژی میخکوبی شار مغناطیسی را کاهش می دهد. همچنین رفتار دو بعدی HTSC به خصوص ترکیبات اخیر در مقایسه با سیستم های الکترونی دو بعدی یعنی MOSFET ها و لایه های بسیار نازک ابررساناهای متعارف مورد مطالعه قرار گرفتند. وجود شباهت های زیاد در این سیستم ها می تواند ناشی از منشأ فیزیکی یکسانی باشد. چنین مطالعه مقایسه ای می تواند فیزیک پیچیده ابررساناهای دمای بالا و گازهای الکترونی دو بعدی را بیشتر قابل ارزیابی قرار دهد. نتایج این تحقیق حاکی از اهمیت مکان Pr در ترکیبات 123 HTSC برای فهم سازوکار اضمحلال ابررسانش توسط آرایش Pr است. بنابراین، هر نظریه جامع باید بر اساس مکان Pr در سلول واحد ارائه شده و در مقایسه با نتایج تجربی نیز به ترتیبی، مکان Pr باید به طور دقیق تعیین شود.

پس از کشف ابررساناهای دمای بالا (HTSC) توسط بدنورژ و مولر در سال ۱۹۸۶ م، به سرعت ترکیب (f- $123\text{ Yr}_2\text{Cu}_2\text{O}_2\text{-6}$) ساخته شد و مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. با قرار گرفتن عناصر نادر زمین R به جای Y خواص ترکیب جدید از جمله دمای گذار ابررسانایی تفاوت اساسی $Y-123$ با ترکیب نداشته است. در این میان Pr تنها عنصری است که ساختار پایدار اورتورمبیک را تشکیل داده لیکن ترک $\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7+\delta}$ $(\text{Gd}_{1-x}\text{Pr}_x)$ ابررسانا نیست. وجود چنین استثنایی از آن جهت که دلیل عدم ابررسانش در این ترکیب ممکن است در شناخت سازوکار ابررسانش در HTSC کمک کند مورد توجه قرار گرفته است.

نقش Pr در ابررساناهای دمای بالا در مرجع { ۱ } مرور شده است. بنابراین گروههای زیادی ترکیبات $(R_{1-x}Pr_x)Ba_2Cu_3O_{x-8}$ (عنصر نادر زمین و $R=Y$) را از زاویه های مختلف مورد بررسی قرار داده اند { ۲ }. به تازگی پیشرفتهای ابررسانایی دمای بالا در کتابی به زبان فارسی مرور شده است { ۳ }.

بر اساس شواهد تجربی و مدل‌های نظری مختلف، تلاش بسیاری برای توضیح رفتار عایق گونه $Pr=123$ شده است. در نظریه شکست جفت به دلیل زوج شدگی قوی الکترونیهای $Pr-4f$ با اسپین حامل‌های صفحه CuO_2 در سطح فرمی، جفتهای حامل ابررسانش می شکنند و در نتیجه ابررسانایی از بین می رود { ۴ }. بر اساس نظریه پرشدگی حفره اگر در جای‌نشانی Pr به جای Y در ترکیب $Pr.Y-123$ با ظرفیت بزرگتر از $+3$ ظاهر شود، همچنانکه در ترکیبات اکسیدهای Pr وجود دارد، می تواند حفره های صفحه ابررسانش CuO_2 را پر کرده و تعداد حامل‌های رسانش را کاهش دهد. در نتیجه ترکیب $Pr=123$ رفتار عایق گونه از خود نشان می دهد { ۵ }. در نظریه هیبریداسیون، به دلیل وجود هیبریداسیون بین اتمهای اکسیژن صفحات CuO_2 و اتم Pr، حفره های موجود در صفحات ابررسانش به جایگاه Pr پیوند خورده و جایگزیده می شوند { ۶ }. در مدل انتقال بار با افزایش آلایش Pr در ترکیب $Y_{1-x}Pr_x=123$ یک باز توزیع تدریجی بار بین صفحات CuO_2 و زنجیره های $Cu-O$ به وجود می آید و حفره ها از صفحات به زنجیره ها منتقل می شوند به گونه ای که پس از مقدار خاصی از آلایش $(x)P$ همه حفره ها در زنجیره ها جای خواهند گرفت. از آنجا که حفره های موجود در صفحات (و نه زنجیره ها) حامل‌های ابررسانش هستند، ابررسانایی از بین می رود { ۷ }.

در مدل نیمه هادی بر اساس اهمیت تهی جاییها در رسانش اکسید ابررساناهای دمای بالا و وجود گاف انرژی بین تراز پذیرنده و بخش بالایی نوار ظرفیت $Pr-123$ کاهش قابل توجهی در چگالی حاملها با کاهش دما اتفاق می افتد که در نتیجه آن ترکیب مورد نظر رفتار عایق گونه از خود نشان می دهد { ۸ }. در مدل Felurenbacher و FRRTCE یک هامیلتونی ارائه شده است تا ساختار الکترونی $Pr-123$ شرح داده شود { ۹ }. در این مدل سازوکارهای غیر ذاتی از جمله، حساسیت شدید زنجیره های یک بعدی $Cu-O$ و ظرفیت مخلوط $Pr^{2+}Pr^{2+}$ به تهی جاییهای اکسیژن و دررفتگیهای دیگر، مسئول اضمحلال ابررسانش در $Pr=123$ شناخته شده اند. ونگ و همکارانش بر اساس مدل Fr هامیلتونی ارائه کردند که علی رغم مدل Fr گذار فلز-عایق در ترکیب $Y_{1-x}Pr_x-123$ را به عنوان یک خاصیت ذاتی توضیح می دهد { ۱۰ }. در این مدل سه حالت نزدیک سطح فرمی: موسوم به حالت Zr، حالت Fr و حالت زنجیره $Cu-O$ با هم رقابتند. با آلایش Pr حفره های موجود در حالت Zr به حالت Fr منتقل شده و با افزایش مقدار آلایش، حفره های زنجیره ها نیز به حالت Fr منتقل می شوند و در $PrBa_2Cu_3O_{7-8}$ نهایت در همه حفره ها در حالت Fr جای گرفته و در رسانش شرکت نمی کنند. در مدل LM بر اساس محاسبات LDA+U ساختار الکترونی

Pr-۱۲۳ هیبریداسیون RE-O تشکیل نوار پهنی را می دهد که تنها در Pr-۱۲۳ تراز فرمی را قطع می کند و حفره های نوار Cu-O را می بلعد {۱۱}. در مدل همزیستی یک هامیلتونی مناسب با لحاظ کردن هر دو اثر پرشدگی حفره و شکست جفت ارائه شده است {۱۲}. همچنین بر اساس نظریه پرکولاسیون، مقدار آرایش بحرانی Pr در ترکیب $Y_{1-x}Pr_x-123$ جهت اضمحلال ابررسانش به خوبی پیش بینی شده است {۱۳}. در مدل بد- جاینشینی حضور ناخواسته اتمهای Pr در مکان اتمهای Ba باعث شکست جفتهای ابررسانا می شود و در نتیجه ابررسانایی از بین می رود {۱۴}.

علی رغم مدلهای و توجیحات مختلفی که برای عدم ابررسانش Pr-۱۲۳ ارائه شده اند، ساخت ابررسانای Pr-۱۲۳ توسط زو و همکارانش در سال ۱۹۹۸، نقطه عطفی در نحوه نگرش به مسئله Pr-۱۲۳ شد {۱۵}. هم اکنون گزارش ساخت

نمونه های تک بلور، چندبلوری، پودری و لایه نازک ابررسانای ۱۲۳ توسط گروههای مستقل ارائه شده است {۱۶}. هر چند هنوز باور اغلب محققین عدم ابررسانش ۱۲۳ است، لکن توجه عمومی معطوف به این پرسش است که تحت چه شرایطی Pr-۱۲۳ ابررسانا و تحت چه شرایطی عایق است و چرا؟ در این مقاله تمرکز اصلی بر روی نظریه بد-

جاینشینی است. به این معنی که اهمیت قرار گرفتن در مکان عنصر نادر زمین Pr و یا اتم Ba را بررسی خواهیم کرد.

در ابتدا با ساخت نمونه های $Gd(Ba_{2-x}Pr_x)Cu_3O_{7+\delta}$ و مقایسه خواص مختلف ساختاری و الکترونی آن با

ترکیب $Gd(Ba_{2-x}Pr_x)Cu_2O_{7+\delta}$ از جاینشینی Pr در مکان Ba اطمینان حاصل خواهیم کرد. بروز یک

ناهنجاری در منحنی مقاومت بر حسب دمای ترکیب مورد مطالعه $Gd(Ba_{2-x}Pr_x)Cu_3O_{7+\delta}$ در بعضی مقادیر

آرایش Pr منجر به شناسایی یک فاز جدیدی در این ترکیب خواهد شد که رهیافتی مناسب در مورد ابررسانایی در

ترکیب Pr-۱۲۳ خواهد بود. در این مسیر جهت استحکام بیشتر نتایج ساختاری که توسط ظریف سازی ریتولد به

دست خواهند آمد، توسط روش جمع پیوند والانس (BVS) ظرفیت اتمهای مختلف محاسبه خواهند شد. در بررسی

فاز هنجار نمونه های مورد مطالعه، به دنبال رژیم رسانشی غالب خواهیم بود. رسانش پرشی با برد متغیر از جمله

پیشنهادهایی است که به صورت موفقیت آمیزی در مورد ابررساناهای دمای بالا به کار رفته است. نتیجه رسانش

پرشی یا برد متغیر در دو بعد از آن جهت که رفتار دو بعدی گونه ابررساناهای دمای بالا را نشان می دهد، حائز اهمیت

است. به علاوه، وجود شباهتهایی بین خواص ابررساناهای دمای بالا، لایه های بسیار نازک ابررساناهای متعارف و

گازهای الکترونی دو بعدی می تواند به فهم فیزیک ناشناخته هر دو حیطة کمک نماید. کشف گذار فلز- عایق در

سیستمهای الکترونی دو بعدی که قبلا به طور نظری ممنوع شناخته شده بود، فیزیک این دسته از مواد را دوباره مورد

توجه قرار داده است. وجود شباهتهای متنوع در این ترکیبات می تواند رهیافتی بر منشأ فیزیکی یکسان آنها باشد، هر چند مطالعه بیشتر در این حوزه ضروری است.

از دیگر خواص مهم ابررساناهای دمای بالا بروز یک شبه گاف در سطح فرمی این مواد، متفاوت با گاف ابررسانایی است. وجود این شبه گاف، اثراتی در مقاومت فاز هنجار دارد که بررسی آن منجر به فهم اثر مخربتر Pr در مکان Ba نسبت به مکان R خواهد شد. همچنین با استخراج دمای گشایش شبه گاف قادر به ارائه نمودار فاز ترکیبات مورد مطالعه خواهیم شد. با اندازه گیری مقاومت مغناطیسی نمونه ها، دینامیک شار در فاز مخلوط نمونه ها را در چارچوب مدل‌های خزش شار و آمیگوکار- هالپرین (AH) بررسی خواهیم کرد. با این مطالعات چگالی جریان بحرانی و میدان بحرانی بالایی بین دانه ای نمونه ها به دست خواهند آمد. مطالعه خواص ساختاری، الکترونی و مغناطیسی نمونه ها حاکی از اهمیت مکان Pr در ترکیبات خانواده ۱۲۳ است. بنابراین تعیین مکان واقعی Pr شرط لازم برای هر گونه توضیح در مورد اثرات آن در اضمحلال ابررسانایی است.

۴-۱ جزئیات تجربی و محاسباتی

برای ساخت نمونه های $Gd(Ba_{2-x}Pr_x)Cu_3O_{7+\delta}$ از پودرهای $CuO, BaCO_3, R_2O_3$ با خلوص ۹۹/۹٪ استفاده شده اند. برای ساخت مقدار کمی از ماده ابررسانا (حدود 1-5gr)، پودرهای اولیه با نسبت‌های مناسب در یک هاون مخلوط می شوند و سپس در بوته های آلومینا در دمای به مدت یک تا سه روز در هوا قرار می گیرند. محصول به دست آمده مجدداً آسیاب می شود تا همگنی بیشتری پیدا کند و به صورت قرص، تحت فشار چند تن فشرده می شود. از آنجا که غالباً ترکیبات خانواده Pr-۱۲۳ در دماهای بالاتر از $1000^\circ C$ شروع به ذوب شدن می کنند، دمای کلوخه سازی باید میان $960-900^\circ C$ در نظر گرفته شود. عبور اکسیژن از روی قرصها در حین کلوخه سازی برای جبران کمبود اکسیژن و هم خروج گازهای جذب شده و در نتیجه کاهش تخلخل لازم است. قرصهایی که به این ترتیب کلوخه ای می شوند و به کندی در مجاورت اکسیژن سرد می شوند ابررسانا خواهند بود.

تصاویر SEM نمونه ها برای تعیین شکل و ابعاد دانه ها مورد بررسی قرار گرفتند. این آنالیز توسط دستگاه JeOLJXA-840 با بزرگنمایی های ۱۰۰۰، ۲۵۰۰، ۷۰۰۰ برابر انجام شد. اکسیژن نمونه ها به روش تیتراسیون بدسنجی که یک روش شیمیایی برای تعیین مقدار اکسیژن نمونه های اکسیژن دار است، اندازه گیری شدند. برای تعیین ساختار، طیف پراش اشعه X نمونه ها اندازه گیری شدند. برای استخراج کمیات بیشتر از طیف XRD از طریق

سازی ریتولد با استفاده از نرم افزار ۹۲- DBW استفاده شد {۱۸}. ایده اصلی آن است که با فرض دانستن نوع اتمها و ساختار ترکیب مورد نظر، به صورت نظری شدت طیف انعکاسی را بر حسب زاویه ورودی، فاصله میان صفحات d ، شدت پرتو ورودی محاسبه می نماییم. از مقایسه این طیف و طیف واقعی نمونه می توان اطلاعات بسیار مهم و مفیدی به دست آورد. در محاسبه طیف نظری، نوع اتمها، مکان آنها در سلول واحد (z,y,x) پارامترهای شبکه (c,b,a) زوایای بین محورهای پارامترهای شبکه (a,p,y) درصد اشغال اتمها در جایگاه خودشان (N) و افت و خیز حرارتی اتمها حول موضع تعادلایشان (B) وارد می شوند. در واقع اینها پارامترهایی هستند که جهت انطباق بیشتر طیف نظری و تجربی قابل تنظیم بوده، لذا با انجام بهترین برازش، مکان اتمها، پارامترهای شبکه و زوایای بین آنها، درصد اشغال اتمها در هر جایگاه و افت و خیز حرارتی حول موضع تعادلایشان قابل حصول خواهند بود. این اطلاعات ساختاری در آنالیز ابررساناهای دمای بالا بسیار پر اهمیت هستند. با دانستن مکان اتمها می توان ظرفیت آنها را از نظریه BVS به دست آورد {۱۹}:

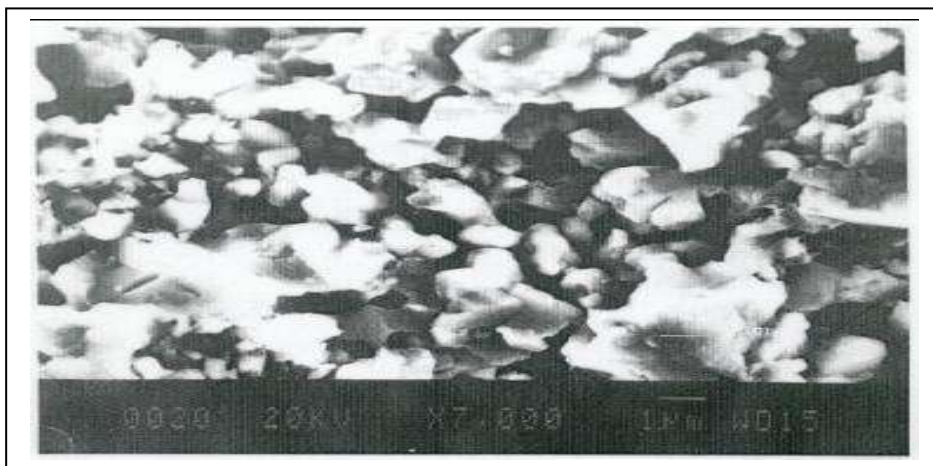
$$V1 = \exp\{(r=Rg)/Bo\} \quad (۴-۱)$$

V ظرفیت اتم مورد نظر است. Rg فاصله بین اتم مورد بررسی با اولین اتمهای همسایه اش، rg ثابتی است که برای هر اتم به صورت نیمه تجربی تعیین می شود و B عدد ثابت است. N عدد هم آرابی است. برای اندازه گیریهای الکتریکی از یک یخچال مدار بسته دیسپلکس در بازه دمایی ۱۰ تا ۳۰۰ K استفاده شد. این اندازه گیریها بر اساس روش ۴ میله ای و با جریان متناوب با پسامد ۳۳ Hz انجام شد. سیمهای مسی با استفاده از چسب نقره در فواصل مشخص روی نمونه چسبانده شد. برای کنترل و تعیین دما از یک کنترل کننده lake shore ۳۳۰ با قابلیت کنترل دمایی ۱۰ mk و دو مقاومت Pt-100 برای اندازه گیری دما استفاده شد. جریانهای ۱۰ تا ۱۰۰ Ma در اندازه گیریهای الکتریکی اعمال شد. جهت اندازه گیری مقاومت مغناطیسی نمونه ها، میدان مغناطیسی DC با شدت حداکثر KOe عمود بر سطح نمونه و جهت جریان اعمال شد. اندازه گیریهای پذیرفتاری DC مغناطیسی نمونه با استفاده از یک دستگاه VSM مدل PAR با حساسیت 10^{-2} emn انجام شد.

۲-۴ نتایج و بحث

آزمایش SEM نشان می دهد که نمونه ها دانه ای شکل بوده و به نظر نمی رسد جهت گیری خاصی داشته باشند. شکل دانه ها چندوجهی بوده و اندازه دانه ها در نمونه های مختلف بین ۱۰-۲ M هستند (شکل ۱). لکن در هر نمونه خاص، توزیع دانه ها همگن هستند. با افزایش تغییر محسوسی در تصاویر SEM قابل نتیجه گیری نبوده و در

مقیاسهای میکرومتری آرایش Pr اثر تعیین کننده ای ندارد. هر یک از دانه ها خود یک نمونه چند بلوری است که داخل آن از تک بلورهایی تشکیل یافته است که نسبت به هم جهت گیری کتره ای دارند. تصاویر SEM تخمینی از اندازه دانه ها یعنی چند بلوری ها خواهند داد و پهنای قله طیف XRD تخمینی از اندازه تک بلورهایی داخل دانه ها خواهد داد.



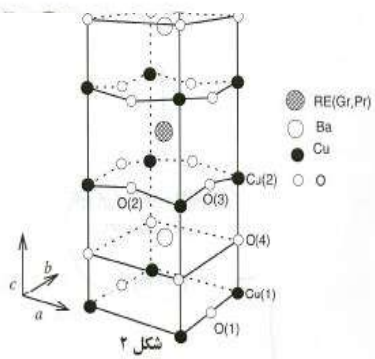
شکل ۱-۴. تصویر SEM نمونه $Gd(Ba_{1/7}Pr_{0/4})Cu_{2}O_{7-6}$ با بزرگ نمایی ۷۰۰۰ .*

جدول ۱ چگالی جرمی نمونه ها بر حسب X را نشان می دهد. چگالی جرمی نمونه ها با جایگزینی اتم بزرگتر و سبکتر Ba ($ba=1/23$) شعاع اتمی و 327137 جرم اتمی Ba هستند) با اتم کوچکتر و سنگین تر Pr در ترکیب $Gd=123$ کاهش می یابد. در شرایط ساخت یکسان، علی الاصول چگالی جرمی نمونه ها باید با افزایش آرایش Pr افزایش یابد، در حالی که کاهش می یابد. این نشان می دهد که افزایش Pr باعث افزایش تخلخل نمونه ها شده و در نهایت چگالی جرمی کاهش یافته است. هر چند این افزایش تخلخل در ابعاد میکرومتری (یعنی ابعاد دانه ها) است لکن ممکن است اثراتی بر خواص عمومی و ناهمجنار نمونه ها داشته باشد. البته نین تأثیری بسیار بعید به نظر می رسد و تاکنون در مراجع مختلف به آن توجه نشده است. از طرف دیگر با ابزارهای اندازه گیری و سنجش موجود، امکان چنین ارزیابی بر ایمان میسر نیست. مقدار اکسیژن نمونه ها در جدول ۱ ارائه شده است، با افزایش X مقدار اکسیژن نمونه ها تقریباً ثابت و در حدود ۷ است. از آنجا که در ترکیبات $Gd(Ba_{2-x}Pr_x)Cu_3O_7$ با افزایش X، عنصر (لاقل) سه ظرفیتی Pr^{3+} را به جای عنصر دو ظرفیتی Ba^{2+} جایگزین می کنیم، نیاز به بار منفی در

سلول واحد جهت خنثی بودن بار کل سلول واحد وجود خواهد داشت. این بار منفی علی الاصول از طریق جذب اکسیژن تأمین خواهد شد. بنابراین در ترکیبات مشابه، افزایش اکسیژن ترکیب به بیش از مقدار ۷ هم گزارش شده است. {۲۰}. اکسیژنهای مازاد بر مقدار ۷ در مکان جای خواهند گرفت. شکل ۲ ساختار R-۱۲۳ را نشان می دهد. مکان اتمهای مختلف در این ترکیب به صورت جدول ۲ هستند که مختصات نسبت به پارامترهای شبکه a,b,c مطرح شده اند. حضور اتمهای اکسیژن در مکان باعث هم ارزی راستاهای a,b شده و در نهایت منجر به گذار راست گوشه به تتراگونال با اورتورومبیک- تتراگونال خواهد شد که در بخش نتایج ساختاری به تفصیل بحث خواهد شد. شکل ۳ طیف XRD از نمونه $x=0/05$ را نشان می دهند. مقایسه طیفها با طیفهای ترکیبات مشابه ساختار ۱۲۳ و همچنین طیفهای فازهای ناخالصی محتمل، حاکی از تشکیل فاز ۱۲۳ و عدم حضور فازهای ناخالصی به مقدار قابل توجه است. قله های (۲۰۰) و (۰۲۰) در نزدیکی $2\theta=47$ ، مشخصه وجود فاز راست گوشه در ترکیبات ۱۲۳ است {۲۱}، بنابراین، از طیفهای XRD نمونه ها چنین نتیجه می شود که در مقادیر $0/00 \leq x \leq 0/15$ فاز راست گوشه با تقارن Pmmmm و به ازای $0/20 \leq x \leq 0/50$ مقادیر ساختار تتراگونال با تقارن P4/mmmm تشکیل شده است.

جدول ۱-۴. مقدار اکسیژن و چگالی جرمی نمونه های $Gd(Ba_{2-x}Pr_x)Cu_{20}O_{7+x}$

x	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۲۵	۰/۳۰	۰/۳۵	۰/۴۰	۰/۵۰
مقدار اکسیژن (۷+δ)	۶/۹۹	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۹	۷/۰۱	۷/۰۶	۷/۰۶	۶/۹۷	۶/۹۹	۶/۹۶
چگالی (gr/cm ³)	۵/۴۷	۴/۳۲	۵/۴۳	۴/۲۶	۴/۶۵	۴/۶۲	۴/۶۱	۴/۸۹	۴/۴۸	۴/۲۹



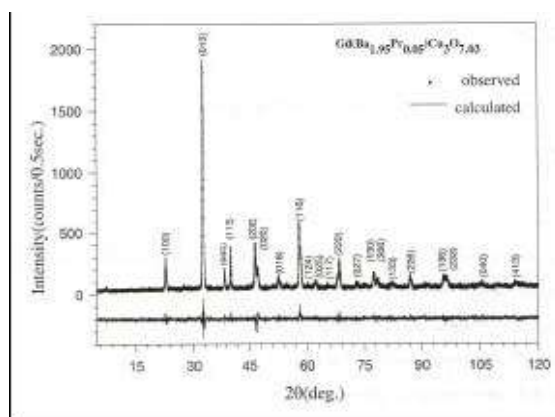
شکل ۲-۴. سلول واحد و نحوه قرار گرفتن اتمهای مختلف در ترکیب $Gd(Ba_{2-x}Pr_x)Cu_2O_{2+\delta}$

جدول ۲-۴. مکان اتم های مختلف در ترکیب $Gd(Ba_{2-x}Pr_x)Cu_2O_{2+\delta}$

نوع اتم	x	y	z
Gd	۰/۵	۰/۵	۰/۵
Ba	۰/۵	۰/۵	Z_{Ba}
Pr	۰/۵	۰/۵	$Z_{Pr} = Z_{Ba}$
Cu(۱)	۰/۰	۰/۰	۰/۰
Cu(۲)	۰/۰	۰/۰	$Z_{Cu(۲)}$
O(۱)	۰/۰	۰/۵	۰/۰
O(۲)	۰/۵	۰/۱	$Z_{O(۲)}$
O(۳)	۰/۰	۰/۵	$Z_{O(۳)}$
O(۴)	۰/۰	۰/۰	$Z_{O(۴)}$
O(۵)	۰/۵	۰/۰	۰/۰

در ترکیبات $(R_{1-x}Pr_x)Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ قبل از قله $28=31$ وجود قله های ناخالصی فاز $BaCuO_2$ اجتناب ناپذیر است {۲۲}. وجود این فاز به حضور اتمهای R در مکان Ba و خروج Ba از جایگاه خودش منتسب شده است که Ba های اضافی تشکیل فاز ناخالصی اخیر را می دهند به هر حال در ترکیب مورد بررسی، فاز ناخالصی قابل ملاحظه ای شامل Ba مشاهده نشده است. این نشان می دهد که در این ترکیب، اتمهای Ba به طور کامل در ساختار مورد نظر شرکت نموده اند. به علاوه، اگر اتم های Pr به جای اشغال جایگاه Ba، مکان R را ترجیح می دادند، در نتیجه باید تعدادی از اتمهای اضافی Gd یک فاز ناخالصی تشکیل می دادند. عدم وجود هر گونه فاز ناخالصی متشکل از Gd گواه دیگری است بر آنکه ترکیب مورد انتظار $Gd(Ba_{2-x}Pr_x)Cu_3O_{7+\delta}$ تشکیل شده است. طیف XRD نمونه های $x \geq 0/6$ نشان می دهند که ساختار ۱۲۳ تشکیل نشده است. شکل ۴ طیف XRD برای نمونه $x=1/00$ را نشان می دهد. چنانچه از شکل مشخص است حذف قله های فاز ۱۲۳ و ظهور فازهای ناخالصی حاکی از عدم تشکیل ساختار مطلوب ۱۲۳ است. به دلیل تفاوت مقدار بار و اندازه های اتمی یونهای Ba^{2+} و R^{2+} ساختار ۱۲۳ تنها در یک بازه خاصی از مقدار آلايش R^{2+} به جای Ba^{2+} می تواند پایدار باشد. حد حل پذیری یونهای R در مکان Ba به اندازه یون نادر زمین بستگی دارد. هر چه اندازه یون نادر زمین بزرگتر باشد، از آنجا که بیشتر به یون Ba شبیه خواهد بود، میزان حل پذیری آن بزرگتر خواهد بود. La بیشترین حل پذیری در مکان Ba را به میزان $x=0/7$ داراست و Y کمترین مقدار را دارد {۲۳}. حد حل پذیری ترکیبات $R(Ba_{2-x}R_x)Cu_3O_{7+\delta}$ با $R=Sm, En$ به

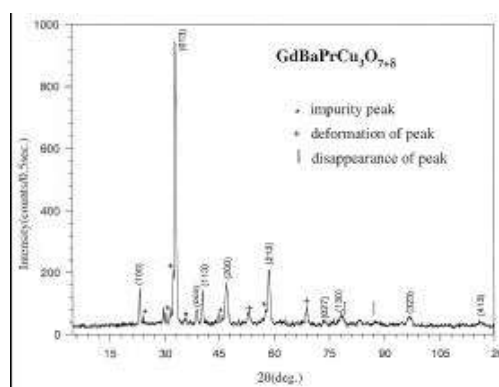
مقدار $x=0/5$ و برای $R=nd$ به مقدار $x=0/6$ گزارش شده است {۲۳}. به ازای مقادیر بزرگتر از $x=0/5$ فازهای پروسکیت- گونه همانند ساختار K_2NiF تشکیل می شوند، همان طور که در طیف XRD نمونه های شامل SM و EU به ازای $x=0/6$ نشان داده شده است {۲۴}. این نکته می تواند حاکی از آن باشد که بلوکهای اصلی ساختار ۱۲۳ پروسکیتها هستند که در شرایط مطلوب ساخت، از به هم پیوستنشان فاز ۱۲۳ تشکیل می شود و در شرایط ناپایدار، همان پروسکیتها باقی می مانند.



شکل ۳-۴. طیف XRD نمونه $Gd(Ba_{0.95}Pr_{0.05})Cu_2O_{2/03}$

رای بدست آوردن اطلاعات ساختاری بیشتر، باید طیف XRD نمونه ها را با روش ریتولد ظرف سازی کنیم. جهت انجام این کار، مقدار اکسیژن نمونه ها که به طریق تجربی تعیین شده است (جدول ۱)، به عنوان مقدار اکسیژن هر نمونه استفاده شد. فاکتور افت و خیز حرارتی (B) که از پارامترهای آزاد ظرف سازی ریتولد است، برای اکسیژن ها ۱ قرار داده شد {۲۵}، مکان اتمها، درصد اشغال هر ات در جایگاه مربوطه و فاکتور B عناصر بجز اکسیژن و پارامترهای شبکه جهت حصول همگرایی در فرآیند ظرف سازی ریتولد، بهینه شده اند. در ادامه، این نتایج به تفصیل ارائه می شوند. پارامترهای شبکه بر حسب میزان آرایش در شکل ۵ نشان داده شده اند. با افزایش x پارامتر شبکه a افزایش و b کاهش می یابد تا آنکه در $x=0/2$ گذار اتفاق می افتد این گذار ناشی از حضور اتمهای اکسیژن در مکان و هم ارزی راستاهای a و b است که حضور اتمهای اکسیژن به دلیل نیاز بیشتر Pr^{2+} به بار منفی نسبت به Ba^{2+} است. چنین گذاری در ترکیبات دیگر $(Ba_{2-x}R_x)Cu_3O_{7+\delta}$ نیز گزارش شده است {۲۶}، در $(Ba_{2-x}R_x)Cu_3O_{7+\delta}$ - $Pr_2(Ba_{2-x}R_x)Cu_3O_{7+\delta}$ در $x=0/4$ {۲۷} چنین گذاری در $Pr_2(Ba_{2-x}R_x)Cu_3O_{7+\delta}$ و در $Sm(Ba_{2-x}R_x)Cu_3O_{7+\delta}$ در $x=0/4$ رخ می دهد.

$\text{Nd}(\text{Ba}_{2-x}\text{Pr}_x)\text{Cu}_3\text{O}_{7+\delta}$ در $\{x=0/35\}$ اتفاق می افتد. طیف پراش نوترون $\text{Nd}(\text{Ba}_{2-x}\text{Pr}_x)\text{Cu}_3\text{O}_{7+\delta}$ نشان داده است که هنگامیکه Pr در مکان Ba جانشین می شود، گذار اتفاق می افتد $\{x=0/35\}$. و از این نظر شبیه همه اتمهای دیگر نادر زمین سه ظرفیتی رفتار می کند. همچنین پارامتر ساختاری، با افزایش x کاهش می یابد که به نظر، به دلیل جایگزینی اتم کوچکتر Pr به جای اتم بزرگتر Ba است. در ترکیب $(\text{Gd}_{1-x}\text{Pr}_x)\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7+\delta}$ چنین گذار O-T وجود ندارد و پارامترهای شبکه c, b, a و حجم سلول واحد به دلیل جایگزینی اتم Pr یا اتم کوچکتر Gd همگی افزایش می یابند $\{x=0/35\}$. اینها به طور غیر مستقیم همگی شواهدی برای تشکیل ساختار موردنظر ماست؛ یعنی جایگزینی اتمهای Pr در مکان اتم Ba و نه در مکان اتم Gd.

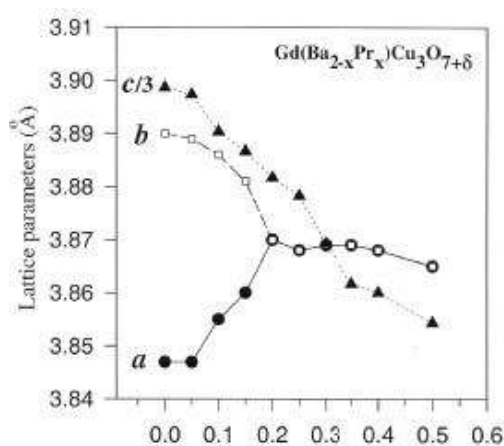


شکل ۴-۴. طیف XRD نمونه GdBaPrCu_{207+8}

در بررسی آنالیز ریتولد، هنگامی که از درصد اشغال ثابت اتمها در هر جایگاه (N) استفاده می کنیم، فاکتور B مربوط به بعضی از اتمها منفی به دست می آیند. به علاوه $Zo(2)=0/13$ به دست می آید، در حالی که باید در حدود $0/16$ باشد. همچنین $Zo(2)$ کمتر از $ZCU(2)$ به دست می آید، در حالی که باید بزرگتر باشد. بنابراین مجبور به متغیر قرار دادن N هستیم که در این حالت مشکل B های منفی برطرف خواهد شد اما هنوز ناهنجاریهایی باقی می ماند. نتایج ظریف سازی ریتولد در آلیشهای مختلف Pr در جدول ۳ آمده است. ناهنجاریهای گفته شده در این مرحله از ظریف سازی ریتولد، در شکلهای ۷ و ۸ نشان داده شده اند. چنانکه از شکل ۸ مشخص است به ازای $0/10 \leq x \leq 0/25$ مکان اتم $\text{Cu}(2)$ کمتر از مقدار مورد انتظار از منحنی است و $Zo(2)$ و $Zo(2)$ در $x=0/15$ به وضوح مقدار غیرقابل انتظاری دارند. همچنین اتم $O(4)$ در همان بازه x، یک کاهشی را در مقدار $Zo(4)$ نشان می دهد (شکل ۸) اگر چه نتایج مجزای آنالیز ریتولد در تقریب اول صحیح به نظر می رسد، لکن از مقایسه یک سری از

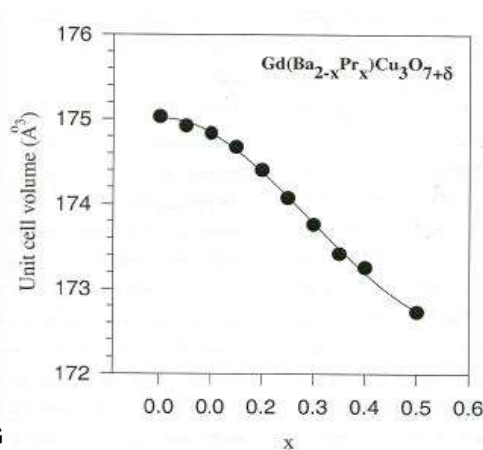
نمونه ها با هم متوجه ناهنجاریهایی می شویم که باید به ترتیبی ریشه یابی شوند. در ادامه، دوباره به این ناهنجاری باز خواهیم گشت و خواهیم دید که فیزیک جالبی در پس این ناهنجاریها نهفته است.

مقاومت الکتریکی نمونه ها در جریان ۱۰ mA از دمای اتاق تا حدود ۱۰ K اندازه گیری شده و در شکل ۹ نشان داده شده است. با افزایش X دمای ابررسانایی (کاهش می یابد، پهنای گذار ابررسانایی و مقاومت فاز هنجار افزایش می یابند. با افزایش تعداد نواحی عایق در داخل دانه که مربوط به سلولهای



شکل ۵-۴. پارامترهای شبکه بر حسب مقادیر آلیش pr

شامل Pr است، همگنی دانه ها کاهش یافته و در نتیجه (T) افزایش می یابد. مقاومت فاز هنجار نمونه ها به ازای فلزگونه و به ازای $0/0 \leq x \leq 0/20$ عایق یا نیمه هادی گونه است. بنابراین به ازای آرایش بحرانی گذار فلز-عایق اتفاق می افتد. در نمونه های فلزی، شیب خط از دمای اتاق تا با افزایش آلیش افزایش می یابد. به ازای نمونه ها ابررسانا شده و به ازای تا دمای حدود ۱۰ ابررسانایی از خود نشان نمی دهند. بنابراین به ازای گذار ابررسانا عایق اتفاق می افتد در این ترکیب کمتر از مقدار هم ارز خود در ترکیب یعنی است {۳۰}، این نشان می دهد که اثر در مکان نسبت به مکان برای اضمحلال ابررسانایی مخرب تر است. یک توضیح ساده برای این موضوع آن است که هر دو دارای ظرفیت +۳ هستند،



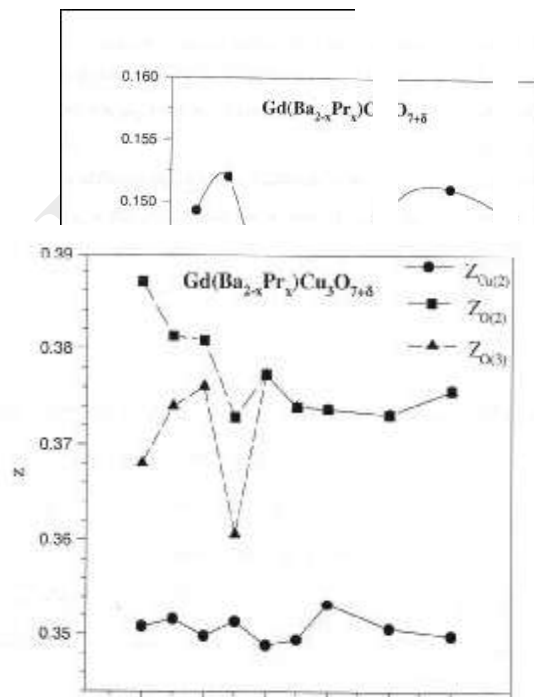
شکل ۴-۶. حجم سلول واحد بر حسب مقادیر مختلف آرایش pr

جدول ۴-۳. نتایج ظرفیت سازی ریتولد ترکیب $Gd(Ba_{2-x}Pr_x)Cu_2O_{7+\delta}$ با امکان حضور اتمهای Ba در مکان

اتم $R(Ba_R)$

x	۰/۰	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۲۵	۰/۳۰	۰/۳۵	۰/۴	۰/۵
$a(\text{Å})$	۳/۸۴۷	۳/۸۴۷	۳/۸۵۵	۳/۸۶۰	۳/۸۷۰	۳/۸۶۸	۳/۸۶۹	۳/۸۶۹	۳/۸۶۸	۳/۸۶۵
$b(\text{Å})$	۳/۸۹۰	۳/۸۸۹	۳/۸۸۶	۳/۸۸۱	-	-	-	-	-	-
$c(\text{Å})$	۱۱/۶۹۶	۱۱/۶۹۲	۱۱/۶۷۱	۱۱/۶۶۰	۱۱/۶۴۵	۱۱/۶۳۵	۱۱/۶۰۸	۱۱/۵۸۵	۱۱/۵۸۰	۱۱/۵۶۳
Gd N	۰/۸۴۷	۰/۸۳۷	۰/۸۵۵	۰/۹۱۷	۰/۹۰۱	۰/۹۲۸	۰/۹۸۸	۰/۹۵۷	۰/۸۹۴	۰/۸۹۰
$B(\text{Å})$	۰/۹۲۶	۰/۲۲۳	۱/۲۵۰	۰/۷۸۹	۲/۱۷۵	۱/۳۵۰	۱/۱۷۹	۰/۴۱۳	۱/۵۶۲	۱/۵۰۷
Ba N	۰/۹۹۸	۰/۹۸۲	۰/۹۷۶	۰/۹۴۴	۰/۹۷۲	۰/۹۰۵	۰/۸۷۱	۰/۹۰۹	۰/۸۰۸	۰/۷۴۶
$B(\text{Å})$	۳/۰۴۰	۳/۴۸۸	۲/۰۶۶	۰/۵۸۰	۲/۳۳۶	۱/۸۹۶	۱/۴۴۰	۱/۷۶۵	۱/۷۲۳	۱/۶۶۸
Z	۰/۱۸۱۳	۰/۱۸۱۰	۰/۱۸۱۷	۰/۱۸۳۳	۰/۱۸۱۵	۰/۱۸۱۴	۰/۱۸۳۱	۰/۱۸۰۱	۰/۱۸۰۲	۰/۱۷۹۹
Ba_R N	۰/۰۰	۰/۰۰۴	۰/۰۲۱	۰/۰۴۰	۰/۰۶۷	۰/۰۲۸	۰/۰۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Pr N	-	۰/۰۲۶	۰/۰۵۰	۰/۰۷۶	۰/۰۹۹	۰/۱۲۴	۰/۱۵۰	۰/۱۷۴	۰/۱۹۹	۰/۲۴۹
$B(\text{Å})$	-	۲/۷۸۶	۲/۳۶۴	۰/۸۷۸	۲/۱۵۸	۱/۷۱۸	۱/۱۶۲	۱/۹۴۱	۱/۵۴۴	۱/۴۹۰
$Cu(2) B(\text{Å})$	۲/۷۵۸	۲/۶۵۷	۲/۳۷۴	۱/۱۰۶	۲/۱۹۱	۱/۹۹۵	۱/۶۰۱	۰/۶۵۷	۲/۰۰۹	۲/۳۱۰
Z	۰/۳۵۰۸	۰/۳۵۱۶	۰/۳۵۰۱	۰/۳۵۱۴	۰/۳۴۹۳	۰/۳۴۹	۰/۳۵۲۷	۰/۳۵۱۲	۰/۳۵۰۷	۰/۳۴۹۸
O(1) N	۰/۸۱۵	۰/۷۲۵	۰/۷۹۳	۰/۸۸۱	۰/۵۰۵	۰/۵۳۰	۰/۵۳۰	۰/۴۸۵	۰/۴۹۵	۰/۴۸۰
O(2) Z	۰/۳۸۷۲	۰/۳۸۱۰	۰/۳۷۹۸	۰/۳۷۳۲	۰/۳۷۵۰	۰/۳۷۳۴	۰/۳۷۴۴	۰/۳۶۶۰	۰/۳۷۳۳	۰/۳۷۵۸
O(3) Z	۰/۳۶۸۰	۰/۳۷۴	۰/۳۷۵۳	۰/۳۶۰۳	-	-	-	-	-	-
O(4) Z	۰/۱۴۹۵	۰/۱۵۲۰	۰/۱۴۳۷	۰/۱۴۰۴	۰/۱۳۶۰	۰/۱۳۷۶	۰/۱۴۸۷	۰/۱۴۱۰	۰/۱۵۱۵	۰/۱۴۹۱
O(0) N	۰/۱۷۵	۰/۳۰۵	۰/۲۳۷	۰/۲۰۹	-	-	-	-	-	-
R_p (%)	۱۰/۶۹۸	۱۰/۴۲۶	۱۲/۳۹۸	۱۱/۲۸۰	۱۳/۳۵۳	۱۲/۸۲۹	۱۲/۲۸۷	۹/۴۳۶	۱۰/۹۷۲	۱۲/۳۱۳
R_{wp} (%)	۱۷/۸۱	۱۳/۳۸۹	۱۶/۱۲۸	۱۴/۵۹۰	۱۷/۳۶۸	۱۶/۶۵۳	۱۵/۵۵۳	۱۲/۰۲۲	۱۴/۱۶۵	۱۵/۷۵۳
R_B (%)	۸/۱۱	۶/۷۲	۷/۳۰	۶/۶۸	۷/۲۷	۶/۹۵	۵/۸۵	۸/۸۱	۶/۵۶	۷/۳۰
R_F (%)	۷/۳۹	۶/۷۵	۸/۵۵	۷/۳۰	۹/۵۳	۰/۱۸	۷/۱۱	۱۱/۱۷	۷/۴۱	۹/۱۱
S	۱/۱۵۳	۱/۱۳۵	۱/۱۱۰	۱/۱۱۵	۱/۱۲۸	۱/۱۲۲	۱/۱۲۰	۰/۷۵۱	۱/۱۳۳	۱/۱۴۲

شکل ۷-۴. مکان اتمهای (2) Cu O (2) O (3) در سلول واحد بر حسب مقادیر مختلف آرایش pr

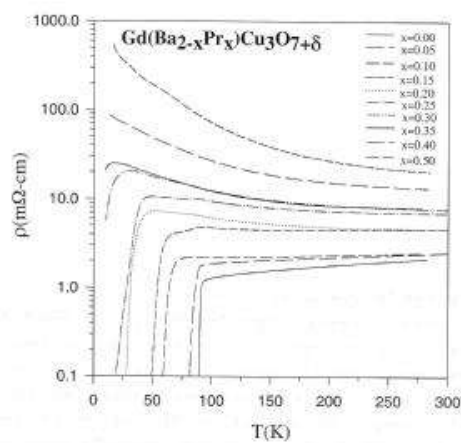


اتم O(4) در سلول واحد بر

مختلف آرایش Pr

شکل ۸-۴. مکان

حسب مقادیر



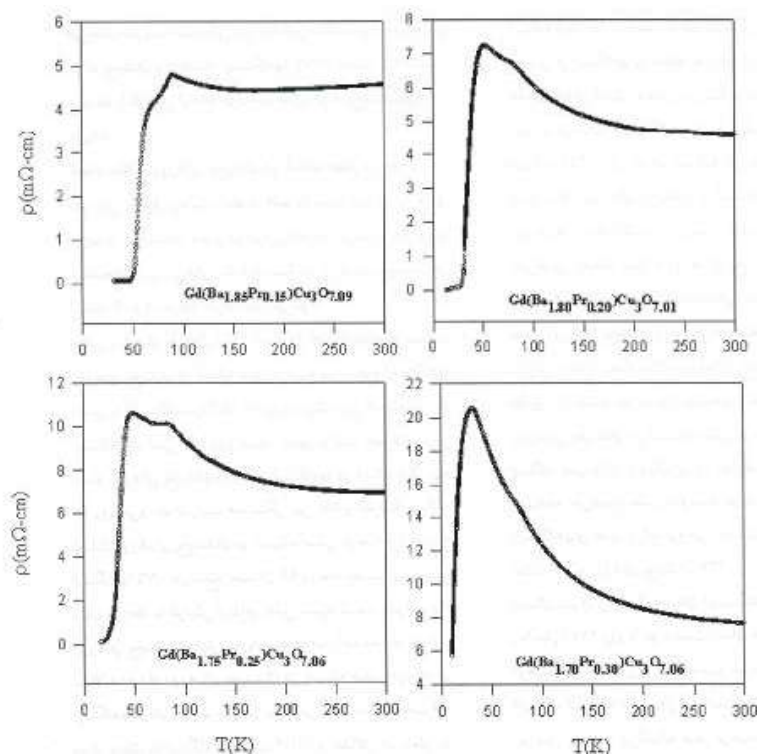
شکل ۹-۴. مقاومت الکتریکی بر حسب دمای نمونه های $Gd(Ba_{2-x}Pr_x)Cu_2O_{7+\delta}$

ولی Ba دارای ظرفیت $+2$ است. بنابراین، حضور اتم سه ظرفیتی در مکان اتم دو ظرفیتی خنثی بودن بار کل سلول واحد را تهدید می کند. پس انتظار اثر تخریبی بیشتری را در این حالت باید داشت. توضیح دیگر این است که مکان بین صفحه ابرسانایی و زنجیره های (که مخازن بار الکتریکی هستند) است که هر دو در بروز پدیده ابرسانایی مهم بوده و با هم اندرکنش حیاتی دارند. در حالی که مکان بین دو صفحه ابرسانایی است که بنابر باور عمومی ابرسانایی به طور مستقل در این صفحات اتفاق می افتد. بنابراین حضور اتم مخرب بین دو جزء اساسی برای ابرسانایی، یعنی مکان مخرب تر از حضور آن در مکان خواهد بود. مقاومت نمونه ها به طور نمونه، در دمای 100 بر حسب مقادیر مختلف آلاینش در بازه به صورت خطی با تغییر می کند، لیکن در شکل در که است شیب خط تغییر می کند. این به آن معنی است که فاز هنجار به گونه ای با فاز ابرسانا مرتبط است؛ به ازای که نمونه ها ابرسانا می شوند، با یک شیب تغییر می کند و به ازای که نمونه ها عایق اند شیب شدیداً افزایش می یابد. نسبت دو شیب $11/40$ است. همچنین جالب است توجه شود که لزوماً گذار فلز - عایق در همان مقدار از آلاینش که گذار ابرسانا - عایق اتفاق می افتد، به وقوع نمی پیوندد این نکته در مرجع {۳۱} بررسی شده است.

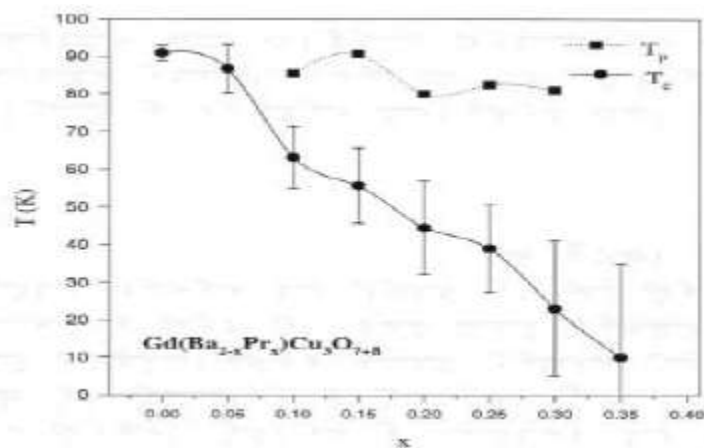
در برخی از سیستمها مانند {۳۲}، ابرسانایی قبل از آنکه گذار فلز - عایق اتفاق بیفتد از بین می رود. حالت معکوس نیز در غالب ابرساناهای دمای بالا با حاملهای حفره نیز اتفاق می افتد که فهرستی از آنها در مرجع {۲۹} آمده است. انواع مختلف نمونه ها شامل تک بلور، چند بلوری، لایه نازک، با و بدون آلاینش در مکان و یا در ساختار 123 از وقوع را قبل از نشان داده اند. از آنجا که مقدار اکسیژن نمونه ها در مقادیر مختلف آلاینش تقریباً ثابت است (جدول ۱)، تغییر میزان آلاینش حفره ها در صفحات باید ناشی از تغییر نظم اکسیژن‌ها و هیبریداسیون ناشی از آلاینش باشد. اگر چه در

برخی از سیستمها در یک اتفاق می افتند، مانند {۳۳}، لکن به نظر می رسد این حالت خاص بوده و حالت کلی تر مربوط به تمایز و باشد. تلاش برای برازش منحنی تغییرات بر حسب به مدل خطی شکست جفت ابریکوسوف- گورکوف {۳۴} و یا ترکیب خطی شکست و پرشدگی حفره (درجه دوم نسبت به) {۳۵} موفقیت آمیز نبوده است. همچنین هیچ مقدار آلاینش بحرانی جهت تفکیک بازه های برای برازش به مدلهای مختلف، یافت نشد. به نظر می رسد اندرکنش ناشی از حضور باعث آشفتهگی در روند تغییرات بوده باشد. منحنی مقاومت بر حسب دمای نمونه های ۰/۳۰ و ۰/۲۵، ۰/۲۰، ۰/۱۵، به طور مجزا در شکل ۱۰ رسم شده اند. وجود یک برآمدگی در منحنی در دماهای حدود غیر معمول بوده و نیاز به توضیح دارد. این برآمدگی با قله شکل لبه گذار ابرسانایی که با آلاینش اتفاق می افتد، متفاوت است {۳۹}. رفتار شکل منحنی مشخصه کمبود اکسیژن {۳۷} یا جایشانی کانیون جدید به جای اتم مس زنجیره است {۳۸}. شکل ۱۱ منحنی تغییرات و دمای برآمدگی را بر حسب نشان می دهد. این برآمدگی تنها در بعضی از مقادیر آلاینش اتفاق می افتد. بنابراین این برآمدگی یک اصلاح ساختاری ناشی از حضور در مکان نیست، بلکه پدیده ای است که فقط در بعضی از مقادیر روی می دهد. لازم است توجه داده شود که این برآمدگیها تکرارپذیر بوده و به دلیل خطای اندازه گیری نیز نیستند. از طرفی، از آنجا که در مقادیر یاد شده از آلاینش، هیچ فاز ناخالصی قابل توجهی وجود ندارد، وجود فاز ناخالصی با خواص الکترونی متفاوت، نمی تواند منشأ چنین ناهنجاری باشد. چنین قله هایی درست قبل از گذار ابرسانایی در ترکیبات {۴۰} نیز مشاهده شده است که هیچ توضیحی برای آنها ارائه نشده است. نکته قابل توجهی که در این منحنیها جالب است، دمای بروز آنهاست که همگی در حوالی ۸۰-۹۰ هستند، یعنی همان دماهایی که در نمونه های مورد مطالعه ما اتفاق می افتد. این می تواند در راهنمایی ما به سوی دلیل این رفتار مؤثر باشد. در فرآیند ساخت، نمونه های ۰/۲۰ و ۰/۱۰، ۰/۰۰، در یک مرحله، نمونه های ۰/۲۵، ۰/۱۵، ۰/۰۵، در یک مرحله دیگر و نمونه های ۰/۵۰، ۰/۴۰، ۰/۳۰، در مرحله سوم ساخته شده اند. به این معنی که شرایط کلی ساخت برای همگی یکسان بوده و در هر مرحله، تکلیس و کلوخه سازی برای سه نمونه یکسان بوده است. از آنجا که حضور ناهنجاری فقط در بعضی از نمونه های هر مرحله اتفاق افتاده است، بدیهی است که تفاوت خواسته و یا ناخواسته در مراحل مختلف ساخت باعث چنین برآمدگی نیست. همچنین، برآمدگی مشاهده شده همانند برآمدگی موجود در ترکیب (۱۲۴-) در دمای حدود ۱۶۰ پهن نیست {۴۱}. اگر چه منشأ این رفتار ترکیب ۱۲۴- هنوز به طور کامل توضیح داده نشده است، لکن ناپایداری ساختاری در این دما به عنوان یک نامزد ناهنجاری معرفی شده است {۴۲}. نمونه های مورد بررسی ما که دارای ناهنجاری هستند همگی برخلاف ۱۲۴- ابرسانا می شوند. بنابراین حالت مورد نظر باید متفاوت از ترکیب ۱۲۴- باشد. ابرسانای ۱۲۳- ناهنجاری مشابهی را در دماهای ۵۵ و ۱۹۰ نشان

داده است که به کمک تصاویر و مشاهده نواحی مختلف، به عنوان نواحی با خواص الکترونی متفاوت تفسیر شده اند {۴۳}. اگر چه، این بیان مفید به نظر می رسد، لکن باید توضیح دقیقتری راجع به نواحی با خواص الکترونی متفاوت در درون دانه ها ارائه نمود.



شکل ۱۰-۴. برآمدگی در منحنی $P(T)$ در نمونه های $Gd(Ba_{2-x}Pr_x)Cu_2O_{7+\delta}$



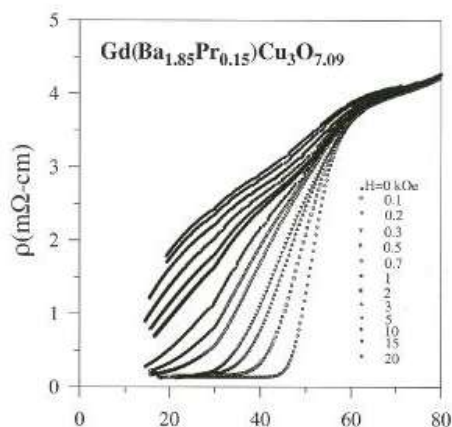
شکل ۱۱-۴. دمای گذرا ابرسانی (Te) و دمای که برآمدگی در منحنی P(T) اتفاق میافتد (Tp) بر

حسب مقادیر آرایش Pr. خطوط عمودی در هر نقطه عرض گذرا ابرسانی را نشان می دهد.

برآمدگی منحنی نمونه های مورد بررسی ما به ترتیب سرد و یا گرم کردن نمونه ها بستگی نداشته و در هر دو حالت قابل مشاهده است. بنابراین، پسماندی در این فرآیند مشاهده نمی شود در حالی که، مقاومت نمونه یک رفتار نابهنجار در دمای کمتر از ۱۶۰ نشان می دهد. یعنی مقاومت کاهش یافته است، با کاهش بیشتر دما، یک پیشینه ای در مقاومت در دمای ۱۰۰ مشاهده شده است. در فرآیند افزایش دما، یک پسماند مقاومت در دمای بالاتر از ۴۰ مشاهده شده است {۴۴}، در نهایت، مؤلفین با استدلالات مختلف نتیجه گرفته اند که یک گذار فاز ناشی از ناپایداری موج چگالی بار دلیل چنین رفتاری است. به هر حال، عدم وجود پسماند مقاومت در نمونه های مورد مطالعه، این نوع ناپایداری را نامزد مناسبی برای ناهنجاری نمی سازد. در تک بلورهای قله کوچکی بالاتر از در مقاومت صفحه مشاهده شده است. با فرض عدم تداخل در این قله به یک گذار فاز الکترونی از فاز به فاز منظم تر منتسب شده است {۴۵}، در نمونه های مورد بررسی که چندبلوری هستند، مقاومت اندازه گیری شده، مقاومت مؤثر در راستای صفحات و جهت عمود بر آنها یعنی جهت است. بنابراین، انطباق بحث مطرح شده به نمونه های مورد مطالعه به دلیل چند بلوری بودن مناسب به نظر نمی رسد. به علاوه، مؤلفین اخیر ناهمگنی بلوری را همچنین به عنوان یک عامل در وقوع قله در محتمل دانسته اند. به علاوه، در ترکیبات پرش کوچکی در منحنی در نزدیکی دمای دمایی که یک گذار فاز ساختاری (از ساختار راست گوشه به تتراگونال) نیز اتفاق می افتد، مشاهده شده است {۴۶}، چنانکه می دانیم گذار فاز ساختاری در ترکیبات ۱۲۳ در دمای ۶۰ به دلیل کمبود اکسیژن نمونه ها حاکی از کفایت مقدار لازم بوده و هیچگونه نقصانی در اکسیژن نمونه ها وجود ندارد، حتی به دلیل نیاز بیشتر به اکسیژن نسبت به مقدار اکسیژن نمونه از مقدار بهینه در ترکیب ۱۲۳ یعنی نیز بیشتر است. به علاوه در دماهای ۹۰-۸۰ هیچ نوع گذار فاز ساختاری گزارش نشده است، بنابراین، ناهنجاری باید منشاء دیگری داشته باشد. در منگنیتها نیز در نزدیکیهای دمای کوری یک قله ای در منحنی مشاهده شده است {۴۹}، این قله بزرگ می تواند تحت میدان مغناطیسی کوچک شده و یا حتی از بین برود. البته در نمونه های مورد مطالعه ما، برآمدگیهای بسیار کم ارتفاع هستند و تحت میدان مغناطیسی تا بزرگی از بین نمی روند. بنابراین قله های مذکور همسرخ به نظر نمی رسند، به علاوه، لایه های فوق نازک -۱۲۳ یک قله مشابهی را در منحنیهای عایق گونه مقاومت بر حسب دما نشان می دهند که تحت میدان مغناطیسی ارتفاع قله کاهش یافته و

در میدان کاملا محو شده است {۵۰}، مؤلفین دلیل مشاهده این ناهنجاری در دمای ۲۰ را به عدم یکنوختی ضخامت لایه ۱۲۳- منتسب کرده اند. از آنجا که نمونه های ما کپه ای بوده و تحت میدان مغناطیسی، قله ها باقی می مانند چنین امکانی منتفی است. جهت ارزیابی بیشتر برآمدگی جریانهای بین ۱۰ تا ۱۰۰ و همچنین میدان مغناطیسی با بزرگی بر نمونه ها اعمال شدند شکل ۱۲. هیچ یک از عوامل بالا اثری بر قله در نمونه های مورد نظر نداشت. بنابراین، به دلیل آنکه میدانها و جریانهای بالا اثری بر پدیده مشاهده شده ندارند، علی الاصول این اتفاق باید مربوط به درون دانه ها بوده باشد، یعنی اثری "بین دانه ای" نیست. در ابررساناهای دمای بالای دانه ای، به دلیل ارتباطات ضعیف جوزفون در مرز بین دانه ها، تحت میدان مغناطیسی و جریانهای بزرگ، ابتدا این نواحی تحت تأثیر واقع می شوند و {۵۱}، این اثرات در ادامه مورد مطالعه قرار خواهند گرفت همان طور که در شکل ۱۳

مشخص است، بستگی دمایی مقاومت نمونه یک گذار دوپله ای، مشابه ناهنجاری مورد مطالعه را نشان می دهد، {۵۲}، این پدیده غالباً در ابررساناهای با حاملهای الکترون و ترکیبات مشاهده می شود {۵۳}. این گذار دو پله ای در دمای به وجود یک حجم کوچکی از یک فاز ابررسانا در نمونه و بر حسب گذارهای درون دانه ای و بین دانه ای توضیح داده شده است. در دمای تعدادی از نواحی درون دانه ها ابررسانا می شوند. بنابراین مقاومت شروع به کاهش می کند. اما ابر جریان درون دانه ای نمی تواند به راحتی از ارتباطات ضعیف جوزفون بین دانه ای عبور کند، بنابراین

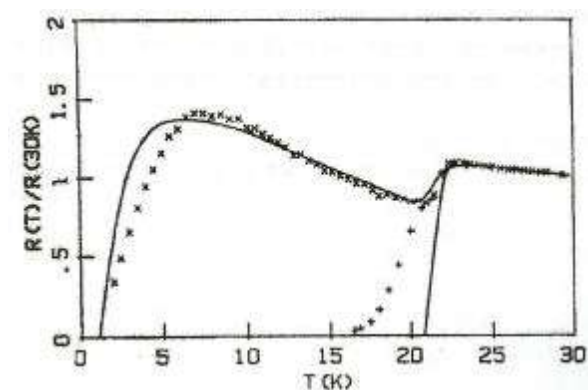


شکل ۱۲-۴. ناهنجاری P(T) تحت میدانهای مغناطیسی مختلف.

کاهش مقاومت تا صفر ادامه پیدا نخواهد کرد تا زمانیکه انرژی زوج شدگی جوزفون از انرژی گرمایی لازم که از مرتبه است، بیشتر شود. در این حالت، گذار ابررسانایی اتفاق می افتد. این توضیح در مورد نمونه های ما به نظر قابل

استفاده می‌رسد، اگر بتوانیم شواهدی بر ابرسانایی بعضی از نواحی درون دانه‌ها در دمای پیدا کنیم. چنانچه به شکل ۷ توجه کنیم، می‌بینیم که در همان‌هایی که یک ناهنجاری در رخ داده است، مقادیر یک کاهش نامتعارفی را نشان می‌دهند. اگر اتمی بزرگتر از اندازه متعارف در مکان عنصر نادر زمین قرار گرفته باشد، می‌تواند باعث ایجاد فاصله بیشتر بین صفحات یعنی کاهش ارتفاع مکان اتم‌های شده باشد. حضور اتمی بزرگتر از که نیاز کمتری به بار منفی داشته باشد در مکان می‌تواند باعث فاصله بیشتر اتم‌های از آتیون قرار گرفته در مکان شود. این کاهش ارتفاع مکان می‌تواند باعث دفع اتم از مکان خودش و در نتیجه کاهش ارتفاع مکان آن شود {شکل ۸}. بهترین کاندید با خصوصیات گفته شده اتم با شعاع اتمی بزرگ و بار مثبت کوچک است.

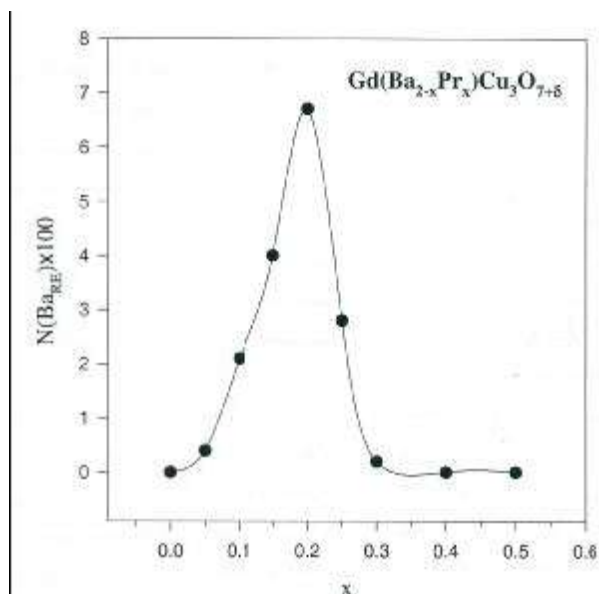
برای آزمودن فرضیه اخیر و تصحیح نتایج ظریف سازی ریتولد، آنالیز با امکان حضور اتم در مکان در همه مقادیر یعنی تکرار شد {۵۴}. نتایج در جدول ۳ ارائه شده‌اند. پارامتر که معیاری برای خوبی برازش‌هاست و در بهترین حالت باید باشد، خیلی به ۱ نزدیک است که شواهدی بر قابل قبول بودن نتایج است {۵۵}.



شکل ۱۳-۴. مقاومت بر حسب دما

نتیجه بسیار جالب آنست که تقریباً در همان‌هایی که ناهنجاری مشاهده شده است، یعنی اتم مکان را اشغال کرده است (شکل ۱۴)؛ بدجایشینی بیشترین مقدار را در دارد. حال مسئله اصلی یافتن رابطه‌ای بین بدجایشینی و ناهنجاری است. در نتایج ظریف سازی ریتولد، اختلاف درصد اشغال از ۱ می‌توان مربوط به سلول واحدهای ناکامل باشد؛ سلول‌هایی که ساختار ۱۲۳ دارند لذا به عنوان فاز ناخالصی قابل شناسایی نیستند. ولی در عین حال جایگاه بعضی از اتم‌های تهی است که منجر به کوچکتر از ۱ برای آن اتم می‌شود، وجود اتم در مکان می‌تواند باعث دافعه صفحات از هم شده و این خود منجر به راندن اتم‌های کوچکتر می‌شود.

در نمونه های ابرسانای ۱۲۳ ساخته و گزارش شده توسط زو و همکارانش {۱۵}، پارامتر شبکه سلولهای واحد کمی بزرگتر از مقدار متعارف بقیه به دست می آید. یعنی به جای در حدود به دست می آید. یک احتمال برای این مقدار بزرگ حضور اتمهای بزرگ به جای اتم در مکان عنوان شده است. ناروزنی و همکارانش {۵۶} بر اساس ممان مغناطیسی مؤثر به دست آمده اتم نتیجه گیری نموده اند که در نمونه های ابرسانای زو، تعدادی از اتمهای باید در مکان قرار گرفته باشند، حضور در مکان باعث آرایش حفره های متحرک و جبران جایگزیدگی حفره ها در اثر هیبریداسیون می شود. مؤلفین همچنین توجه می دهند که می تواند توضیحی طبیعی نه تنها برای مشاهده ابرسانایی در ترکیب بلکه افزایش



شکل ۱۴-۴. درصد اشتغال اتم Ba در مکان R بر حسب مقادیر مختلف آرایش Pr(x).

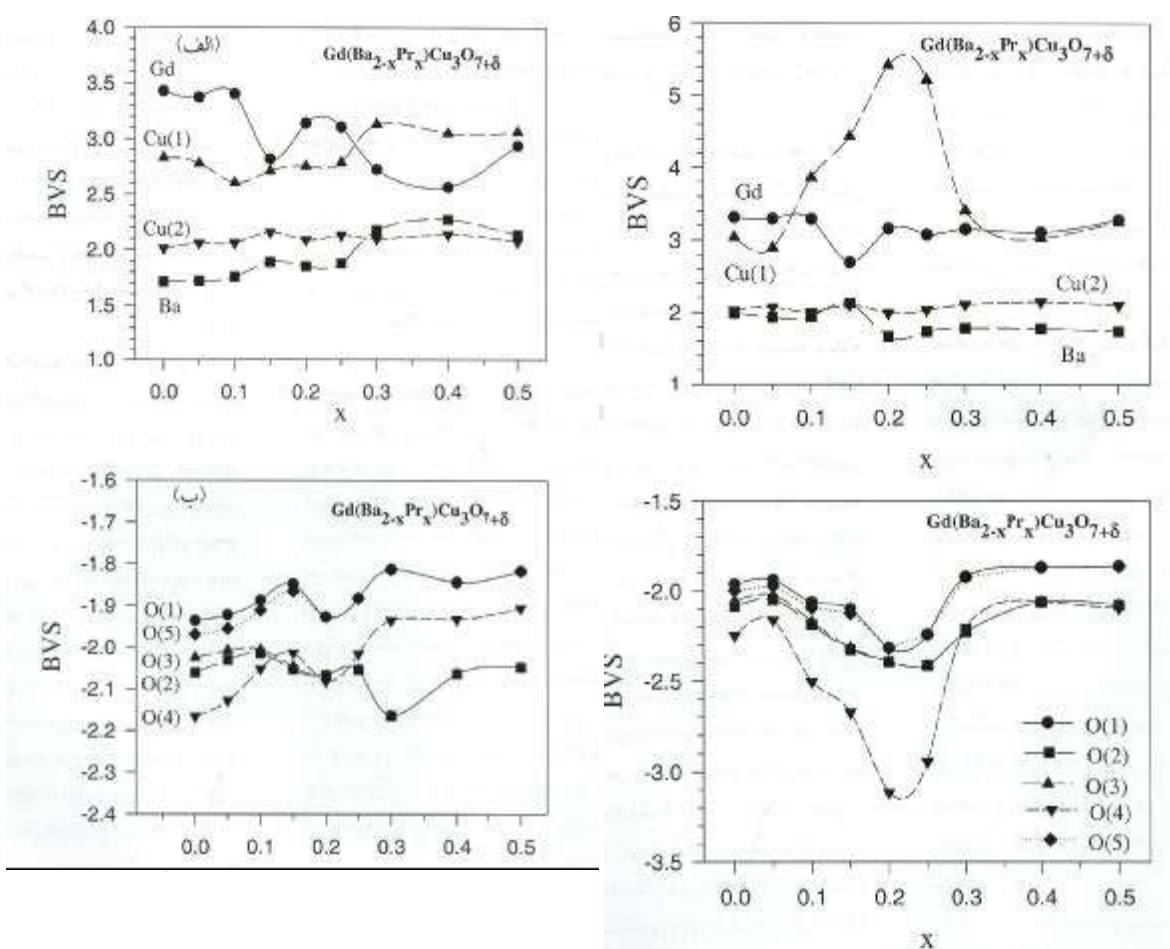
فاصله بین صفحات و در نهایت افزایش باشد. زو و نیشیهارا همچنین بر اساس ممان مغناطیسی را یک توضیح محتمل برای ابرسانایی در عنوان نموده اند {۵۷}. نکته جالب دیگر در مورد نمونه های ابرسانای زو و همکارانش آن است که دمای گذار ابرسانایی آنها حدود یعنی در تطابق با است. بنابراین، اگر در سلول واحدهایی که شامل هستند . ابرسانایی اتفاق بیفتد، مقاومت در دمای شروع به کاهش می کند. لکن به دلیل تعداد زیاد سلول واحدهای عایق آنهایی که شامل هستند مقاومت به صفر کاهش پیدا نمی کند تا آنکه انرژی درج شدگی جوزفون بین بخشهای ابرسانا از انرژی گرمایی بیشتر شود که در این حالت گذار ابرسانایی اتفاق خواهد افتاد.

بخشهایی از ماده که در دمای ابرسانا شده اند نمی توانند ناشی از تشکیل فاز بوده باشند. چرا که اولاً ترکیب با مقدار اکسیژن بهینه است {۴۸}، همچنین با نقصان اکسیژن که بخواهد را نتیجه بدهد باید مقدار اکسیژنش باشد {۴۸}، در حالی که کمترین مقدار اکسیژن نمونه های مختلف ما است (جدول ۱). از طرف دیگر دمای برآمدگی در همه نمونه ها حوالی ۸۰ است. چگونه است که همه نمونه ها دارای فازی از هستند که همگی دارای حوالی ۸۰ هستند و نقصان اکسیژن به ازای بقیه دماهای گذار اتفاق نمی افتد؟ بنابراین، فاز نمی تواند عامل این ناهنجاری باشد. نمونه های توسط ینگ و همکارانش مورد مطالعه قرار گرفته اند {۵۸}. آنها مشاهده نموده اند که با افزایش مقاومت نمونه ها که رفتار عایق گونه دارند کاهش و پارامتر شبکه افزایش می یابد. این بررسی همچنین در مرجع {۵۹} انجام شده است. نتیجه حاصله از این قرار است که با آرایش در مکان یک افزایشی در مقاومت تا رخ می دهد. سپس با افزایش مقدار آرایش، مقاومت کاهش می یابد. تا در به دلیل حد حل پذیری فاز غیر ۱۲۳ تشکیل می شود و مقاومت شدیداً افزایش می یابد. نویسندگان پیش بینی نموده اند در صورتی که بتوان با روش خاصی در ساخت نمونه حد حل پذیری را افزایش داد می توان شاهد بازیافت ابرسانایی در ۱۲۳ بود. آزمایشات جذب اشعه ایکس لبه اکسیژن در نمونه های آنها نشان داده است که تمرکز حامل ها با آرایش افزایش می یابد. مرز و همکارانش {۶۰} در بررسی نمونه های مشابه با آزمایشات گزارش نموده اند که با جایشانی به جای یک جابجایی در نوار به زیر تراز فرمی، همراه با بازگشت حفره ها به نوار رسانش اتفاق می افتد. آنها ادعا نموده اند که اگر میزان آرایش در مکان بیشتر از آن مقداری باشد که آنها بررسی کرده اند، می تواند باعث مشاهده ابرسانایی در نمونه های شود. حضور در مکان می تواند باعث احیای ابرسانایی در بشود، همانند : لایه های نازک ابرسانا یا دمای گذار هستند و نمونه های کپه ای آن که تحت فشار ساخته شده اند دمای گذار دارند {۶۲}. بنابراین با توجه به شواهد بالا ، بروز باعث ابرسانایی موضعی در نمونه های مورد مطالعه و همچنین برآمدگی در منحنی شده است. این نتیجه برای توجیه مشاهده ابرسانایی در ترکیب بسیار ارزشمند و راهگشاست. همانطور که توضیح داده شد، روش یک روش موفق در محاسبه ظرفیت اتمهای یک ترکیب

است. از آنجا که ورودی این محاسبات مکان اتمهاست، هر گونه خطا در مکان اتمها منجر به ظرفیتهای نامعقول اتمها خواهد شد. بنابراین برای سنجش صحت نتایج ظرفیت سازی رینوند، به کمک ظرفیت اتمها محاسبه شده اند. نتایج این ظرفیتهای در شکل ۱۵ نشان داده شده است. چنانکه مشخص است، در حدود دقت نتایج ظرفیت همه اتمها بجز دربارہ معقول اند. بنابراین فاصله نسبی این دو اتم باید بهینه شوند. پارامتری که می تواند تغییر کند تا ظرفیتهای معقولی برای بدهد، درصد اشغال اتم در جایگاه خودش است. اهمیت اکسیژن در چارچوب مدل انتقال بار بین صفحات و زنجیره های قبلا در مراجع مختلف به تفصیل بحث شده است {۶۳}. با تکرار ظرفیت سازی رینوند به ازای مقادیر متغیر درصد اشغال اتم در بازه مشاهده شده است که به ازای ظرفیت سازی به مقادیر نامعقولی از درصد اشغال و مکان اتمی منجر می شود. بنابراین در بازه گفته شده، از مقدار ثابت و قابل انتظار در ظرفیت سازی استفاده شد. در نتیجه این کار، واگراییهای گفته شده برطرف و ظرفیتهای به دست آمده قابل قبول اند. شکل ۱۶ نتایج ظرفیتهای گفته شده را نشان می دهد. با افزایش میزان حضور در مکان کاهش پیدا می کند.

اگر چه پیدا نمودن درصد اشغال اکسیژن بر اساس ظرفیت سازی رینوند نتایج طیف پراش نوترون، قابل استنادترند، لکن نتایج به علاوه روش لاقل به صورت نیمه کمی پذیرفتنی است. درصد اشغال کمتر از ۱ اتمهای قبلا نیز در ترکیب مشاهده شده است. نتایج نهایی ظرفیت سازی رینوند با متغیر در جدول ۴ ارائه شده اند. کاهش می تواند در نتیجه ی مهاجرت اتمهای از جایگاهشان و همچنین حضور در مکان باشد. شاهدهی دیگر برای خروج از مکانش، می تواند اشباع مقدار اکسیژن نمونه ها با افزایش به مقدار باشد. این در حالی است که در ترکیب به ازای مقدار اکسیژن تا افزایش می یابد. به عبارت دیگر، در ترکیب مقدار اکسیژن کمتر از میزان لازم برای جبران بار اضافی نسبت به است. با افزایش آرایش اشغال مکان توسط اتمهای اکسیژن شروع می شود و صفحه شامل زنجیره های شبیه صفحات شده، در حالی که اتمهای از جایگاهشان خارج می شوند. در نتیجه این ورود و خروج اکسیژن مقدار اکسیژن کل از تجاوز نمی کند. با جاینشانی در مکان بلوکهای پروسکپتهای سازنده ساختار ۱۲۳ که شامل هستند بیشتر شبیه پروسکپت حاوی می شوند. بنابراین فرآیند محیط اطرافش را همانند محیط در مکان یعنی می سازد، هر چند به دلیل حد حل پذیری، این پدیده تا حد خاصی اتفاق می افتد خروج باعث نزدیکی کردن عدد آرایش در مکان به یعنی همانند Pr در مکان R می شود. بنابراین، به نظر می رسد که تشکیل پروسکپتهای ناکامل در ساختار ۱۲۳ نکته اساسی نظریه بد-جاینشینی است. بنابراین از آنجا که حضور Pr در مکان Ba محیط اطرافش را شبیه حالت حضور Pr در مکان R می نماید، به نظر می رسد که Pr در مکان Ba و یا، هر دو با یک سازوکار باعث اضمحلال ابررسانایی در ترکیبات (R-123) آلائیده با Pr می شوند. همچنین، با توجه به شواهد ارائه شده، بروز Ba باعث ابررسانایی

موضعی در نمونه های مورد مطالعه و همچنین برآمدگی در منحنی $P(T)$ شده است. این نتیجه برای توجیه مشاهده ابرسانایی در ترکیب (R-123) بسیار مهم است. در بررسی فاز هنجار نمونه های $Gd(Ba_{2-x}Pr_x)Cu_2O_{7+6}$ ، علاقه مندیم تا سازوکار رسانش را در این فاز جستجو کنیم. به این منظور، انتظار داریم که در سراسر بازه دمایی فاز هنجار، به یک سازوکار رسانش دست یابیم. چرا که اولاً دلیل و یا شهادی بر تغییر سازوکار رسانش در فاز هنجار نداریم، ثانیاً گذار فازی در فاز هنجار و یا دمایی ویژه ای که پایه تغییر سازوکار رسانش باشد نیز در این فاز گزارش نشده است. بنابراین، در چارچوب مدل های ارائه شده، در بزرگترین بازه دمایی ممکن، به دنبال رژیم حاکم رسانشی در فاز هنجار نمونه ها خواهیم گشت. در برازش داده های نمونه های شامل ناهنجاری $P(T)$ ، بخش برآمده منحنیها در



شکل ۱۶. ظرفیت اتمهای ترکیب $Gd(Ba_{2-x}Pr_x)Cu_3O_{7+\delta}$ به ازای مقادیر مختلف $Pr(x)$ با درصد اشغال متغیر $O(2)$ خطوط بین نقاط برای راهنمایی چشم اند.

شکل ۱۵. ظرفیت اتمهای ترکیب $Gd(Ba_{2-x}Pr_x)Cu_3O_{7+\delta}$ به ازای مقادیر مختلف $Pr(x)$ با درصد اشغال ثابت $O(2)$ خطوط بین نقاط برای راهنمایی چشم اند.

دمای حدود 80k حذف شده اند. در ابتدا مدل‌های مختلف استفاده شده برای برازش داده های مقاومت بر حسب دمای ابرساناهای دمای بالا، همانند مدل اندرسون-زو ($p = AT\#B/T$) {۶۵} و رفتار نیمه هادی گونه ($p = \exp(t)$) {۶۶} جهت برازش داده ها مورد سنجش قرار گرفتند. هیچ یک از این مدلها برای تمام مقادیر آرایش pr و در بازه های بزرگ دمایی مورد انتظار، خوب کار نکردند. در میان مدل‌های مختلفی که برای خواص تراپردی مواد ارائه شده اند، رسانش پرشی با برد متغیر (VRH) بین حالات جایگزیده یعنی معادله زیر {۶۷}:

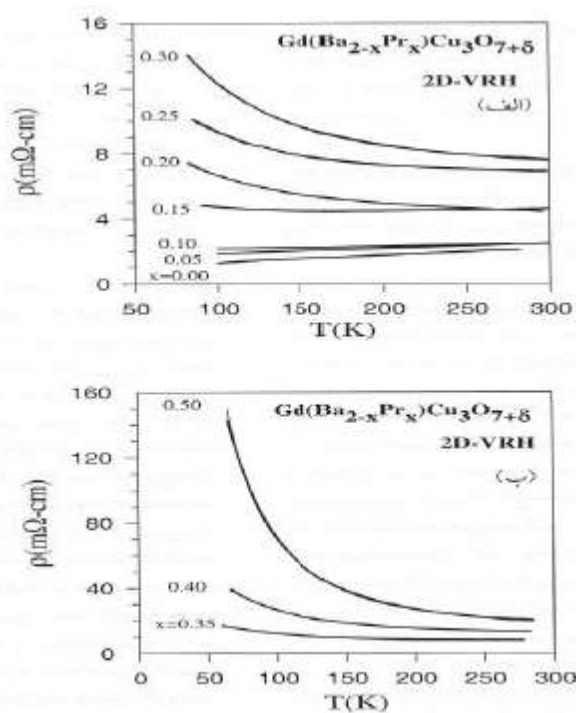
$$p(T) = p(t/2) \exp(T/T)p \quad (4-2)$$

جدول ۴. نتایج ظرفیت‌سازی ریتولد ترکیب $Gd(Ba_{1-x}Pr_x)Cu_{1-\delta}O_{v+\delta}$ با امکان خروج اتمهای $O(4)$ از جایگاه خود

x	0.0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50
a(Å)	3.847	3.847	3.850	3.860	3.870	3.878	3.879	3.878	3.875
b(Å)	3.890	3.889	3.888	3.881	-	-	-	-	-
c(Å)	11.797	11.792	11.777	11.760	11.740	11.733	11.707	11.579	11.064
Gd N	0.801	0.837	0.858	0.891	0.903	0.903	1.004	0.907	0.898
B(Å)	1.101	0.803	1.214	0.590	1.190	1.039	0.714	0.27	0.227
Ba N	0.999	0.982	0.977	0.937	0.933	0.901	0.811	0.805	0.747
B(Å)	3.241	3.768	2.030	0.380	1.307	1.201	0.870	0.188	0.387
Z	0.1811	0.1808	0.1813	0.1830	0.1813	0.1819	0.1843	0.1817	0.1809
Bar N	-	-	-	0.038	0.040	0.020	0.004	0.030	0.019
Pr N	-	0.027	0.051	0.076	0.093	0.123	0.149	0.176	0.237
B(Å)	-	2.977	2.328	0.778	1.177	1.022	0.818	0.100	0.209
Cu(2) B(Å)	2.904	2.808	2.292	0.970	1.243	1.373	1.341	0.742	1.117
Z	0.3008	0.3010	0.3009	0.3017	0.3004	0.3003	0.3033	0.3001	0.3493
O(1) N	0.039	0.017	0.082	0.780	0.704	0.760	1.0	1.0	0.988
O(2) Z	0.3887	0.3810	0.379	0.377	0.370	0.374	0.377	0.373	0.3701
O(3) Z	0.3707	0.3760	0.380	0.371	-	-	-	-	-
O(4) Z	0.1024	0.1031	0.1070	0.107	0.1070	0.1070	0.1070	0.1097	0.1081
O(4) N	0.901	0.983	0.928	0.810	0.801	0.870	0.823	0.389	0.4923
R _p (%)	10.732	10.444	12.478	11.333	13.393	12.803	12.299	10.979	12.278
R _{wp} (%)	13.809	13.410	17.173	14.731	17.399	17.779	16.779	14.110	10.709
R _B (%)	8.19	7.82	7.38	7.79	7.47	7.97	7.99	7.07	7.70
R _F (%)	7.00	7.79	7.71	7.39	9.07	8.98	7.77	7.70	8.28
S	1.100	1.137	1.112	1.118	1.130	1.123	1.118	1.130	1.139

که در آن T, P و P ثابتهای برازش، P مقاومت ویژه و T دماست. به طور وسیعی برای حالت هنجار HTSC استفاده شده است. بنابراین در قدم بعد، رژیمهای رسانش پرشی در ۲ بعد ($p=1/3$ 2D-VRH)، رسانش پرشی در ۳ بعد ($p=1/3$ 2D-VRH) و رژیم گاف کولنی $p=1/2$ CG به طور جداگانه برای تمامی نمونه های با جهت برازش داده ها مورد استفاده قرار گرفتند (روش P ثابت). این نتایج در شکل ۱۷ ارائه شده اند. نتایج برازش برای کاملاً مشابه هم بودند. همچنین از آنجا که منحنیهای برازش در رژیمهای مختلف، همگی مناسب به نظر می رسد، به منظور امکان

انتخاب برازش بهتر، از پارامتر برازش یعنی استفاده شد. نتایج برازشهای مختلف در جدول ۵ ارائه شده اند. گزارشهایی نیز مبنی بر عدم تشخیص بین رژیمهای وجود دارد. به عنوان مثال: در ترکیب عایق مقاومت صفحه از رسانش پیروی می کند. لکن مؤلفین نتوانسته اند رژیم غالب را در بازه دمایی تشخیص دهند {۶۸}. به هر حال، ما فکر می کنیم که تقریبهای به کار رفته در استخراج مقدار به خصوص در دلیل اصلی بروز مشکل اخیر است. بر اساس جدول ۵، بین رژیمهای به نظر ترجیح دارد (به دلیل نزدیکی بیشتر) جهت تمیز بین جالب خواهد بود اگر توان به عنوان یک متغیر در برازش، آزاد گذارده شود تا بهترین مقدار مرجح آن از نتیجه برازش حاصل شود نتیجه عددی این کار در جدول ۶ و نمایش برازش ها در شکل ۱۸ ارائه شده اند. تقریباً در همه مقادیر آرایش تمایل به مقدار یعنی



شکل ۱۷. برازش VRH با روش p ثابت در مقادیر مختلف آرایش $Pr(x)$. نقاط که به صورت خطوط ضخیم ظاهر می شوند نتایج تجربی بوده و خطوط نازک پیش بینی رژیم VRH است. (الف): $0.00 \leq x \leq 0.30$ ، (ب): $0.35 \leq x \leq 0.40$.

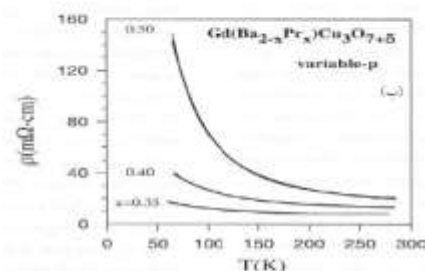
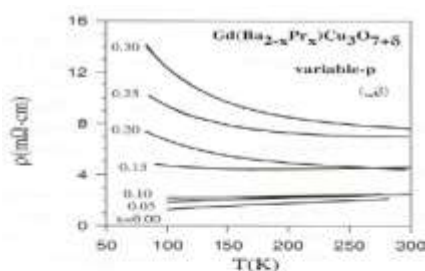
جدول ۵. نتایج برازش مقاومت فاز هنجار بر حسب دما به رژیمهای مختلف رسانش پرشی دو بعدی ($2D-VRH$) و سه بعدی ($3D-VRH$) (که مثل هم هستند) و گاف کولبی (CG) در مقادیر مختلف آرایش Pr در ترکیب $Gd(Ba_{2-x}Pr_x)Cu_3O_{7+\delta}$ و T_0 و ρ_0 پارامترهای برازش و χ^2 معیاری از اعتبار برازش است.

CG($p=1/2$)			VRH($p=1/3 \& 1/4$)			X
χ^T	$T_0(K)$	$\rho_0(m\Omega-cm)$	χ^T	$T_0(K)$	$\rho_0(m\Omega-cm)$	
./9979	167	./6	./9991	35	./3	./00
./9953	136	./7	./9984	313	./9	./05
./9857	812	1/1	./9987	715	1/2	./10
./7225	3229	2/4	./9477	1500	2/4	./15
./9989	26224	1/9	./9991	5100	2/2	./20
./9858	1077	3/8	./9960	3912	3/6	./25
./9939	27392	2/9	./9987	6407	3/6	./30
./9882	27881	2/9	./9940	6018	3/7	./35
./9946	89813	3/3	./9981	10909	5/0	./40
./9975	448583	1/3	./9986	31272	3/6	./50

رسانش 2D-VRH دارد. مزیت روش P متغیر علاوه بر تأیید نتیجه روش P ثابت، آن است که رژیم مرجح بین رسانش $D, 2D^3$ را معرفی می کند. رسانش دو بعدی از جمله خواص دو بعدی گونه ابررساناهای دمای بالاست که از اولین سالهای کشف HTSC مورد توجه قرار گرفته است {69}. این رفتار در مقایسه با سیستمهای الکترونی 2 بعدی در ادامه مورد مطالعه قرار خواهد گرفت. باید توجه شود که فرض اساسی در سازوکار دو بعدی و سه بعدی در معادله (2)، عدم بستگی چگالی حالات الکترونی به انرژی، در تراز فرمی است که ممکن است در HISC کاملاً صحیح نباشد. بنابراین، تفاوت در مقادیر به دست آمده P از $1/3$ می تواند ناشی از فرض اخیر باشد. البته باید توجه داشت که سازوکار VRH عموماً در دماهای پایین که انرژی برای برانگیختگی حاملها در راستای گاف کولنی کافی نیست، اتفاق می افتد بنابراین، رسانش به وسیله پرش در ناحیه کو چک K&T- در حوالی انرژی فرمی اتفاق می افتد که چگالی حالات الکترونی تقریباً ثابت است. لذا تقریب به کار رفته در VRH برای به دست آوردن P خیلی هم نامناسب نیست. لازم به یادآوری است که کارهای اخیر نشان داده اند که سازوکار VHR در بازه دمایی $100K < T < 900K$ نیز کار می کند {69}، بنابراین، بر اساس مدل تقریبی حاضر و چگالی حالات غیر صفر ترکیب Gd-123 که توسط محاسبات به دست آمده است {4}، همانند ترکیب Y-123 {70} و همچنین آزمایش ترموالکتریک در ترکیبات 123 {71}، نتیجه رسانش 2D-VRH در ترکیب 123 مورد نظر، معقول به نظر می رسد. نتیجه محکم تر نیاز به تعیین دقیق DOS در سطح فرمی برای HTSC و همچنین تعمیم نظریه جایگزینی مات-دیویس برای DOS وابسته به انرژی در سطح فرمی دارد {69}. بر اساس فرمول بندی مات {72}، T در معادله (2) به DOS در سطح فرمی یعنی $N(E_f)$ و طول جایگزینی d حاملها مربوط می شود. که در آن d طول جایگزینی یعنی طول پهن شدگی تابع موج جایگزیده است. انرژی پرشی که مقدار انرژی

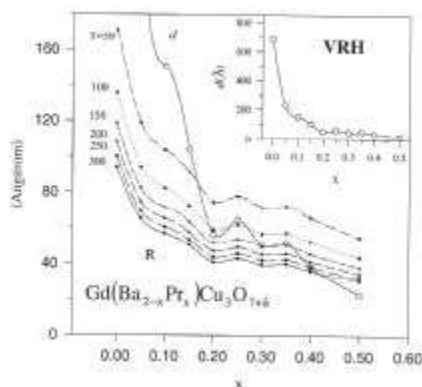
لازم برای حاملهاست تا بتواند رسانش پرسی را به طول R انجام دهند به صورت زیر داده می شود. و دامنه پرسی (R) نیز به صورت زیر می شود.

$N(E_f)$ در سه بعد از مرتبه $eV=cm^3$ حالت 10^{21} است که در نتیجه، در دو بعد در حدود $eV=cm^3$ حالت 10^{14} است $\{73\}$ که معادل $eV-A2$ حالت 10^{-2} در دو بعد است. با دانستن تخمینی از $N(E_f)$ و T حاصل از برازش R, W, d قابل استخراج خواهند بود. طول جایگزیدگی و دامنه پرسی در مقادیر مختلف آرایش Pr محاسبه و در شکل ۱۹ نشان داده شده اند. طول تابع موج جایگزیده در $Gd-123$ (یعنی $x=0/00$) بیشینه است. این بدان معنی است که به دلیل برهم نهی زیاد توابع موج حاملها، رسانش به راحتی انجام می شود، چنانچه رفتار $P(T)$ نیز فلزگونه است. با آرایش d, Pr کاهش می یابد. با افزایش x به دلیل کاهش طول جایگزیدگی، دامنه پرسی نیز کاهش می یابد. یعنی آرایش Pr حاملها را در فاز هنجار جایگزیده می کند. همچنین با افزایش بخشهای عایق در دانه ها، یعنی سلول واحدهای شامل Pr همگنی ساختاری کاهش پیدا می کند و همزمان با کاهش دامنه پرسی، MIT اتفاق می افتد. هنگامیکه طول جایگزیدگی خیلی بزرگ است، مقاومت رفتار فلزی از خود نشان می دهد و حاملهای گسترده کار رسانش را به راحتی انجام می دهند. بنابراین، در مقادیر کوچک x ، دامنه پرسی کوچکتر از طول جایگزیدگی است. چنانکه می دانیم، برای سازوکار VRH $R > d$ باشد. بنابراین، در دماهای کوچک مثلاً $50 K$ به ازای $2D-VRH, x >= 0/20$ ، و احتمالاً در صفحات CuO_2 اتفاق می افتد. با افزایش دما به دلیل افت و خیز گرمایی، دامنه پرسی کاهش پیدا می کند و مقدار x مخصوص (x) که به ازای x های بزرگتر آن، پرسی می تواند اتفاق بیافتد، تغییر می کند. با افزایش دما، x به مقادیر بزرگتر میل می کند (شکلهای ۱۹ و ۲۰).

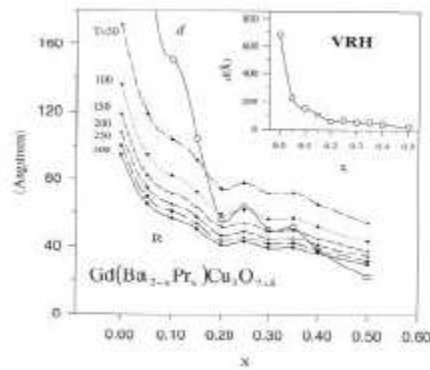


شکل ۱۸. برازش رسانش پرشی با روش p متغیر در مقادیر مختلف آلیش Pr_x (x). نقاط که به صورت خطوط ضخیم ظاهر می‌شوند، نتایج تجربی بوده و خطوط نازک پیش‌بینی رسانش پرشی است. (الف): $0.10 \leq x \leq 0.30$ ، (ب): $0.35 \leq x \leq 0.50$.

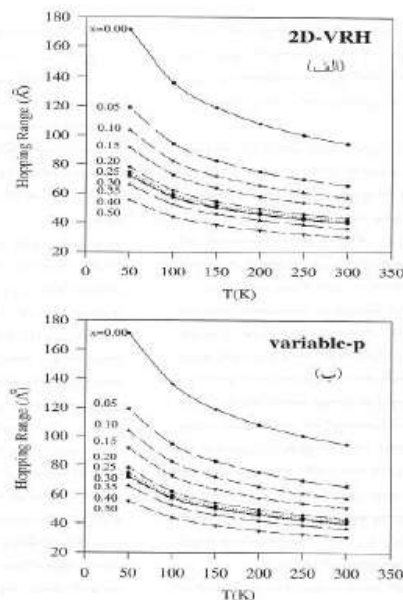
شکل ۲۰ طول جایگزیدگی و دامنه پرشی برای مقادیر مختلف x را با روش p متغیر نشان می‌دهد. اگر چه d, R اختلافات کوچکی را در مقادیر مطلق شان نسبت به روش P ثابت دارند، لکن مرتبه تزرگیشان و نحوه تغییرات شان با x و دما در هر دو روش یکسان است. این نشان می‌دهد که رژیم $2D-VRH$ که از روش P متغیر حاصل شده است، T های سازگار با روش P ثابت را به دست می‌دهد. نحوه تغییرات R با دما بر اساس هر دو روش P متغیر و ثابت در شکل ۲۱ ارائه شده‌اند. با کاهش دما، افت و خیز گرمایی کاهش پیدا می‌کند و پرش رسانتی در مسافتهای بزرگتری قابل انجام است و لذا R افزایش می‌یابد. این نتیجه یا نحوه تغییر دامنه پرشی پروسکیتها با دما سازگار است {۷۴} نتایج ما همچنین مطابق با دامنه پرشی به دست آمده در ترکیب $Pr=123$ یعنی $960A$ در دمای $2k$ مطابقت دارد. (۷۳). شکل ۲۲ نحوه تغییرات انرژی پرشی بر حسب x برای مقادیر مختلف دما را با هر دو روش P ثابت و p متغیر نشان می‌دهد. با افزایش آلیش pr ، به دلیل اثر مخرب Pr در رسانش، انرژی لازم برای رسانش پرشی حاملها، افزایش می‌یابد. جهت انجام رسانش بر اساس VHR ، انرژی پرشی باید بزرگتر از $K\&T$ باشد. در شکل ۲۲ خطوط افقی مقدار $K\&T$ در هر دمایی را نشان می‌دهند.



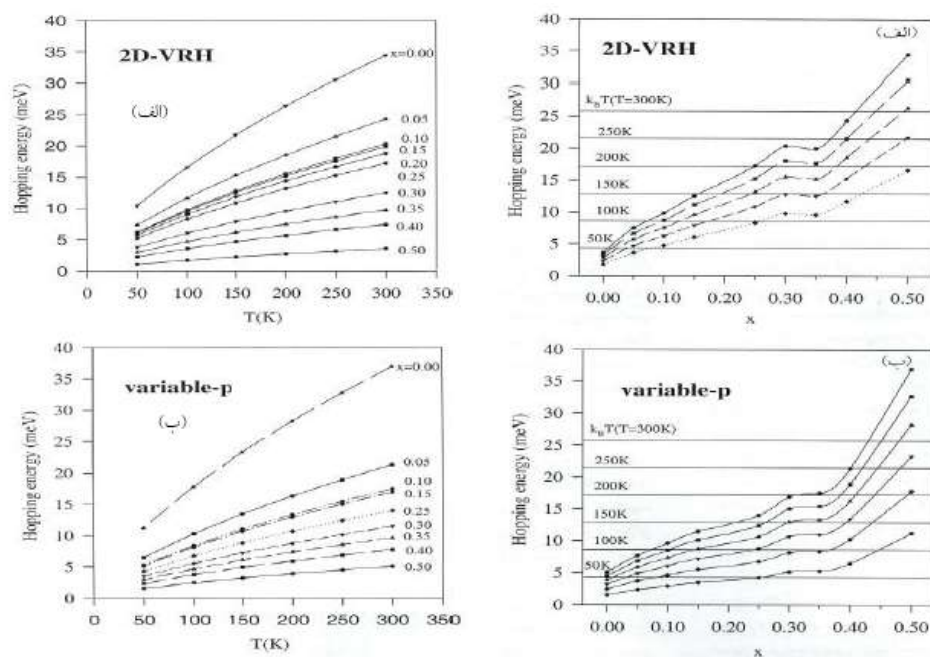
شکل ۱۹. طول جایگزیدگی (d) و دامنه پرشی (R) بر حسب مقادیر مختلف آرایش $Pr(x)$ که از روش p ثابت به دست آمده‌اند. شکل داخلی تغییرات d بر حسب x را در کل دامنه نشان می‌دهد. خطوط کشیده شده برای راهنمایی چشم‌اند.



شکل ۲۰. طول جایگزیدگی (d) و دامنه پرشی (R) بر حسب مقادیر مختلف آرایش $Pr(x)$ که از روش p متغیر به دست آمده‌اند. شکل داخلی تغییرات d بر حسب x را در کل دامنه نشان می‌دهد. خطوط کشیده شده برای راهنمایی چشم‌اند.



شکل ۲۱. دامنه پرشی (R) بر حسب دما برای مقادیر مختلف آرایش Pr که به روش (الف): p ثابت و (ب): p متغیر به دست آمده‌اند. خطوط برای راهنمایی چشم‌اند.



شکل ۲۲. انرژی پرش (W) بر حسب دما برای مقادیر مختلف آرایش Pr که به روش (الف): p ثابت و (ب): p متغیر به دست آمده‌اند. خطوط برای راهنمایی چشم‌اند.

شکل ۲۳. انرژی پرش (W) بر حسب مقادیر مختلف آرایش $Pr(x)$ که به روش (الف): p ثابت و (ب): p متغیر به دست آمده‌اند. خطوط برای راهنمایی چشم‌اند. و خطوط افقی مقدار انرژی در آن دماست.

شکل ۱۹. طول جایگزینی (d) و دامنه پرشی (R) بر حسب مقادیر مختلف آلیش $Pr(x)$ که از روش P ثابت به دست آمده اند. شکل داخلی تغییرات d بر حسب x را در کل دامنه نشان می دهد. خطوط کشیده شده برای راهنمایی چشم اند.

شکل ۲۰. طول جایگزینی (d) و دامنه پرشی (R) بر حسب مقادیر مختلف آلیش $Pr(x)$ که از روش P متغیر به دست آمده اند. شکل داخلی تغییرات d بر حسب x را در کل دامنه نشان می دهد. خطوط کشیده شده برای راهنمایی چشم اند.

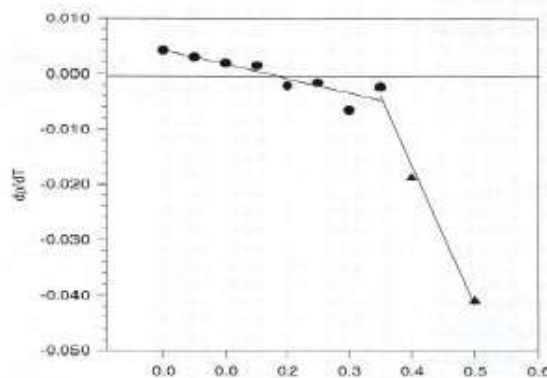
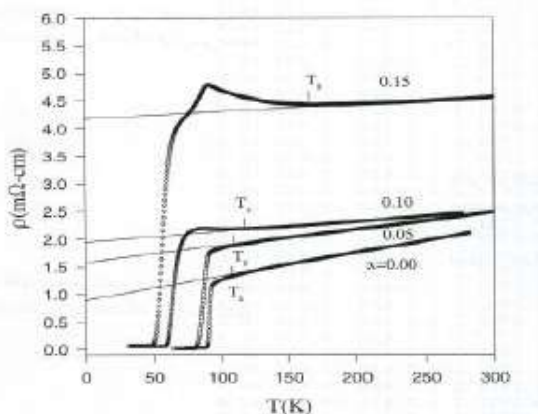
شکل ۲۱. دامنه پرشی (R) بر حسب دما برای مقادیر مختلف آلیش Pr که به روش (الف): P ثابت و (ب): P متغیر به دست آمده اند. خطوط برای راهنمایی چشم اند.

در دماهای پایین مثلا 50 K ، به دلیل افت و خیز گرمایی کوچک، مقدار کمی انرژی پرشی برای انجام رسانش پرشی کافی خواهد بود. بنابراین به ازای $VRH, x \geq 0/20$ سازو کار غالب برای رسانش در فاز هنجار نمونه ها در دمای 50 K خواهد بود. جالب است که با افزایش دما، x افزایش می یابد و مقدار x به دست آمده از این منحنی در تطابق کامل با x به دست آمده از منحنی دامنه پرشی بر حسب آلیش مقادیر مختلف Pr است. همچنین نتایج هردو روش P ثابت و P متغیر با یکدیگر سازگارند. شکل ۲۳ تغییرات بر حسب دما را نشان می دهد. با افزایش دما، به دلیل افزایش افت و خیز گرمایی که برای رسانش پرشی مخرب است، انرژی پرشی نیز افزایش یابد. این نتیجه همچنین در تطابق با نحوه تغییر انرژی پرشی بر حسب دما در پروسکتها است. {۷۵}. شکل ۲۴ منحنی dp را بر حسب مقادیر مختلف آلیش Pr نشان می دهد. نمونه های $x < 0/20$ در فاز هنجار رفتار فلزی و نمونه های $x > 0/20$ رفتار نیمه هادی - گونه دارند. در نمونه های فلزی، انحراف مقاومت از رفتار خطی هم ارز گشایش شبه گاف در تراز فرمی است. دمایی که این اتفاق می افتد به دمای گشایش شبه گاف معروف است. شکل ۲۵ نحوه استخراج T از منحنی $p(T)$ را نشان می دهد. از آنجا که در بررسی شبه گاف، مقایسه Pr در مکان Ba و Pr در مکان R بسیار مفید خواهد بود، در این بخش داده های مرجع {۵۴} برای نمونه های $(Gd-x^{Pr}x)Ba_2Cu_2O_{2-6}$ نیز مورد ارزیابی قرار می گیرند. نحوه تغییرات T در نمونه های $GdPr-123$ و $GdBaPr-123$ در مقادیر مختلف آلیش Pr در شکل ۲۶ آمده است.

در هر دو سیستم با افزایش T, pr افزایش می یابد، لکن تغییرات T در سیستم $GdPr-123$ به رفتار خطی نزدیکتر از سیستم $GdBaPr-123$ است {۷۶}. این نتیجه در تطابق با بقیه $RPrx-123$ هاست {۷۷}. در ترکیب $GdBaPr-123$ به صورت نمایی یا x رشد می کند و برای یک مقدار ثابت آلیش $T Pr$ آن نسبت به مقدار ترکیب $GdPr-123$ بزرگتر است. این نشان می دهد که اثر Pr در مکان Ba برای تغییر رفتار خطی مقاومت نسبت به دما و

گشایش صفحه CuO_2 بیشتر از فاصله بین Pr در جایگاه R و صفحه شبه گاف در مقایسه با اثر Pr در مکان R قویتر است. همچنین از آنجا که حضور Pr

شکل ۲۵. مقاومت بر حسب دمای نمونه‌های $\text{Gd}(\text{Ba}_{1-x}\text{Pr}_x)\text{Cu}_y\text{O}_{y+\delta}$ در مقادیر $0 \leq x \leq 0.20$ ، انحراف هر منحنی از رفتار خطی دمای گشایش شبه گاف (T_g) را معرفی می‌کند.



شکل ۲۴. مقادیر $d\rho/dT$ در مقادیر مختلف آلیش Pr

در مکان Ba از طریق اضافه بار Pr نسبت به Ba^{10} یعنی پر شدگی حفره، باعث ابرسانایی می‌شود می‌توان نتیجه اخیر را به این صورت تفسیر کرد که پر شدگی حفره اثر مخرب تری روی مقاومت فاز هنجار نسبت به بقیه سازوکارهای پیشنهاد شده برای تخریب ابرسانایی توسط آلیش Pr دارد. بنابراین، بر اساس نتایج بالا، مشاهده می‌شود که جایگاه اصلی Pr در ساختار 123 نه تنها برای خواص ابرسانایی بسیار مهم است {۷۸}، بلکه برای خواص فاز هنجار نیز اساسی است. {۷۸ و ۷۹} بنابراین جاننشینی ناخواسته Pr در مکان Ba (بد جاننشینی) در فرآیند ساخت ترکیب Pr-123 می‌تواند برای بروز ابرسانایی در آن مخرب باشد. همچنین به دلیل طول پراکندگی نوترن نزدیک به هم برای Pr (0.458×10^{-12} cm) و Ba (0.507×10^{-12} cm)، امکان تمیز Pr و Ba در اندازه گیریهای پراش را بسیار مشکل می‌سازد. به این جهت، تعیین دقیق مکان Pr در ساختار 123 برای توضیح اثر واقعی Pr بسیار حیاتی است. همچنانکه نتیجه گرفتیم، Pr در مکان Ba نسبت به مکان R اثر بیشتری بر شبه گاف دارد. فاصله بین Pr در جایگاه Ba و CuO_2 است. بنابراین، اگر صفحات CuO_2 عنصر اصلی در بروز شبه گاف هستند، اثر Pr در مکان Ba باید کمتر از اثر Pr در مکان R بر T می‌بود، در حالیکه در تجربه، عکس این امر مشاهده می‌شود. از این رو، باید گفت که صفحات CuO_2 در بروز شبه گاف نقش مهمی دارند و نه آنکه شبه گاف در این صفحات اتفاق می‌افتد، چنانکه در مرجع {۸۱} ادعا شده است. مرز دانه‌ها معمولاً J نمونه‌های چند بلوری HTSC را محدود می‌

کنند. لکن، مرز دانه های HTSC با مرز دانه های ابررساناهای متعارف و MgB₂ متفاوت اند {۸۲}، مرز دانه های ابررساناهای متعارف از نظر الکترونی کمتر اثر گذارند و حداکثر به عنوان مراکز میخکوبی شان عمل می کنند {۸۳}، حضور جریانهای درون و بین دانه ای در نمونه های چندبلوری HTSC ارائه مدلی را برای رفتار الکترومغناطیسی آنها دشوار می کند {۸۴}.

از آنجا که نمونه های تک بلوری هم ساختار دانه ای دارند و بسیاری از خواص آنها از جمله رفتار همانند نمونه های چندبلوری است، بنابراین بحث شبه گاف برای نمونه های تک بلوری و چندبلوری به طور هم ارز قابل اعمال خواهند بود. شکل ۲۷ رفتار بر حسب برای ترکیبات و نمونه های ۱۲۳ با مقادیر مختلف اکسیژن را نشان می دهد. این شکل نشان می دهد که چگالی حاملهای کمتر، به دمای شبه گاف بالاتر مربوط است. برای یک مقدار ثابت ترکیب پایه ۱۲۳- به مقدار اکسیژن نمونه و همچنین مکان در ترکیب بستگی دارد. برای یک مقدار ثابت به دلیل کاهش تعداد حاملهای حفره با کاهش ترکیب ۱۲۳- کمترین مقدار حفره را در صفحات ابررسانایی دارد. پس از ۱۲۳- بیشترین مقدار چگالی حفره ها به نمونه ۱۲۳- با نقصان اکسیژن مربوط می شود. این شاهد دیگری است که اثر مخربتر در مکان را نشان می دهد. برای نمونه های ۱۲۳- با نقصان اکسیژن، به دلیل رفتار مشابه بر حسب برای عناصر مختلف اینگونه نتیجه گیری شده است که عناصر نادر زمین در جایگاه و همچنین فاصله بین صفحات از یکدیگر اثر قابل توجهی روی دمای شبه گاف ندارند {۸۱}. بر اساس نتایج ما، در ترکیب ۱۲۳- آلاینده با نه تنها به جایگاه در ساختار، بلکه همچنین به مقدار اکسیژن نمونه هم بستگی دارد. بنابراین، بر همکنش گاف ابررسانایی و شبه گاف فاز ابررسانا از منحنی مبرهن است بستگی زیاد منحنی به مقدار اکسیژن نمونه و جایگاه در ساختار، پیشنهاد می کند که باید یک برهمکنشی بین گاف ابررسانایی که به دمای گذار ابررسانایی مربوط است و شبه گاف وجود داشته باشد. این نتیجه در مورد لایه های نازک ترکیب که در راستای رشد یافته است نیز گزارش شده است {۸۵}. بستگی گاف ابررسانایی به آلایش در ترکیب ارتباط قوی آن با دمای شبه گاف را پیشنهاد می کند و همچنین نشان می دهد که ناحیه شبه گاف لااقل به صورت جزئی در نتیجه نوعی ابررسانایی است {۸۶}.

فصل پنجم

موتورهای برقی با خاصیت ابررسانا

تحقیقاتی که از سال ها قبل برای ساخت موتورهای برقی با سیستم هایی از نوع ابررسانا شروع شده بود ، سرانجام به نتیجه رسیده و موتورهای برقی ابررسانا با دمای بالا (HTS) ساخته شده است .

کاربرد موتورهای برقی به عنوان نیروی محرکه شناورها (PROPULSION SYSTEM) در صنایع کشتی سازی برای کشتی های خاص مانند زیردریایی و بعضی یدک کش ها متداول بوده ولی به کارگیری موتورهای برقی به عنوان نیروی محرکه برای انواع شناورها یکی از روشهایی است که در سال های اخیر مورد توجه خاص طراحان سیستم های رانش کشتی ها قرار گرفته است . این طرح با ساخت موتورهای برقی از نوع ابررسانا بیشتر قوت گرفته است .

۱-۵ ابررسانا چیست ؟

در سال ۱۹۱۱ میلادی یک محقق هلندی پی برده بود که وقتی جیوه تا دمای $4^{\circ}\text{K} = -269^{\circ}\text{C}$ درجه کلوین ($4^{\circ}\text{K} = -269^{\circ}\text{C}$) سرد شود مقاومت آن در مقابل جریان الکتریکی ادامه می یابد این حالت را خاصیت ابررسانا نامیده اند .

در دمای معمولی فلزات در مقابل حرکت الکترون ها دارای مقاومت هستند ؛ ولی اگر دمای فلز کاهش یابد مقاومت آن در مقابل حرکت الکترون ها نیز کاهش می یابد به طوری که هر قدر فلز سردتر باشد مقاومت آن در مقابل حرکت الکترون ها نیز کمتر می شود تا به صفر برسد .

بدین علت که با برقراری جریان برق در فلز اتم های فلز (سیم) به شدت لرزش یافته و باعث پراکنده شدن الکترون ها می گردد که این حالت نوعی مانع در مقابل حرکت الکترونها ایجاد می نماید و با سرد شدن فلز ارتعاش اتم ها کم تر شده و هر قدر سردتر شود ارتعاش اتم ها نیز کمتر می شود که در نتیجه حرکت الکترونها بهتر صورت می گیرد و اگر

دمای فلز باز هم کاهش داده شود، در دمای مشخص هر فلز حرکت اتمها به کلی متوقف میگردد که در این مرحله مقاومت فلز ناگهان صفر می گردد و الکترون ها در مدار بدون مقاومت حرکت می کنند این خاصیت در الیازهای مختلف فلزات و مواد رسانا متفاوت است .

به کارگیری موتورهای برقی به عنوان نیروی محرکه برای انواع شناورها یکی از روشهایی است که در سالهای اخیر مورد توجه خاص طراحان سیستم های رانش کشتی ها قرار گرفته است .

۲-۱۵ ابررسانا درجه حرارت بالا چیست ؟

ابررسانا موادی هستند که معمولاً در دمای فقط چند درجه بالاتر از صفر مطلق () ۲۷۴- درجه سانتی گراد) ابررسانا می شوند این امر مستلزم سرد کردن فلز تا حدود صفر مطلق است . مواد ابررسانا در دمای بالا (HTS) موادی هستند که به مراتب بالاتر از صفر مطلق ، ابررسانا می شوند مثلاً در دمای ۱۹۰- درجه سانتی گراد در نتیجه به مراتب مناسبتر از سایر موادی هستند که باید در دمای صفر مطلق سرد شوند .

پیش از این برای سرد کردن مواد جهت رسانای آن به ابر رسانا از هلیوم مایع استفاده می شد که مایعی بسیار گران و کمیاب است در سال ۱۹۸۶ میلادی تحقیقات نشان داد که آلیاز مس با نوعی اکسید را می توان با نیتروژن مایع تا دمای ۱۹۶- درجه سانتی گراد سرد کرد این مایع ضمن این که فراوان و ارزان می باشد ، کاربرد آن نیز برای این منظور بسیار ساده است .

۳-۵ تکامل در طراحی و ساخت

تکامل در طراحی و ساخت موتورهای برقی با خاصیت ابررسانا با دمای بالا (HTS) یک موفقیت چشمگیر در جهت نیل به هدف مجهز نمودن کشتی ها با موتور برقی بوده است آزمایش اولیه موتور برقی از نوع ابررسانا در دمای بالا (HTS) برای یک موتور با قدرت ۵ مگاوات با ۲۳۰ دور در دقیقه بوده که با موفقیت کامل انجام شده است این نوع موتور توسط مؤسسه ابررسانای آمریکا (AMSC)² تحت یک قرارداد یا مرکز تحقیقات نیروی دریایی آمریکا ساخته شده است که در مقایسه با موتورهای متداول و معمولی به مراتب سبک تر و از نظر حجم کوچک تر است و میتوان آن را در شناورهای نظامی و غیر نظامی به کار گرفت .

مؤسسه ابر رسانای آمریکا قسمت روتور (ROTOR) آن را با سیستم خنک کننده بسیار قوی برای دمای بسیار پایین ساخته و شرکت ALSTOM قسمت استاتور و تجهیزات الکترونیکی سیستم رانش دریای را ساخته و آزمایش کارگاهی انجام داده است. آزمایش موتور HTS در مرکز آزمایش پیشرفته تولید نیرو³ (CAPS) که بخشی از دانشگاه ایالتی فلوریداست انجام شده که در آن انواع آزمایش با شبیه سازی و شرایطی که ممکن است برای یک کشتی در دریا حادث می شود به عمل آورده که نتیجه کاملاً رضایت بخش بوده است. قرار است در مرکز بررسی های مسایل مربوط به عملیات سطحی نیروی دریایی آمریکا در فیلادلفیا آزمایش های پیچیده تری نیز انجام شود .

نتیجه بسیار مهمی که از آزمایش های موتور توسط مرکز برای نیروی پیشرفته CAPS به دست آمده ، تأیید مدل به خصوص تجزیه و تحلیل خواص الکترو مغناطیسی – مکانیکی و الکتریکی موتورهای برقی ابر رسانا با دمای بالا برای استفاده در سیستم رانش برقی کشتی است که یک قدم بسیار مهم در چرخه پیشرفت تولید این نوع موتورها برای شناورهای نظامی و غیر نظامی محسوب می شوند با این تأییدیه مؤسسه ابر رسانای آمریکا قادر خواهد بود موتورهای با قدرت به مراتب بالاتر طراحی و تولید نماید . در این راستا قرار است در سال ۲۰۰۶ میلادی یک موتور با قدرت ۳۶/۵ مگاوات پس از طی آزمایش های متعدد که در آن انواع شرایط دریایی اعمال شده باشد تحویل گردد .

موتورهای ابر رسانا دارای روتور و کوتل پیچیده شده از سیم های ابر رسانا هستند که ۱۵۰ برابر بهتر از سیم های مسی به اندازه مشابه که در موتورهای معمولی به کار رفته دارای خاصیت هدایت جریان برق هستند این امر باعث شده است که موتورهای ابر رسانا دارای حجم و وزن بسیار کم تری در مقایسه با موتورهای معمولی باشد در مقایسه دو موتور با قدرت مشابه موتور ابر رسانا از نظر وزن یک سوم واز نظر حجم نصف یک موتور با سیم های مسی معمولی است که این کاهش وزن و حجم در کشتی یکی از مزایای بسیار بارز است ؛ زیرا شناورها به خصوص شناورهای نظامی قادر خواهند بود نیازمندی های دیگر عملیاتی مانند سوخت و یا مهمات وغیره را حمل کنند .

علاوه بر آن دستاوردهای غیر نظامی امکان حمل بار و مسافر بیشتری خواهند داشت ، مضافاً بر این که مصرف سوخت کم تر و هزینه های تعمیر و نگهداری شناورها نیز کمتر است .

فصل ششم

نگاهی به فن آوری ذخیره سازی انرژی الکتریکی توسط میدانهای مغناطیسی در جهان

ذخیره سازی انرژی در یک سیستم قدرت الکتریکی همواره به عنوان روشی برای بهره برداری بهینه از ظرفیت تولید و انتقال شناخته شده است. انرژی الکتریکی را در هنگام پایین بودن میزان مصرف می توان ذخیره و در ساعات اوج مصرف (پیک) برای تامین انرژی مورد نیاز، از آن استفاده کرد.

در کشور ژاپن معمولاً اصلاح منحنی بار با استفاده از ذخیره سازی انرژی در نیروگاه تلمبه ذخیره ای انجام می شود که از بازدهی نسبتاً پایینی در حدود ۷۰٪ برخوردار می باشد. همچنین با توجه به تراکم تاسیسات و اماکن مسکونی در طول مسیر رودخانه های ژاپن و گرانی زمین، امکان نصب و بکارگیری بیشتر تجهیزات ذخیره سازی پمپی وجود ندارد. بنابراین ژاپنی ها در تلاش برای کشف فن آوریهای جدیدی جهت ذخیره سازی انرژی هستند که از آن جمله می توان فن آوریهای ذخیره کننده های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها و چرخ طیار را نام برد. کار بر روی پروژه ذخیره کننده های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها در ژاپن از سال ۱۹۷۰ شروع شده و هم اینک نمونه های زیادی طراحی و ساخته شده و تحت آزمایش قرار گرفته اند.

مرکز بین المللی فن آوری ابررسانایی ژاپن مطالعات امکان سنجی سه ساله ای را بر روی تجهیزات الکتریکی و از جمله ذخیره کننده های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها از سال ۱۹۸۸ آغاز نمود. این پروژه تحقیقاتی تحت حمایت آژانس انرژی و منابع طبیعی قرار دارد. در بخشی از این مطالعات کمیته ذخیره سازی انرژی الکتریکی در سال

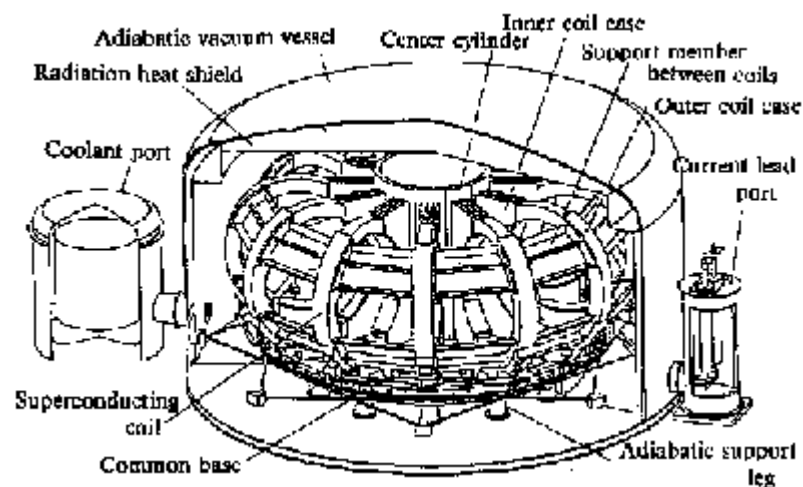
۱۹۸۹ طرحی پیشنهاد کرد که در آن از فن آوری ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها همراه با یک سولونوئید یا یک میدان چنبری شکل استفاده شده بود.

این پروژه نیز مانند طرح Super – GM از ابررساناهای دما بالا برخوردار نگردید. بنابراین هادیهای LTS مانند Nb-Ti و Sn₇Nb انتخاب اول بودند. کارکرد ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها در مقیاس کوچک، که اندازه آن برای پایدارسازی سیستم قدرت مناسب است می‌تواند بسیاری از مسائل تکنیکی

ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها قدرت بالا مانند مقدار تلفات AC، شرایط انتقال قدرت و روش های خنک‌کنندگی را مشخص نماید. نخستین فعالیت ISTEAC در زمینه ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها تحت یک پروژه ۶ ساله از سال ۱۹۹۱ آغاز گردید. این برنامه شامل طراحی، ساخت و آزمایش یک نمونه ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها کوچک در اندازه ۱۰۰ kWh/20 MW بود. این پروژه نیز تحت مسئولیت آژانس انرژی و منابع طبیعی انجام گرفت و شرکت توشیبا به عنوان اولین سازنده مگنت در آن شرکت داشت. شرکتهای مختلف دیگری نیز در این پروژه به رهبری شرکت

chubu حضور داشتند و حمایت‌های مالی اضافی توسط شرکت های برق Tohoko و Kyushu انجام می‌گرفت. همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است طرح موجود برای سیستمی با قدرت ۱۰۰ kWh/20 MW شامل یک مغناطیس (آهن ربا) چنبری شکل با قطر خارجی تقریباً ۱۲ متر (قطر کریوستات) بود یک مدل نیم اندازه توسط شرکت توشیبا ساخته شده و اخیراً مورد آزمایش قرار گرفت. در سیم پیچ مورد آزمایش یک هادی کابلی T-Nb با شار اجباری استفاده شده و جریان ۲۰ kA را که جریان نامی برای طرح اصلی است، از خود عبور میدهد.

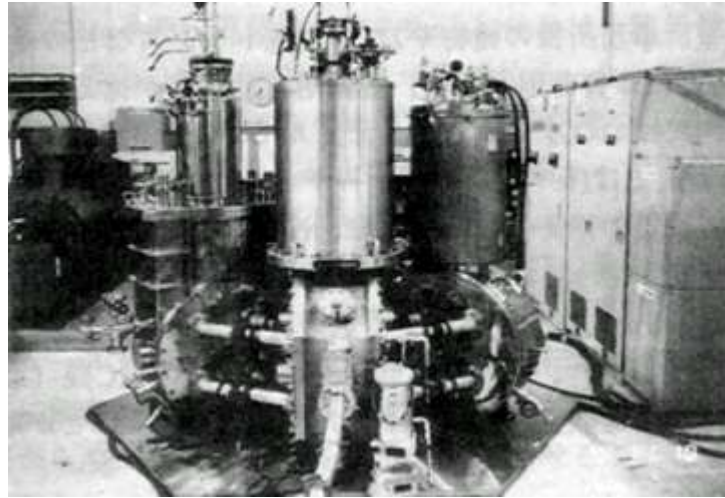
آزمایشهای اولیه در ایالات متحده آمریکا و همچنین در انستیتوی تحقیقات انرژی اتمی ژاپن هدایت و انجام شد. اطلاعات بیشتر در مورد این برنامه ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها در سایت خبری توشیبا موجود است.



شکل (۶-۱) - طرح سیم پیچ ابرسانائی ISTEK برای SMES با ظرفیت ۱۰۰ kWh

یک برنامه دیگر با استفاده از ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابرساناها جهت پایداری سیستم قدرت توسط شرکت برق کانسای هدایت و انجام شده است. یک سیستم سه سیم پیچ کوچک (با قدرت ۴۰۰ kJ برای هر سیم پیچ) که در شکل (۲) نشان داده شده است، در شرکت برق کانسای ساخته شده و تحت آزمایش قرار گرفت. آزمایش این وسیله بر روی سیستم قدرت شرکت برق کانسای با استفاده از ترانسفورماتور و یک چاپر انجام شد. دو عدد از این سیم پیچ‌ها جداگانه توسط صنایع الکتریک سومیتوبو و صنایع سنگین میتسوبیشی با به کارگیری هادیهای Nb-Ti جداگانه ساخته شدند. سیم پیچ سوم توسط صنایع سنگین میتسوبیشی با استفاده از Sn_2Nb ساخته شد.

این برنامه همچنین در دانشگاه اوزاکا مورد بررسی قرار گرفت. این دانشگاه همراه با شرکت برق کانسای راجع به این مساله که چگونه از ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابرساناها می‌توان برای کنترل سیستم قدرت و پایداری آن استفاده نمود، تحقیق نموده است.



شکل (۲-۶) - سیم پیچ سه گانه استوانه ای ساخت شرکت برق کانسای (ظرفیت ۴ KJ برای هر سیم پیچ)

۱-۶ نگاهی به فن آوری ذخیره سازی انرژی الکتریکی توسط میدانهای مغناطیسی در آمریکا

مهمترین برنامه ذخیره سازی انرژی در دنیا توسط شرکتهای بایکوک و ویلکاس در ایالات متحده آمریکا انجام شده است . ۷۰٪ بودجه این برنامه تقریباً ۵۰ میلیون دلاری توسط صنعت و ۳۰٪ آن توسط دولت فدرال در دارپا تامین می شود. بایکوک و ویلکاس ، یک طرح اولیه ذخیره کننده های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابرسانها به ظرفیت ۵۰۰ kWh را بعنوان رزرو گردشی برای شرکت برق P&AML خواهد ساخت . شرکت برق P&AML بخشی از سیستم الاسکا است که یکی از ایزوله ترین شبکه های موجود در ایالات متحده می باشد. ناحیه انچورگ که توسط P&AML تغذیه می شود ، بیش از نصف بار پیک سیستم Alaskan را که در زمستان به بیش از ۶۰۰ MW می رسد ، تشکیل میدهد . P&AML به عنوان بخشی از شبکه railbelt ، ۳۰٪ از تولید خودش را برای رزرو گردشی اختصاص می دهد. قسمتی از این رزرو توسط تجهیزات هیدروالکتریک در دریاچه باردلی تامین می شود . بعلت وجود محدودیت های فیزیکی در دریاچه باردلی زمان پخش انرژی تولید شده ، به حدود یک دقیقه یا بیشتر می رسد که این زمان ، برای مقابله با قطع بیشتر بار در هنگام حوادث اضطراری مانند خروج یکی از ژنراتورها (و دیگر حوادث) بسیار طولانی است . این امر میتواند منجر به ناپایداری فرکانس در شبکه شود .

سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها طراحی شده به طور آبی حدود ۳۰ MW را در یک دوره زمانی ۱ دقیقه ای ارسال خواهد کرد، که این زمان برای افزایش ظرفیت تولید کافی خواهد بود و از قطع بار در شبکه جلوگیری خواهد کرد.

طبق طراحی انجام شده ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها ، ۱۸۰۰ MJ انرژی را در یک سولنوئید با قطر تقریبی ۷ متر با استفاده از یک هادی Nb-Ti با جنس آلومینیوم ثبت شده که با استفاده از

چندین شرکت آمریکایی مشغول ساختن سیستم های ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها مقیاس کوچک هستند که تحت عنوان micro-SMES نامیده میشوند . از این روش در درجه اول برای افزایش کیفیت انرژی تولیدی جهت مشترکان خاص استفاده میشود. این واحدهای تقریباً یک مگاواتی با چند مگاژول انرژی ذخیره شده بصورت تجاری توسط شرکت Superconducting در Wisconsin و Madison و IGC در نیویورک ساخته میشوند.

IGC SI سیستم های micro-SMES را به عنوان قسمتی از یک برنامه جهت تامین نیروی الکتریکی پیوسته (غیر منقطع) برای نیروی هوایی ایالات متحده (USAF) تهیه کرده اند. از این سیستم ها در درجه اول جهت حفظ ثبات و پایداری ولتاژ در مراکز کنترل خاص U SAF استفاده می شود.

در حال حاضر کیفیت انرژی به خصوص در ژاپن و آلمان هنوز هم توسط باتریهای ذخیره کننده و سیستم های چرخ طیار تامین می شود .

در خارج از ایالات متحده فعالیت قابل ملاحظه ای در زمینه micro-SMES تجاری وجود ندارد.

۲-۶- تلاش جهت ذخیره سازی انرژی الکتریکی به کمک مغناطیس در آلمان

بیشترین تلاش در زمینه ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها در آلمان در لابراتوار FZK کارلرزروه انجام میشود . FZK مشغول ساختن یک ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها ۲۵۰ کیلو ژول با یک طرح میدان چنبری شکل است . این طرح می تواند یک مشکل عمده در راه بهبود کیفیت انرژی که در نتیجه راه اندازی های فراوان موتورهای بزرگ بوجود می آید را حل کند. آنالیزهای انجام شده نشان می دهد که یک سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها بخاطر پاسخ سریع برای کاهش

مشکل فلیکر ایده آل می باشد. FZK همچنین در لابراتوار DESY در حال تحقیق روی نحوه استفاده از ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها به عنوان یک منبع قدرت پالسی برای تولید ضربه‌های ۱۰ GW با پریود ۰/۱ میلی ثانیه و فرکانس ۱۰ Hz می باشد.

در کمپانی زیمنس علاقه به کار روی ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها طی چند سال اخیر به طراحی و ارزیابی مطالعات (بدون هیچ طرح مستمر برای توسعه یا ساخت) آن محدود شده است. زیمنس، Preussen Electra REW یک طراحی مفهومی و ارزیابی شده برای یک ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها با قدرت ۲ MWh/50 MW که برای پایدار سازی فرکانس سیستم قدرت الکتریکی در نظر گرفته شده است را انجام می‌دهند. ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها همچنان مورد نظر و علاقه می‌باشد اما مطالعات اقتصادی اخیر که توسط زیمنس انجام شده است نشان می‌دهد که ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها در مقایسه با سایر تکنولوژیهای ذخیره سازی انرژی بسیار گران است.

تصور میشود استفاده از هادی های جریان HTS (که هم اکنون یک ماهیت تجاری دارند و می توان آنها را از تعدادی از سازندگان مانند Hoechst و Asc خریداری کرد) می تواند نشت حرارت را در سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها کاهش دهد. استفاده از هادیهای HTS برای ساختن یک ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها با میدان قوی و چگالی بالا به عنوان یک طرح مورد تقاضا در آینده مورد مطالعه می‌باشد. یک ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها با هادیهای HTS، نیاز به یک هادی مرکب دارد که توانایی عبور هزاران آمپر جریان را با تلفات a c پایین داشته باشد تا بتواند حرارت را برای سیکل های شارژ و دشارژ متعدد حداقل کند. دانشگاه فنی Munich نیز در حال حاضر تحقیقاتی بر روی ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها انجام می‌دهد و در حال ساخت یک ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها با ظرفیت ۱.۴ MJ با میدان چنبری شکل است که در آن از هادیهای LTS استفاده شده است. در شرکت ABB سوییس ذخیره سازی انرژی به عنوان یک مساله مهم مورد رسیدگی است. این مساله قبلاً نیز با جدیت پیگیری شده است و یک ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها با هادی LTS نیز برای ارزیابی تجربی ساخته شده است.

در زمان دیدار از WTEC یک ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها اصلی با هادیهای LTS که برای راه آهن سویس توسعه داده میشد خاتمه یافته بود که منجر به تحقق یک روش اقتصادی دیگر شد. ABB هیچ طرحی برای ذخیره سازی SC نداشت ولی طرحی را برای ادامه ارزیابی این تکنولوژی ارائه داد.

۳-۶ ابرشاره ی ابرسانا

تحت فشار و دمای بالا به نظر می رسد که هیدروژن ابرسانا همیشه. یعنی الکتریسیته را بدون مقاومت عبور می ده. اما ممکنه که «همزمان» مایعی بشه که بدون اصطکاک جاری میشه (یعنی میشه ابرشاره). این حالت معجون جدید در ژوئن امسال (۲۰۰۵) و ۲۳ سپتامبر امسال (۱۰ روز پیش) با شبیه سازی کامپیوتری پیش بینی شد. تحت فشار بالا (در حد میلیون اتمسفر)؛ مثل شرایط داخل سیاره ی مشتری؛ هیدروژن تبدیل به فلز مایع می شه و اگه دمای کمی بالای صفر مطلق باشه این مایع فلزی تبدیل به ابرسانا می شه. علاوه بر ابرسانایی الکترونی؛ در حول و حوش دمای صفر حالت ابرسانایی پروتونی هم می تونه بیرون بزنه. حالتهای الکترونی و پروتونی ممکنه دست بدست هم بدن و ابرسانایی رو بسازن که در اون الکترون و پروتون به نوعی حرکت می کنن که حرکت بی اصطکاک جرمها رو بوجود بیاد و هیچ بار الکتریکی هم حرکت نکنه.

آسل سودبو از دانشگاه علم و صنعت ترنندیم در نروژ با همکاری دو فیزیک پیشه ی دانشگاه کورنل اخیرا ویژگی های جدیدی از این «حالت ابرشاره ی ابرسانا» و همچنین دو حالت «ابرسانای نا-ابرشاره» و «حالت ابرشاره ی نا-ابرسانا» را پیش بینی کرد. آنها با شبیه سازی تشخیص دادند که همه ی این ۳ حالت هلیوم همزمان با هم تشکیل می شود که جدایی این حالتها با دما و میدان مغناطیسی خارجی هستند.

یک میدان مغناطیسی می تواند ابرساناها را به حالت پنیئر سوئسی ببرد که در آن حالت این میدان مغناطیسی خارجی به داخل لوله هایی از ماده ی نا-ابرسانا نفوذ می کند. این تیوبهای نا-ابرسانا را خطهای گردابی می نامند. دور این خطها الکترونها می چرخند.

در هلیوم مایعی که ابرسانای ابرشاره است؛ در دماهای پائین؛ خطهای گردابی الکترون و پروتون با هم برخورد می کنند و یک شبکه ی ثابت تشکیل می دهند.

وقتی هیدروژن رو گرم می کنین بسته به قدرت میدان مغناطیسی دو چیز رخ میده. در میدان مغناطیسی ضعیف با گرم کردن گردابه های پروتونی از گردابه های الکترونی جدا میشن. این جدایی باعث میشه که ابرسانایی خراب بشه

و فقط ابرشارگی بمونه. اگر دما بسشتر بشه دو نوع خطِ گردابی در هم می پیچن اما دیگه این گردابه های مرکب روی شبکه ی ثابت دیگه نمی مونن و آزادانه حرکت می کنن که بهش میگوین «مایعِ گردابه».

در این حالت دیگه ماده برسانا نیست چون جریانِ الکتریکی تیوبهای شار مغناطیسی رو حرکت همیشه انرژی صرف بشه. مثل اینکه مقاومتی درون ماده بوجود بیاد. اما هنوز ماده ابرشاره هست.

دیوید سیپرلی از دانشگاه ایلینویز گفت: «این فازِ ابرشاره ی ابرسانا میتونه خیلی جالب باشه» اما شک دارم تو آزمایشگاه بشه حقیقتا دیدش. سوال اصلی اینه که آیا هیدروژن تو اون دما یخ میزنه یا مایع باقی می مونه. محاسباتِ کامپیوتری دیوید میگه که یخ می زنه و اون مایعِ گردابی و ... رخ نمی ده.

برنامه Super-GM ژاپنی ها برای توسعه ژنراتورهای SC باعث شد که در تمام دنیا فعالیتی جهت تجارتي و بازرگانی کردن تکنولوژی ابرسانا برای کاربردهای عملی در سیستم قدرت انجام شود. این نتیجه با در نظر گرفتن دوره انجام این برنامه ، کل پول سرمایه گذاری شده توسط صنایع و دولت ژاپن ، و تعداد افرادی که مشمول آن می شوند، حاصل شده است . با این حال آینده این برنامه بستگی به موفقیت کامل آزمایشات برنامه ریزی شده ای دارد که از سال ۱۹۹۸ بر روی ژنراتورهای با سه روتور انجام می شود. برنامه ساخت یک ماشین نمونه ۲۰۰ MW ، همچنین بستگی زیاد به توسعه وضعیت بازار تقاضای این ژنراتور دارد. عدم افزایش تقاضا مشابه با عدم موفقیت در آزمایشات ژنراتور می باشد که در نتیجه ، صنایع ژاپنی خودشان را برای پرداخت هزینه جهت پیشبرد این برنامه گرفتار نخواهند کرد . علاقه به استفاده از هادیهای HTS در این برنامه بستگی به پیشرفت در ویژگیهای انتقال بیشتر در میدان های بزرگتر دارد.

برنامه های در حال انجام V.S.Doe spi در توسعه یک موتور سنکرون HTS از برنامه های بی نظیر در حال انجام است. برنامه رزرو گردشی w&P&AML بزرگترین برنامه ذخیره کننده های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابرساناها در دنیاست و یک عملکرد مطلوب و راه حل اقتصادی برای مشکل صنعت برق ارائه می دهد.

فصل هفتم

کاربرد ذخیره سازی مغناطیسی ابرسانا در افزایش بارگیری از شبکه انتقال انرژی

در این تحقیق ذخیره سازی ابرسانا (SMES) جهت بهبود پایداری گذرا و هم چنین افزایش میرایی شبکه انتقال انرژی پیشنهاد شده است. روش ارائه شده، ظرفیت انتقال توان خطوط انتقال را که معمولاً محدود به اندیس پایداری و به خصوص پایداری گذرا است، افزایش می دهد. در این مقاله، مدل سازی و کنترل فازی واحد ذخیره سازی مغناطیسی ابرسانا (SMES) جهت کنترل پایداری گذرا ارائه گردیده است. دینامیک ماشین، سیستم تحریک و گاورنر به کمک مدل مرتبه هشتم مدل سازی شده است. شبیه سازی عددی بر روی یک خط انتقال که توان تولیدی یک ماشین را به بقیه شبکه منتقل می کند، اجرا گردیده که به وضوح بهبود پایداری گذرا و هم چنین افزایش ظرفیت انتقال توان خط برای شبکه مورد آزمایش را نشان می دهد.

واژه کلیدی: ابرسانا - مغناطیس - انرژی - انتقال.

در سال های اخیر، سهم عمده ای از تحقیق در زمینه طراحی و بهره برداری از سیستم های قدرت بر روی بهبود ظرفیت انتقال توان در خطوط الکتریکی متمرکز بوده است. در عمل، جهت اطمینان از وجود حاشیه پایداری کافی، شبکه های الکتریکی در ظرفیت های نسبتاً پایین مورد بهره برداری قرار می گیرند { ۵ } . عملاً در بسیاری از موارد حداکثر بارگیری از خطوط انتقال به وسیله پایداری گذرا و میزان میرایی سیستم محدود می شود. محدودیت پایداری

گذرای انتقال توان معمولاً برای خطوط بلند بسیار پایین تر از حد حرارتی آن هاست . سیستم ذخیره سازی مغناطیسی ابررسانا به همراه یک روش کنترل مناسب دارای پتانسیل بالا و مؤثری جهت بهبود حد پایداری گذرای شبکه انتقال و افزایش میرایی سیستم است . استفاده عملی از چنین پتانسیلی اجازه می دهد که از شبکه موجود با ظرفیت بالاتری استفاده شده و حدود انتقال توان خطوط رابه حدود حرارتی آن ها نزدیک کنند ، این کاربرد باعث جلوگیری از ساخت خطوط انتقال جدید می شود که مزایای زیاد اقتصادی و زیست محیطی را در بردارد . در این مطالعه ، کنترل توان های اکتیو و راکتیو ذخیره سازی مغناطیسی ابررسانا جهت کنترل پایداری گذرا استفاده شده است . واحد ذخیره سازی مغناطیسی ابررسانا در دوره کوتاه گذرایی که به دنبال یک اغتشاش ناخواسته پیش می آید عمل کرده و هیچ گونه اثری بر روی کار عادی سیستم قدرت ندارد .

۱-۷ تاریخچه سیستم های ذخیره سازی مغناطیسی ابررسانا

یکی از اولین مقالات در مورد ذخیره سازی مغناطیسی ابررسانا به وسیله فریبردر مورد یک بوبین ذخیره انرژی روزانه یا ظرفیت بالا برای فرانسه بوده است { ۲ } . مطالعه بر روی ذخیره سازی ابررسانا در آمریکا ، برای اولین بار در دانشگاه ویسکانسین در سال ۱۹۷۱ شروع شد . در این مطالعه تأثیرات متقابل بین یک واحد واحد ذخیره انرژی و یک سیستم برق رسانی که از طریق یک پل چند فازه به یکدیگر متصل بودند بررسی شد . این مطالعه شامل ارزیابی اثرات پایدارسازی واحد ذخیره سازی در شبکه مورد مطالعه نیز بود ، در سال ۱۹۷۲ کمیسیون انرژی اتمی آمریکا از لابراتور علمی لوس آلاموس خواست تا اقتصادی بودن ذخیره ساز مغناطیسی ابررسانا رابه عنوان یک تکنولوژی کاربردی مورد مطالعه قرار دهد . دو محور کاری در اران مطالعه مدنظر بود . اولین محور تعیین ارزش نسبی ذخیره ساز مغناطیسی ابررسانا بایستی در آن کار نماید . نتیجه مطالعه ، ارزان بودن این تکنولوژی از نظر هزینه ، پر بازده بودن ، قابل اعتماد بودن ، به سادگی قابل نصب بودن و هم چنین قابل بودن از نظر زیست محیطی بود . تحقیقات در زمینه سایر کاربردهای ذخیره ساز مغناطیسی ابررسانا ، همچون پایداری سیستم قدرت ، عملاً در سال ۱۹۷۶ با همکاری گروه لوس آلاموس و BPA شروع شد . این همکاری جهت استفاده از یک واحد کوچک و سریع ذخیره ساز مغناطیسی ابررسانا برای کمک به پایدار سازی توان انتقال از شمال غربی پاسفیک به کالیفرنیا جنوبی بود . این نمونه از ذخیره ساز ابررسانا اولین نمونه ساخته شده است . این واحد به مدت حدود یک سال (۸۴-۱۹۸۳) مورد بهره برداری قرار گرفت . در سال ۱۹۸۰ یک طراحی نقطه مرجع برای ذخیره ساز مغناطیسی ابررسانا با ظرفیت ۱ GWH به وسیله

لابراتور ملی لوس الاموس انجام شد. نتیجه این طراحی این بود که ذخیره ساز مغناطیسی ابررسانا با اندازه ۵ تا ۱۵ مگاوات ساعت از نظر اقتصادی قابل توجیه هستند. از سال ۱۹۸۱ موسسه EPRI ارزیابی مربوط به ذخیره سازهای مغناطیسی ابررسانا را شروع کرد، در سال ۱۹۸۶ این موسسه پیشنهاد ساخت یک مدل آزمایشی مهندسی را با ظرفیت ۱۰ MWH و با قطری حدود ۱۰۰ متر را مطرح نمود. {۲}. در سال ۱۹۸۷ ابتکار دفاع استراتژیک پنتاگون آمریکا یک برنامه دو مرحله ای را برای طراحی و ساخت یک مدل تست مهندسی ذخیره ساز مغناطیسی ابررسانا شروع کرد. ساخت چنین ذخیره سازی جهت استفاده در جنگ افزارهای استراتژیک کنترل شده از زمین همچون لیزر الکترون آزاد مورد علاقه SDI بود، به دلیل علاقه صنعت برق به این ذخیره سازها، موسسه EPRI که ETM-SMES با SDI شرکت کرد، در اوایل

سال ۱۹۸۷ پیشنهادهای زیادی جهت استفاده از ابررساناهای با دمای بحرانی بالا در ذخیره سازهای مغناطیسی ابررسانا ارائه شد. دمای بحرانی این ابررساناهای با دمای بحرانی بالا در ذخیره سازهای مغناطیسی ابررسانا ارائه شد. دمای بحرانی این ابررساناها ۷۷K است و استفاده از آن ها هزینه سرمایه گذاری ذخیره سازهای مغناطیسی ابررساناهای با دمای بحرانی بالا در ذخیره سازهای مغناطیسی ابررسانا ارائه شد. دمای بحرانی این ابررساناها ۷۷K است و استفاده از آن ها هزینه سرمایه گذاری ذخیره سازهای مغناطیسی ابررسانا را ۸٪ کاهش داده و راندامان آن ها را ۲٪ افزایش می دهد {۲}. در سال ۱۹۸۸ شرکت SI (Superconductivity Incorporated) جهت توسعه کاربردهای ذخیره سازهای مغناطیسی ابررسانای تجاری بنیان گذاشته شد {۷و۸}.

۲-۷ ملاحظات مدل سازی

الف - معادلات سیستم قدرت

در این مطالعه، برای بیان دینامیک سیستم قدرت از یک مدل تفصیلی استفاده شده است. مدل ماشین سنکرون به

سیستم تحریک از نوع DC1 و یک مدل ساده

گاورنر تجهیز شده است. معادلات دینامیکی در

روابط (۱) تا (۸) ارائه شده اند { SA-97 }.

$$\begin{aligned}
 (1) \quad \frac{d\delta}{dt} &= \omega_i \quad i = 1, \dots, n \\
 (2) \quad \frac{d\omega_i}{dt} &= \frac{1}{M_i} (P_{mi} - P_{ei}) \quad i = 1, \dots, n \\
 (3) \quad \frac{de'_d}{dt} &= \frac{1}{T_{d0i}} (-e'_d + (X'_{qi} - X_{qi})i_{qi}) \quad i = 1, \dots, n \\
 (4) \quad \frac{de'_q}{dt} &= \frac{1}{T_{d0i}} (-e'_q + e'_d - (X'_{di} - X_{di})i_{di}) \quad i = 1, \dots, n \\
 (5) \quad \frac{de_d}{dt} &= \frac{1}{T_{d0i}} (-e'_q + e'_d - (X'_{di} - X_{di})i_{di}) \quad i = 1, \dots, n \\
 (6) \quad \frac{dV_{Ri}}{dt} &= \frac{1}{T_{di}} (K_{di}(V_{ERi} + V_{di} - V_{Ri}) - V_{Ri}) \quad i = 1, \dots, n \\
 &\text{if } V_{Ri} > V_{Ri\max} \text{ then } V_{Ri} = V_{Ri\max} \\
 &\text{if } V_{Ri} < V_{Ri\min} \text{ then } V_{Ri} = V_{Ri\min}
 \end{aligned}$$

$$(7) \frac{dV_{Fi}}{dt} = \frac{1}{T_{Fi}} \left[-V_{Fi} + \frac{K_{Fi}}{T_{Ei}} \left\{ V_{Fi} - (S_{Ei} + K_{Ei}) e_{Fi} \right\} \right] \quad i = 1, \dots, n$$

$$(8) \frac{dP_{mi}}{dt} = \frac{1}{T_{pi}} \left[-P_{mi} + P_{mref} + \frac{K_{pi}}{\omega_{pi}} (\omega_{ref} - \omega) \right] \quad i = 1, \dots, n$$

if $P_{mi} > P_{mmax}$ then $P_{mi} = P_{mmax}$

if $P_{mi} < P_{min}$ then $P_{mi} = P_{min}$

که مقادیر i_{di} و i_{qi} و V_i و P_{ei} عبارتند از :

$$(9) i_{di} = G_{ii} e'_{di} + B_{ii} e'_{di} + \sum_{j=1(j \neq i)}^n \left\{ e'_{dj} (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) + e'_{dj} (B_{ij} \cos \delta_{ij} - G_{ij} \sin \delta_{ij}) \right\} \quad i = 1, \dots, n$$

$$(10) i_{qi} = G_{ii} e'_{qi} - B_{ii} e'_{di} + \sum_{j=1(j \neq i)}^n \left\{ e'_{qj} (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) - e'_{dj} (B_{ij} \cos \delta_{ij} - G_{ij} \sin \delta_{ij}) \right\} \quad i = 1, \dots, n$$

$$(11) V_{di} = e'_{di} - r_i i_{di} - X'_{qi} i_{qi} \quad i = 1, \dots, n$$

$$(12) V_{qi} = e'_{qi} - r_i i_{qi} + X'_{di} i_{di} \quad i = 1, \dots, n$$

$$(13) V_i = \sqrt{(V_{di}^2 + V_{qi}^2)} \quad i = 1, \dots, n$$

$$(14) P_{ei} = e'_{di} i_{di} + e'_{qi} i_{qi} = (X'_{di} - X'_{qi}) i_{di} i_{qi} \quad i = 1, \dots, n$$

فهرست نمادهای به کاررفته در مرجع {۴} آورده شده است .

ب - ساختمان و مدل ذخیره سازی مغناطیسی ابررسانا (SMES)

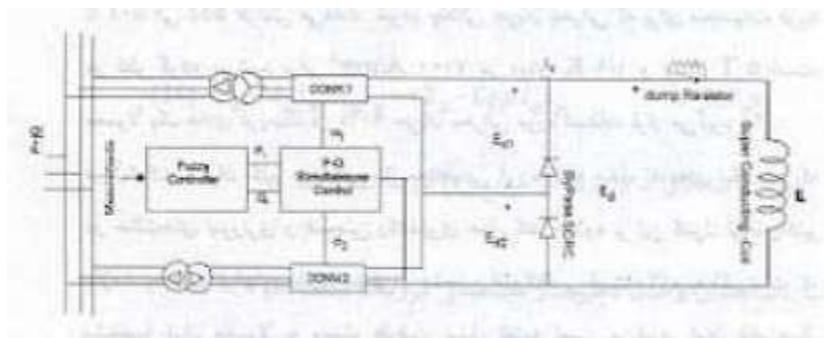
ساختمان یک واحد ذخیره ساز مغناطیسی ابررسانا در شکل ۱ نشان داده شده است. در این شکل بویین ابررسانای L از طریق دو مبدل CONV1 و CONV2 و هم چنین ترانسفورماتورهای T1 و T2 به سیستم انتقال متصل شده است. زوایای آتش a_1 و a_2 هر دو مبدل بوسیله یک کنترل کننده لحظه ای (P-Q Simultaneous Controller) به گونه ای تعیین می شوند تا مقادیر مورد درخواست توان اکتیو و راکتیو تأمین شود، در حالت چرخه آزاد کنترل کننده لحظه ای P-Q مقدار جریان بویین ابررسانا را جهت هر گونه تبادل انرژی در شکل مورد نیاز، تنظیم می کند. تریستورهای bypass یک مسیر جانبی برای جریان بویین ابررسانا (I_d) فراهم آورد تا در صورت بروز هر گونه اشکال در مبدلها، امکان عبور جریان بویین ابررسانا از آن مسیر وجود داشته باشد، کلید dc اجازه می دهد تا در صورت بروز اشکال در سیستم مبدل ها و هم چنین سیستم سرمازایی، جریان بویین ابررسانا از دور مقاومت میراکننده عبور نماید. مقادیر مورد نیاز توان اکتیو و راکتیو ($P_I(t)$, $Q_I(t)$) به وسیله کنترل کننده فازی پیشنهاد شده در این فصل به صورت لحظه ای تعیین می شود، بعضی از اجزاء مهم ذخیره ساز مغناطیسی ابررسانا عبارتند از:

بویین ابررسانا: قلب یک سیستم ذخیره ساز مغناطیسی ابررسانا، بویین ابررسانای آن است. ابعاد بویین بوسیله ظرفیت ذخیره انرژی آن مشخص می شود. هادی ابررسانا از نوع Nb - Ti و ترکیب مس پایدار شده به وسیله آلومینیم بسیار خالص است. میزان Ti در آلیاژ Nb-Ti برابر ۴۵/۶٪ است که بعضی اوقات جهت افزایش چگالی جریان، میزان آن را تا ۵۰٪ الی ۵۵٪ افزایش می دهند، میزان چگالی جریان بحرانی که برای محاسبات هزینه در نظر گرفته می شود برابر 7000 A/mm^2 دردمای $1/8 \text{ K}$ و میدان 5 T است. معمولاً یک هادی ابررسانا در ۹۰٪ جریان بحرانی مورد استفاده قرار می گیرد {۲}.

مبدل: کنترل توان اکتیو در ذخیره ساز مغناطیسی ابررسانا به مبدل تغذیه ای نیاز دارد که در حالت های اینورتری و همچنین رکتیفایری عمل کند. علاوه بر این کنترل توان راکتیو نیازمند به تولید توان های راکتیو خازنی و همچنین اندوکتانسی است. لازم به ذکر است که مشخصه توان معمولاً به وسیله ظرفیت مبدل تغذیه تعیین می شود. توان ذخیره ساز مغناطیسی ابررسانا اساسی ترین نقش را در کنترل پایدار گذار از میان سایر مشخصات آن بر عهده دارد. دلیل این اهمیت در آن است که در کنترل پایداری گذار، لازم است حجم زیادی از انرژی در فاصله های بسیار کوتاه

در حد چند صدم ثانیه به شبکه تحویل و یا از آن دریافت شود. این عمل نوعاً در مدت زمان حالت گذاری پس از رخ داد یک خطا یا اعتشاش در شبکه ادامه می یابد. حالت گذرا معمولاً بین چند دهم ثانیه تا چند ثانیه به طول می انجامد. { ۴ }. میانگین مجموعه جذب ها و دریافت های انرژی در این فاصله نوعاً بسیار پایین بوده و همین مقدار هم پس از پایان یافتن حالت گذرا می تواند به تدریج با شبکه تبادل گردد. مهمترین عامل محدود کننده توان در واحدهای ذخیره ساز مغناطیسی ابررسانا مبدل تغذیه آن ها است.

سیستم سرما سازی: در اغلب سیستم های پیشنهادی برای ذخیره ساز مغناطیسی ابررسانا، بویین ابررسانا در درجه حرارت $1/8 \text{ K}$ در حمام هلیوم کار می کند. انتخاب درجه حرارت های زیر $4/2 \text{ K}$ بدین دلیل است که چگالی جریان ابررسانا در درجه حرارت های پایین بیشتر از درجه حرارت های بالاست. انتخاب درجه حرارت $1/8 \text{ K}$ در فشار اتمسفر به دلیل حداکثر بودن انتقال و هدایت حرارتی He II در این درجه حرارت هاست. { ۲ }.



در این مطالعه واحد ذخیره ساز مغناطیسی ابررسانا به وسیله $Y_{SMES}(s) = G_{SMES}(s) + JB_{SMES}(s)$ به صورت زیرمبدل می شود.

$$(15) Y_{SMES}(s) = G_{SMES}(s) + JB_{SMES}(s)$$

که در آن $G_{SMES}(s)$ و $B_{SMES}(s)$ به ترتیب رسانایی (Conductance) و سوسپتانس (Suceptance) متناظراً توان های اکتیو و راکتیو هستند. جهت سادگی در محاسبات معادله فوق را می توان به صورت زیر مرتب کرد.

$$(16) Y_{SMES}(t) = \frac{1}{|Z_{th}|} (U_P(t) + jU_Q(t))$$

که Z_{th} یک مقدار امپدانس معادل تونن شبکه در باس مربوط به واحد ذخیره ساز مغناطیسی است. این توابع به مقادیر $U_P(t)$ و $U_Q(t)$ به ترتیب توابع کنترل مربوط به توان های اکتیو و راکتیو ذخیره ساز مغناطیسی ابررسانا هستند. این توابع به $U_P(t)$ و $U_Q(t)$ به صورت زیر محدود می شوند:

$$U_P^2(t) = U_Q^2(t) \leq \sigma^2_{MAX}$$

که در آن MAX به مقدار جریان مستقیم ذخیره شده در بویین ابررسانا در قبل از وقوع

حالت گذرا بستگی دارد. معادله ادمیتانس گره های سیستم قدرت پس از حذف گره های مربوط به ترمینال های ژنراتورها و گره های بار زیر است:

$$\{G\} \begin{bmatrix} I_G \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{GG} & Y_{GK} \\ Y_{KG} & Y_{KK} + Y_{SMES} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_G \\ U_K \end{bmatrix}$$

که در آن $\{G\}$ و K به ترتیب نشان دهنده گره های فرضی درونی ژنراتورها و گره مربوط به ذخیره ساز مغناطیسی ابررسانا، معادله زیر به دست آید:

$$Y_G = Y_{GG} - Y_{GK} \cdot [Y_{KK} + Y_{SMES}]^{-1} \cdot Y_{KG}$$

مقادیر G_{ij} و B_{ij} در معادله (1) مستقیماً از عناصر در رابطه فوق به دست می آیند.

اثرات کنترل توان اکتیو و راکتیو ذخیره ساز مغناطیسی ابررسانا

شکل ۲ خط انتقال با امپدانس Z_{AB} را نشان می دهد که یک واحد ذخیره ساز مغناطیسی ابررسانا در یک نقطه میانی از آن نصب شده است. توان انتقالی خط را می توان به صورت زیر بیان کرد:

که در آن E_B و E_A اندازه های ولتاژ ترمینال های خطوط توان بین این ترمینال هاسا نشانگر می دهد که چگونه مشخصه زاویه

خط انتقال فوق الذکر با تغییر اوقتی $U_Q = Q$ است تغییر می کند . همین مشخصه برای وضعیت های مختلف U_P است

در شکل نشان داده شده است . از آنجا که تغییرات تابع P گلبالایت شیفت دادن توان دادن مشخصه توان زاویه در هر دو جهت

افقی و عمودی می شود . بیشترین تأثیر این تابع کنترل بر روی زاویه توان های کوچک و متوسط شده است . دهنده کنترل

U_Q اندازه مشخصه ای توان زاویه را تغییر می دهد و بیشترین اثر آن بر روی زاویه توان های بزرگ متمرکز است . به عنوان یک نتیجه می توان

در زاویه توان های کوچک ، بیشترین میرایی با کنترل U_Q به دست می آید . هم چنین در زاویه توان های بزرگ بیشترین میرایی با کنترل

مناسب U به دست می آید .

وضعیت هایی که زاویه توان خط انتقال بزرگتر از وضعیت هایی که زاویه توان خط انتقال بزرگتر از نقطه تعادل پایدار خود است ، نتیجه می

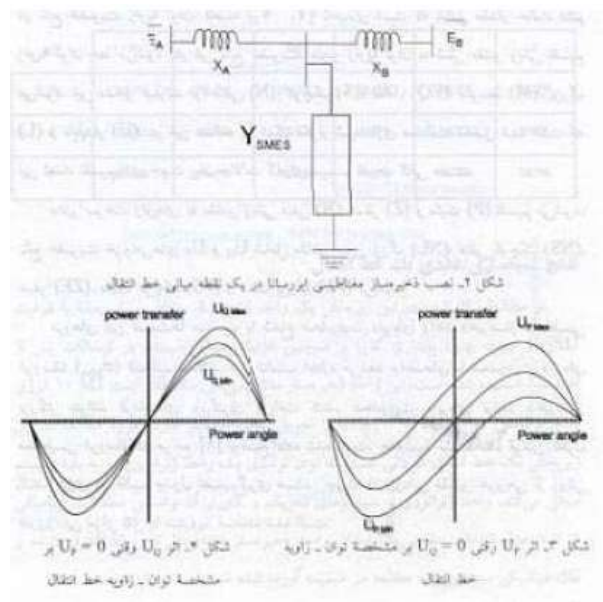
لازم است انتقال توان خط را افزایش دهیم . این بدان علت است که ماشین های متصل شده به شبکه از طریق این خط انتقال در مرحله

خطا شتاب گرفته اند . در قابل وضعیت هایی که زاویه توان خط از مقدار تعادل پایدار خود کمتر هستند ، لازم است که انتقال توان خط

بدین ترتیب سعی می شود که با کنترل شتاب منفی و مثبت ، سرعت زاویه ای در اطراف نقطه تعادل حداقل گردد . وضعیتی که زاویه توان

نقطه تعادل و مشتق آن منفی وهم چنین وضعیتی که زاویه توان کوچکتر از نقطه تعادل و مشتق آن مثبت است ، احتیاجی به نیروی کنترلی

وجود ندارد .



۷-۳ طراحی کنترل کننده فازی

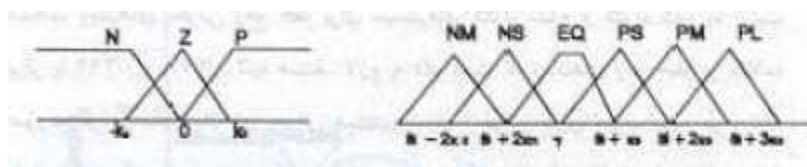
بر اساس نتایج بخش گذشته ، این بخش به تعیین ورودی ها ، توابع عضویت و قوانین تصمیم گیری مربوط به کنترل کننده پیشنهادی می ورودی های کنترل کننده عبارتند از زاویه توان (C) طولانی تغییرات (EQ) که ما آنرا در اینجا سرعت زاویه ای می نامیم . انتخاب زاویه توان خط جهت ورودی کنترل کننده بر اساس نتایج به دست آمده از روش تکلیف های تغییرات زاویه توان ، حاوی اطلاعات مفیدی درباره مسیر حرکت سیستم و جهت آن است و در انجام تصمیم گیری ها در کنترل کننده سودمند است .

توابع عضویت فازی ورودی های کنترل کننده در شکل ۷-۱۰ داده شده اند . در تابع عضویت زاویه توان ، $[Y_1]$ ناحیه ای است که شامل مقدار حالت دائم زاویه توان خط می شود . در این تابع عضویت ، متغیر زاویه توان به شش مقدار زبانی تقسیم می شود عبارتند از : منفی (NL) ، کوچک (S) ، تعادل (EQ) ، متوسط (M) ، بزرگ (L) و ناپایدار (U) . در این مطالعه به کمک تکرار شبیه سازی مختلف ، تحقیق شده است که این تعداد تقسیم بندی جهت بیان حالات گذاری سیستم قدرت کافی هستند .

متغیر سرعت زاویه ای به مقادیر زبانی (NL) منفی (Z) و مثبت (P) تقسیم می شود تابع عضویت خروجی U_1 و U_2 شامل مقادیر منفی بزرگ (NL) ، منفی کوچک (NS) ، صفر (ZE) ، مثبت کوچک (PS) و مثبت بزرگ (PL) می شود .

مرزهای این قسمت ها متناسب با شعاع محدودیت دایره ای واحد ذخیره ساز مغناطیسی [۱۹] توسط طراح در جدول ۷-۱۰ است جدول نشان دهنده قوانین کنترل کننده فازی در قالب جدول تصمیم گیری هستند .

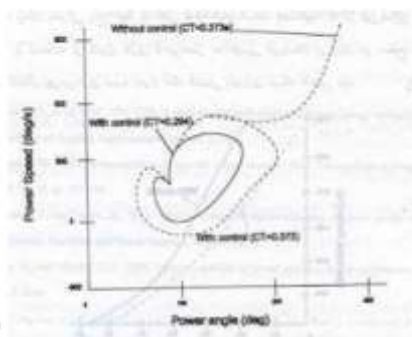
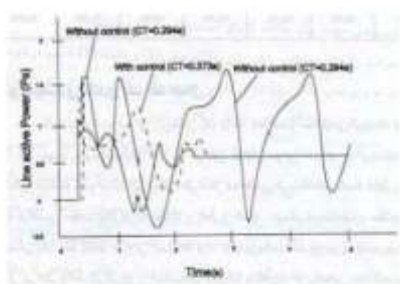
جهت فازی زدایی مقادیر خروجی از روش فازی زدایی مرکز ثقل یا سنتروید استفاده شده است .



ω / θ	N	S	EQ	M	L	U
N	NL/PL	NL/NS	NL/NS	NL/ZE	NL/PS	NL/PS
Z	NL/PL	NL/PS	ZE/ZE	PS/PS	PS/ZE	NS/NL
P	ZE/PL	PL/PL	PL/PS	PS/PS	PL/ZE	ZE/NL

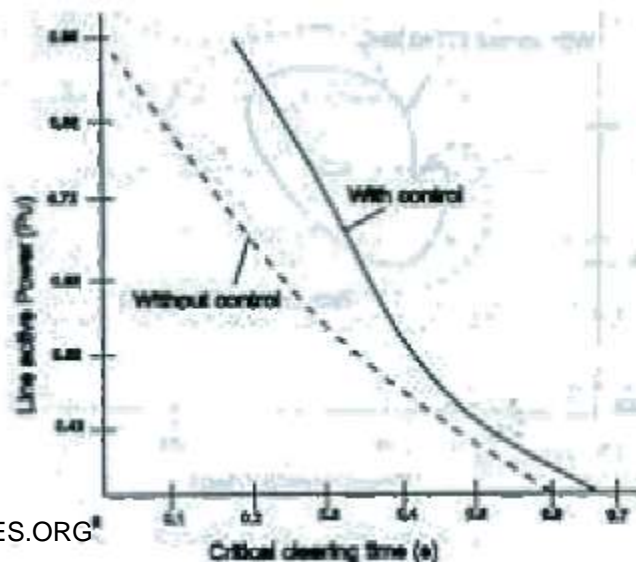
۷-۴ نتایج شبیه سازی عددی یک خط انتقال

در مطالعه ارائه شده در این زیر بخش یک واحد ذخیره ساز مغناطیسی ابررسانا با ظرفیت ۱۰۰ مگاوات با پایداری گذار و هم چنین افزایش میرایی سیستم در نوسانات پس از اغتشاش ، استفاده شده است . این واحد ذخیره ساز مغناطیسی ابررسانا در این مقاله با استفاده از بلوکهای بلوکی معادل ۰/۳۵HZ جذب و تحویل نماید . سیستم قدرت مورد مطالعه در این زیر بخش یک خط انتقال طولانی است که توان تولیدی یک واحد ژنراتوری را به بقیه سیستم منتقل می کند . واحد ژنراتوری و سیستمهای تحریک و گاورنر آن بر اساس معادلات شدیدی مقادیر پارامترهای واحد ذخیره ساز مغناطیسی ابررسانا، کنترل کننده و مدل دینامیکی سیستم مورد مطالعه در ضمیمه آورده شده است . دادن اثر کنترل کننده ، خطاهای سه فاز بر روی باس ارسال خط انتقال در نظر گرفته شده اند. زمان های بحرانی رفع خطا برای سیستم ه نشده و کنترل شده به ترتیب ۰/۳۷۳ و ۰/۳۷۳ ثانیه هستند . لازم به ذکر است که زمان های رفع خطا در مطالعه صورت گرفته همان زمانهای بحرانی هستند جدول قوانین فازی کنترل کننده طرح شده را در قالب یک جدول تصمیم گیری نشان دهنده گذارهای سیستم اکتیو خط انتقال را برای هر دو حال کنترل شده و کنترل نشده نشان دهنده خطاهای یک فاز را که به ۰/۳۷۳ و ۰/۳۷۳ ثانیه ادامه داشته اند را بر روی منحنی سرعت زاویه ای - زاویه توان ژنراتور نشان می دهد همانگونه که در شکل مشهود است نوسانات زاویه توان سریعاً میرا شده کنترل کننده نصب شده زمانی بحرانی رفع خطا ۰/۳۷۳ ثانیه افزایش داده است . این بدان معنی است که اثر کنترل کننده فوق را در دو جهت مهم یعنی بهبود پایداری گذار در اولین نوسان و هم چنین بهبود پاسخ دینامیکی سیستم در میرا کردن نوسانات پس از اغتشاش مورد ملاحظه قرار داد .



۷-۴ افزایش بارگیر از خط (Line Loadability Improvement)

در این قسمت مطالعه صورت گرفته شده در بخش قبل برای بارگیری های مختلف از خط انتقال تکرار شده است ، تا اثر کنترل کننده طرح روی افزایش بارگیری از خط انتقال مشخص شود. لازم به توضیح است که در خطوط انتقال بلند ، انتقال توان محدود به حدود پایداری و پایداری گذار می شود که معمولاً فاصله زیادی تا حد حرارتی آنها دارد ، انتقال توان عادی خط تحت $0.95 pu$ توان بار بخش قبل برابر مطالعه تأثیر کنترل کننده طرح شده بر روی افزایش بارگیری از خط انتقال، $0.95 pu$ خط انتقال مقادیر داده شده است و برای هر میزان از بارگیری ، زمان بحرانی رفع خطا تعیین شده است . نتایج حاصل به صورت دو منحنی برای هر دو سیستم کنترل شده و کنترل نشده نشان داده شده است ، در این شکل ظرفیت انتقال توان حالت کار دائم خط انتقال بر حسب زمان بحرانی رفع خطا در نظر گرفته شده است همانگونه که از این شکل مشاهده می شود با استفاده از کنترل فازی ذخیره ساز مغناطیسی ابر رسانا، می توان در سطح بالاتری از خط انتقال برداری نمود بدون آنکه اندیس پایداری شبکه کاهش یابد.



۷-۵ نتیجه گیری

در این تحقیق کنترل فازی ذخیره ساز مغناطیسی ابر رسانا مورد مطالعه قرار گرفت و نشان داده شد که روش پیشنهادی می تواند پایداری سیستم های قدرت و هم چنین میزان نوسانات به وجود آمده در اثر اغتشاشات بزرگ را به صورت قابل ملاحظه ای بهبود بخشد واحد ذخیره مغناطیسی ابر رسانا در این مطالعه در یک نقطه میانی در خط انتقال نصب می شود .

روش ارائه شده همچنین می تواند ظرفیت انتقال توان خطوط بلند را که معمولاً محدود به اندیس پایداری و به خصوص پایداری گذار است بخشد . در شبیه سازی انجام شده بر روی یک خط انتقال نمونه ، ظرفیت انتقال توان به میزان قابل ملاحظه ای افزایش یافته است . به عنوان فرض ۰/۲ ثانیه به عنوان زمان بحرانی رفع خطای سیستم ، شبیه سازی فوق الذکر توان افزایش خطا مورد مطالعه را نشان می دهد .

فصل هشتم

ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها (SMES) و کاربرد آنها برای تعدیل منحنی

پیک‌بار و پایداری شبکه در سیستم‌های قدرت

استفاده از سیستم‌های ذخیره‌کننده مغناطیسی انرژی نیرومند در شبکه قدرت از اهمیت خاصی برخوردار است. با توجه به قابلیت ذخیره‌سازی بسیار زیاد انرژی سیم‌پیچ‌های ابررسانا در میدان اطراف خود و امکان تحمل جریانهای بالا به علت مقاومت تقریباً صفر آنها و همچنین پیشرفتهای شایان توجه اخیر در ساخت سیستم‌های ابررسانای دمای پایین و دمای بالا، امید تازه‌ای در استفاده از آنها در شبکه‌های قدرت به منظورهای گوناگون پیدا شده است. با یک بررسی اجمالی می‌توان دید که عدم وجود یک سیستم ذخیره‌کننده انرژی هنگام ناپایداری شبکه قدرت و در نتیجه قطعی برق آن تا چه حد می‌تواند هزینه‌بردار و مخرب باشد به عنوان مثال هزینه هر بار قطع شدن برق در یک کارخانه اتومبیل‌سازی ماهانه ۲۵۰/۰۰۰ دلار بوده و این ضرر تا زمانی که تعمیرات کلی در سطح کارخانه صورت نگیرد ادامه خواهد داشت. ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررسانا دارای مزایایی چون: تعدیل منحنی پیک‌بار، حفاظت از ژنراتورها و نگهداری و پایداری شبکه در هنگام وقوع خطا در نقاط مختلف شبکه، استفاده به عنوان سیستم برق اضطراری با توان بالا، تثبیت ولتاژ و فرکانس در شبکه و غیره است که باعث شده تا کار تحقیقات بر روی سیستم‌های ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها با شدت و سرعت بیشتری توسط کشورهای پیشرفته و شرکتهای بزرگ تولید و انتقال برق در دنیا دنبال شود.

در این مقاله ضمن بررسی موارد بالا، تاثیر ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها در یک شبکه قدرت بررسی شده و همچنین این سیستم با سیستم‌های ذخیره‌کننده انرژی دیگر مقایسه می‌شود. همچنین سیستم‌های ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها از نظر اقتصادی مورد مطالعه و بررسی قرار خواهد گرفت.

اصولاً یک سیستم قدرت در ساعات مختلف شبانه‌روز دارای مصارف مختلفی است، بنابراین میزان تولید انرژی باید متناسب با نیاز مصرف‌کننده تغییر کند. همچنین در یک شبکه وسیع، مشکل تثبیت ولتاژ، تاثیرات هارمونیکها، نامتعادل شدن ناگهانی شبکه در هنگام بروز خطا و در نتیجه از کارافتادن ژنراتورها و در نهایت از سرویس خارج شدن کل شبکه وجود دارد. برای رفع این مشکل تاکنون راه‌حلهای گوناگونی ارائه شده که به همراه مزایا و معایب سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها در مقایسه با سیستم‌های معرفی شده دیگر در قسمتهای بعد آورده می‌شود.

با توجه به اینکه عیوب فوق‌الذکر تاثیرات بسیار نامطلوبی بر ژنراتور نیروگاهها و تاسیسات شبکه داشته و بسیار پرهزینه و مضرند، یک سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها قوی با طراحی صحیح و جایگذاری دقیق در شبکه می‌تواند به طور موثر باعث کاهش هزینه جاری و تعمیر و نگهداری کل شبکه شود. کشورهای چون کانادا، ژاپن، سوئیس و آمریکا به طور وسیعی بر روی ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها کار می‌کنند و تاکنون بیش از ۲۰ نمونه از این سیستم با قابلیت‌ها و ظرفیتهای مختلف ساخته‌اند. در ابتدا معرفی مختصری از سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها خواهد شد و سپس نقش و تاثیرات عملی آن در یک شبکه قدرت نمونه آورده می‌شود.

۸-۱ چگونگی ساختار یک سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها

جزء اصلی یا هسته اساسی یک سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها، سیستم ابررسانایی آن است. شمای ساده یک مخزن حاوی سیم‌پیچ ابررسانا در شکل (۱) به نمایش درآمده است. به طور کلی تاکنون دو نوع ابررسانا ساخته شده است. نوع اول ابررساناهای دمای پایین‌اند که هادی ابررسانا معمولاً یک فلز خالص مانند مس یا آلومینیوم بوده و دمای کار آن در حدود $4/2\text{ K}$ است. با وجود مقاومت در حد صفر سیم ابررسانا، میزان تحمل جریان میدان مغناطیسی در سیم با داشتن یک سیستم تبرید خوب، بالاست، به حدی که فن‌آوری جدید، جریانهایی در حدود صدها هزار آمپر را در سطح مقطعهای در حدود سانتی‌متر مطرح می‌کند. برای رسیدن به چنین دمای پایینی، محققان تاکنون چندین روش پیشنهاد کرده و وسایل و سردکننده‌های متنوعی ساخته‌اند. در خنک کردن ابررسانا از هلیوم مایع استفاده می‌شود که این هلیوم توسط لوله مخصوصی که چند جداره بوده و دارای دیواره خلا است به یک یخچال سیکل بسته فرستاده می‌شود. روش دیگر، مایع کردن گاز تبخیر شده از مخزن هلیوم حاوی سیم‌پیچهای ابررساناست. برای جلوگیری از انتقال گرما از بیرون به مخزن درونی، از دو یا چند لایه خلا استفاده می‌شود. به جای دو یا چند لایه خلا می‌توان از یک لایه نیتروژن مایع نیز استفاده کرد. اخیراً محققان از مواد ابر عایق نیز در این مورد بهره جسته‌اند.

سیم‌پیچ ذکر شده فوق دارای امپدانس بسیار زیادی بوده و مانند یک منبع جریان DC عمل می‌کند. نکته قابل توجه این است که جهت جریان هیچ‌گاه در سیم‌پیچ ابررسانا عوض نمی‌شود بلکه در هنگام دشارژ سیم‌پیچ، ولتاژ دو سر آن معکوس می‌شود بنابراین سیستم ابررسانا در واقع یک واحد DC است که بیشتر کاربردها با یک سیستم AC ترکیب

می‌شود. معمولاً این ترکیب توسط یک کانورتور دو طرفه AC به DC و DC به AC امکانپذیر است که می‌تواند برای شارژ و دشارژ سیم‌پیچ ابررسانا و همچنین تنظیم و کنترل توان ارسالی یا دریافتی به کار برده شود. به عبارت دیگر این کانورتور باید قادر باشد که ولتاژ و جریان DC متغیر را از سیم‌پیچ ابررسانا گرفته و به یک ولتاژ AC ثابت و جریان بار با مقادیر و اختلاف فازهای متفاوت تبدیل کند.

نمونه‌ای از نمودار بلوکی ساده شده یک سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها که به صورت موازی به سیستم قدرت متصل شده است. در شکل ۲ نشان داده شده است. در قسمتی از شکل، یخچال هلیوم مایع متصل به کپسول حاوی ابررسانا نشان داده شده است.

مدار شامل یک سیستم کنترل‌کننده است که دارای سه وظیفه اصلی است: کنترل سوئیچهای نیمه‌هادی ایزوله، مشخص کردن و آشکار ساختن ولتاژها و جریانهای منبع توان و مصرف‌کننده‌ها و کنترل ولتاژ تنظیم‌کننده، میزان جهت توان DC گرفته شده یا داده شده به سیم پیچ ابررسانای سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها.

نمودار بلوکی، بیشتر برای سیستم‌های کوچک مناسب بوده و تا حدی شبیه به یک سیستم برق اضطراری و تثبیت‌کننده ولتاژ عمل می‌کند. همچنین از دیگر مزایای این سیستم می‌توان اصلاح ضریب قدرت را نام برد. نمونه دیگری از اجزای تشکیل‌دهنده یک سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها را نشان می‌دهد که جزئی از سیستم قدرت پرسک‌آیزل واقع در میلواکی آمریکا در سال ۱۹۹۱ بوده که در بخشهای بعدی به آن پرداخته خواهد شد. توان مورد نظر برای سیستم مزبور ۱۰۰ مگاوات با ضریب توان ۰/۹ است.

۸-۲ نحوه کار سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها

سیم‌پیچ ابررسانا توسط یک یکسوساز AC به DC که در منبع تغذیه سیم‌پیچ ابررسانا قرار دارد شارژ می‌شود، شارژ‌کننده سیم‌پیچ به منظور غلبه بر تلفات اهمی آن قسمت از مدار که در دمای محیط قرار دارد، ولتاژ کوچکی در دو سر سیم‌پیچ ایجاد می‌کند. این مساله باعث می‌شود که جریان ثابتی در سیم‌پیچ ابررسانا جاری شود. در حالت آماده به کار یعنی زمانی که هیچ تبادل توانی با سیم‌پیچ انجام نمی‌شود جریان ذخیره‌شده سیم پیچ توسط یک سوئیچ که دو سر سیم‌پیچ را اتصال کوتاه می‌کند دوباره به خود سیم‌پیچ ابررسانا بازگردانده شده و حالت گردشی پیدا می‌کند. در نتیجه انرژی سیم پیچ ابررسانا حفظ می‌شود. در بعضی از مدل‌های ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با

استفاده از ابرساناها این سوئیچ به داخل مخزن حاوی سیم پیچ انتقال پیدا کرده که با طرق مختلف از بیرون مخزن به آن فرمان داده می شود. بدون قرار دادن این سوئیچ اتصال کوتاه کننده میزان تلفات سیم پیچ در حالت آماده به کار زیاد خواهد بود. مانند قبل منبع تغذیه سیم پیچ به منظور جبران تلفات اهمی قسمتی از مدار که در گرمای محیط قرار دارد ولتاژ کوچک را در دو سر سیم پیچ ابرسانا تولید می کند.

اگر سیستم کنترل کننده حس کند که ولتاژ خط سیستم قدرت به خاطر تضعیف و یا خطای اتفاق افتاده در شبکه کاهش پیدا کرده، کلید اتصال کوتاه کننده ظرف مدت ۲۰۰ تا ۵۰۰ میکروثانیه قطع خواهد شد. به دنبال این امر ابتدا جریان سیم پیچ ابرسانا به یک بانک خازنی قوی منتقل شده و سطح ولتاژ آن را بالا می برد. سپس سوئیچ دوباره بسته می شود. بانک خازنی یک اینورتر ۱۲ پالسه را که تامین کننده توان AC مورد نیاز بار است تغذیه می کند. بار مورد نظر باعث کاهش توان و افت ولتاژ بانک خازنی می شود تا حدی که این ولتاژ به یک حداقل می رسد در این حالت مجدداً کلید اتصال کوتاه باز شده و بانک خازنی شارژ می شود.

این فرایند آن قدر ادامه می یابد تا افت ولتاژ خط تامین شده و ولتاژ خط به حالت عادی باز گردد و یا اینکه انرژی ذخیره شده در سیم پیچ ابرسانا پایان یابد. ابعاد و ظرفیت سیستم طوری طراحی می شود که انرژی ذخیره شده در سیم پیچ بتواند تا بازگرداندن ولتاژ خط تغذیه کننده به حالت عادی تداوم پیدا کرده و کافی باشد. سیستم به نحوی طراحی شده که می تواند قدرت چندین مگاوات را برای جبران سازی توان از دست رفته در اثر خطا در مدتی کمتر از ۲۳ میلی ثانیه به خط تزریق کند. بدین ترتیب هیچ گونه افت ولتاژ یا قطعی انرژی از طرف بار مشاهده نمی شود.

شارژ شدن دوباره سیم پیچ ابرسانا طی چند دقیقه انجام می شود و تعداد شارژ و دشارژ می تواند بارها تکرار شود. همچنین برای برآوردن بعضی از نیازها امکان شارژ سریع در حد چند ثانیه نیز امکان پذیر است. البته باید شبکه قدرت، قادر به تامین این میزان توان بوده و شارژ سریع سیم پیچ ابرسانا باعث افت ناگهانی در ولتاژ شبکه نشود. از خصوصیات سیستم این است که در زمان افت ولتاژ خط، حداکثر ظرف مدت ۰/۵ میلی ثانیه این ولتاژ باید تامین شود.

۳-۸ نقش و تأثیرات سیستم ذخیره کننده های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابرساناها در یک شبکه

قدرت نمونه

در این قسمت نقش و تاثیر نصب یک سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها در یک شبکه قدرت آورده شده است. این تحقیق در منطقه پرسک‌آیزل میلوآکی آمریکا انجام شده است. شرکت تولید برق ویسکانسین (WE) با بیش از ۹۰۰/۰۰۰ مشترک و حداکثر بار ۵۳۵ مگاوات وظیفه تامین انرژی الکتریکی این منطقه را بر عهده دارد. پرسک‌آیزل از ۹ واحد تولیدی با سوخت ذغال با حداکثر ظرفیت ۵۹۴ مگاوات تشکیل شده است که شامل ۵ واحد بزرگ (هر کدام ۸۰ تا ۸۵ مگاوات) دو واحد متوسط (۷۵ تا ۵۸ مگاوات) و دو واحد کوچک با حداکثر ظرفیت کلی ۶۲ مگاوات است. این سیستم قرار است در سال ۱۹۹۹ از پرسک‌آیزل به زیرمجموعه پلینز و ویسکانسین مرکزی تقسیم شود که از دو خط ۱۳۸ کیلوولت و یک خط ۳۴۵ کیلوولت تشکیل می‌شود. در سطح حداکثر بار، سیستم توزیع اقتصادی تعیین می‌کند که حدود ۵۰۰ مگاوات از پرسک‌آیزل برای جنوب به سوی پلینز فرستاده شود و ۴۱۵ مگاوات از ایستگاه دوم پلینز به جنوب انتقال یابد. پیک بار سیستم بنا به تعریف آن زمانی است که بار سیستم حداقل به ۹۰ درصد مقدار حداکثر آن برسد و مدت زمان آن ۱۰۰ ساعت در سال است. بررسیهای پایداری نشان داده‌اند که قطع برق در نقاط مختلف سیستم انتقال در حد ۵۰۰ مگاوات منجر به ناپایداری نوسان اول در پرسک‌آیزل یا منجر به اضافه بارهای سیستم می‌شود. به خاطر فشارهای شدید اعمال شده بر واحد تولید، ناشی از عمل تریپ در هنگامی که واحد با توان زیاد کار می‌کند لازم است که مقدار تریپ تولیدی برای انواع خطاهای احتمالی کاهش داده شود.

انتخابهای انجام شده زیر، اصلاحاتی برای سیستم در بر دارند که در هر مورد سطح تریپ تولید را کاهش می‌دهند.

□ انتخاب اول نصب یک سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها در سال ۱۹۹۹ در پرسک‌آیزل است. ابررسانا برای بهبود پایداری نوسان اول و فراهم کردن میرایی به کار برده می‌شود. در حقیقت ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها منتقل‌کننده توان لحظه‌ای است یعنی توان اکتیو را طی دوره‌های سرعت بالا در واحد پرسک‌آیزل ذخیره کرده و در زمان پایین بودن سرعت، آن را آزاد می‌کند. سیستم احساس و ردیابی اغتشاشات باس ۱۳۸ کیلوولت در پرسک‌آیزل طراحی شده و به همراه سیستم برای اطمینان از پاسخ دینامیکی مناسب سیستم کار خواهد کرد.

□ انتخاب دوم نصب یک سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها همراه یک مقاومت ترمزی در پرسک‌آیزل در سال ۱۹۹۹ است. ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها پایداری نوسان اول و میرایی را بهبود بخشیده و مقاومت ترمزی نیز نقش ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها را تقویت کرده و باعث کوچکتر شدن اندازه آن می‌شود. مقاومت ترمزی مذکور به صورت یک بار مقاومتی

مدلسازی شده که می‌تواند به طور لحظه‌ای قطع و وصل شود. این مقاومت بعد از عملکرد بحرانی کلید خط، وصل

شده و بعد از زمان مشخصی قطع می‌شود

□ انتخاب سوم افزودن یک پایدارکننده سیستم قدرت (PSS) در هر کدام از ۵ واحد بزرگ تولید نیرو در پرسک‌آیزل است. این سیستم‌ها برای تطبیق تحریک هر ژنراتور و ایجاد یک پاسخ میرا شونده در هنگام اغتشاشات سیستم تنظیم شده‌اند. البته مشکلی که این وسایل دارند این است که در بهبود پایداری نوسان اول نقشی ندارند.

استفاده از ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها در سیستم قدرت پرسک‌آیزل نتایج مقایسه‌ای بین شبیه‌سازیهای دینامیکی خطاهای سه‌فاز در خط ۱۳۸ کیلوولت در پرسک‌آیزل در ریور در زمان اولیه برطرف شدن خطا با ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها و بدون آن در شکل (۵) نشان داده شده‌اند.

سطح انتقال توان ۵۰۰ مگاوات بوده و ۱۵۲ مگاوات از توان مجموعه تریپ می‌شود تا اضافه بارهای سیستم برطرف شود. در حالی که پاسخ سیستم بدون حضور ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها منجر به ناپایداری نوسان اول در پرسک‌آیزل می‌شود، سیستم ابررسانا علاوه بر فراهم کردن میرایی بعد از خطا، بر مشکل ناپایداری نوسان اول نیز غلبه می‌کند. در شبیه‌سازی این آزمایش با توان انتقالی ۵۰۰ مگاوات از روش سعی و خطا استفاده شده و مشخص شده است که ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها برای ارسال یا جذب ۵۰۰ مگاوات توان، مدت ۰/۲ ثانیه لازم دارد تا پاسخ را به حالت پایدار برساند.

۴-۸ استفاده از ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها و مقاومت ترمزی با استفاده از مقاومت ترمزی ۱۰۰ مگاواتی در پرسک‌آیزل در طول دوره بحرانی، بعد از نوسان اول، توان راکتیو جذب شده و بعد از قطع شدن مقاومت به ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها امکان فراهم کردن میرایی در پرسک‌آیزل را می‌دهد. مدل شبیه‌سازی مقاومت ترمزی شامل کلیدها و مقاومت در حال کار، به مدت دو سیکل بعد از عملکرد کلید است که پاسخ زمانی، مشابه حالت تریپ ژنراتورهای پرسک‌آیزل است. مقاومت بعد از نصب برای ۱۲ سیکل قبل از قطع شدن روی خط باقی می‌ماند. این ۱۲ سیکل زمانی، از شبیه‌سازیهای دینامیکی به دست می‌آیند و نشان‌دهنده زمانی هستند که به طور تقریبی برای رسیدن به حداکثر دامنه نوسان اول در پرسک‌آیزل لازم است. برای تعیین اندازه ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها و زمان مرحله‌بندی روش سعی و خطا مورد استفاده قرار گرفته است. با استفاده از این روش مشخص شد که ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با

استفاده از ابرساناها برای این انتخاب باید ۳۵ مگاوات توان جذب یا ارسال را برای مدت ۰/۲ ثانیه تولید کند. بنابراین مقاومت ترمزی ۱۰۰ مگاوات ماکزیمم توان اکتیو مورد نیاز ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابرساناها را ۱۵ مگاوات کاهش می‌دهد.

شبیه‌سازیهای مربوط به ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابرساناها همراه با مقاومت ترمزی شبیه ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابرساناها اولی، منجر به پایداری سیستم برای حالت‌های بحرانی با تریپ تولیدی برابر با مقدار لازم برای حذف اضافه بارها می‌شود. این عمل باعث می‌شود که یک واحد کمتر از واحدهای نیروگاه پرسک‌آیزل (در طی تریپ نیرو) از مدار خارج شود.

مقایسه نتایج شبیه‌سازی برای خطای سه فاز خط ۱۳۸ کیلوولت دیرپور پرسک‌آیزل با ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابرساناها همراه با مقاومت ترمزی و بدون آن دو در شکل (۶) نشان داده شده است. سطح انتقال در این مقایسه ۵۰۰ مگاوات بوده و خطا در زمان ۴ سیکل برطرف می‌شود. از مجموعه پرسک‌آیزل، ۱۵۲ مگاوات توان تریپ شده تا اضافه بارهای سیستم حذف شوند.

شبیه‌سازیها نشان داده‌اند که با وجودی که حالات احتمالی باعث ناپایداری نوسان اول در شرایط عدم حضور تجهیزات اضافی می‌شوند، اضافه کردن ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابرساناها و مقاومت ترمزی باعث پایداری پاسخ سیستم می‌شوند. اولین نوسان در شکل (۵) در این حالت کوچکتر از حالت بدون مقاومت ترمزی است. بنابراین استفاده از مقاومت ترمزی روشی برای کم کردن اندازه سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابرساناها است که هزینه لازم را کاهش می‌دهد.

۵-۸ استفاده از سیستم قدرت پایدارکننده (PSS)

فن‌آوری نقطه مقابل این روش، استفاده از پایدارکننده‌های سیستم قدرت (PSS) در هر کدام از ۵ واحد بزرگ در سال ۱۹۹۹ است. این تجهیزات میراکنندگی لازم را در هنگام خطاها فراهم کرده و تریپ تولید را در هنگام قطعی خطوط کاهش می‌دهند.

دستورالعمل تنظیم PSS از مشخصات پاسخ توانی ژنراتورها، شبیه‌سازی شده و برای هر کدام از ماشینها از پارامترهای مربوطه استفاده می‌شود.

شبهه‌سازیه‌ها با پایدارکننده‌های نصب شده در پرسک‌آیزل نشان می‌دهد که روش PSS مانند ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها تریپ مورد نیاز را کاهش می‌دهد. خارج شدن خط ۳۴۵ کیلوولت و ددریور پرسک آیزل به تنهایی به ۱۵۲ مگاوات تریپ توان نیاز دارد تا اضافه بارها و نیز ناپایداریها مرتفع شوند. اما قطع شدن خط ۱۳۸ کیلوولت در پرسک‌آیزل نیاز به تریپ انرژی به مقدار ۱۳ مگاوات بیشتر از مقدار لازم برای حذف اضافه بارها دارد. اگر چه این مقدار باعث تریپ یک واحد اضافه نسبت به حالتی که از ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها استفاده نمی‌شود ولی باید یک واحد بزرگتر نسبت به حالت قبل، قطع شود. شکل (۷) نتایج مقایسه‌ای بین شبهه‌سازی دینامیکی خطای سه‌فاز و تریپ خط ۳۴۵ کیلوولت ددریور را که در مدت ۳ سیکل برطرف شده است نشان می‌دهد. سطح انتقال توان ۵۰۰ مگاوات بوده و ۱۵۲ مگاوات از توان تولیدی پرسک‌آیزل بعد از قطع شدن خط تریپ می‌کند تا اضافه بارهای سیستم حذف شوند.

۸-۶ مقایسه ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها با دیگر ذخیره‌کننده‌های انرژی

تاکنون به غیر از ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها، UPSهای گوناگونی با استفاده از باتری، خازن، چرخ‌گردان و دیگر فن‌آوریهای ذخیره‌سازی انرژی ساخته شده است. هر کدام از این فن‌آوریها از نظر ویژگیهایی مانند: میزان انرژی قابل ذخیره، بازده سیکل شارژ و دشارژ سیستم، تاثیرات محیطی، قابلیت اطمینان، سادگی استفاده و سرعت آماده به کار شدن، امکان استفاده در شبکه به عنوان بار راکتیو، یا تثبیت‌کننده فرکانس و پایدارکننده شبکه و تعدیل منحنی پیک‌بار و مدت زمانی که می‌توانند قسمت اعظمی از انرژی را در خود نگه دارند، با یکدیگر تفاوت دارند. بعضی در تعداد مرتبه‌های شارژ و دشارژ، بعضی در سادگی و راحتی استفاده و بعضی در قیمت بر بقیه ارجحیت دارند. مسلم است که در سطوح انتقال توان مساله میزان توان قابل ذخیره که معمولاً در حد چند مگاوات است در درجه اهمیت بیشتری قرار دارد. خوشبختانه سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها دارای تمام خصوصیات مذکور بوده و به راحتی می‌تواند در هنگام وقوع خطا میزان انرژی زیادی را در اختیار شبکه قرار دهد (تا چندین مگاوات در ثانیه)، در حالی که سیستمهای چرخ‌گردان و باتریها فاقد این خصوصیت‌اند. همچنین

ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها در مقایسه با دیگر وسایل ذخیره‌کننده انرژی دارای بازده سیکل شارژ و دشارژ بهتری است که این بازده حتی به بیش از ۹۵ درصد می‌رسد. مدت زمان نگهداری انرژی در ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها می‌تواند زیاد باشد در حالی که سیستمهای چرخ‌گردان و خازنها فاقد این خصوصیات هستند. تعداد دفعات شارژ و دشارژ در ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از

ابرساناها نامحدود بوده که بمعنی طولانی بودن عمر آن است. عمر یک ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابرساناها به بیش از ۳۰ سال می‌رسد که این مدت از عمر بهترین سیستم‌های دارای چرخ‌گردان و باتری بیشتر است. حجم و وزن اشغال شده برای ذخیره میزان زیادی از انرژی در سیستم‌های ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابرساناها از کلیه سیستم‌هایی که تاکنون پیشنهاد شده به مراتب کمتر است. یکی از مشکلات سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابرساناها قیمت زیاد آن است که در قسمت بعدی به آن پرداخته خواهد شد. از دیگر مشکلات ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابرساناها می‌توان به میدان مغناطیسی قوی اطراف آن اشاره کرد که احتیاج به لایه‌های محافظ مغناطیسی تا فاصله ۵ متری سلول ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابرساناها دارد، ولی خوشبختانه این میدان در حدی نیست که برای سلامتی انسان مضر باشد.

۸-۷ برآورد هزینه‌ها و مزایای استفاده از ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابرساناها

به صرفه بودن نصب سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابرساناها در یک شبکه، زمانی قابل بررسی و ارزیابی دقیق است که به بارهای تغذیه شونده و اهمیت پیوسته بودن برق آنها توجه شود. به عنوان مثال طی یک بررسی، هزینه قطعی برق در یک کارخانه اتومبیل‌سازی ماهانه ۲۵۰/۰۰۰ دلار بوده و این ضرر تا زمانی که تعمیرات کلی در سطح کارخانه صورت گیرد ادامه خواهد داشت. همچنین هر قطع برق در یک کارخانه ساخت نیمه هادیها بین ۳۰/۰۰۰ تا یک میلیون دلار ضرر در بر خواهد داشت. همچنین قطع برق به مدت ۱۵ دقیقه هزینه‌ای برابر با ۲۰/۲۴ دلار به ازای میزان مصرف هر کیلووات ساعت برق بر کلیه کاربران کامپیوتر تحمیل خواهد کرد. قطع برق برای صنایع کوچک نیز هزینه‌هایی در بر دارد که می‌توان مقادیر آن را از کتاب استانداردهای IEEE 1987-466 استخراج کرد. همچنین تریپ دادن ناگهانی ژنراتور هم می‌تواند بسیار هزینه‌بردار باشد، به عنوان مثال خرابی یک ژنراتور بعد از ۲۰ بار تریپ کردن حتمی خواهد بود.

طی یک بررسی اجمالی در شبکه قدرت آمریکا مشخص شده است که با پرداخت ۱/۵ تا ۳ سنت برای خرید هر دلار توان الکتریکی به شرکتهای برق می‌توان کلیه بهینه‌سازیهای مربوط به شبکه قدرت را انجام داد. به عنوان مثال میزان خرید برق سالیانه توسط مشتریان در آمریکا در سال ۱۹۸۷، ۸۵۳/۶ میلیارد دلار بوده است.

بنابراین میزان پرداخت هزینه برای نصب سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابرساناها و بهینه‌سازی شبکه ۲۵/۶ میلیارد دلار در سال خواهد بود. برای به دست آوردن دید بهتر نسبت به هزینه یک سیستم

ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها بررسی در مورد نصب یک سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها و همچنین نصب یک سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها به اضافه مقاومت ترمزی در محل پرسک‌آیزل انجام می‌شود.

سرمایه‌گذاری مربوط به ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها، شامل تجهیزات ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها، پایدارکننده فرکانس و نیز هزینه نصب ایستگاه فرعی است. هزینه‌های همچنین شامل دستمزد کارگران، طراحی و مهندسی و سودی است که می‌تواند از عدم نصب مولدهای جدید به خاطر نصب سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها بدست آید. برای سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها با مقاومت ترمزی، هزینه مقاومت ترمزی و هزینه نصب آن نیز اضافه می‌شود. برآورد هزینه‌های مربوطه برای نصب یک سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها در پرسک‌آیزل در جدول ۱ آورده شده است.

البته همان طور که قبلاً هم ذکر شد به صرفه‌بودن نصب یک سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها به عوامل مهمی چون اهمیت مصرف‌کننده‌ها، اهمیت میزان حساسیت و هزینه تعمیرات ژنراتور تولیدکننده‌ها، گستردگی شبکه و عوامل دیگر بستگی دارد که باید با دقت و توجه بیشتری مورد بازبینی قرار گیرد.

۸-۸ نتیجه‌گیری و پیشنهادات

قطع برق و مشکلات ناشی از نوسانات و اغتشاشات در شبکه قدرت در بردارنده عوارض و هزینه‌هایی هم برای تولیدکننده و هم برای مصرف‌کننده است. از جمله تریپ دادن ناگهانی ژنراتور می‌تواند بسیار هزینه بردار باشد. به عنوان مثال خرابی یک ژنراتور بعد از ۲۰ مرتبه تریپ کردن حتمی خواهد بود. همچنین قطع برق به مدت ۱۵ دقیقه هزینه‌ای برابر با ۲۰/۲۴ دلار به ازای میزان مصرف هر کیلووات ساعت برق بر کلیه کاربران کامپیوتر تحمیل خواهد کرد.

با توجه به پیشرفت روزافزون استفاده از ابررساناها و مزایای استفاده از سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها در شبکه‌های قدرت و همچنین در شبکه‌های فشار ضعیف که پیش از این بیان شد، لازم است که تحقیقات جدی‌تری در مورد ابررساناها و فن‌آوری ساخت ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها انجام شود. ساخت و نصب سیستم ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها گرچه پرهزینه بوده و احتیاج به استفاده از فن‌آوریهای جدید در زمینه ابررساناها دارد ولی نصب آن در شبکه بسیار به صرفه است

همچنین با توجه به گستردگی و یکپارچه بودن شبکه قدرت در ایران، نصب یک سیستم ذخیره‌کننده انرژی ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها در این شبکه از اهمیت خاصی برخوردار است. منحنی پیک‌بار در ایران حالت عادی نداشته و تفاوت سطح مصرف در ساعات حداکثر بار با دیگر اوقات بسیار زیاد است که این مساله ایجاب می‌کند که نیروگاههای جدیدی تنها برای ساعات حداکثر بار ساخته شده و به شبکه اضافه شوند. مزایای گسترش فن‌آوری ذخیره‌کننده‌های مغناطیسی انرژی با استفاده از ابررساناها علاوه بر حل مشکل فوق باعث نفوذ و گسترش و پیشرفت فن‌آوری استفاده از ابررساناها در دیگر صنایع کشور همچون ساخت وسایل مدرن پزشکی، ساخت کابلهای ابررسانا، قطارهای معلق مغناطیسی (Maglev)، توپها و لانچرهای الکترومغناطیسی پرسرهای مافوق سنگین، ساخت ماهواره‌ها، ساخت ابرکامپیوترها و دیگر صنایع خواهد شد و می‌تواند کشور ما را از نظر علمی و صنعتی در سطح کشورهای پیشرفته دنیا قرار دهد .

مراجع

1. Buckles , W.E.et al , 1993 , "The SSD : A commrcial application of manetic energy storage " , TEEE Transactions on Applied Superconductivity , Vol . 3 , No1.
2. Hassenzahl , W, 1989 , " Supcreonducting magnetic energy storage " IEEE Transactions on Magnetics . vol 25, No2,pp 756– 758.
3. Machowski , J , and Nelles , D , 1992 , " Optimal control of supcrconducting magnetiv energy storage unit : Electric Machines and power Systems , vol 20 , No6.
4. Pavella , M , and Murthy , P.G,1994, Transient stability of power systems ; theory and practice , John Wiley & Sons.
5. صادق زاده ، سيد محمد ، واحسان ، مهديه روشهاى مختلف پيشگيرانه و بيدرنگ پايدارى گذار در سيستمهاي عقدي تو پژوهشى برق ، زمستان ۱۳۸۱.
6. Sadeghzadeh , S.M,and Ehasn , M , 1996 , " Fuzzy control of a power system using energy function " , International Journal of Seience and Technology , vol3, Nos. 1 , 2 , 3 , pp , 81 – 88 .
7. Sadeghzadeh , S,M , et al , 1997 , "Transicnt stability improvement of multi – machinc power systems using on – line fuzzy control of SMES", CPSP97 , IFAC/CIGRE Symposium on Control of power Systems and power plants , Beijing , China , pp . 247 – 252.
8. Sadeghzadeh , S.M,et al , 1997 , " Multi – machinc power system transient stability improvement using fuzzy sliding mode code control of SMES " . UPEC"97- UMIST , Manchester , UK , Vol 2 , pp.671-74.

9. Sadeghzadeh , S.M, et al , 1998 , "Improvement of transient stability limit in power system transmission lines using fuzzy control of FACTS devices " , IEEE Transaction on power system , vol , 13 , No . 3,pp . 917-992.

منابع :

<http://www.nanotechweb.org/articles/news/4/6/11/1>
Iranian Nanotechnology