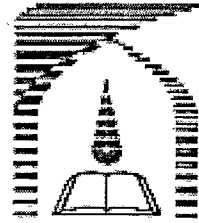




۱۰۲۶۵۱



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده علوم پایه

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد فیزیک (اتمی و مولکولی)

ساخت و مشخصه یابی سرامیک های پیزوالکتریک PZT
با ابعاد نانویی و میکرونی با استفاده از SEM و XRD
و طیف سنجی RAMAN

نگارش:

روح اله تقوی مندی

اساتید راهنما:

دکتر رسول ملک فر

دکتر سید محمد حسینی



۱۳۸۷ / ۷ / ۱۷

تیرماه ۸۷

۱۰۲۶۵۱

بسمه تعالی



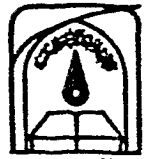
دانشکده علوم پایه

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

اعضای هیات داوران نسخه نهایی پایان نامه آقای روح اله تقوی مندی رشته فیزیک (اتمی مولکولی) تحت عنوان: «ساخت و مشخصه یابی سرامیک های پیزوالکتریک PZT با ابعاد نانویی و میکرونی با استفاده از XRD و SEM طیف سنجی رامان» از نظر فرم و محتوا بررسی نموده و آنرا برای اخذ درجه کارشناسی ارشد مورد تأیید قرار دادند.

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر رسول ملک فر	دانشیار	
۲- استاد راهنما دوم	دکتر سید محمد حسینی	استاد	۱۷، ۴/۵
۳- استاد ناظر داخلی	دکتر احمد یزدانی	دانشیار	
۴- استاد ناظر خارجی	دکتر رضا ثابت داریانی	دانشیار	
۵- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر احمد یزدانی	دانشیار	

۱۵۲۶۵۱



بسمه تعالی

آیین‌نامه چاپ پایان‌نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲ در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:
«کتاب حاضر، حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد / رساله دکتری نگارنده در رشته فیزیک است که در سال ۸۷ در دانشکده علوم پایه دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم / جناب آقای دکتر سید محمد حسینی، مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر سید محمد حسینی و مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر سید محمد حسینی از آن دفاع شده است.»

ماده ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴ در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵ دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده ۶ اینجانب روح‌الله مهدی مهدی دانشجوی رشته فیزیک امی دینوری مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی: روح‌الله مهدی مهدی

تاریخ و امضا: ۱۷/۹/۲۵

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان‌نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه / رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشند. تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه / رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آیین‌نامه‌های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم ،

که همواره برایم در زندگی بهترین نمونه

تلاش

و

اخلاق

و

مهربانی اند

همسر مهربانم ،

که همواره در زندگی و تحصیل بهترین

حامی

و

پشتیبانم است

تشکر و قدردانی

سپاس خدایی را که به انسان فرصت آموختن داد و کسب فهم را بر عهده اش وا گذاشت. سپاسگذارم از تمام کسانی که زمینه یادگیری و تعلم را از ابتدای زندگی تاکنون فراهم کردند و هر یک درسی از زندگی را برایم خواندند.

و امروز که فرصتی پیش آمد تا من نیز گام کوچکی در راه پژوهشی علمی بردارم، لازم می دانم تا از تمام کسانی که مرا در این امر یاری کردند تقدیر و تشکر کنم. در ابتدا می بایست از زحمات بی شائبه خانواده خود که در سالهای تحصیل و مخصوصا در این سالها پشتوانه و مشوق من در فعالیتهای علمی ام بوده اند، تشکر نمایم و همچنین از حمایت های بی دریغ اساتید راهنمای خود جناب آقای دکتر رسول ملک فر و جناب آقای دکتر سید محمد حسینی که محیطی علمی و بی دغدغه را برای انجام تحقیقات و پژوهش های ما فراهم کردند تقدیر می نمایم. همچنین از سایر اساتید بخش فیزیک دانشگاه تربیت مدرس از جمله جناب آقایان دکتر ابوالحسنی، دکتر یزدانی و دکتر عباسی که زحمت تعلیم برخی از دروس را بر عهده داشتند سپاسگذارم. همچنین از دوستان خویم در آزمایشگاه فیزیک دانشگاه تربیت مدرس و دانشگاه فردوسی مشهد که محیطی علمی و دوستانه برای انجام فعالیت ها و پروژه های تحقیقاتی فراهم کردند تشکر می کنم بخصوص جناب آقای علی خرسند زاک و امیر زلتی که همراه اصلی من در اجرای این پروژه بودند؛ و نیز دوستان خویم آقایان: حمید مقدم دیمه، محسن زراعتی، نسیم محمدیان، سعید عربگری، علی شیرپایی، ابوالفضل جلالیان و....

که همیشه با همکاری خود کاستی ها اینجانب را جبران می نمودند نیز کمال تشکر را دارم.

چکیده

در این پایان نامه ابتدا به معرفی سرامیکهای **PZT** به عنوان یکی از مهم ترین سرامیک های پیزوالکتریک پرداخته و آخرین مطالعات صورت گرفته بر روی این ماده در مرز مورفوتروپیک را بررسی نموده، و روی دیاگرام فاز آن بحث می کنیم. آن گاه روشهای ساخت این سرامیک ها را معرفی نموده و دو روش برهم کنش حالت جامد (سنتی) برای ساخت نمونه های میکرونی و روش محلولی ژله ای (سل ژل) را برای ساخت نمونه های نانویی را به طور کامل شرح می دهیم. به کمک روش اول می توانیم نمونه های **PZT** خالص و نمونه های **PZT** با آلیس **Nb** و **Y** و **Nb + Y** با درصدهای وزنی ۰.۰۱ و ۰.۰۱۵ و ۰.۰۲ و ۰.۰۳ را تولید می کنیم. دمای تکلیس در این روش بالاتر از 1000°C می باشد. در این دما سرب که یک ماده اصلی است تبخیر شده و از ماده فرار می کند. لذا بدلیل این دمای بالا مشکلاتی دارد، بنابراین تا جایی که ممکن است باید تولید **PZT** در دمای تکلیس پایین صورت گیرد. فرایند گرمادهی پایین در ساخت سرامیک منجر به تشکیل پودرهای پیش ماده ریز همراه با همگنی بالای ترکیبات مخلوط شده می شود که ما این کار را به کمک روش محلولی ژله ای (سل ژل) انجام دادیم و پودر **PZT** را در ابعاد نانو تولید نمودیم که روشی به مراتب جدیدتر از روش سنتی است. به کمک این روش نمونه های **PZT** بدون آلیس را در دو دمای 550°C و 650°C تکلیس کردیم. روش سل ژل مورد استفاده در این پایان نامه بدلیل سادگی روش، همگنی بالا، اندازه نانویی **PZT** و دمای پایین تشکیل ساختار پروسکایت **PZT** با درصد بالا، رغبت و انگیزه خاصی برای تولید **PZT** ایجاد می کند.

در انتها روش های تعیین مشخصات مواد را طبقه بندی می کنیم و با کمک الگوهای پراش **XRD**، تصاویر **SEM** و طیف سنجی رامان به مشخصه یابی سرامیک های پیزوالکتریک **PZT** پرداخته و روی نتایج بدست آمده از آن ها بحث می کنیم. نکته قابل توجه و مهم تایید نتایج **SEM** و **XRD** به کمک نتایج حاصل از طیف سنجی رامان می باشد.

کلمات کلیدی : **PZT**، پیزوالکتریک، فروالکتریک، تترائگونال، رومبوهدرال، مرز فاز مورفوتروپیک، پروسکایت، دیاگرام فاز، آلیس، Nb_2O_5 ، Y_2O_3 ، روش برهم کنش حالت جامد، روش محلولی ژله ای **SEM**، **XRD**، طیف سنجی رامان

فصل اول: سرامیک ها

۲	..... مقدمه
۳	..... ۱-۱ سرامیک چیست؟
۴	..... ۲-۱ فرآورده های سرامیک
۶	..... ۱-۲-۱ احیاءگری مکانیکی با سرمت در نگهداری و تعمیر تجهیزات
۷	..... ۳-۱ انواع سرامیک ها
۷	..... ۱-۳-۱ سرامیک های سنتی
۷	..... ۲-۳-۱ سرامیک های پیشرفته یا جدید
۹	..... ۴-۱ کاربردها
۹	..... ۱-۴-۱ طرحهای مکانیکی با سرامیک ها
۱۰	..... ۲-۴-۱ ابزارهای برش سرامیکی
۱۰	..... ۳-۴-۱ عایق گذاری سفینه های فضایی
۱۰	..... ۴-۴-۱ سرامیک ها در راکتورهای هسته ای
۱۱	..... ۵-۱ الکتروسرامیک ها
۱۱	..... ۱-۵-۱ رساناها
۱۱	..... ۲-۵-۱ مقاومت ها
۱۱	..... ۳-۵-۱ دی الکتریک ها
۱۲	..... ۴-۵-۱ ابررساناها
۱۳	..... ۵-۵-۱ فریت ها
۱۳	..... ۶-۵-۱ ترمیستورها
۱۴	..... ۷-۵-۱ ورستورها
۱۵	..... ۸-۵-۱ فروالکتریک ها
۱۷	..... ۹-۵-۱ پیروالکتریک ها
۱۸	..... ۱۰-۵-۱ پیزوالکتریک ها

فصل دوم: پدیده پیزو الکتریسیته

۲۰	..... مقدمه
۲۱	..... ۱-۲ کشف سرامیک های فروالکتریک

۲۲	..... ۲-۲ اساس پیزوالکتریسیته در مواد
۲۷	..... ۳-۲ روابط پیزوالکتریسیته
۲۸	..... ۱-۳-۲ ثابت d
۲۹	..... ۲-۳-۲ ثابت g
۲۹	..... ۳-۳-۲ ثابتهای دی الکتریک
۳۰	..... ۴-۳-۲ ظرفیت خازنی قطعه
۳۰	..... ۵-۳-۲ ضرایب جفت شدگی الکترومکانیکی
۳۱	..... ۶-۳-۲ مدولهای یانگ
۳۱	..... ۷-۳-۲ دمای کوری
۳۲	..... ۴-۲ کاربردهای مواد پیزوالکتریک
۳۲	..... ۱-۴-۲ جرقه زن
۳۲	..... ۲-۴-۲ صافی‌ها
۳۳	..... ۳-۴-۲ مبدل‌های آلتراسونیک

فصل سوم: ساخت سرامیک‌های پیزوالکتریک PZT

۳۶	..... مقدمه
۳۷	..... ۱-۳ خواص سیستم PZT
۳۸	..... ۱-۱-۳ دیاگرام فاز
۴۰	..... ۲-۳ بررسی عوامل موثر بر پارامترهای سرامیک PZT
۴۰	..... ۱-۲-۳ اثر فرار سرب
۴۱	..... ۲-۲-۳ اثر دانه‌ها
۴۱	..... ۳-۲-۳ اثر ناخالصی‌های ناخواسته و تخلخل
۴۱	..... ۴-۲-۳ اثر افزودنی‌ها
۴۲	..... ۱-۴-۲-۳ افزودنی‌های Nb_2O_5 و Y_2O_3
۴۲	..... ۳-۳ ساخت سرامیک‌های پیزوالکتریک (PZT)
	..... ۱-۳-۳ ساخت سرامیک‌های PZT به روش برهم کنش حالت جامد (روش سنتی)
۴۲	..... در ابعاد میکرون
۴۳	..... ۱-۱-۳-۳ تهیه فرمولاسیون و انتخاب مواد اولیه
۴۵	..... ۲-۱-۳-۳ مخلوط کردن مواد اولیه
۴۵	..... ۳-۱-۳-۳ تکلیس کردن

۴۸	..... آسیاب کاری و دانه‌بندی ترکیب حاصل ۴-۱-۳-۳
۴۹	..... شکل دادن و قالب زدن ۵-۱-۳-۳
۵۰	..... تفجوشی یا سینترینگ ۶-۱-۳-۳
۵۱	..... ساخت سرامیکهای PZT در ابعاد نانو ۲-۳-۳
۵۱	..... فناوری نانو ۱-۲-۳-۳
۵۲	..... ذرات نانویی ۲-۲-۳-۳
۵۲	..... کاربردهای ذرات نانویی ۳-۲-۳-۳
۵۳	..... روش های ساخت ۴-۲-۳-۳
۵۳	..... روش شیمیایی محلولی - ژله ای ۵-۲-۳-۳
	..... ساخت سرامیک های PZT به روش محلولی- ژله ای (سل ژل) ۶-۲-۳-۳
۵۶	..... در ابعاد نانویی

فصل چهارم: مشخصه یابی سرامیک های پیزوالکتریک PZT به کمک XRD , SEM و

طیف سنجی رامان

۶۶	..... مقدمه
۶۷	..... ۱-۴ طبقه بندی روش های تعیین مشخصات مواد
۶۷	..... ۱-۴-۱ طبقه بندی روش های تعیین مشخصات مواد بر اساس نحوه عملکرد
۶۷	..... ۱-۴-۱-۱ روش های میکروسکوپی
۶۷	..... ۱-۴-۱-۲ روش های بر اساس پراش
۶۷	..... ۱-۴-۱-۳ روش های طیف سنجی
۶۹	..... ۱-۴-۱-۴ طیف سنجی جرمی
۷۰	..... ۱-۴-۲ طبقه بندی تجهیزات شناسایی بر مبنای خاصیت فیزیکی مورد اندازه گیری
۷۱	..... ۱-۴-۳ طبقه بندی روش های تعیین مشخصات بر اساس ماهیت شناسایی
۷۳	..... ۱-۴-۴ اهداف تجزیه و تحلیل نمونه ها
۷۴	..... ۲-۴ طبقه بندی شبکه های براوه و ساختارهای بلوری
۷۴	..... ۲-۴-۱ شمارش هفت سامانه بلوری و چهارده شبکه براوه
۷۵	..... ۲-۴-۲ گروه های نقطه ای بلورنگاری و گروه های فضایی
۷۷	..... ۲-۴-۳ نام گذاری گروه نقطه ای
۷۷	..... ۲-۴-۳-۱ نام گذاری شوئنفلایز برای گروه های نقطه ای بلورشناسی غیر مکعبی
۷۷	..... ۲-۴-۳-۲ نام گذاری شوئنفلایز برای گروه های نقطه ای بلورشناسی مکعبی

۷۹	..... (XRD) X پراش اشعه
۷۹	..... ۱-۳-۴ تولید خطوط طیفی پرتو X
۸۰	..... ۲-۳-۴ پراش پرتو X
۸۳	..... ۳-۳-۴ الگوی پراش نمونه های PZT ساخته شده به روش سنتی
۸۴	..... ۱-۳-۳-۴ بررسی اثر افزودنی Nb_2O_5 بر روی ساختار PZT بوسیله پراش X
۸۷	..... ۲-۳-۳-۴ بررسی اثر افزودنی Y_2O_3 بر روی ساختار PZT بوسیله پراش X
	..... ۳-۳-۳-۴ بررسی اثر افزودنی های Nb_2O_5 و Y_2O_3 بر روی ساختار PZT بوسیله
۹۰	..... پراش X
	..... ۴-۳-۴ بررسی الگوهای پراش اشعه X نمونه های نانوپودر PZT تولید شده
۹۳	..... به روش محلولی ژله ای
	..... ۱-۴-۳-۴ بررسی اثر دمای تکلیس بر روی ساختار بلوری نمونه ها و میزان
۹۳	..... فاز پروسکایت با کمک XRD
۹۷	..... ۲-۴-۳-۴ الگوی پراش XRD و اندازه گیری اندازه دانه بلوری
۹۹	..... ۴-۴ میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM
	..... ۱-۴-۴ بررسی اثر افزودن آلایش بر روی اندازه دانه ها در سرامیک های PZT ساخته شده
۱۰۳	..... به روش برهم کنش حالت جامد
	..... ۲-۴-۴ بررسی اثر دمای تکلیس بر روی دانه ها در پودر های PZT ساخته شده
۱۱۴	..... به روش محلولی ژله ای
۱۱۶	..... ۵-۴ طیف سنجی رامان
۱۱۶	..... ۱-۵-۴ طیف سنجی خطی رامان
۱۱۹	..... ۲-۵-۴ طیف سنجی غیر خطی رامان
۱۲۰	..... ۳-۵-۴ اثر رامان از دیدگاه نظریه کلاسیکی
۱۲۲	..... ۴-۵-۴ پدیده رامان از دیدگاه نظریه کوانتومی
۱۲۴	..... ۵-۵-۴ رابطه طیف سنجی رامان با قطبش پذیری و تقارن مولکول
۱۲۴	..... ۶-۵-۴ اهمیت طیف سنجی رامان
۱۲۶	..... ۷-۵-۴ دستگاه طیف سنج رامان در دمای اتاق
۱۲۸	..... ۸-۵-۴ مطالعه مدهای فونونی رامان برای فازهای مختلف سرامیک های PZT
	..... ۹-۵-۴ تحلیل طیف رامان نمونه های PZT میکرونی ساخته شده
۱۳۳	..... به روش بر همکنش حالت جامد

۱۳۴	۱-۹-۵-۴ بررسی اثر افزودنی Nb_2O_5 بر روی ساختار PZT با کمک طیف سنجی رامان
۱۳۷	۲-۹-۵-۴ بررسی اثر افزودنی Y_2O_3 بر روی ساختار PZT با کمک طیف سنجی رامان
	۳-۹-۵-۴ بررسی اثر افزودنی های Y_2O_3 و Nb_2O_5 بر روی ساختار PZT با کمک
۱۳۹	..... طیف سنجی رامان
۱۴۱	۱۰-۵-۴ تحلیل طیف رامان نمونه های PZT نانویی ساخته شده به روش محلولی ژله ای ...
	۱-۱۰-۵-۴ بررسی اثر دمای تکلیس بر روی ساختار بلوری نمونه ها با کمک
۱۴۳	..... طیف سنجی رامان

فصل پنجم: نتایج و پیشنهادات

۱۴۵	..... مقدمه
۱۴۶	۱-۵ جمع بندی نتایج
۱۴۶	..... ۱-۱-۵ جمع بندی نتایج حاصل از فرایند ساخت
۱۴۶	..... ۲-۱-۵ جمع بندی نتایج SEM نمونه ها
۱۴۶	..... ۳-۱-۵ جمع بندی نتایج XRD در مورد ساختار نمونه ها
۱۴۸	..... ۴-۱-۵ نتایج طیف سنجی رامان
۱۵۰	..... ۲-۵ پیشنهادات

۸	جدول ۱-۱: مثال هایی از کاربرد ها، زمینه های کاربرد و خواص سرامیک های جدید
۳۴	جدول ۱-۲: کاربرد هایی از مواد پیزوالکتریک
۴۴	جدول ۱-۳: مشخصات مربوط به پودرهای PZT با افزودنی Y_2O_3
۴۴	جدول ۲-۳: مشخصات مربوط به پودرهای PZT با افزودنی Nb_2O_5
۴۴	جدول ۳-۳: مشخصات مربوط به پودرهای PZT به همراه افزودنی های Nb_2O_5 و Y_2O_3
۵۶	جدول ۴-۳: مواد اولیه مورد نیاز به صورت جامد و مقادیر مورد نیاز آن ها
۵۶	جدول ۵-۳: مواد اولیه مورد نیاز به صورت مایع و مقادیر مورد نیاز آن ها
۶۸	جدول ۱-۴: انواع انتقالات انرژی در نواحی مختلف طیف الکترومغناطیسی
۷۰	جدول ۲-۴: طبقه بندی روش های آنالیز برمینای خاصیت فیزیکی مورد اندازه گیری
۷۵	جدول ۳-۴: گروه های نقطه ای و فضایی شبکه های براوه و ساختارهای بلوری
۷۸	جدول ۴-۴: گروه های نقطه ای بلورنگاری غیر مکعبی
	جدول ۵-۴: اطلاعات بدست آمده از الگوهای پراش اشعه ایکس نمونه نانوپودر PZT
۹۵	ساخته شده به روش محلولی ژله ای و تکلیس شده در دمای $550^\circ C$
	جدول ۶-۴: اطلاعات بدست آمده از الگوهای پراش اشعه ایکس نمونه نانوپودر PZT
۹۶	ساخته شده به روش محلولی ژله ای و تکلیس شده در دمای $650^\circ C$
۱۳۰	جدول ۷-۴: مدهای اپتیکی A_1 و E برای ساختار $PbZr_{1-x}Ti_xO_3$

شکل ۱-۱: ریز ساختار یک سرامیک الکترونیکی	۴
شکل ۲-۱: احیاءگری مکانیکی با سرمت در نگهداری و تعمیر تجهیزات	۶
شکل ۳-۱: رفتار حلقه پسماند مغناطیسی برای فریتهای نوعی	۱۳
شکل ۴-۱: جهت‌گیری حوزه‌ها در سرامیک فروالکتریک به گونه‌ای است که بردار قطبش کل صفر نمی شود	۱۶
شکل ۵-۱: حلقه پسماند قطبش سرامیک فروالکتریکی که در میدان متغیر E قرار گرفته است	۱۶
شکل ۶-۱: آشکارساز پیروالکتریک	۱۷
شکل ۷-۱: اثر پیزو الکتریسیته در تولید جرقه	۱۸
شکل ۸-۱: واکنش بلور کوارتز به اعمال نیرو	۲۲
شکل ۲-۲: ۷ سیستم بلوری اصلی	۲۶
شکل ۳-۲: اثرات مستقیم و معکوس پیزوالکتریسیته	۲۷
شکل ۴-۲: محورهای در نظر گرفته شده برای مواد پیزوالکتریک	۲۷
شکل ۵-۲: دمای کوری برخی مواد مختلف	۳۱
شکل ۶-۲: اثر پیزو الکتریسیته در تولید جرقه	۳۲
شکل ۷-۲: طرحی از مبدل التراسونیک برای کاربردهای صوتی و تصویری	۳۳
شکل ۱-۳: ساختار بلوری پروسکایت ABO_3 برای PZT، هشت اتم سرب گوشه های A را اشغال کرده اند و شش اتم اکسیژن در مراکز سطوح می باشند. اتم های زیرکونیوم یا تیتانیوم در مراکز B قرار دارند	۳۷
شکل ۲-۳: $Pb(Ti,Zr)O_3$ در فاز پارالکتریک و در فاز فروالکتریک	۳۸
شکل ۳-۳: دیاگرام فاز سیستم PZT قبل از کشف فاز مونوکلینیک	۳۹
شکل ۴-۳: دیاگرام فاز جدید PZT در مرز مورفوتروپیک که توسط نوهدا پیشنهاد شده است. دایره های توخالی نمایشگر داده های بدست آمده توسط جف است، دایره های توپر توسط نوهدا بدست آمده است و مثلث ها نتایج طیف سنجی IR است	۴۰
شکل ۵-۳: چهار ناحیه واکنش فاز جامد با افزایش دمای تکلیس	۴۷
شکل ۶-۳: کوره $1600^\circ C$ مورد استفاده در پروژه برای تکلیس و تفجوشی نمونه ها	۴۸
شکل ۷-۳: پرس هیدرولیک برای تهیه قرص PZT	۴۹
شکل ۸-۳: در سمت راست، پودر PZT تکلیس و دانه بندی شده و در سمت چپ قرص PZT آماده مرحله تفجوشی مشاهده می شوند	۵۰

- شکل ۳-۹ : تصویری از الف) یک ذره نانویی، ب) کپسول نانویی، ج) لوله نانویی ۵۱
- شکل ۳-۱۰ : روش های کلی محلولی ژله ای و محصولات مختلف آن ۵۵
- شکل ۳-۱۱ : ترازوی دیجیتالی مورد استفاده در پروژه ۵۷
- شکل ۳-۱۲ : محلول تیتانیوم ایزو پرو پروکساید و اسید نیتریک و اسید سیتریک ۵۸
- شکل ۳-۱۳ : به ترتیب از سمت چپ به راست (محلول تیتانیوم، زیرکونیوم و سرب) ۵۸
- شکل ۳-۱۴ : pH متر مورد استفاده در آزمایش ۵۹
- شکل ۳-۱۵ الف : محلول قبل از اضافه کردن هیدروکسید آمونیوم ۶۰
- شکل ۳-۱۵ ب : سل PZT در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد و pH ۷ ۶۰
- شکل ۳-۱۶ الف : ژل زرد رنگ PZT در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد ۶۱
- شکل ۳-۱۶ ب : سوختن ژل PZT ۶۱
- شکل ۳-۱۷ : فرایند پایانی سوختن ژل PZT با اضافه کردن اسید نیتریک برای تسریع فرایند ۶۱
- شکل ۳-۱۸ : پودر PZT حاصل شده در پایان آزمایش ۶۲
- شکل ۳-۱۹ : زرد شدگی پودر PZT که به علت دمای زیاد پدیده تکلیس رخ می دهد ۶۲
- شکل ۳-۲۰ : ظرف و گلوله های بکار رفته برای آسیاب کردن نمونه ها ۶۳
- شکل ۳-۲۱ : پودر PZT پس از تکلیس ۶۳
- شکل ۳-۲۲ : مراحل ساخت پودر PZT به روش محلولی - ژله ای ۶۴
- شکل ۴-۱ : دسته بندی کلی روشهای شناسایی و آنالیز مواد ۷۱
- شکل ۴-۲ : دسته بندی روشهای جزیی شناسایی و آنالیز مواد ۷۲
- شکل ۴-۳ : ۷ سامانه بلوری و ۱۴ شبکه براوه ۷۶
- شکل ۴-۴ : اشیا با تقارن پنج گروه نقطه ای کریستالوگرافی ۷۸
- شکل ۴-۵ : اختلاف فاصله دو پرتو نور که از دو صفحه موازی منعکس می شوند ۸۰
- شکل ۴-۶ : پهنای قله در نصف ارتفاع ۸۱
- شکل ۴-۷ : دستگاه پراش اشعه X ۸۲
- شکل ۴-۸ : الگوی پراش اشعه X مربوط به ترکیب PZT بدون افزودنی تکلیس شده در ۱۲۵۰°C ۸۳
- شکل ۴-۹ : الگوی پراش اشعه X مربوط به ترکیب PZT با آلیش Nb به میزان ۰/۰۱ درصد وزنی ۸۵
- شکل ۴-۱۰ : الگوی پراش اشعه X مربوط به ترکیب PZT با آلیش Nb به میزان ۰/۰۱۵ درصد وزنی ۸۵

- شکل ۴-۱۱: الگوی پراش اشعه X مربوط به ترکیب PZT با آرایش Nb به میزان
 ۸۶ ۰/۰۲ درصد وزنی
- شکل ۴-۱۲: الگوی پراش اشعه X مربوط به ترکیب PZT با آرایش Nb به میزان
 ۸۶ ۰/۰۳ درصد وزنی
- شکل ۴-۱۳: الگوی پراش اشعه X مربوط به ترکیب PZT با آرایش Y به میزان
 ۸۸ ۰/۰۱ درصد وزنی
- شکل ۴-۱۴: الگوی پراش اشعه X مربوط به ترکیب PZT با آرایش Y به میزان
 ۸۸ ۰/۰۱۵ درصد وزنی
- شکل ۴-۱۵: الگوی پراش اشعه X مربوط به ترکیب PZT با آرایش Y به میزان
 ۸۹ ۰/۰۲ درصد وزنی
- شکل ۴-۱۶: الگوی پراش اشعه X مربوط به ترکیب PZT با آرایش Y به میزان
 ۸۹ ۰/۰۳ درصد وزنی
- شکل ۴-۱۷: الگوی پراش اشعه X مربوط به ترکیب PZT با آرایش Nb+Y به میزان
 ۹۱ ۰/۰۱ درصد وزنی
- شکل ۴-۱۸: الگوی پراش اشعه X مربوط به ترکیب PZT با آرایش Nb+Y به میزان
 ۹۱ ۰/۰۱۵ درصد وزنی
- شکل ۴-۱۹: الگوی پراش اشعه X مربوط به ترکیب PZT با آرایش Nb+Y به میزان
 ۹۲ ۰/۰۲ درصد وزنی
- شکل ۴-۲۰: الگوی پراش اشعه X مربوط به ترکیب PZT با آرایش Nb+Y به میزان
 ۹۲ ۰/۰۳ درصد وزنی
- شکل ۴-۲۱: نمونه نانوپودر PZT ساخته شده به روش محلولی ژله ای و تکلیس شده
 ۹۵ در دمای 55°C
- شکل ۴-۲۲: نمونه نانوپودر PZT ساخته شده به روش محلولی ژله ای و تکلیس شده در دمای
 ۹۶ 65°C
- شکل ۴-۲۳: اندازه نیم پهناى باند (β) بر حسب درجه در نمونه PZT تکلیس شده
 ۹۸ در دمای 55°C
- شکل ۴-۲۴: اندازه نیم پهناى باند (β) بر حسب درجه در نمونه PZT تکلیس شده در دمای
 ۹۸ 65°C
- شکل ۴-۲۵: نمودار شماتیکی اجزای اصلی یک میکروسکوپ الکترونی روبشی
 ۱۰۰

- شکل ۴-۲۶: میکروسکوپ الکترونی رویشی ۱۰۱
- شکل ۴-۲۷: دستگاه لایه نشانی طلا ۱۰۲
- شکل ۴-۲۸: PZT بدون افزودنی ۱۰۴
- شکل ۴-۲۹: PZT همراه ۰/۰۱ درصد وزنی Nb ۱۰۴
- شکل ۴-۳۰: PZT همراه ۰/۰۱ درصد وزنی Y ۱۰۵
- شکل ۴-۳۱: PZT همراه ۰/۰۱ درصد وزنی Y و Nb ۱۰۵
- شکل ۴-۳۲: PZT بدون افزودنی ۱۰۷
- شکل ۴-۳۳: PZT همراه ۰/۰۱ درصد وزنی Nb ۱۰۷
- شکل ۴-۳۴: PZT همراه ۰/۰۱ درصد وزنی Y ۱۰۸
- شکل ۴-۳۵: PZT همراه ۰/۰۱ درصد وزنی Y و Nb ۱۰۸
- شکل ۴-۳۶: PZT بدون افزودنی ۱۰۹
- شکل ۴-۳۷: PZT همراه ۰/۰۱۵ درصد وزنی Nb ۱۰۹
- شکل ۴-۳۸: PZT همراه ۰/۰۲ درصد وزنی Nb ۱۱۰
- شکل ۴-۳۹: PZT همراه ۰/۰۳ درصد وزنی Nb ۱۱۰
- شکل ۴-۴۰: PZT همراه ۰/۰۱۵ درصد وزنی Y ۱۱۱
- شکل ۴-۴۱: PZT همراه ۰/۰۲ درصد وزنی Y ۱۱۱
- شکل ۴-۴۲: PZT همراه ۰/۰۳ درصد وزنی Y ۱۱۲
- شکل ۴-۴۳: PZT همراه ۰/۰۱۵ درصد وزنی Nb + Y ۱۱۲
- شکل ۴-۴۴: PZT همراه ۰/۰۲ درصد وزنی Nb + Y ۱۱۳
- شکل ۴-۴۵: PZT همراه ۰/۰۳ درصد وزنی Nb + Y ۱۱۳
- شکل ۴-۴۶: پودر PZT نانویی تکلیس شده در دمای 550°C ۱۱۵
- شکل ۴-۴۷: پودر PZT نانویی تکلیس شده در دمای 650°C ۱۱۵
- شکل ۴-۴۸: انواع پراکندگی رامان ۱۱۷
- شکل ۴-۴۹: دستگاه طیف سنج رامان دانشگاه تربیت مدرس، ساخت شرکت Thermo Nicolet ۱۲۷
- شکل ۴-۵۰: اساس کار یک دستگاه رامان نوعی ۱۲۷
- شکل ۴-۵۱: طیف رامان ساختار $\text{PbZr}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$ برای $x=0$ تا $x=1$ ۱۳۱
- شکل ۴-۵۲: طیف رامان برای ساختار بالک و نانویی PbTiO_3 و مدهای اپتیکی آن ۱۳۱
- شکل ۴-۵۳: طیف رامان نمونه PZT ($x=0$) در دماهای مختلف از ۱۰ تا 350 کلوین ۱۳۲
- شکل ۴-۵۴: طیف رامان PZT خالص ۱۳۴

- شکل ۴-۵۵: طیف رامان نمونه PZT خالص در پایین و نمونه PZT با آرایش Nb به میزان ۰/۰۱ درصد وزنی در بالا ۱۳۵
- شکل ۴-۵۶: طیف رامان PZT خالص و PZT آلاینده شده با آرایش Nb با درصدهای وزنی ۰/۰۱، ۰/۰۱۵، ۰/۰۲ و ۰/۰۳ به ترتیب از پایین به بالا ۱۳۶
- شکل ۴-۵۷: طیف رامان نمونه PZT خالص در پایین و نمونه PZT با آرایش Y به میزان ۰/۰۱ درصد وزنی در بالا ۱۳۷
- شکل ۴-۵۸: طیف رامان PZT خالص و PZT آلاینده شده با آرایش Y با درصدهای وزنی ۰/۰۱، ۰/۰۱۵، ۰/۰۲ و ۰/۰۳ به ترتیب از پایین به بالا ۱۳۸
- شکل ۴-۵۹: طیف رامان نمونه PZT خالص در پایین و نمونه PZT با آرایش Nb + Y به میزان ۰/۰۱ درصد وزنی در بالا ۱۳۹
- شکل ۴-۶۰: طیف رامان PZT خالص و PZT آلاینده شده با آرایش Nb + Y با درصدهای وزنی ۰/۰۱، ۰/۰۱۵، ۰/۰۲ و ۰/۰۳ به ترتیب از پایین به بالا ۱۴۰
- شکل ۴-۶۱: طیف رامان نمونه های PZT میکرونی و نانویی تکلیس شده در دو دمای ۵۵۰ °C و ۶۵۰ °C ۱۴۱
- شکل ۴-۶۲: طیف رامان نمونه های PZT میکرونی و نانویی تکلیس شده در دو دمای ۶۵۰ °C و ۵۵۰ °C به ترتیب از پایین به بالا ۱۴۲
- شکل ۴-۶۳: طیف رامان نمونه های PZT نانویی تکلیس شده در دمای ۵۵۰ °C و ۶۵۰ °C ۱۴۳

فصل اول

سرامیک ها