بسم الله الرحمن الرحيم

**دانشگاه شهید چمران اهواز**

دانشکده علوم

شماره پایان نامه : ۹۲۱٤۷۱٦٦

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک

گرایش حالت جامد تجربی

**عنوان :**

# ساخت و بررسی فیبر و نانوفیبر ابررسانای سرامیکی $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ به‌روش الکتروریسندگی

**استاد راهنما:**

**دکتر** مرتضی زرگر شوشتری

**استاد مشاور:**

دکتر عبدالمحمّد قلمبر دزفولی

**نگارنده :**

فاطمه هاچم بچاری

شهریورماه سال۱۳۹۲

تقدیم به

خدا....

تقدیم به

همه‌ی مستضعفین عالم و منجی آنان

تقدیم به

پدر گرانقدر و مادر مهربانم

برادران و خواهر عزیزم

سپاس مخصوص اوست که شایسته‌ترین است برای ستایش....

برخود لازم می‌دانم در پایان این مقطع تحصیلی از افرادی که مرا در امر پژوهش یاری نموده‌اند تشکر کنم....

از جناب **آقای دکتر زرگر شوشتری** استاد راهنمای بزرگوارم، به پاس همراهی صمیمانشان که با دقت و حوصله بسیار مسیر درست پژوهش را به من آموختند کمال تشکر و قدردانی را دارم؛ از **آقای دکتر قلمبر دزفولی** استاد مشاور گرامیم، به خاطر حمایت‌ها و همراهی ایشان در این مدت تشکر می‌کنم و همچنین از جناب **آقای دکتر کاظمی نژاد** و **آقای دکتر فربد** که زحمت مطالعه و داوری این پایانامه را تقبل نمودند سپاسگزارم. از تمامی دوستان خوبم به خصوص خانم‌ها **فرزانه بازلی**، **مهدیه شکرالله زاده**، **خدیجه مهری**، **راضیه موحدی**، **سعیده تیله کوهی**، **الهه مرادیان**، **الهام الهی**، **غزال سیاح**، **زهره جاودانی**، **آمنه آهنگرپور** و **ندا منحوش** که بودن در کنارشان در این مدت، باعث شد لحظات سخت انجام کارهای آزمایشگاهی و حضور در خوابگاه به لحظات شیرین و خاطره‌انگیزی تبدیل شود، تشکر و قدردانی را دارم، همچنین از تمامی کارکنان گروه فیزیک به خصوص **خانم صفی‌خانی** تشکر می‌کنم.

فاطمه هاشم بچاری

شهریور ماه ۱۳۹۲

**باسمه تعالی**

**دانشگاه شهید چمران اهواز**

دانشکده علوم

**(نتیجه ارزشیابی پایان نامه ارشد )**

پایان‌نامه خانم **فاطمه هاچم بچاری** دانشجوی رشته: **فیزیک** گرایش: **حالت جامد تجربی**
دانشکده علوم به شماره دانشجویی ۸۹۱۴۷۰۸

**با عنوان :**

**ساخت و بررسی فیبر و نانوفیبر ابررسانای سرامیکی $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ به‌روش الکتروریسندگی**

**جهت اخذ مدرک : کارشناسی ارشد در تاریخ : ۹۲/۶/۳۰ توسط هیأت داوران مورد ارزشیابی قرار گرفت و با درجه..... تصویب گردید.**

| | | | |
|---|---|---|---|
| ۱. | اعضا ی هیأت داوران : | رتبه علمی | امضاء |
| | استاد راهنما: دکتر مرتضی زرگر شوشتری | استاد | ..... |
| | استاد مشاور : دکتر عبدالمحمّد قلمبر دزفولی | استادیار | ..... |
| | استاد داور : دکتر منصور فربد | دانشیار | ..... |
| | استاد داور : دکتر ایرج کاظمی نژاد | دانشیار | ..... |
| | نماینده تحصیلات تکمیلی : دکتر مهرزاد اشرف پور | استادیار | ..... |
| ۲. | مدیرگروه : دکتر منصور فربد | دانشیار | ..... |
| ۳. | معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده : دکتر ناهید پوررضا | استاد | ..... |
| ۴. | مدیرتحصیلات تکمیلی دانشگاه : دکتر مسعود قربانپور | دانشیار | ..... |

| | | |
|---|---|---|
| **نام خانوادگی :** هاچم بچاری | **نام:** فاطمه | **شماره دانشجویی :** ۸۹۱۴۷۰۸ |
| **عنوان پایان نامه :** ساخت و بررسی فیبر و نانوفیبر ابررسانای سرامیکی $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ به‌روش الکتروریسندگی | | |
| **استاد راهنما:** دکتر مرتضی زرگر شوشتری | | |
| **استاد مشاور:** دکتر عبدالمحمد قلمبر دزفولی | | |
| **درجه تحصیلی:** کارشناسی ارشد | **رشته:** فیزیک | **گرایش:** حالت جامد تجربی |
| **دانشگاه :** شهید چمران اهواز | **دانشکده:** علوم | **گروه :** فیزیک |
| **تاریخ فارغ التحصیلی:** ۹۲/۶/۳۰ | | **تعداد صفحه:** ۱۳۴ |

**کلید واژه ها :** YBCO ، $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$، فیبر ابررسانا، نانوفیبر ابررسانا، نانوفیبر سرامیکی، الکتروریسندگی، پذیرفتاری مغناطیسی ac.

یکی از روش‌های بسیار کارآمد برای ساخت نانوفیبرها روش الکتروریسندگی است. با ساخت اولین نانوفیبرسرامیکی در سال ۲۰۰۲ با این روش، افق جدیدی برای ساخت نانوفیبرهای سرامیکی از جمله نانوفیبرهای ابررساناهای دمای بالا باز شد. این روش به‌طورکلی شامل ۳ مرحله است: ۱) تهیه‌ی یک سل مناسب از پیش‌مواد غیرآلی و پلیمری ۲) الکتروریسندگی محلول و به‌دست آوردن فیبرهای ترکیبی۳) پخت فیبرهای به‌دست آمده در دمای مناسب. در این پایانامه، فیبرها و نانوفیبرهای ابررسانای $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$، به‌روش الکتروریسندگی ساخته شده‌اند. در اولین مرحله، ترکیب استوکیومتری از استات‌های ایتریم، باریم و مس به‌همراه پلی‌وینیل الکل(PVA) تهیه شد؛ سپس برای تولید نانوفیبرها، ترکیب پلیمر / استات به‌دست آمده الکتروریسندگی شد و در مرحله‌ی آخر، فیبرها درون کوره قرار داده شدند. فیبرهای تولید شده قبل و بعد از پخت، توسط آنالیز توزین حرارتی (DTA/TGA)، الگوی پراش اشعه‌ی ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و پذیرفتاری مغناطیسی ac مورد مطالعه قرار گرفتند. اثر پارامترهایی از قبیل غلظت محلول، دمای پخت ، بستر و دمای آون بر اندازه و ریخت‌شناسی فیبرهای تولید شده مورد مطالعه قرار گرفت. بررسی‌های انجام شده نشان دادند که محدوده‌ی غلظت بهینه‌ی الکتروریسندگی حدود ۷٫۲–۷٫۵ درصد است که در این محدوده قطر نانوفیبرها قبل از پخت حدود ۶۷۰–۷۲۰ nm شد. بعد از پخت نانوفیبرها در دمای ۹۳۰ ℃، اندازه‌ی نانوفیبرها، به‌دلیل تشکیل ساختار بلوری ابررسانا بزرگتر شدند و تبدیل به فیبرهای با قطر $\mu m$ ۳٫۷ شدند. همچنین وجود بستر در حفظ یا تخریب نانوفیبرهای موجود بر روی آن تأثیر بسیار زیادی داشت. میانگین قطر نانوفیبرهای YBCO تولید شده روی بستر Si حدود ۱۵۰ nm است و روی بستر نقره حدود $\mu m$ ٤٫٤ بود.

## پیش‌گفتار

در سال‌های اخیر، مطالعه‌ی مواد نانوساختاری به‌علت کاربردهای فرآوانی که دارند، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است؛ در این میان نانوساختارهای یک بعدی مانند نانومیله‌ها، نانوسیم‌ها و نانوفیبرها به‌دلیل استفاده از آن‌ها در نانوابزارها، از اهمیت بیشتری برخوردارند. یکی از روش‌های بسیار مناسب و کارآمد برای ساخت نانوفیبرهای سرامیکی، روش الکتروریسندگی است. از جمله مواد سرامیکی که با این روش مورد تحقیق قرار گرفته شده، ابررساناهای دمای بالای سرامیکی (HTSC) است. یکی از بیشترین مطالعاتی که در حوزه‌ی HTSC ها انجام شده، در مورد ابررسانای ($YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (YBCO است. در این پژوهش، ساخت فیبرها و نانوفیبرهای ابررسانای $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با محلول تهیه شده از استات‌های ایتریم، باریم، مس و پلی‌وینیل الکل (PVA)، پخت شده توسط الگوی گرمادهی مشخص، به‌روش الکتروریسندگی، مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است. در راستای این اهداف فصل اول این پایان‌نامه، شامل تاریخچه‌ی کوتاهی از ابررسانایی، معرفی ساختار بلوری ابررسانای $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ و تاریخچه‌ای از سیم‌ها، فیبرها و نانوفیبرهای این ابررسانا می‌باشد. در فصل دوم به معرفی نانوفیبرهای پلیمری و سرامیکی پرداخته شده است. در این فصل روش‌های ساخت این دسته از مواد نانومتری به‌ویژه روش الکتروریسندگی شرح داده شده است. فصل سوم به کارهای آزمایشگاهی انجام شده اختصاص دارد. در این فصل در مورد مواد شیمیایی و وسایل استفاده شده در این پژوهش، نحوه‌ی عملکرد دستگاه الکتروریسندگی، روش‌های مشخصه‌یابی فیبرها و نانوفیبرها و چگونگی ساخت آن‌ها توضیح داده شده است. در انتها، در فصل چهارم، اثر پارامترهایی از قبیل غلظت محلول، دمای پخت، بستر و دمای آون بر اندازه و ریخت‌شناسی فیبرهای تولید شده مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین با استفاده از دستگاه‌های پذیرفتاری مغناطیسی ac، XRD, SEM و TGA به بررسی ویژگی-های ساختاری، حرارتی، ریخت‌شناسی و خواص مغناطیسی فیبرها و نانوفیبرهای تولید شده پرداخته شده است. هم‌چنین در ادامه این فصل، به جمع‌بندی نتایج این پایان‌نامه و ارائه پیشنهادهایی جهت پژوهش‌های آینده پرداخته شده است.

# فهرست مطالب

## فصل اوّل : ابررسانایی


۱-۱ تاریخچه‌ی ابررسانایی ..... ۱

۱-۲ ابررسانای $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ..... ۳

۱-۲-۱ ساختار بلوری $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ..... ٤

۱-۲-۲ تأثیر ضریب اکسیژن بر ساختار ترکیب $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ..... ٦

۱-۳ تاریخچه‌ی سیم‌ها و فیبرهای ابررسانا ..... ۷

۱-۳-۱ روش پودر در لوله ..... ۸

۱-۳-۲ ریسندگی محلول و ریسندگی خشک ..... ۹

۱-۳-۳ لزوم ساخت نانوفیبرهای ابررسانا ..... ۱۰

۱-۳-٤ چرا نانوفیبر $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ؟ ..... ۱۱


## فصل دوّم : نانو فیبرها


۲-۱ تعریف ..... ۱٤

۲-۱-۱ فیبرها ..... ۱٤

۲-۱-۲ دسته‌بندی فیبرها ..... ۱٤

۲-۱-۳ نانوفیبرها ..... ۱۵

۲-۱-٤ نانوفیبرپلیمری ..... ۱۵

۲-۱-۵ پلیمرها ..... ۱۵

۲-۲ کاربردهای نانوفیبرهای پلیمری ..... ۱۵

۲-۳ روش‌های ساخت نانوفیبرهای پلیمری ..... ۱٦

۲-۳-۱ خودآرایی ..... ۱٦

۲-۳-۲ کششی ..... ۱۷

۲-۳-۳ جداسازی فازی ..... ۱۹

۲-۳-٤ الگوسازی ..... ۲۰

۲-۳-۵ الکتروریسندگی ..... ۲۱
۲-٤ بررسی پارامترهای مؤثر بر فرآیند الکتروریسندگی ..... ۲۵
۲-٤-۱ غلظت/ چسبندگی ..... ۲۵
۲-٤-۲ رسانندگی محلول ..... ۲٦
۲-٤-۳ کشش سطحی ..... ۲۷
۲-٤-٤ جرم مولکولی پلیمر ..... ۲۷
۲-٤-۵ آهنگ شار ..... ۲۸
۲-٤-٦ شدت میدان الکتریکی(ولتاژ اعمالی) ..... ۲۸
۲-٤-۷ فاصله‌ی بین نوک سرنگ تا جمع‌کننده ..... ۲۹
۲-٤-۸ طرح نوک سرنگ ..... ۲۹
۲-٤-۹ شکل وجنس جمع‌کننده ..... ۳۰
۲-٤-۱۰ شرایط محیطی (دما، رطوبت، جریان هوا) ..... ۳۱
۲-۵ نانوفیبرهای سرامیکی ..... ۳۲
۲-۵-۱ ساخت نانوفیبرهای سرامیکی ..... ۳۳
۲-۵-۲ کاربردهای نانوفیبرهای سرامیکی ..... ۳۵

## فصل سوم : کارهای آزمایشگاهی

مقدمه ..... ۳۹
۳-۱ مواد شیمیایی و تجهیزات مورد استفاده شده ..... ۳۹
۳-۱-۱ مواد شیمیایی ..... ۳۹
۳-۱-۱-۱ پلی‌وینیل الکل(PVA) ..... ۳۹
۳-۱-۱-۲ پیش‌مواد فیبرهای ابررسانای YBCO ..... ٤۰
۳-۱-۲ تجهیزات الکتروریسندگی فیبرها ..... ٤۱
۳-۱-۲-۱ پمپ سرنگی ..... ٤۱
۳-۱-۲-۲ منبع ولتاژ بسیار بالای DC ..... ٤۲
۳-۱-۲-۳ طراحی سیستم الکتروریسندگی ..... ٤۳
۳-۲ روش‌های مشخصه‌یابی در این پژوهش ..... ٤۵

۳-۲-۱ پذیرفتاری مغناطیسی *ac* ..... ٤٥
۳-۲-۲ میکروسکوپ الکترونی روبشی (*SEM*) ..... ٤٨
۳-۲-۳ آنالیز حرارتی *TGA/DTA* ..... ٤٨
۳-۲-۳-۱ آنالیز توزین حرارتی (TGA) ..... ٤٨
۳-۲-۳-۲ آنالیز حرارتی تفاضلی(DTA) ..... ٤٩
۳-۲-٤ پراش اشعه‌ی ایکس (*XRD*) ..... ٥٠
۳-۳ روش کار ..... ٥١
۳-۳-۱ تهیه‌ی یک سل مناسب ..... ٥١
۳-۳-۱-۱ تهیه‌ی محلول PVA ..... ٥١
۳-۳-۱-۲ تهیه‌ی محلول پلیمر/ استات‌ها ..... ٥٢
۳-۳-۲ الکتروریسندگی محلول و به‌دست آوردن فیبر ..... ٥٣
۳-۳-۳ پخت فیبرها ..... ٥٣
۳-٤ بررسی کارهای انجام شده در این زمینه ..... ٥٥

## فصل چهارم : بررسی و تحلیل کارهای آزمایشگاهی انجام شده

مقدمه ..... ٦١
٤-١ بررسی پارامتر غلظت محلول پلیمر / استات ..... ٦١
٤-٢ بررسی مشخصه‌یابی توزین حرارتی (TGA/DTA) ..... ٦٦
٤-٣ بررسی دماهای مختلف پخت توسط الگوی پراش اشعه‌ی ایکس (XRD ) ..... ٧١
٤-٤ بررسی فیبرهای ابررسانای ساخته شده در دمای ۹۳۰ ℃ ..... ٧٨
٤-٥ تحلیل مشخصه‌یابی پذیرفتاری مغناطیسی ac فیبرهای ابررسانا ..... ٨١
٤-٦ تلاش‌های انجام شده برای ساخت نانوفیبر ابررسانای $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ..... ٨٥
٤-٦-١ بررسی تأثیر دماهای مختلف آون بر ریخت‌شناسی نمونه‌ها بعد از پخت ..... ٨٥
٤-٦-٢ بررسی ریخت‌شناسی نانوفیبرها قبل و بعد از تشکیل کامل فاز *YBCO* ..... ٩١
٤-٦-٣ بررسی تأثیر حضور بسترهای مختلف در ساخت نانوفیبر *YBCO* ..... ٩٥
٤-٦-٤ بررسی تأثیر نسبت وزنی بین مخلوط استات و پلیمر خالص ($Ac/PVA$) در حضور بستر *Si* ..... ١٠١
نتیجه‌گیری ..... ١٠٤

پیشنهادات ..... ۱۰۶

مراجع ..... ۱۰۷

واژه‌نامه..... ۱۱۵

# فهرست شکل‌ها

## فصل اول: ابررسانایی

شکل (۱-۱) الف و ب) روش‌های نشان دادن ساختار بلوری پرووسکیت، روش(ب) حالت معمولی‌تری است ..... ٤

شکل (۱-۲) الف) ساختار ۳ پرووسکیت روی هم و تشکیل ساختار $YBa_2Cu_3O_9$، ب) کم کردن دو اتم اکسیژن و رسیدن به ساختار ایده‌آل ابررسانای $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$..... ٤

شکل (۱-۳) ساختار لایه‌ای $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$..... ٥

شکل (۱-٤) تک‌یاخته $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ..... ٥

شکل (۱-٥) دمای گذار ابررسانایی بر حسب غلظت اکسیژن در ساختار $YBa_2Cu_3O_{6+x}$ ..... ٦

شکل (۱-٦) طرحی از روش پودر در لوله ..... ٨

شکل (۱-۷) شماتیکی از روش‌های (a) ریسندگی محلول (b) ریسندگی خشک ..... ٩

## فصل دوّم : نانو فیبرها

شکل (۲-۱) دسته‌بندی انواع فیبرها ..... ۱۳

شکل (۲-۲) کاربردهای نانوفیبرهای پلیمری ..... ۱٤

شکل (۲-۳) روش‌های ساخت نانوفیبرهای پلیمری ..... ۱٥

شکل (۲-٤) مولکول PA شامل یک سر آب‌گریز و یک سر آب‌دوست است ..... ۱٦

شکل (۲-٥) نانوفیبرهای تولید شده به روش خودآرایی ..... ۱٦

شکل (۲-٦) یکی از روش‌های ساخت نانوفیبرهای پلیمری روش کششی است ..... ۱۷

شکل (۲-۷) نانوفیبری با قطر حدود کمتر از ٦۰nm و طول ٥۰cm تولید شده به‌روش کششی ..... ۱۷

شکل (۲-۸) (الف) طرحی از فناوری کششی خودکار، (ب) نانوفیبرهای تولید شده با این روش ..... ۱۷

شکل (۲-۹) الف) شماتیکی از روش جداسازی فازی، ب) تصویری از نانوفیبرهای تولید شده به این روش ..... ۱۸

شکل (۲-۱۰) مراحل ساخت نانوفیبرهای پلیمری از جنس پلی‌اکریلیک به‌روش الگوسازی ..... ۱۹

شکل (۲-۱۱) نانوفیبرهای تولید شده به‌روش الگوسازی، (الف) قبل و(ب) بعد از عملیات سل‌ژل ..... ۲۰

شکل (۲-۱۲) دستگاه الکتروریسندگی ..... ۲۰

شکل (۲-۱۳) طرحی از تشکیل مخروط تیلور (الف) بارهای القا شده‌ی ناشی از میدان الکتریکی، روی سطح محلول پلیمری قرار می‌گیرند، (ب) کشیدگی قطره‌ی معلق به‌علت حضور در میدان الکتریکی، (ج) تغییر شکل قطره‌ی معلق به‌صورت مخروط تیلور؛ به‌علت نیروی دافعه‌ی بارهای القا شده در نوک مخروط تیلور یک جت اولیه تشکیل می‌شود ..... ۲۱

شکل (۲-۱٤) تصویری از مخروط تیلور تشکیل شده در نوک سرنگ ..... ۲۲

شکل (۲-۱۵) طرحی از مسیر جت ریسندگی ..... ۲۲

شکل (۲-۱٦) افزایش غلظت باعث کاهش نواقص دانه تسبیحی می‌شود ..... ۲۵

شکل (۲-۱۷) با استفاده از سرنگ‌های هم‌مرکز می‌توان فیبرهای توخالی تولید کرد ..... ۲۹

شکل (۲-۱۸) (۱) دیسک چرخان با لبه تیز، (۲) جمع‌کننده صفحه‌ای، (۳) جمع کننده‌های استوانه‌ای چرخان، (٤) صفحات باردار موازی ..... ۳۰

شکل (۲-۱۹) تعداد انتشارات در حوزه‌ی الکتروریسندگی در سال‌های اخیر ..... ۳۱

شکل (۲-۲۰) مراحل مختلف تهیه‌ی نانوفیبرهای سرامیکی ..... ۳۲

شکل (۲-۲۱) نانوفیبر سرامیکی در مراحل مختلف ساخت ..... ۳۳

شکل (۲-۲۲) آمار مقاله‌های منتشر شده از کاربردهای نانوفیبرهای سرامیکی الکتروریسندگی شده بین سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۱۲ ..... ۳٤

## فصل سوم : کارهای آزمایشگاهی

شکل (۳-۱) ساختار پلی‌وینیل الکل ..... ۳۹

شکل (۳-۲) پمپ سرنگی مورد استفاده در این پژوهش ..... ٤۱

شکل (۳-۳) منبع ولتاژ بسیار بالای DC مورد استفاده در این پژوهش. ..... ٤۲

شکل (۳-٤) دستگاه الکتروریسندگی استفاده شده در این پژوهش ..... ٤٢

شکل (۳-٥) برای دور کردن پمپ سرنگی از منبع ولتاژ بسیار بالا از قسمتی از ستسرم بهطول ٤٠cm استفاده شد .٤٤

شکل (۳-٦) قسمت اصلی دستگاه مغناطیس‌سنج ac..... ٤٥

شکل (۳-۷) نمای کاملتری دستگاه مغناطیس‌سنج ac..... ٤٦

شکل (۳-۸) نمونه‌ای از منحنی‌های آنالیز توزین حرارتی و مشتق توزین حرارتی ..... ٤٨

شکل (۳-۹) نمونه‌ای از یک منحنی آنالیز حرارتی تفاضلی (DTA)..... ٤٩

شکل (۳-۱۰) نمودار پخت فیبرهای $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ..... ٥٣

شکل (۳-۱۱) تصویر نمونه، (الف) قبل و (ب) بعد از پخت ..... ٥٣

شکل (۳-۱۲) نمای کلی ساخت فیبرهای سرامیکی $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ به روش الکتروریسندگی ..... ٥٤

## فصل چهارم : بررسی و تحلیل کارهای آزمایشگاهی انجام شده

شکل (٤-۱) تصویر SEM فیبرهای الکتروریسندگی شدهی با غلظت ٥٪ وزنی پلیمر بههمراه نمودار درصد توزیع قطر فیبرها ..... ٦١

شکل (٤-۲) تصویر SEM فیبرهای الکتروریسندگی شدهی با غلظت ٦٪ وزنی پلیمر بههمراه نمودار درصد توزیع قطر فیبرها ..... ٦١

شکل (٤-۳) تصویر SEM فیبرهای الکتروریسندگی شدهی با غلظت ۷٪ وزنی پلیمر بههمراه نمودار درصد توزیع قطر فیبرها ..... ٦٢

شکل (٤-٤) تصویر SEM فیبرهای الکتروریسندگی شدهی با غلظت ۷٫۲٪ وزنی پلیمر بههمراه نمودار درصد توزیع قطر فیبرها ..... ٦٢

شکل (٤-٥) تصویر SEM فیبرهای الکتروریسندگی شدهی با غلظت۷٫٥٪ وزنی پلیمر بههمراه نمودار درصد توزیع قطر فیبرها ..... ٦٣

شکل (٤-٦) تصویر SEM فیبرهای الکتروریسندگی شدهی با غلظت ۱۰٪ وزنی پلیمر بههمراه نمودار درصد توزیع قطر فیبرها ..... ٦٣

شکل (٤-۷) نمودار میانگین قطر فیبرها برحسب غلظت محلول پلیمر/ استات ..... ٦٤

شکل (٤-٨) نمودار آنالیز حرارتی فیبرهای PVA خالص ..... ٦٦
شکل (٤-٩) نمودار آنالیز حرارتی فیبرهای ترکیبی پلیمر / استات ..... ٦٧
شکل (٤-١٠) نمودار آنالیز حرارتی فیبرهای ترکیبی پلیمر / استات و پلیمر خالص روی‌هم ..... ٦٨
شکل (٤-١١) منحنی DTA فیبرهای ترکیبی پلیمر / استات ..... ٦٩
شکل (٤-١٢) الگوی پراش اشعه ایکس مربوط به فیبرهای تولید شده در دمای ℃ ٧٠ ..... ٧٢
شکل (٤-١٣) الگوی پراش اشعه ایکس مربوط به فیبرهای تولید شده در دمای ℃ ٣٠٠ ..... ٧٢
شکل (٤-١٤) الگوی پراش اشعه ایکس مربوط به فیبرهای تولید شده در دمای ℃ ٤٠٠ ..... ٧٣
شکل (٤-١٥) الگوی پراش اشعه ایکس مربوط به فیبرهای تولید شده در دمای ℃ ٥٠٠ ..... ٧٣
شکل (٤-١٦) الگوی پراش اشعه ایکس مربوط به فیبرهای تولید شده در دمای ℃ ٧٠٠ ..... ٧٤
شکل (٤-١٧) الگوی پراش اشعه ایکس مربوط به فیبرهای تولید شده در دمای ℃ ٨٠٠ ..... ٧٤
شکل (٤-١٨) الگوی پراش اشعه ایکس مربوط به فیبرهای تولید شده در دمای ℃ ٩٠٠ ..... ٧٥
شکل (٤-١٩) الگوی پراش اشعه ایکس مربوط به فیبرهای تولید شده در دمای ℃ ٩٣٠ ..... ٧٥
شکل (٤-٢٠) الگوی پراش اشعه ایکس مربوط به فیبرهای تولید شده در دماهای ٧٠، ٣٠٠، ٤٠٠، ٥٠٠، ٧٠٠، ٨٠٠ و ٩٣٠ درجه سانتی‌گراد ..... ٧٦
شکل (٤-٢١) نمودار میانگین اندازه‌ی ریزبلورک‌ها برحسب دمای پخت ..... ٧٧
شکل (٤-٢٢) الگوی پراش اشعه ایکس مربوط به نمونه‌ی حجمی تولید شده در دمای ℃ ٩٣٠ ..... ٧٨
شکل (٤-٢٣) تصویر SEM فیبرهای الکتروریسندگی شده‌ی بعد از پخت در دمای ℃ ٩٣٠ ..... ٧٩
شکل (٤-٢٤) نمودار درصد توزیع الف) قطر ب) طول فیبرها ..... ٧٩
شکل (٤-٢٥) منحنی پذیرفتاری مغناطیسی ac فیبرهای ابررسانای YBCO ..... ٨٢
شکل (٤-٢٦) قسمت حقیقی منحنی پذیرفتاری مغناطیسی با وضوح بیشتر ..... ٨٢
شکل (٤-٢٧) مشتق قسمت حقیقی منحنی پذیرفتاری مغناطیسی ..... ٨٣
شکل (٤-٢٨) تصویر نانوفیبرهای تولید شده الف) بعد از الکتروریسندگی، ب) بعد از خشک کردن در دمای ℃ ٧٠ ، ج)℃ ١٠٠، د) ℃ ١٢٠، ه)℃ ١٤٠ و و) ℃ ١٦٠ به‌مدت ١٢ ساعت ..... ٨٤

شکل (٤-٢٩) تصویر SEM بعد از پخت فیبرهای خشک شده در دمای ℃ ٧٠ به‌مدت ١٢ ساعت .....٨٥
شکل (٤-٣٠) تصویر SEM بعد از پخت فیبرهای خشک شده در دمای ℃ ٧٠ با بزرگنمایی بیشتر .....٨٥
شکل (٤-٣١) تصویر SEM بعد از پخت فیبرهای خشک شده در دمای ℃ ١٠٠ به‌مدت ١٢ ساعت .....٨٦
شکل (٤-٣٢) تصویر SEM بعد از پخت فیبرهای خشک شده در دمای ℃ ١٠٠ با بزرگنمایی بیشتر .....٨٦
شکل (٤-٣٣) تصویر SEM بعد از پخت فیبرهای خشک شده در دمای ℃ ١٢٠ به‌مدت ١٢ ساعت .....٨٧
شکل (٤-٣٤) تصویر SEM بعد از پخت فیبرهای خشک شده در دمای ℃ ١٢٠ با بزرگنمایی بیشتر .....٨٧
شکل (٤-٣٥) تصویر SEM بعد از پخت فیبرهای خشک شده در دمای ℃ ١٤٠ به‌مدت ١٢ ساعت .....٨٨
شکل (٤-٣٦) تصویر SEM بعد از پخت فیبرهای خشک شده در دمای ℃ ١٤٠ با بزرگنمایی بیشتر .....٨٨
شکل (٤-٣٧) تصویر SEM بعد از پخت فیبرهای خشک شده در دمای ℃ ١٦٠ به‌مدت ١٢ ساعت .....٨٩
شکل (٤-٣٨) تصویر SEM بعد از پخت فیبرهای خشک شده در دمای ℃ ١٦٠ با بزرگنمایی بیشتر .....٨٩
شکل (٤-٣٩) تصویر SEM نانوفیبرها بعد از الکتروریسندگی به‌همراه نمودار درصد توزیع قطر فیبرها .....٩٠
شکل (٤-٤٠) تصویر SEM نانوفیبرها بعد از پخت در دمای ℃ ٨٠٠ به‌همراه نمودار درصد توزیع قطر فیبرها .....٩١
شکل (٤-٤١) تصویر SEM نانوفیبرها بعد از پخت در دمای ℃ ٨٠٠ با نمای کلی‌تر .....٩١
شکل (٤-٤٢) تصویر SEM فیبرها بعد از پخت در دمای ℃ ٩٣٠.....٩٢
شکل (٤-٤٣) تصویر SEM فیبرها بعد از پخت در دمای ℃ ٩٣٠ با بزرگنمایی بیشتر .....٩٢
شکل(٤-٤٤) بسترهای Si روی ورقه‌ی Al (الف) قبل از الکتروریسندگی،(ب) ١٥ دقیقه بعد از الکتروریسندگی .....٩٤
شکل (٤-٤٥) تصویر SEM نانوفیبرها روی بستر آلومینیوم بعد از پخت در دمای ℃ ٩٣٠.....٩٦
شکل (٤-٤٦) تصویر SEM نانوفیبرها روی بستر آلومینیوم بعد از پخت در دمای ℃ ٩٣٠ با بزرگنمایی بیشتر .....٩٦
شکل (٤-٤٧) تصویر SEM نانوفیبرها روی بستر سیلیکون بعد از پخت در دمای ℃ ٩٣٠ به‌همراه نمودار درصد توزیع قطر فیبرها .....٩٧
شکل (٤-٤٨) تصویر SEM نانوفیبرها روی بستر سیلیکون بعد از پخت در دمای ℃ ٩٣٠ با بزرگنمایی بیشتر .....٩٧
شکل (٤-٤٩) تصویر SEM نانوفیبرها روی بستر نقره بعد از پخت در دمای ℃ ٩٣٠ به‌همراه نمودار درصد توزیع قطر فیبرها .....٩٨

شکل (٤-٥٠) تصویر SEM نانوفیبرها روی بستر نقره بعد از پخت در دمای ℃ ٩٣٠با نمای کلی‌تر .....٩٨

شکل (٤-٥١) تصویر SEM نانوفیبرها، بعد از پخت در دمای ℃ ٩٣٠ با نسبت $\frac{\text{Ac}}{\text{PVA}} = ٢$ به‌همراه نمودار درصد توزیع قطر فیبرها ..... ١٠٠

شکل (٤-٥٢) تصویر SEM نانوفیبرها، بعد از پخت در دمای ℃ ٩٣٠ با نسبت $\frac{\text{Ac}}{\text{PVA}} = ٢$ با نمای کلی‌تر ..... ١٠١

شکل (٤-٥٣) تصویر SEM نانوفیبرها، بعد از پخت در دمای ℃ ٩٣٠ با نسبت $\frac{\text{Ac}}{\text{PVA}} = ١$ به‌همراه نمودار درصد توزیع قطر فیبرها ..... ١٠١

شکل (٤-٥٤) تصویر SEM نانوفیبرها، بعد از پخت در دمای ℃ ٩٣٠ با نسبت $\frac{\text{Ac}}{\text{PVA}} = ١$ با نمای کلی‌تر ..... ١٠٢

# فهرست جداول

## فصل اوّل : ابررسانایی

جدول (۱-۱) برندگان جایزه‌ی نوبل در حوزه‌ی ابررسانایی ..... ۲

جدول (۱-۲) مقادیر a و b و c مربوط به ترکیب YBCO در فاز اورتورومبیک و تتراگونال ..... ۷

## فصل دوّم : نانو فیبرها

جدول (۲-۱) مزایا و معایب روش‌های مختلف ساخت نانوفیبر پلیمری ..... ۲۳

جدول (۲-۲) پارامترهای مؤثر بر فرآیند الکتروریسندگی ..... ۲٤

جدول (۲-۳) تعدادی از نانوفیبرهای سرامیکی ساخته شده به‌روش الکتروریسندگی ..... ۳۵

## فصل سوم : کارهای آزمایشگاهی

جدول (۳-۱) خواص مواد شیمیایی استفاده شده در این پژوهش ..... ٤۰

جدول (۳-۲) خلاصه‌ای از تمام مقالات کار شده در رابطه با ساخت نانوفیبر ابررسانای YBCO به‌روش الکتروریسندگی ..... ۵۵

## فصل چهارم : بررسی و تحلیل کارهای آزمایشگاهی انجام شده

جدول (٤-۱) داده‌های مربوط به اندازه‌ی میانگین قطر فیبرها و وضعیت ریخت‌شناسی آن‌ها ..... ٦٤

جدول (٤-۲) فازهای شناسایی شده در فیبرهای پلیمر / استات پخته شده در دماهای مختلف ..... ۷۱

جدول (٤-۳) اندازه متوسط بلورک‌ها و ثابت شبکه نمونه‌ها در دماهای ۸۰۰، ۹۰۰ و ۹۳۰ درجه سانتی‌گراد ..... ۷۷

جدول (٤-٤) اندازه متوسط بلورک‌ها و ثابت شبکه‌ی نمونه‌ی حجمی و فیبر پخت شده در دمای ۹۳۰ ℃ ..... ۸۰

جدول (٤-۵) مقادیر $T_C$، $T_P$، $T_{Cj}$ مربوط به نمودار پذیرفتاری مغناطیسی ..... ۸۱

جدول (٤-٦) رسانندگی الکتریکی و دمای ذوب بسترها ..... ۹۵

# فصل اوّل

## ابررسانایی