

بررسی خواص مغناطیسی ابررسانای  $YBa_2Cu_3O_{7-x}/Ag$  سرامیکی

ساعیر سپهری و مرتضی زرگر شوشتری

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران

(دریافت مقاله: ۷۷/۳/۳ دریافت نسخه نهایی: ۷۷/۱۱/۱۴)

## چکیده

در این مقاله نتایج پژوهش انجام شده بر روی خواص مغناطیسی ابررسانای سرامیکی  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  خالص و نمونه‌های آلائیده شده با نقره (۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد) با استفاده از اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی AC آنها، برای میدانهای ۰/۸ تا ۸۰۰ A/m و دماهای ۷۷K تا ۱۰۰K ارائه شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که نحوه گرمادهی و آماده‌سازی بر سختی نمونه و اثر مایسنری آن تأثیر می‌گذارند. افزودن نقره پیش از پخت باعث افزایش سختی، کاهش مقاومت حالت عادی، کاهش اثر مایسنر و نقره‌ای رنگ شدن نمونه می‌شود. افزایش نقره تا ۲۰٪ باعث افزایش دمای بحرانی، کاهش تأثیر اعمال میدان مغناطیسی، کاهش اتلاف میدان مغناطیسی و کاهش تأثیر شرایط آماده‌سازی نمونه شده، در عین حال افزودن بیشتر نقره باعث کاهش خواص ابررسانایی می‌گردد.

## ۱. مقدمه

خواص ابررساناهای گرم سرامیکی با آرایش نقره انجام شده است [۸-۱۰]. رسانایی خوب نقره از یک طرف باعث کاهش مقاومت بین دانه‌ای، تعداد نقاط میخکوبی شار و مقدار اکسیژن می‌شود و از طرف دیگر باعث افزایش ضخامت لایه فلزی بین دانه‌های ابررسانا می‌گردد. اگر این ضخامت از طول هم‌دوسی بیشتر شود، آنگاه جفت‌شدگی بین دانه‌ها کمتر می‌شود. بنابراین خواص ابررسانایی به شدت کاهش می‌یابد [۱۱ و ۱۲].

## ۲. ساخت نمونه‌ها

با توجه به اینکه در اکثر پژوهش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های ابررسانای  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  (YBCO) با آرایش نقره، مقادیر معین از پودر اکسید نقره یا نقره فلزی به پودر پیش ساخته ابررسانای خالص افزوده شده است [۸ و ۱۱]، در این کار ما به

طبیعت ناهمگن ابررساناهای گرم سرامیکی بر رفتار مغناطیسی آنها تأثیر می‌گذارد. این گونه ابررساناها را به صورت آرایه‌ای از دانه‌های ابررسانای جفت شده جوزفسون در نظر می‌گیرند که در آنها مرزدانه‌ها نقش اتصالات «جوزفسون» را ایفا می‌کنند [۱-۳]. اعمال میدان مغناطیسی مناسب باعث ایجاد گردابه‌های جوزفسون درون اتصالات و گردابه‌های آبریسکوف درون دانه‌ها می‌شود. پذیرفتاری مغناطیسی AC،  $\chi$ ، دارای دو بخش مجزای حقیقی  $\chi'$ ، مربوط به جریانهای درون دانه‌ای، و موهومی  $\chi''$ ، مربوط به جریانهای بین دانه‌ای می‌باشد [۴-۶]. بنابراین، اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی AC، علاوه بر تعیین دمای گذار ابررسانایی، اطلاعات کاملتری از کل حجم ماده را فراهم می‌سازد [۷]. در سالهای اخیر مطالعات متعددی در زمینه

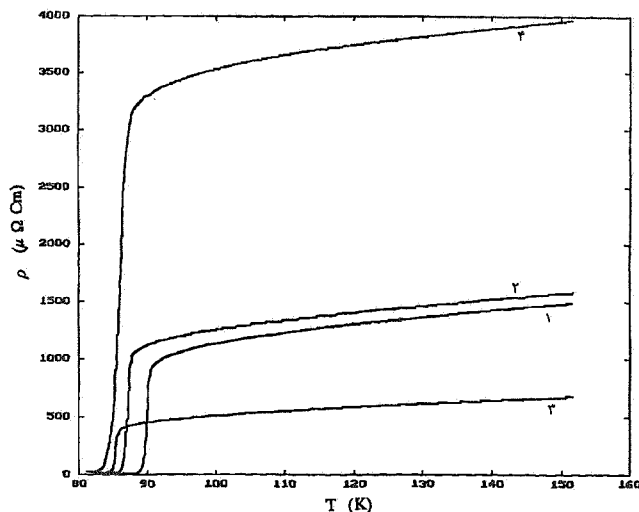
۸/۵ ساعت در مجاورت اکسیژن قرار دادیم.

### ۳. روشهای تجربی

اندازه گیریهای مقاومت الکتریکی و پذیرفتاری مغناطیسی AC نمونه‌های به دست آمده با دو بار پخت و توقف ۱۵ ساعته در دمای  $920^{\circ}\text{C}$  صورت گرفت. اندازه گیری مقاومت الکتریکی نمونه‌ها با استفاده از روش چهار میله با اعمال جریان ثابتی برابر با  $9/32$  میلی آمپر انجام شد. پذیرفتاری مغناطیسی AC، با Susceptometer AC مدل ۷۰۰۰ ساخت شرکت Lake Shore Cryotronics برای میدانهای  $0/8$  A/m تا  $800$  A/m و دماهای ۷۷ تا  $100$  کلوین انجام شده است.

### ۴. مشاهدات و نتیجه گیری

بررسی تغییر دمای پخت نشان می‌دهد که افزایش دما و زمان توقف باعث همگتر شدن ماده می‌شود. این امر سبب کاهش میزان اکسیژن نمونه می‌شود و بر خواص ابررسانایی تأثیر می‌گذارد. این نتیجه‌گیری با مشاهده پایین‌تر بودن دمای گذار اندازه‌گیری شده با روش مقاومت الکتریکی حاصل شده است. کاهش مقاومت حالت عادی نمونه با افزودن نقره در شکل ۱ مشاهده می‌شود. بر اساس منحنیهای به دست آمده تأثیر اکسیژن دهی بر مقاومت نمونه  $10\%$ ، جزئی بوده و کمترین مقاومت حالت عادی مربوط به نمونه با آرایش  $20\%$  می‌باشد. مشاهدات حاصل از اندازه‌گیریهای پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های بدون اکسیژن دهی شکل ۲ نشان می‌دهد که با افزایش آرایش، اثر مایسنر کاهش می‌یابد. بعلاوه افزودن نقره تا  $10\%$ ، ارتفاع قله  $T_c$  را کاهش می‌دهد که نشان دهنده پر شدن قسمت فضای بین دانه‌ای با نقره و کاهش اتلاف نسبت به حالت خالص است. در عین حال افزایش بیشتر آرایش به دلیل ضخیم شدن لایه فلزی بین دانه‌ای، باعث کاهش جفت‌شدگی دانه‌ها و در نتیجه کاهش خواص ابررسانایی می‌گردد. مطالعه منحنیهای مربوط به پذیرفتاریهای مغناطیسی نمونه‌های اکسیژن‌دهی شده (شکل ۳) نشان می‌دهد که شارش اکسیژن اثر مایسنر را برای نمونه خالص کاهش می‌دهد در حالی که در مورد نمونه‌های آلیاژ بی تأثیر می‌باشد. بعلاوه شارش اکسیژن، منحنی  $T_c$  مربوط به نمونه  $20\%$  را تغییر نداده در حالی که  $T_c$  نمونه  $10\%$  را افزایش جزئی و  $T_c$  نمونه خالص را کاهش جزئی داده است. البته به دلیل انتخاب دمای پخت زیاد،  $T_c$  نمونه‌ها پایین‌تر از حد معمول می‌باشد. کاهش  $T_c$  نمونه خالص در پخت دوم

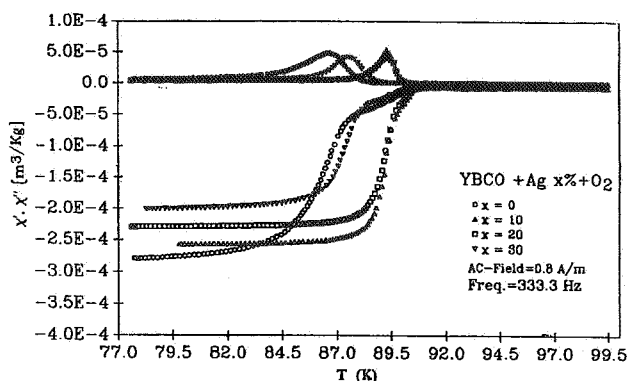


شکل ۱. منحنی تغییرات مقاومت نمونه‌های YBCO برحسب دما. (۱) آلیاژهای ۱۰ درصد با اکسیژن‌دهی (۲) بدون اکسیژن دهی، (۳) ۲۰ درصد بدون اکسیژن دهی و (۴) خالص بدون اکسیژن دهی.

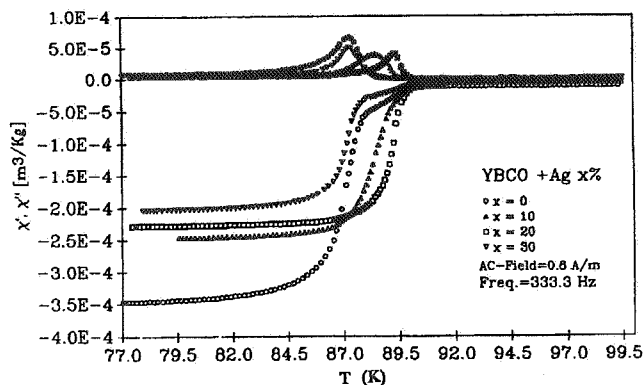
شبهه‌ای متفاوت عمل کرده‌ایم. برای تهیه نمونه‌های آرایش شده با نقره، ابتدا پودر اکسید نقره را با نسبت‌های معین با پودرهای اولیه YBCO ترکیب کرده و سپس مراحل گرمادهی را انجام داده‌ایم. برای تهیه ابررسانای  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  مقادیر استوکیومتری از پودرهای  $\text{CuO}$ ،  $\text{BaO}_2$ ،  $\text{Y}_2\text{O}_3$  با خلوص بالا، ساخت MERCK، را با دقت  $0/1$  میلی گرم توزین کردیم و پس از آسیاب درون قالب ریختیم و با فشار  $4500 \text{ lb/in}^2$  پرس کردیم و به روش واکنش حالت جامدی پختیم. با توجه به تأثیر شرایط آماده‌سازی ابررسانا بر ویژگیهای آن و آزمایشهای متعددی که در این زمینه صورت گرفته است [۱۳ و ۱۴]، به دلیل اینکه ترکیبات باریم معمولاً در دمای حدود  $900^{\circ}\text{C}$  تجزیه می‌شوند، دمای پخت در این حوالی انتخاب شده است.

در اینجا به برنامه پخت سه نمونه که در چهار مرحله به شرح زیر انجام شده است اشاره می‌شود: الف) افزایش تدریجی دما طی دو ساعت تا  $900^{\circ}\text{C}$  برای نمونه اول، تا  $910^{\circ}\text{C}$  برای نمونه دوم و تا  $920^{\circ}\text{C}$  برای نمونه سوم. ب) ثابت نگاه داشتن دما برای نمونه‌های اول و دوم تا ۱۰ ساعت و برای نمونه سوم تا ۱۵ ساعت. ج) سرد کردن تا دمای  $300^{\circ}\text{C}$  با آهنگ  $40^{\circ}\text{C/h}$ . د) خاموش کردن کوره.

پیش از پخت نمونه‌ها با افزودن پودر  $\text{Ag}_2\text{O}$  با نسبت‌های وزنی مشخص، نمونه‌هایی با آرایش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد نقره تهیه کردیم، سپس نیمی از نمونه‌ها را در دمای  $550^{\circ}\text{C}$  به مدت



شکل ۳. منحنی تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی نمونه YBCO با آلایشهای نقره ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد با اکسیژن دهی برحسب دما به ازای میدان  $0.8 \text{ A/m}$



شکل ۴. منحنی تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی نمونه YBCO با آلایشهای نقره ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد بدون اکسیژن دهی برحسب دما به ازای میدان  $0.8 \text{ A/m}$

جدول ۱. مقایسه  $T_c$ ،  $\Delta T_c$  و بررسی تغییر  $T_c$  در اثر اعمال میدانهای  $0.8 \text{ A/m}$  و  $50 \text{ A/m}$  برای نمونه‌های مختلف  $T_c$  و  $\Delta T$  مربوط به نمونه‌های با اکسیژن دهی و  $T_c'$  و  $\Delta T'$  مربوط به نمونه‌های بدون اکسیژن دهی می‌باشند.

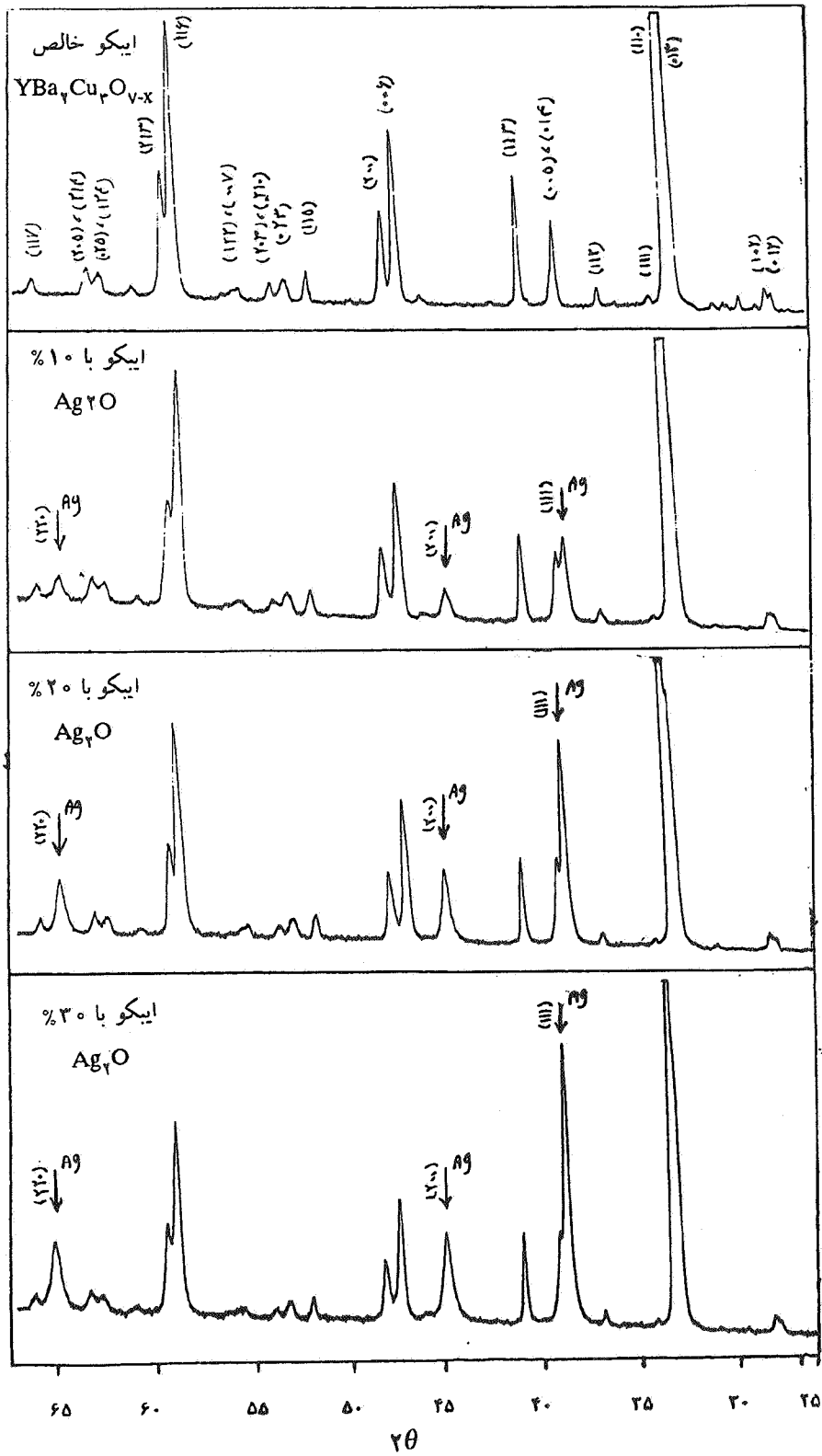
درصد آلایش	$T_c$ (K) با اکسیژن دهی	$T_c'$ (K) بدون اکسیژن دهی	$\Delta T$ (K) با اکسیژن دهی	$\Delta T'$ (K) بدون اکسیژن دهی	$T_c$ (K) با $0.8 \text{ A/m}$	$T_c$ (K) با $50 \text{ A/m}$	تغییر در $T_c$
۰	۸۷/۸	۸۸/۵	۲/۵	۲/۴	۸۸/۵	۸۷	۱/۵
۱۰	۸۹/۸	۸۹/۲	۱/۸	۱/۷	۸۹/۲	۸۸/۴	۰/۸
۲۰	۸۹/۸	۸۹/۸	۱/۸	۱/۳	۸۹/۸	۸۹	۰/۸
۳۰	۸۸/۷	۸۸/۵	۲/۱	۲	۸۸/۵	۸۷/۵	۱

در این نمونه‌هاست.

مقایسه دمای گذار بین دانه‌ای ( $T_c$ ) و پهناي گذار ( $\Delta T$ ) برای نمونه‌های مختلف با شرایط متفاوت (جدول ۱) نشان می‌دهد که با افزایش آلایش تا ۲۰٪ دمای گذار بین دانه‌ای نسبت به نمونه خالص افزایش یافته و پهناي آن کاهش می‌یابد. از سوی دیگر تغییرات  $T_c$  نمونه‌های مختلف در اثر اعمال میدان مغناطیسی نیز با افزودن نقره کاهش می‌یابد. گزارش بلور نگاشتی پودری نمونه‌های بدون اکسیژن دهی با دستگاه XRD مدل PW۱۸۴۰ در شکل ۴ نشان داده شده است [۱۵]. مقایسه

حتی پس از اکسیژن دهی به احتمال زیاد سبب کاهش و نه افزایش مقدار اکسیژن نمونه می‌شود. اگر چه، افزایش  $T_c$  منحنی ۱۰٪ می‌تواند این احتمال را که افزودن نقره مانع از خروج اکسیژن از درون دانه‌ها می‌گردد، مطرح سازد. البته توضیح دقیق این مسئله تنها با اندازه‌گیری میزان اکسیژن نمونه‌ها میسر می‌باشد.

ضمناً رفتار دو په‌لای منحنی  $\chi'$  که مربوط به ساختار سرامیکی ابررسانا یا به عبارت دیگر وجود قسمتهای دانه و بین دانه‌ای می‌باشد، در منحنیهای نمونه‌های خالص و ۳۰٪ واضحتر دیده می‌شود که نشان‌دهنده تمایز بیشتر این دو قسمت



شکل ۴. طیفهای پراش ایکو با درصدهای مختلف نقره

خواص ابررسانایی ( $T_c$  و اثر مایسنر) نسبت به نمونه‌های با ۲۰٪ آرایش می‌شود. بعلاوه افزودن نقره منجر به افزایش سختی نمونه می‌گردد، زیرا مشاهده شد که نمونه‌های خالص با کوچکترین فشار بریده و شکسته می‌شوند، لیکن با افزودن نقره برای بریدن نمونه‌ها و تهیه نمونه تیغه‌ای شکل باید عمل برش با فشار زیادتری انجام شود. همچنین مشاهده شد که رنگ نمونه‌ها با افزایش آرایش نقره، نقره‌ای‌تر می‌شوند.

#### تشکر و قدردانی

اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی بعضی از نمونه‌ها در آزمایشگاه ابررسانایی دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شریف و اندازه‌گیریهای مغناطیسی AC در آزمایشگاه ابررسانایی دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی اصفهان انجام گرفته است که به این وسیله از آقایان دکتر محمد اخوان و دکتر هادی سلامتی تشکر و قدردانی می‌شود.

موقعیت قله‌های ایبکو خالص و ایبکو با ۱۰٪ آرایش نشان می‌دهد که قله‌های اصلی ایبکو جابه‌جا نشده و فقط قله‌های مربوط به نقره در طیف آلاینده شده در مکانهای خود ظاهر می‌شوند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نقره تنها در فضای بین دانه‌ای قرار گرفته و ساختار ایبکو را تغییر نداده است. با افزایش آرایش (حدود ۳۰٪) تغییرات جزئی در قله‌های ایبکو دیده می‌شود.

نتایج حاصل از این پژوهش را می‌توان به شرح زیر جمع‌بندی کرد:

افزودن نقره به ابررسانای سرامیکی  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  ضمن افزایش دمای بحرانی نسبت به نمونه خالص، باعث کاهش مقاومت حالت عادی نمونه می‌شود. همچنین باعث کاهش اتلاف میدان مغناطیسی و تأثیر میدان مغناطیسی AC می‌گردد، زیرا از ارتفاع قله "اکاسته شده و میزان جابه‌جایی قله روی محور افقی نیز کاهش می‌یابد. افزودن نقره باعث تضعیف اثر مایسنر در نمونه می‌شود. افزودن نقره بیش از ۲۰٪ باعث کاهش

#### مراجع

1. Indu Dhingra, V N Moorthy and B K Das, *Supercond. Sci. Technol.* 8 (1995) PP 252-258.
  2. H Ehrenreich and D Turnbull, *Solid State Physics: Advances Research and Application*, Vol. 42, P. 91, Academic, New York (1989).
  3. H K pfer, I Apfelstedt, R Flukiger, C Keller, R Meier-Hirmer, B Runtsch, A Turowski, U Wiech and T Wolf, *Cryogenics*, Vol. 28. (1988) PP 650-660.
  4. Youngtae kim Q HarryLam and C D Jefries, *Phys. Rev. B*, Vol. 43, No. 13 (1991) PP 11404-11407.
  5. E Maxwell and Myron Strongin, *Phys. Rev. Lett.* Vol. 10 No. 6 (1963) PP 212-215.
  6. T Ishida and H Mazaki, *Phys. Rev. B*. Vol. 20, No. 1 (1979) PP 131-138.
  7. W M Tiernan and R B Hallock, *Phys. Rev. B*, Vol. 49. No. 13 (1994) PP 9168-175.
  8. J Jung, M A K Mohamed, S C Cheng and J P Franck, *Phys. Rev. B*, Vol. 42, No. 10 (1990) PP 6181-6195.
  9. P N Peters, R C Sisk and E W Urban, *Appl. Phys. Lett.* Vol. 52 No. 24 (1988) PP 2066-2067.
  10. Yi Song, Yue Cao, Anupam Misar and J R Gaines, *J. Mater. Res.* Vol. 4. No. 4 (1989) PP 802-805.
  11. F Yeh and K W White, *J. Appl. Phys.* Vol. 70, No. 9 (1991) 4989-4994.
  12. C Varanasi, M Hauck and P I McGinn, *Supercond. Sci. Technol.* 8 (1995) PP 879-882.
  13. S S P Parkin, E M Engler, V Y Lee and R B Beyers, *Phys. Rev. B*, Vol. 37 No. 1 (1988) PP 131-136.
  14. J W Lynn, *High Temperature Superconductivity*, PP 168-192, Springer-Verlag, (1990).
- ۱۵- م ر شاهسواری، "راه‌اندازی دستگاه پراش سنج پودری و بررسی ساختمان NaCl و ابررسانای  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ "، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران (اهواز)، (۱۳۷۵).