



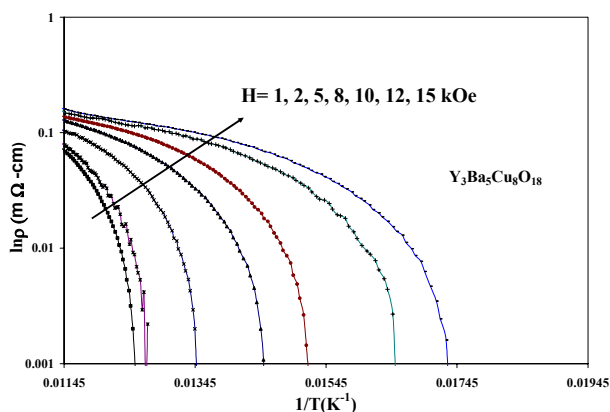
(MRL)

aliabadi@physics.sharif.edu :

$T_c$	۱۰۲ K	$Y_3Ba_5Cu_8O_{18}$	kOe	U

زیر دمای گذار ابررساناهای دمای بالا در حضور میدان‌های مغناطیسی مدل‌های مختلفی ارائه شده است و دینامیک شار در آنها بررسی شده است. مدل‌های خزش شار، شارش شار و لغزش فاز که ناشی از افت و خیز در پارامتر نظم ابررسانایی است، مدل‌های هستند که برای توضیح پهن شدگی گذار مقاومت ویژه در حضور میدان مغناطیسی در ابررساناهای دمای بالا به کار گرفته می‌شود. استفاده از مدل آمبگوکار-هالپرین (AH) در بعضی از ابررساناهای دمای بالا برازش خوبی داشته است [۵]، در برخی از گزارشات در ناحیه نزدیک  $T(\rho=0)$  کمی انحراف از مدل AH مشاهده می‌شود [۶]. در این ناحیه مدل خزش شار فعال شده گرمایی (TAFC) بهتر جواب می‌دهد. در این مقاله ما به بررسی خواص مغناطیسی و دینامیک شار در این ترکیب از خانواده YBCO بر اساس مدل خزش شار فعال شده گرمایی می‌پردازیم.

در سال ۱۹۸۷ ترکیبی از خانواده YBCO،  $YBa_2Cu_3O_7$  (Y123) با دمای گذار ۹۲K، بالای دمای نیتروژن مایع، کشف شد که این ترکیب شامل صفحات اکسید مسی بود [۱]. یک سال بعد از کشف Y123، دو ترکیب دیگر از این خانواده با استوکیومتری Y124 و Y247 کشف شدند که دمای گذاری به ترتیب ۸۰K و ۴۰K برای آنها گزارش شد [۲ و ۳]. اخیراً در آزمایشگاه تحقیقاتی مغناطیس دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف ترکیبی از این خانواده با استوکیومتری  $Y_3Ba_5Cu_8O_{18}$  (Y358) ساخته شد که افزایش دمای گذاری بیشتر از ۱۰K نسبت به ترکیب Y123 در آن مشاهده شده است [۴]. این ترکیب دارای پنج صفحه اکسید مسی  $CuO_2$  و سه زنجیره اکسید مسی CuO در سلول واحد است. در بررسی پهن شدگی ناحیه گذار مقاومت الکتریکی در



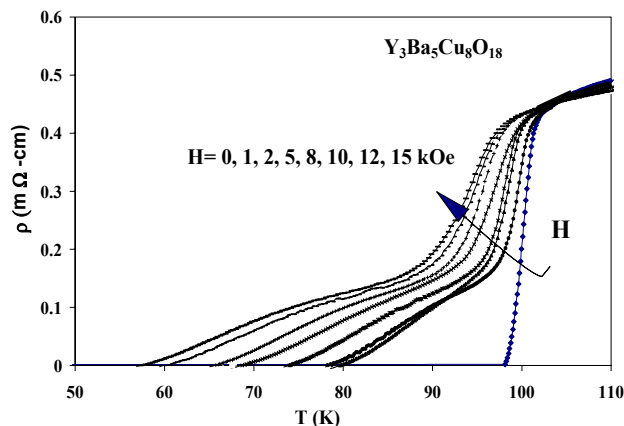
شکل ۲. نمودار  $\ln \rho - 1/T$  ترکیب به ازای میدان‌های مغناطیسی مختلف با اتصال نقاط به هم برای راهنمایی چشم.

نمی‌کند. پهن شدگی مربوط به گذار مقاومت ویژه الکتریکی نشان می‌دهد که نمونه از طریق پدیده اتلاف، که توسط شارش گردش‌ها به وجود می‌آید، به میدان مغناطیسی خارجی حساس است [۸]. این رفتار به انرژی میخکوبی مربوط است. بر اساس مدل خزش شار فعال شده گرمایی، بین مقاومت ویژه الکتریکی و انرژی میخکوبی رابطه زیر برقرار است [۶]:

$$\rho(H, T) = \rho_0 \exp(-U(H)/k_B T), \quad (1)$$

در رابطه (۱)  $\rho_0$  مقاومت حالت بهنجار است. با فرض فرآیند فعال‌سازی گرمایی، انرژی میخکوبی  $U$  در دماهای پایین با شیب نمودار  $\ln \rho - 1/T$  متناظر است. نمودار  $\ln \rho - 1/T$  در شکل ۲ برای نمونه  $Y_{358}$  در میدان‌های مغناطیسی مختلف رسم شده است.

شیب قسمت‌های انتهایی منحنی‌ها مقدار  $U/k_B$  و عرض از مبدا آن مقدار  $\rho_0$  را نتیجه می‌دهد. ناحیه مربوط به دماهای نزدیک  $T_c(\rho=0)$  در اکثر منحنی‌های رسم شده برازش خوبی را با خط ندارند. مقدار  $\rho_0$  به دست آمده از برازش ناحیه تقریباً خطی در منحنی‌های  $\ln \rho - 1/T$  از  $10^9$  mΩ-cm تا  $10^{21}$  mΩ-cm در نمونه  $Y_{358}$  تغییر می‌کند که بسیار بزرگتر از مقاومت حالت بهنجار نمونه است. از آنجا که در حالتی که انرژی میخکوبی قابل صرف نظر کردن باشد، باید مقاومت برابر  $\rho_0$  شود و در حدود مقاومت حالت بهنجار در نقطه شروع گذار باشد، بنابراین باید وابستگی انرژی فعال‌سازی به دما را نیز در نظر گرفت.



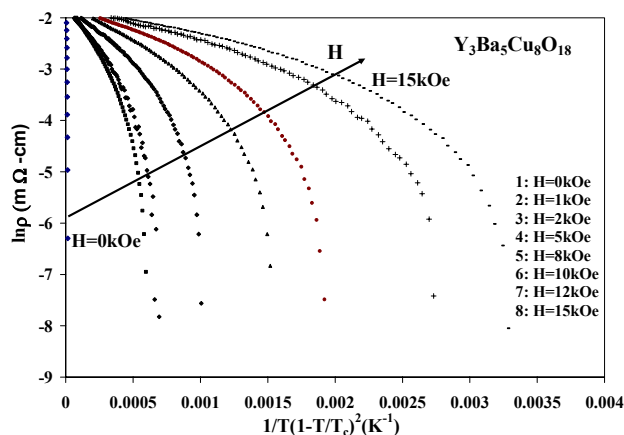
شکل ۱. مقاومت ویژه نمونه در حضور میدان‌های مغناطیسی ۱۵ و ۱۰ و ۸ و ۵ و ۲ و ۱ و ۰ kOe.

نمونه  $Y_{358}$  به روش استاندارد حالت جامد، و دمای کلسینه  $840^\circ\text{C}$  و دمای کلوخه سازی  $920^\circ\text{C}$  ساخته شدند. جزئیات بیشتر در مورد نحوه ساخت مواد و نتایج مقاومت الکتریکی در مراجع [۴] و [۷] آورده شده‌اند.

در این تحقیق مقاومت الکتریکی نمونه در حضور میدان‌های ثابت مغناطیسی با مقادیر ۱۵ و ۱۲ و ۱۰ و ۸ و ۵ و ۲ و ۱ kOe عمود بر جریان الکتریکی و عمود بر سطح نمونه اندازه‌گیری شد. پهن شدگی در ناحیه زیر دمای گذار تحت میدان‌های مغناطیسی با تصحیح مدل خزش شار فعال شده گرمایی مورد بررسی قرار گرفتند.

نتایج اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی نمونه  $Y_{358}$  در حضور میدان مغناطیسی  $H=0-15$  kOe به صورت تابعی از دما در شکل ۱ نشان داده شده است.

مقاومت الکتریکی حالت بهنجار نمونه با اعمال میدان مغناطیسی تغییری نمی‌کند و تنها ناحیه گذار زیر  $T_c$  تحت تأثیر میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد. ناحیه گذار با اعمال میدان مغناطیسی پهن شده و  $T_c(\rho=0)$  در جهت دماهای پایین‌تر کاهش می‌یابد. برای  $H=15$  kOe،  $T_c(\rho=0) = 58$  K مشاهده شد، ولی دمای شروع گذار  $T_c^{\text{onset}}$  در نمونه تغییر محسوسی



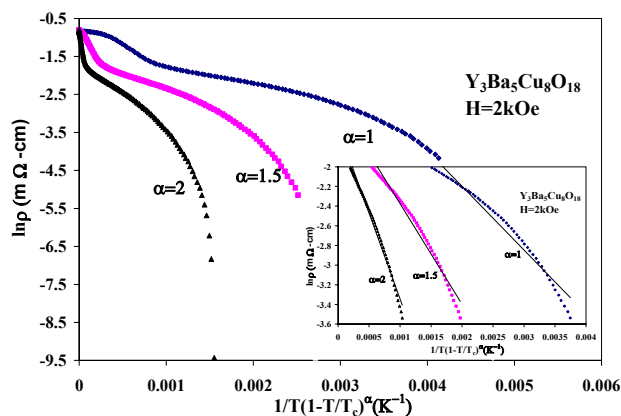
شکل ۴. منحنی  $\ln p$  بر حسب  $1/T(1-T/T_c)^2$  به ازای میدان‌های مغناطیسی مختلف.

همراه با برازش آن را نشان می‌دهد.

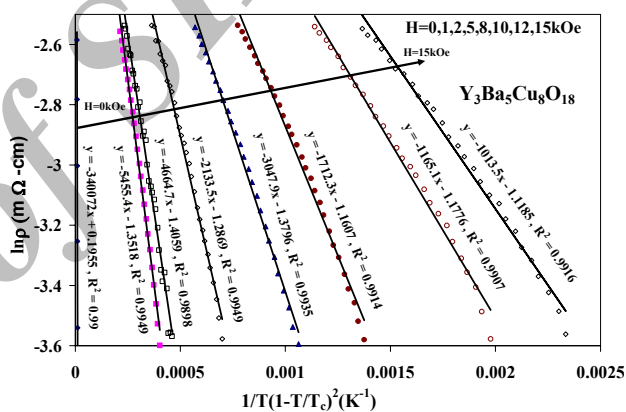
در شکل ۳ برای ترکیب  $Y_3Ba_5Cu_8O_{18}$  و میدان مغناطیسی ۲ kOe در صد برازش منحنی‌ها با خط در  $\alpha=2$  برابر  $R^2=0/99$  است و در مقادیر  $1/5$  و  $1$  به ترتیب به  $0/97$  و  $0/96$  کاهش می‌یابد. نتایج برازش‌ها نشان داد که  $\alpha=2$  برازش مناسب‌تری با منحنی‌ها دارد. در ضمن  $\alpha=2$  نشان از دو بعدی بودن سیستم مورد مطالعه است.

در شکل ۴ برای  $Y_3Ba_5Cu_8O_{18}$ ، منحنی  $\ln p - 1/T(1-T/T_c)^2$  در میدان‌های مغناطیسی مختلف رسم شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش میدان مغناطیسی شیب منحنی‌ها کاهش می‌یابد که شیب منحنی‌ها معادل انرژی میخکوبی می‌باشد و نتیجه می‌گیریم که انرژی میخکوبی کاهش می‌یابد. خزش شار و عبور از سد پتانسیل مربوط به مراکز میخکوبی، آسان‌تر صورت می‌گیرد و کاهش سد پتانسیل سبب کاهش انرژی فعال‌سازی می‌گردد. در دماهای پایین قسمت خطی منحنی را با خط برازش دادیم و مقادیر عرض از مبدا و شیب آنها در شکل ۵ آورده شده است. شیب قسمت خطی در ناحیه انتهای منحنی‌ها در شکل ۵ برابر با مقدار  $U(H)$  است.

در شکل ۶ تغییرات  $U(H)$  بر حسب میدان‌های مغناطیسی در  $H=0-15$  kOe برای ترکیب  $Y_3Ba_5Cu_8O_{18}$  آورده شده است، همان‌گونه



شکل ۳. منحنی  $\ln p$  بر حسب  $1/T(1-T/T_c)^\alpha$  به ازای  $1/5$  و  $1$  در میدان  $H=2$  kOe.



شکل ۵. مقادیر حاصل از برازش خطی منحنی‌های  $\ln p - 1/T(1-T/T_c)^2$  در میدان‌های مغناطیسی مختلف.

وابستگی انرژی فعال‌سازی  $U$  به دما به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود [۹]:

$$U = U(H) \left( 1 - \frac{T}{T_c} \right)^\alpha, \quad (2)$$

مقدار  $\alpha$  برابر  $1/5$ ،  $1$  و  $2$  در ابرساناهای دمای بالا گزارش شده است [۱۰ تا ۱۲]. به منظور بررسی وابستگی  $U$  به دما و پیدا کردن مقدار مناسب  $\alpha$ ، منحنی‌های  $\ln(p)$  بر حسب  $1/T(1-T/T_c)^\alpha$  را به ازای مقادیر مختلف  $\alpha$  برای ترکیب  $Y_3Ba_5Cu_8O_{18}$  در میدان مغناطیسی اعمال شده برابر ۲ kOe در شکل ۳ رسم کردیم. شکل داخلی شکل ۳ ناحیه خطی

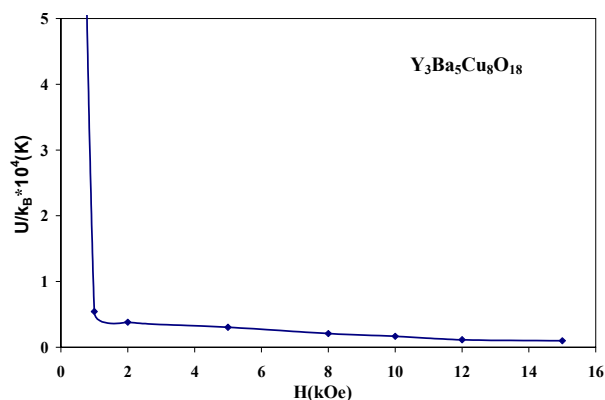
(onset) در این ترکیب کاهش می‌یابد، ولی تأثیر میدان مغناطیسی بر روی دمای گذار بین دانه‌ای بیشتر از تأثیر میدان مغناطیسی بر روی دمای گذار درون دانه‌ای است.

با تصحیح مدل خزش شار فعال شده گرمایی و دخالت دادن وابستگی دمای انرژی میخکوبی، به ازای  $\alpha=2$  بهترین برازش خطی در دماهای نزدیک دمای گذار دیده شد که نشانه‌ای از دو بعدی بودن ترکیب مورد مطالعه است. همچنین دیده شد که انرژی میخکوبی با تغییرات میدان مغناطیسی رفتاری توانی دارد. برای میدان‌های مغناطیسی کوچکتر از ۱ kOe انرژی میخکوبی شدیداً با افزایش میدان کاهش می‌یابد، ولی برای میدان‌های بزرگتر، انرژی میخکوبی با افزایش میدان به‌طور بسیار آهسته کاهش می‌یابد.

از همکاری‌های سعید فلاحی، مجتبی مظاهری و حنیف هادی پور نهایت قدردانی را داریم. این پژوهش توسط قطب علمی سیستم‌های پیچیده و ماده چگال دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شریف ([www.cscm.ir](http://www.cscm.ir)) و معاونت پژوهشی و فناوری حمایت شده است.

۷. آذر علی آبادی، یاسمن اخوان، محمد اخوان، نهمین کنفرانس ماده چگال انجمن فیزیک ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز (۱۳۸۷) ۵۹۸.

8. A K Pradhan, Z X Shi, M Tokunaga, T Tamegai, Y Takano, K Togano, H Kito, and H Ihara, *Phys. Rev. B* **64** (2001) 12509.
9. T T M Palstra, B Batlogg, L F Schneemeyer, J V Waszczak, *Phys. Rev. B* **43** (1991) 3756.
10. G Detscher, K A Muller, *Phys. Rev. Lett.* **59** (1987) 1745.
11. M Tinkham, *Phys. Rev. Lett.* **61** (1988) 1658.
12. R Gross, P Chaudhari, D Dimos, A Gupta, G. Koreu, *Phys. Rev. Lett.* **64** (1990) 228.



شکل ۶. انرژی میخکوبی مستقل از دما بر حسب میدان مغناطیسی.

که از شکل مشاهده می‌شود، انرژی میخکوبی با تغییرات میدان مغناطیسی رفتار توانی دارد و نرخ کاهش انرژی میخکوبی با افزایش میدان مغناطیسی در میدان‌های بالا کم شده است. در میدان‌های مغناطیسی کوچکتر از ۱ kOe انرژی میخکوبی شدیداً به میدان مغناطیسی وابسته است ولی برای میدان مغناطیسی بالا این وابستگی بسیار کوچکتر است.

بر اثر حضور میدان مغناطیسی، دمای شروع گذار درون دانه‌ای

1. K Wu, J R Ashburn, C J Torng, P H Hor, R L Meng, L Gao, Z J Huang, Y Q Wang, C W Chu, *Phys. Rev. Lett.* **58** (1987) 908.
2. P Marsh, R M Fleming, M L Mandich, A M DeSantolo, J Kwo, M Hong, and L J Martinez-Miranda, *Nature* **336** (1988) 660.
3. P Bordet, C Chailout, J Chenavas, J L Hodeau, M Marezio, J Karpinski, E Kaldis, *Nature* **334** (1988) 596.
4. A Aliabadi, Y Akhavan Farshchi, M. Akhavan, *Physica C* **469** (2009) 2012.
5. V Ambegaokar, B I Halperin, *Phys. Rev. Lett.* **22** (1969) 1364.
6. H S Gamchi, G J Russell, K N R Taylor, *Phys. Rev. B* **50** (1994) 12950.