

## ساخت و بررسی خواص ابررسانای $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ آلاییده با نانوذرات $\text{Al}_2\text{O}_3$

مرتضی زرگرشوشتری\*، بهمن رستمی، منصور فرید؛

دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده علوم، گروه فیزیک

دریافت: ۹۴/۲/۲۲ پذیرش: ۹۴/۷/۵

### چکیده

ابررسانای  $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (SBCO) با استفاده از روش واکنش حالت جامد و همچنین نانوذرات آلومینا ( $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) به روش سل-ژل خوداحتراقی با اندازه متوسط ۷۰ nm ساخته و با نانوذرات آلومینای شرکت سیگما با اندازه متوسط ۵۰ nm مقایسه شدند. سپس ابررسانای SBCO را با درصد‌های مختلف از نانوذرات آلومینا آرایش داده و خواص آن بررسی شدند و همچنین ضریب اکسیژن نمونه‌های ساخته شده به روش تیتراسیون یدمتری اندازه‌گیری شد. نتایج به دست آمده نشان دادند که با آرایش ابررسانا با نانوذرات آلومینا، ضریب اکسیژن و دمای بحرانی نمونه‌ها کاهش می‌یابد. در بررسی نمودار مقاومت ویژه بر حسب دما، نمونه‌ها در حالت عادی رفتار نیم‌رسانایی نشان دادند، یعنی با افزایش دما، مقاومت ویژه کاهش یافت. همچنین مشاهده شد که چگالی جریان بحرانی نمونه با ۰٫۱ درصد آرایش وزنی، افزایش چشم‌گیری داشت، اما با افزایش درصد آرایش کاهش پیدا کرد. الگوهای پراش اشعه X نمونه‌های آرایش داده شده نشان دادند که نانوذرات آلومینا در فرایند ساخت تجزیه نشده و در نتیجه در ساختار بلوری ابررسانا وارد نشده‌اند. برخی از قله‌های ابررسانا در الگوی پراش اشعه X نمونه‌های آلاییده حذف شده و پهنای قله‌ها نسبت به نمونه خالص بیش‌تر شده است. بررسی تصویرهای SEM نمونه‌های آلاییده نشان داد که نانوذرات آلومینا روی دانه‌ها و مرز دانه‌های ابررسانا جای گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: ابررسانا،  $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ، نانوذرات، تیتراسیون یدمتری

### مقدمه

در سال ۱۹۸۷ ابررسانایی با دمای بحرانی ۹۰ K در ترکیب  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (YBCO) کشف شد [۱]. جای‌گزینی سایر عناصر خاکی نادر مانند Sm به جای Y در ترکیب YBCO تأثیر چندانی روی  $T_c$  نگذاشت و برای نخستین بار مشاهده حالت ابررسانایی در دمایی بیش‌تر از دمای ازت مایع (۷۷ K) امکان‌پذیر شد [۲]. با توجه به چشم‌انداز پدیده ابررسانایی و همچنین نانوفناوری در صنعت، بررسی تأثیر افزودن نانوذرات به ابررسانا اهمیت می‌یابد. آلومینا ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) یکی از مهم‌ترین مواد سرامیکی است. خواص متنوع آلومینا سبب کاربردهای مفیدی از آن شده است. آلومینا، دمای ذوب بالایی در حدود  $2054^\circ\text{C}$  دارد و از نظر شیمیایی بسیار پایدار و واکنش‌ناپذیر است [۳]. در این پژوهش ابتدا نانوذرات آلومینا را ساخته و با نمونه خریداری شده مقایسه و سپس اثر افزودن نانوذرات  $\text{Al}_2\text{O}_3$  به ابررسانای  $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (SBCO) بررسی شد.

\*نویسنده مسئول: zargar@scu.ac.ir

## روش کار

### ساخت نانوذرات آلومینا به روش سل-ژل خوداحتراقی

برای ساخت نانوذرات آلومینا ( $Al_2O_3$ ) از مواد اولیه نیترات آلومینیوم ۹ آبه ( $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ )، گلیسین ( $C_2H_5NO_2$ ) و محلول آمونیاک ۲۵٪ ( $NH_4OH$ ) ساخت شرکت MERCK استفاده شد. برای تعیین مقادیر مواد اولیه از معادله شیمیایی ۱ استفاده شده است. در جدول ۱ مقدار مواد اولیه لازم برای تهیه ۵g ماده آلومینا آورده شده است.



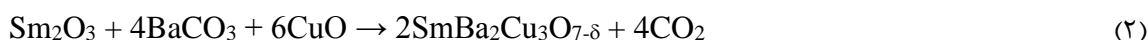
جدول ۱. مقادیر جرم مولی و جرم مورد نیاز از مواد اولیه برای ساخت ۵g ماده آلومینا.

جرم مورد نیاز برای ساخت ۵g ماده آلومینا	جرم مولی	مواد اولیه
۳,۱۲۳۸ g	۳۷۵,۱۳ g/mol	نیترات آلومینیوم ۹ آبه
۱,۸۷۶۲ g	۷۵,۱ g/mol	گلیسین

مواد اولیه توزین شده را در یک بشر ریخته و مقدار مشخصی آب یونزدایی شده روی آن‌ها ریخته شد. آهنربایی کپسول مانند را درون بشر قرار داده و آن را روی هم‌زن مغناطیسی گذاشته تا مواد اولیه به‌طور کامل در محلول پخش شوند. سپس با آمونیاک، pH محلول به ۷ رسانده شد. محلول حاصل را روی هم‌زن مغناطیسی قرار داده و به مدت ۱۲ ساعت در دمای  $60^\circ C$  ثابت نگه داشته شد، تا محلول به شکل ژل در آید. ژل حاصل را در آن که دمای آن  $90^\circ C$  بود گذاشته تا کامل خشک شود. ماده خشک شده را آسیا کرده، سپس در بوتله آلومینا قرار داده شد. پس از آن، بوتله را در کوره گذاشته و تا دمای  $400^\circ C$  حرارت داده شد تا احتراق رخ دهد. محصول احتراق را دوباره آسیا نموده و در بوتله آلومینا قرار داده و در دمای  $1100^\circ C$  به مدت ۳ ساعت حرارت‌دهی شدند تا پودر سفید رنگ، نانوذرات ماده آلومینا تهیه شود [۴].

### ساخت ابررسانای $SmBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ به روش حالت جامد

برای ساخت نمونه ابررسانا از مواد اولیه  $BaCO_3$  و  $CuO$  ساخت شرکت MERCK و  $Sm_2O_3$  ساخت شرکت SDFCL استفاده شد. در گام نخست، توزین مواد اولیه بر اساس استوکیومتری معادله شیمیایی ۲ با ترازوی دیجیتالی با دقت  $10^{-4}$  g انجام شد. در جدول ۲ جرم مولی و جرم مورد نیاز از مواد اولیه برای ساخت نمونه دو گرمی ابررسانای SBCO آورده شده است.



مواد اولیه پس از توزین در هاون و به وسیله اسپاتول حدود ۱۵ دقیقه مخلوط شدند. پس از آن، مخلوط با دسته هاون حدود یک ساعت آسیا شد تا پودر نرم یک‌نواخت با رنگ قهوه‌ای روشنی به دست آید. برای اینکه محیط مخلوط و آسیا کردن همواره خشک بماند، تمام مراحل مخلوط و آسیا در دمایی بیش‌تر از دمای اتاق انجام گرفت. در این مرحله برای تکلیس، پودر حاصل را در بوتله آلومینا قرار داده و کوره با آهنگ  $5 \frac{^\circ C}{min}$  تا دمای  $40^\circ C$  بالا برده شد و ۲۴ ساعت در

این دما نگه داشته شد. سپس نمونه با آهنگ  $2 \frac{^\circ\text{C}}{\text{min}}$  تا دمای اتاق سرد شد. برای همگنی بیش تر و اطمینان از خروج کامل  $\text{CO}_2$ ، مرحلهٔ تکلیس را دو بار تکرار و قبل از هر تکرار، نمونه، دوباره آسیا شد. در انتهای فرایند محصولی سیاه رنگ و ترد به دست آمد.

جدول ۲. جرم مولی و جرم مورد نیاز برای تهیهٔ ۲ گرم مادهٔ اولیهٔ ابررسانا.

ماده	جرم مولی (g/mol)	جرم مورد نیاز (g)
$\text{Sm}_2\text{O}_3$	۳۴۸٫۸۰	۰٫۴۳۱۸
$\text{BaCO}_3$	۲۰۸٫۲۵	۰٫۹۷۷۳
$\text{CuO}$	۱۴۷٫۳۵	۰٫۵۹۰۹

محصول تکلیس شده را به مدت ۱۵ دقیقه آسیا کرده و سپس آن را در قالب مکعب مستطیل شکل ریخته و با دستگاه پرس در فشار  $426 \times 10^6 \text{ Pa}$  به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفت، تا نمونه به شکل مکعب مستطیل تهیه شود. برای پخت SBCO، نمونه‌ها را با آهنگ  $5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{min}}$  تا دمای  $960^\circ\text{C}$  در اتمسفر اکسیژن حرارت داده و ۱۲ ساعت در این دما ثابت نگه داشته شدند. سپس دمای آن‌ها را با آهنگ  $0.8 \frac{^\circ\text{C}}{\text{min}}$  به  $600^\circ\text{C}$  رسانده و در این دما ۸ ساعت نگه داشته و در نهایت نمونه‌ها با آهنگ  $2 \frac{^\circ\text{C}}{\text{min}}$  تا دمای اتاق سرد شدند.

### آلایش ابررسانای SBCO به نانوذرات آلومینا

با توجه به این که گسترهٔ اندازهٔ نانوذرات آلومینای ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ساخته شده محدود نبود و برای استفاده از نانوذرات آلومینای اندازهٔ کوچک تر و گسترهٔ کم تر، تصمیم گرفته شد که برای آلایش ابررسانای  $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  از نانوذرات خریداری شده از شرکت SIGMA با اندازهٔ حدود ۵۰ nm استفاده شود. درصد وزنی آلایش مادهٔ ابررسانای SBCO به نانوذرات آلومینا ۰٫۱ و ۱ در نظر گرفته شد. آلایش ۱ درصد نمونه، یعنی ۰٫۱ جرم کل نمونه، جرم مادهٔ آلاییده ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) و آلایش ۰٫۱ درصد یعنی ۰٫۱۰۱ جرم کل نمونه، جرم مادهٔ آلاییده باشد. جدول ۳ مقادیرهای مورد نیاز برای تهیهٔ ۲g نمونه ابررسانای SBCO آلاییده به ۱ درصد ( $\text{Sm}01$ ) و ۰٫۱ درصد با ( $\text{Sm}001$ ) آلومینا را نشان می‌دهد. نانوذرات آلومینا پس از مرحلهٔ تکلیس ابررسانای SBCO به آن افزوده شد و نمونه‌های ابررسانای آلاییده مانند فرایند پخت ابررسانای خالص، با فشار یکسان قالب زده و در کوره تحت اتمسفر اکسیژن قرار گرفتند.

جدول ۳. مقادیرهای محاسبه شده نانوذرات  $\text{Al}_2\text{O}_3$  برای نمونه‌های آلاییده ابررسانای SBCO.

نمونه	درصد آلایش نانوذرات آلومینا	جرم کل نمونه آلاییده	جرم مورد نیاز از ابررسانا	جرم مورد نیاز نانوذرات آلومینا
(Sm01)	۱٪	۲ g	۱٫۹۸ g	۰٫۰۲ g
(Sm001)	۰٫۱٪	۲ g	۱٫۹۹۸ g	۰٫۰۰۲ g

## بحث و بررسی

### مشاهدهٔ اثر مایسنر

ابررسانای خالص یعنی نمونهٔ ( $\text{Sm}00$ ) و آلاییدهٔ ۰٫۱ درصدی یعنی نمونهٔ ( $\text{Sm}001$ ) به خوبی پرواز آهنربا را روی ابررسانا (اثر مایسنر) در دمای ۷۷ K نشان دادند، ولی برای ابررسانای آلاییدهٔ ۱ درصدی یعنی نمونهٔ ( $\text{Sm}01$ ) این اثر مشاهده نشد.

## نتایج XRD

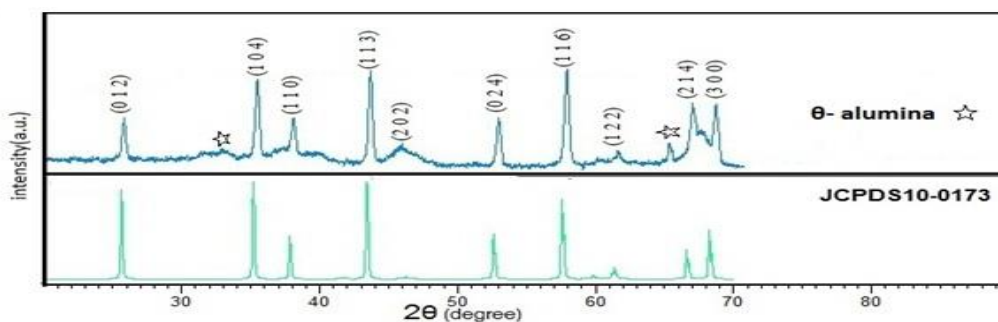
برای به‌دست آوردن الگوی پراش اشعه ایکس (XRD) نمونه‌ها، از دستگاه XRD مدل پودری PW1840 ساخت شرکت فیلیپس آلمان با آند مس ( $\lambda_{K\alpha} = 1.5418 \text{ \AA}$ ) دانشگاه شهید چمران اهواز استفاده شد. در شکل ۱ الگوی‌های پراش اشعه ایکس نانوذرات آلومینای ساخته شده، تشکیل فاز  $\gamma$  آلومینا را با تطابق با کارت استاندارد JCPDS به شماره ۱۰-۰۱۷۳ حدود ۸۰ درصد و مقداری ناخالصی فاز  $\theta$  آلومینا را تأیید می‌کند. در شکل ۲ الگوی پراش نانوذرات آلومینا استفاده شده برای آرایش ابررسانا ساخت شرکت SIGMA آورده شده است. اختلاف پهنای قله‌ها در الگوهای پراش شکل‌های ۱ و ۲ نشان‌دهنده کوچک بودن اندازه ذرات آلومینای نمونه خریداری شده نسبت به نمونه ساخته شده است.

الگوی پراش اشعه ایکس ابررسانای  $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  خالص ((Sm00)) و مقایسه با کارت استاندارد JCPDS به شماره ۱-۰۸۱-۱۸۷۳ در شکل ۳ نشان داده شده است. با بررسی آن فاز اورتورومبیک نمونه (Sm00) تأیید شد. در شکل ۴ هر سه الگوی پراش اشعه X نمونه‌های (Sm00)، (Sm001) و (Sm01) آورده شده است. با افزایش میزان درصد آرایش در ابررسانا قله‌های دوتایی در زوایای ۷۸ و ۵۶ درجه در هم ادغام شده‌اند که به دلیل کمبود اکسیژن و در نتیجه اثر حضور نانوذرات در ابررسانا را نشان می‌دهد. در شکل ۵ الگوی پراش اشعه ایکس نمونه (Sm001) و نمونه (Sm01) در مقایسه با الگوی پراش نانوذرات آلومینای شرکت SIGMA آورده شده است. با بررسی آن‌ها قله‌های نانوذرات آلومینا به دلیل مقدار کم آرایش و دقت دستگاه XRD استفاده شده، در نمونه‌های ابررسانای آلییده مشاهده نشد. ولی با افزایش میزان آرایش نانوذرات آلومینا سبب کاهش اکسیژن نمونه‌ها و ادغام برخی از قله‌های کنار هم ابررسانا و همچنین پهن تر شدن قله‌ها شده است.

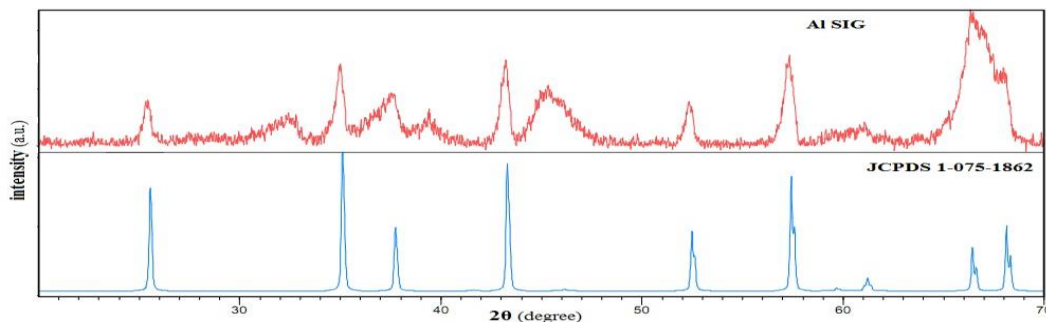
در جدول ۴ حجم یاخته قراردادی و ثابت‌های شبکه بلوری نمونه‌های ابررسانای ساخته شده آورده شده است. مشاهده می‌شود که حجم یاخته نمونه‌ها تغییر قابل ملاحظه‌ای را نشان نمی‌دهد؛ این می‌تواند به دلیل عدم تجزیه نانوذرات  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و جانشینی Al در ساختار ابررسانا باشد.

جدول ۴. ثابت‌های شبکه بلوری نمونه‌های ابررسانای خالص و آلییده.

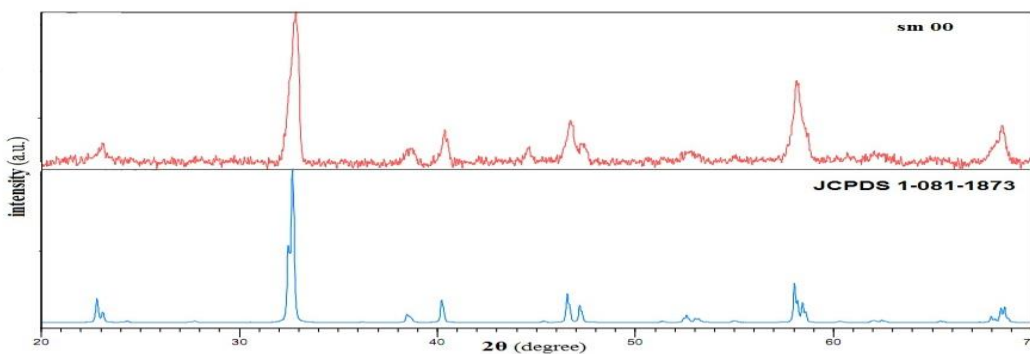
نمونه	a (Å)	b (Å)	c (Å)	V (Å <sup>3</sup> )	منطبق بر کارت استاندارد
(Sm00)	۳,۸۵۰۵	۳,۹۰۰۳	۱۱,۶۸۸۸	۱۷۵,۵۴	JCPDS ۱-۰۸۱-۱۸۷۳
(Sm001)	۳,۸۵۱۲	۳,۸۹۸۸	۱۱,۶۸۳۵	۱۷۵,۴۳	JCPDS ۱-۰۸۱-۱۸۷۳
(Sm01)	۳,۸۴۶۲	۳,۸۹۸۸	۱۱,۷۱۳۷	۱۷۵,۵۲	JCPDS ۱-۰۸۱-۱۸۷۳



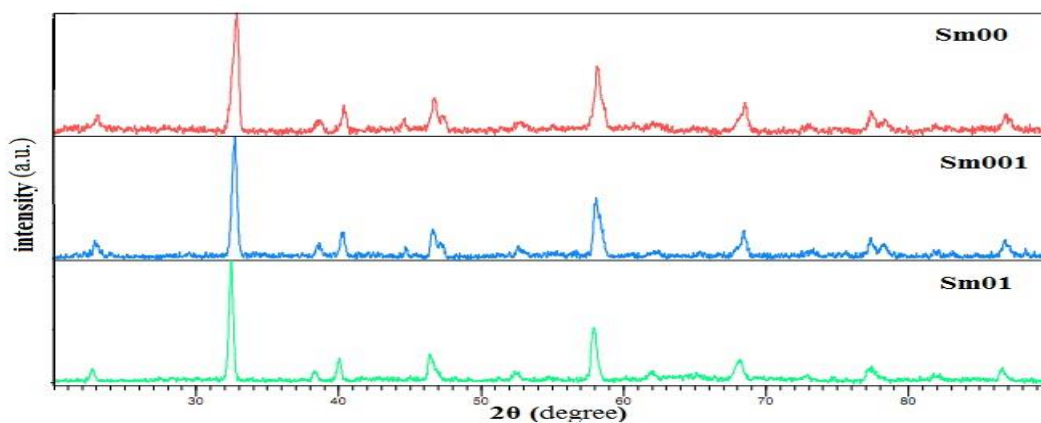
شکل ۱. الگوی پراش نانوذرات آلومینا ساخته شده در مقایسه با کارت استاندارد.



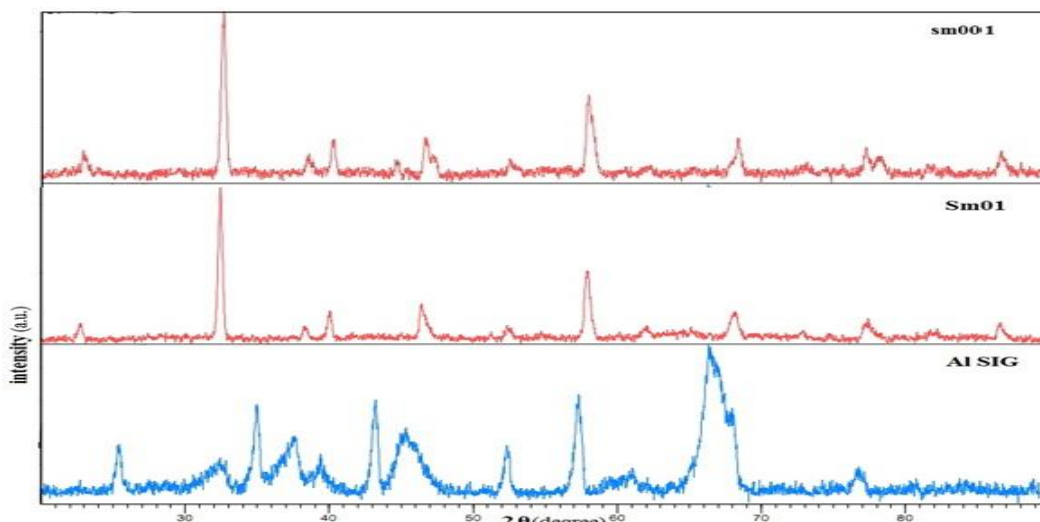
شکل ۲. الگوی پراش نانوذرات آلومینا ساخت شرکت SIGMA.



شکل ۳. الگوی پراش نمونه خالص ابررسانا (Sm00) در مقایسه با کارت استاندارد.



شکل ۴. مقایسه الگوی پراش نمونه‌های آلییده و خالص ابررسانا.



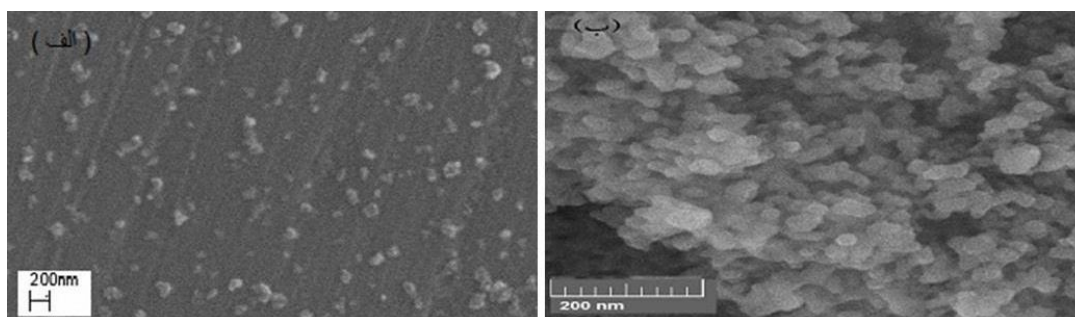
شکل ۵. الگوی پراش نمونه (Sm001) و (Sm01) در مقایسه با الگوی پراش نانوذرات شرکت SIGMA.

### نتایج SEM

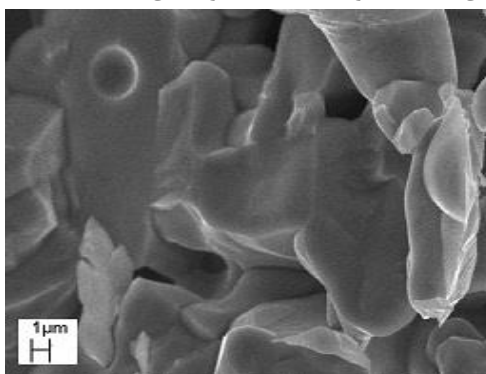
برای بررسی ریخت نمونه‌های ابرسانای SYBCO و نانوذرات  $Al_3O_3$  از دستگاه SEM مدل LEO1455VP دانشگاه شهید چمران اهواز استفاده شد. تصویرهای SEM نانوذرات آلومینای ساخته شده و خریداری شده (SIGMA) در شکل ۶ نشان داده شده‌اند. به وسیله نرم‌افزار Digimizer، اندازه متوسط نانوذرات آلومینای ساخته شده و خریداری شده با توجه به شکل ۶- الف و ب به ترتیب در حدود ۷۰ و ۵۰ نانومتر با خطای  $\pm 3\text{nm}$  اندازه‌گیری شدند. تصویر SEM نمونه خالص ابرسانای SBCO یعنی (Sm00) در شکل ۷ نشان داده شده است. در این شکل، دانه‌ای بودن ابرسانا و همچنین منافذ و خلل و فرج‌های موجود در نمونه مشاهده می‌شود. تصویر SEM نمونه (Sm001) در شکل ۸ نشان داده شده است. ساختار دانه‌ای و خلل و فرج‌های موجود در نمونه نیز قابل مشاهده است. همچنین نانوذرات آلومینا را که بر روی سطح دانه‌ها، مرزدانه‌ها و در منافذ قرار گرفته‌اند، می‌توان مشاهده کرد. این نانوذرات سبب کاهش تخلخل‌های موجود در نمونه ابرسانا می‌شوند. تصاویر SEM نمونه (Sm01) در شکل ۹ با دو بزرگ‌نمایی متفاوت نشان داده شده است. در این حالت با توجه به افزایش میزان ناخالصی نسبت به نمونه‌های بدون آلاینش و آلاینش کم‌تر، نانوذرات آلومینا را به راحتی می‌توان در سطح دانه‌ها و مرزدانه‌ها و منافذ ابرسانا مشاهده کرد. این نتیجه نشان می‌دهد که نانوذرات  $Al_3O_3$  در فرایند ساخت ابرسانای SBCO تجزیه نشده‌اند.

### اندازه‌گیری ضریب اکسیژن

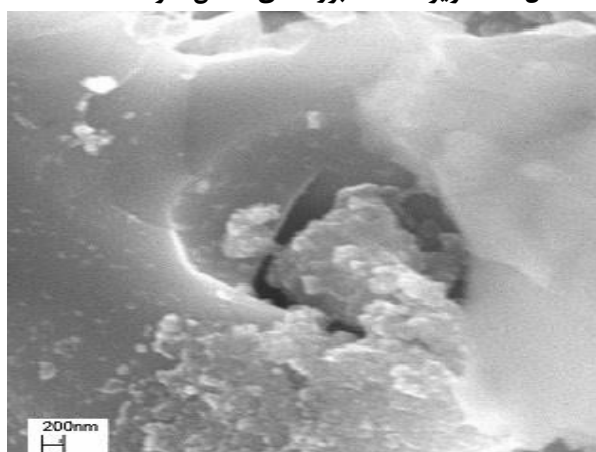
ضریب اکسیژن نمونه‌های ابرسانای خالص و آلاینده (Sm00)، (Sm001) و (Sm01) به روش تیتراسیون یدمتری [۵] به ترتیب ۶،۶۵، ۶،۵۵ و ۶،۴۹ به دست آمد. در روش دیگر با استفاده از مقدار ثابت شبکه بلوری C (رابطه نیمه تجربی ۳) [۶] ضریب اکسیژن نمونه‌های (Sm00)، (Sm001) و (Sm01) به ترتیب ۶،۸۰، ۶،۸۳ و ۶،۶۵ محاسبه شد.



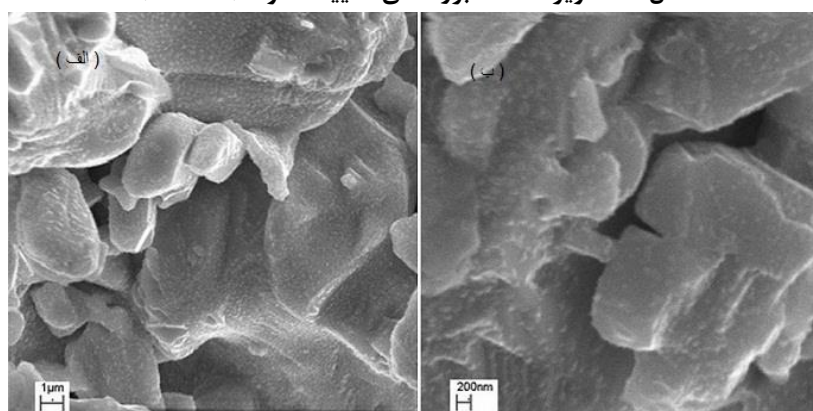
شکل ۶. تصویرهای SEM نانوذرات (الف) آلومینای ساخته شده و (ب) SIGMA.



شکل ۷. تصویر SEM ابرسانای خالص نمونه (Sm00).



شکل ۸. تصویر SEM ابرسانای آلییده نمونه (Sm001).



شکل ۹. تصویر SEM ابرسانای آلییده نمونه (Sm01) با ۲ بزرگ‌نمایی (الف)  $1 \mu\text{m}$  و (ب)  $200 \text{ nm}$ .

$$(3) \quad (7-\delta)=75.250-5.856 c$$

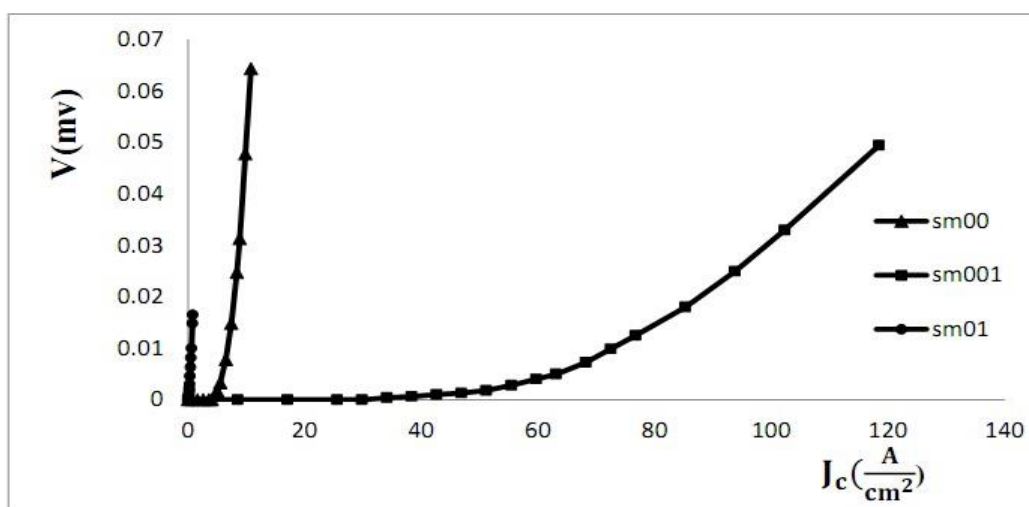
هر چند نتایج دو روش تا حدودی اختلاف دارند، ولی روند مقادیر به دست آمده برای ضریب اکسیژن نمونه‌های ابررسانای ساخته شده نشان می‌دهد که با افزایش میزان درصد آلایش، ضریب اکسیژن نمونه‌ها کاهش می‌یابد.

### بررسی نمودار ولتاژ بر حسب جریان

نمودارهای ولتاژ بر حسب جریان نمونه‌های ابررسانای خالص و آلاییده شده با نانوذرات آلومینا در دمای ازت مایع یعنی ۷۷K اندازه‌گیری شدند. در جدول ۵ مقادیر چگالی جریان بحرانی ( $J_c$ ) و مساحت سطح مقطع برای نمونه‌های ابررسانا آورده شده است. چگالی جریان بحرانی نمونه ( $J_c$ ) هنگامی که اختلاف ولتاژ دو نقطه نمونه ابررسانا شروع به ظاهر شدن می‌کند و  $J_{c0}$  هنگامی است که نمودار  $V-J$  با افزایش جریان به طور خطی رفتار می‌کند. نمودار مقایسه‌ای چگالی جریان بر حسب ولتاژ ( $V-J$ ) نمونه‌های ( $Sm00$ )، ( $Sm001$ ) و ( $Sm01$ ) در شکل ۱۰ نشان داده شده است. با توجه به نمودار  $V-J$  نمونه‌های خالص و آلاییده ابررسانای SBCO، با آلایش ۰٫۱ درصد آلومینا شاهد افزایش قابل توجه چگالی جریان بحرانی ابررسانا هستیم؛ ولی با افزایش میزان درصد ناخالصی به ۱ درصد در ابررسانا، شاهد کاهش شدید چگالی جریان بحرانی هستیم. علت آن را می‌توان به کاهش شدید دمای بحرانی نمونه ابررسانا در آلایش ۱ درصدی که نزدیک دمای اندازه‌گیری چگالی جریان بحرانی (۷۷K) است، نسبت داد. رفتار متفاوت در دو نمونه آلاییده شده با توجه به اختلاف  $J_c$  نمونه‌ها و رسم آن‌ها در یک نمودار بیش تر مشهود است.

جدول ۵. چگالی جریان بحرانی و سطح مقطع نمونه‌های ابررسانا.

نام نمونه	مساحت سطح مقطع نمونه $A(\text{cm}^2)$	$J_c(\text{A}/\text{cm}^2)$	$J_{c0}(\text{A}/\text{cm}^2)$
(Sm00)	۰٫۱۱	۶٫۵۴	۴
(Sm001)	۰٫۱۲	۵۶٫۴	۲۹٫۵
(Sm01)	۰٫۱۲	۰٫۱	-

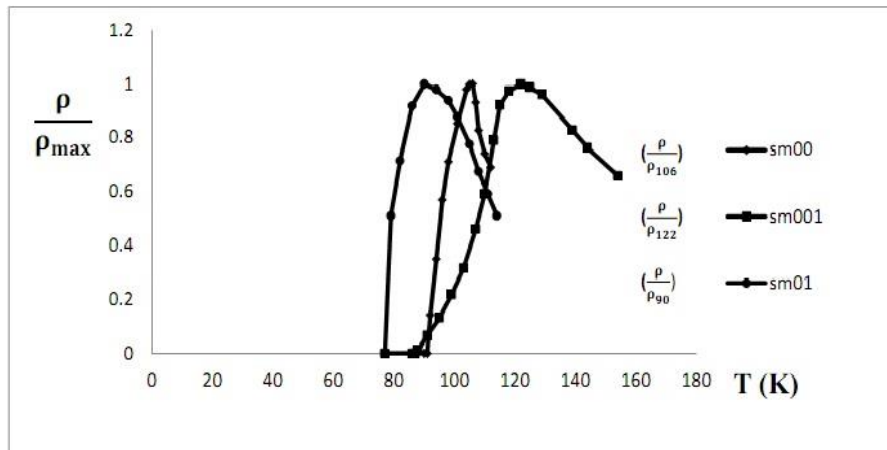


شکل ۱۰. نمودار  $V-J$  مقایسه‌ای ابررساناهای خالص و آلاییده SBCO.



### بررسی نمودار مقاومت ویژه بر حسب دما

دمای بحرانی نمونه‌ها به‌روش چهار میله‌ای اندازه‌گیری شد. مقایسه نمودارهای مقاومت ویژه (به‌هنجار شده به بیشینه هر نمونه) بر حسب دما برای ابررسانای خالص و آلییده  $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  یعنی نمونه‌های (Sm00)، (Sm001) و (Sm01) در شکل ۱۱ آورده شده است. مقادیر دمای بحرانی به‌دست آمده از نمودارهای شکل ۱۱، در جدول ۶ آمده است. در این جدول  $T_{Conset}$  دمایی است که در زیر آن، مقاومت الکتریکی نمونه شروع به افت غیرخطی با کاهش دما می‌کند و  $T_{Offset}$  دمای بحرانی که زیر این دما، مقاومت الکتریکی نمونه صفر می‌شود. با افزودن نانوذرات آلومینا، دمای بحرانی نمونه‌ها کاهش یافته و در آلیش ۰/۱ درصد، کاهش دمای بحرانی در حد چندین کلین است؛ ولی در آلیش ۱ درصد، دمای بحرانی نمونه کاهش شدیدی دارد و نزدیک به‌دمای ازت مایع، یعنی ۷۷K است. هر سه نمونه ساخته شده در دمای بالای  $T_{Conset}$ ، رفتار نیم‌رسانایی از خود نشان دادند و آن را می‌توان به‌کمبود اکسیژن نمونه‌ها نسبت داد [۱۷]. در مورد مشابه، آلیش ابررسانای  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  به نانوذرات آلومینا، باعث کاهش دمای بحرانی نمونه‌ها شده است [۸ و ۹]. برخلاف رفتار ابررسانای  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  بالای دمای گذار که با ورود نانوذرات آلومینا رفتار فلزگونه دارد [۹]، رفتار ابررسانای  $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  در این پژوهش نیم‌رساناگونه است.



شکل ۱۱. نمودار مقایسه‌ای مقاومت ویژه بر حسب دمای نمونه‌های خالص و آلییده SBCO.

جدول ۶. دمای بحرانی نمونه‌های ابررسانای خالص و آلییده SBCO

نام نمونه	$T_{Conset}$ (K)	$T_{Offset}$ (K)	$\Delta T$ (K)
(Sm00)	۱۰۶	۹۱	۱۵
(Sm001)	۱۰۰	۸۷	۱۳
(Sm01)	۹۰	۷۷	۱۱

### نتیجه‌گیری

نانوذرات آلومینا ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) فاز  $\gamma$  با اندازه متوسط  $70\text{ nm}$  به‌روش سل-ژل خوداحتراقی ساخته شد. هم‌چنین پس از ساخت ابررسانای  $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  به‌روش واکنش حالت جامدی، آن‌را با نانوذرات  $\text{Al}_2\text{O}_3$  با درصد‌های مختلف

آلایش داده و اثر افزودن نانوذرات آلومینا به ابررسانا بررسی شد. با افزایش درصد وزنی نانوذرات آلومینا به ابررسانا، ضریب اکسیژن و دمای بحرانی نمونه‌ها کم شد. چگالی جریان بحرانی در آلایش ۰/۱ درصد، افزایش چشم‌گیری و با افزایش میزان آلایش در ۱ درصد کاهش شدیدی داشت. با توجه به نتایج الگوهای پراش اشعه ایکس و تصویرهای SEM، نانوذرات  $Al_2O_3$  تجزیه نشده و در ساختار بلوری ابررسانا وارد نشده‌اند و روی سطح دانه‌ها، مرزدانه‌ها و در خلل و فرج‌های نمونه قرار می‌گیرند.

### منابع

1. Wu M. K. and et.al, Superconductivity at 93 K in a new mixed-phase Y-Ba-Cu-O compound system at ambient pressure, *Phys. Rev. Lett.* 58 (1987) 908-910.
2. اخوان، محمد؛ یمنی، زهراسادات؛ پیشرفت‌های ابررسانایی دمای بالا، موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، (۱۳۸۱) چاپ اول.
3. Doremus R., Shackelford J., *Ceramic and glass materials structure properties and processing*, (2008) Springer.
4. Abedini khorrani S. and et.al, Preparation of  $\gamma-Al_2O_3$  nanocrystallites by sol gel auto combustion process and production of Al- $Al_2O_3$  aluminium matrix composites, *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, Vol. 7 No. 3 (2012).
5. بروایه، لیلا؛ ساخت ابررسانای سرامیکی  $HoBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  و بررسی خواص آن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز (۱۳۸۰).
6. Benzi P., Bottizzo E., Rizzi N., Oxygen determination from cell dimensions in YBCO superconductors, *Journal of Crystal Growth* 269 (2004) 625-629.
7. Marcus J. and et.al, High temperature superconductivity in  $SmBa_2Cu_3O_{7-x}$  transport properties and effect of pressure, *J. Phys. France* 49 (1988) 111-120.
8. Albiss B. A. and et.al, Polycrystalline  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  with Nano-sized  $Al_2O_3$  Inclusions, *J Supercond Nov Magn* 23 (2010) 1333-1340.
9. Suan M. S. M., and Johan M. R., Synthesis of  $Al_2O_3$  nanoparticles highly distributed in  $YBa_2Cu_3O_7$  superconductor by citrate-nitrate auto-combustion reaction, *Physica C* 492 (2013) 49-54.