





بسمه تعالی

### تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای محمد رضائی فرانی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان ساخت غشاء نانو متخلخل سیلیکا- اکسید قلع در تاریخ ۱۳۹۰/۱۲/۲۲ ارائه کردند.  
اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مواد - سرامیک پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر احسان طاهری نساج	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر رسول صراف مأموری	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر پروین علیزاده	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر سیدعلی طیبی فرد	استادیار	
مدیر گروه (با نماینده گروه تخصصی)	دکتر رسول صراف مأموری	دانشیار	

## آیین نامه چاپ پایان نامه‌های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه‌های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت‌های علمی - پژوهشی دانشگاه است، بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

**ماده ۱:** در صورت اقدام به چاپ پایان نامه 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 پایان نامه کارشناسی ارشد محمد رضانی فرانی در رشته مهندسی مواد - سرامیک است که در سال ۱۳۹۰ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر احسان طاهری نساج 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 رابه 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، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب محمد رضانی فرانی دانشجوی رشته مهندسی مواد- سرامیک

مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی: محمد رضانی فرانی

تاریخ و امضا:

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

مقدمه: با عنایت به سیاست های 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 پایان نامه و رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱: حقوق مادی و معنوی پایان نامه ها / رساله های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هر گونه بهره برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین نامه ها و دستورالعمل های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه / رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی می باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما نویسنده مسئول مقاله باشند.

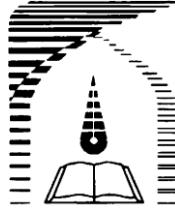
تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان نامه / رساله نیز منتشر می شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آیین نامه های مصوب انجام می شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره های ملی، منطقه ای و بین المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه / رساله و تمامی طرح های 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 هر گونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.

محمد رضانی فرانی



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

رشته مهندسی مواد-سرامیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مواد- سرامیک

عنوان

ساخت غشاء نانو متخلخل سیلیکا-اکسید قلع

نگارش

محمد رضانی فرانی

استاد راهنما:

دکتر احسان طاهری نساج

اسفند ۹۰

الهی ای کریمی که بخشنده عطایی، ای حکیمی که پوشنده خطایی، ای احدی که در ذات و صفات بی همتایی،

ای خالقش که راهنمایی، ای قادری که خدایی را سنرایی، به ذات لایزال خود به صفات باکمال خود به

عزت جلال خود به عظمت جمال خود که جان ما را صفای خود ده، دل ما را هوای خود ده، چشم ما را

ضیاء خود ده و ما را آن ده که آن به.

شایسته خویش طاعتی روزی کن

یارب تو مرا انابتی روزی کن

اندر دو جهان فراغتی روزی کن

زان پیش که فارغ شوم از کار جهان

خواجہ عبداللہ انصاری

تقدیم به خانواده عزیزم

## سپاس‌گزاری

با سپاس فراوان از راهنمایی‌ها و کمک‌های شایان دکتر احسان طاهری نساج که در به سرانجام رساندن این پایان‌نامه از هیچ گونه کمکی دریغ ننمودند. همچنین از خانم‌ها مریم شجاعی و وجیهه خانی و آقایان محمد خواجه‌لکزای، رضا نفریشی، یعقوب فرهنگ و محمدرضا بلباسی که در این پروژه مرا بسیار یاری نمودند سپاسگزارم.

با تشکر فراوان از تمامی اعضا خانواده عزیزم که همیشه و همه حال پشتیبان و همراه من بوده‌اند و آرزوی سلامت و سعادتشان را از خداوند متعال خواستارم.



## چکیده

در این تحقیق غشاء میکرومتخلخل چندلایه سیلیکا-اکسید قلع، به روش سل-ژل و با استفاده از آلکوکسید تترا اتیل اورتو سیلیکات، آلکوکسید آلومینیم تری سک بوتیلات و دی بوتیل تین دی استات تهیه شد. برای تهیه لایه میانی، سل کلئیدی آلومینا تهیه شد و به روش غوطه‌وری بر روی زیرلایه آلفا-آلومینا پوشش داده شد. پس از هربار پوشش‌دهی نمونه‌ها تا دمای  $200^{\circ}\text{C}$  حرارت داده شدند. پوشش‌دهی نمونه‌ها با سل کلئیدی ۵ مرتبه تکرار شده و در نهایت در دمای  $600^{\circ}\text{C}$  کلسینه شدند. سپس لایه نهایی به روش غوطه‌وری در سل پلیمری سیلیکا-اکسید قلع شکل گرفت. پس از هربار پوشش‌دهی نمونه‌ها تا دمای  $200^{\circ}\text{C}$  حرارت داده شدند. پس از ۳ مرتبه پوشش‌دهی، نمونه‌ها در دمای  $500^{\circ}\text{C}$  کلسینه شدند.

زیرلایه آلومینایی تهیه شده، توسط آنالیزهای زبری‌سنجی و میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شد. سل‌ها و ژل‌های خشک شده و مورد استفاده برای تهیه لایه میانی و لایه نهایی و همچنین پوشش‌ها، با استفاده از آنالیزهای تفکیک پراش نوری (*DLS*)، طیف‌سنجی عبوری مادون قرمز (*FTIR*)، آنالیزهای حرارتی (*DSC-TGA*)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (*SEM*)، میکروسکوپ اتمی (*AFM*) و آنالیز فازی (*XRD*) مورد بررسی قرار گرفتند.

پوشش سیلیکا-اکسید قلع تا دمای  $800^{\circ}\text{C}$  آمورف بود. آنالیز *FTIR* از نمونه حاوی  $10\%mol$  قلع فاقد پیک پیوند *Sn-O-Sn* بود. برای تهیه سل لایه میانی با استفاده از حلال اتانول و افزودنی *PVA*، اندازه ذرات در محدوده ۲۵ تا  $90\text{nm}$  و با استفاده از حلال ایزوپروپانول و افزودنی *PVA*، اندازه ذرات در بازه ۴۰ تا  $200\text{nm}$  بدست آمد. با استفاده از این سل‌های کلئیدی لایه‌ای به ضخامت  $4/6\mu\text{m}$  تهیه شد. برای تهیه لایه نهایی از سل پلیمری سیلیکا-اکسید قلع با اندازه ذرات در محدوده  $0/4$  تا  $1/5\text{nm}$ ، استفاده شده و پوشش با ضخامت حدود  $200\text{nm}$  بدست آمد.

**کلمات کلیدی:** سل-ژل، غشاء، سیلیکا-اکسید قلع، غوطه‌وری، میکرومتخلخل.

## فهرست مطالب

عنوان .....	صفحه .....
فصل ۱ .....	۱
۱-۱- مقدمه .....	۲
فصل ۲ .....	۸
۱-۲- مقدمه .....	۹
۲-۲- ساختمان غشاء .....	۱۷
۳-۲- روش‌های ساخت غشاء سرامیکی .....	۱۸
۱-۳-۲- تهیه غشاء سرامیکی با سینتر جزئی ذرات .....	۱۸
۲-۳-۲- عوامل مؤثر در ساخت غشاء .....	۲۱
۳-۳-۲- پروسه کلوئیدی کردن .....	۲۳
۴-۳-۲- سل پلیمری .....	۲۶
۴-۲- خصوصیات کلیدی غشاها .....	۲۷
۱-۴-۲- اندازه حفرات .....	۲۸
۲-۴-۲- نفوذپذیری .....	۲۸
۳-۴-۲- خواص مکانیکی .....	۲۹
۴-۴-۲- مقاومت شیمیایی .....	۲۹
۵-۲- پوشش سرامیکی با سل-ژل .....	۳۰
۱-۵-۲- پروسه سل-ژل .....	۳۱
۲-۵-۲- مکانیزم‌های پوششدهی .....	۳۷
۲-۲-۵-۲- فیلتراسیون کلوئیدی موئینگی .....	۳۹
۳-۲-۵-۲- مکانیزم پوشش‌دهی فیلم .....	۴۰
۶-۲- خشک کردن پوشش .....	۴۱
۷-۲- سینتر کردن .....	۴۲
۱-۷-۲- سینتر حالت ساختار آزاد .....	۴۳
۸-۲- انتقال از درون غشاء .....	۴۴
فصل ۳ .....	۴۷
۱-۳- زیرلایه .....	۴۸

۴۸	..... مواد اولیه	۳-۱-۱
۴۸	..... روش ساخت زیرلایه	۳-۱-۲
۴۸	..... لایه میانی	۳-۲-۲
۴۸	..... مواد اولیه	۳-۲-۱
۴۹	..... روش تهیه سل کلونیدی	۳-۲-۲
۴۹	..... لایه نهایی	۳-۳-۳
۴۹	..... مواد اولیه	۳-۳-۱
۴۹	..... روش تهیه سل سیلیکا-اکسید قلع	۳-۳-۲
۵۰	..... پوشش دهی	۳-۴-۴
۵۱	..... عملیات حرارتی	۳-۵-۵
۵۱	..... سیکل خشک کردن و سینتر جزئی پوشش کلونیدی	۳-۵-۱
۵۳	..... سیکل خشک کردن و سینتر جزئی پوشش پلیمری	۳-۵-۲
۵۴	..... روش های ارزیابی زیرلایه	۳-۶-۶
۵۴	..... روش های ارزیابی غشاء	۳-۷-۷
۵۵	..... تکنیک پراش نوری (DLS)	۳-۷-۱
۵۵	..... آنالیز حرارتی	۳-۷-۲
۵۵	..... آنالیز فازی (XRD)	۳-۷-۳
۵۵	..... آنالیز طیف سنجی عبوری مادون قرمز (FTIR)	۳-۷-۴
۵۶	..... آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM & FESEM)	۳-۷-۵
۵۶	..... آنالیز میکروسکوپ اتمی AFM	۳-۷-۶
۵۷	..... فصل ۴	
۵۸	..... بررسی زیرلایه آلومینایی	۴-۱-۱
۶۰	..... بررسی زبری سطح زیرلایه آلومینایی	۴-۱-۲
۶۴	..... بررسی سل لایه میانی	۴-۲-۲
۶۸	..... تأثیر نوع حلال بر اندازه ذرات سل کلونیدی	۴-۲-۲
۶۹	..... تأثیر افزودنی PVA بر اندازه ذرات سل کلونیدی	۴-۲-۳
۷۱	..... تأثیر پیرسازی بر اندازه ذرات سل کلونیدی	۴-۲-۴
۷۳	..... فازشناسی لایه میانی	۴-۳-۳
۷۵	..... تهیه لایه میانی	۴-۴-۴
۷۵	..... تشکیل لایه میانی گاما-آلومینا بر روی زیرلایه	۴-۴-۱
۸۴	..... انتخاب مواد اولیه لایه نهایی	۴-۵-۵

۶-۴- بررسی خصوصیات سل پلیمری سیلیکا-اکسید قلع با استفاده از آنالیز <i>DLS</i> .....	۸۵
۷-۴- تست طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز .....	۸۸
۸-۴- آنالیز حرارتی پوشش سیلیکا-اکسید قلع .....	۹۶
۹-۴- فازشناسی پوشش سیلیکا-اکسید قلع .....	۹۷
۴-۱۰- تشکیل لایه نهایی سیلیکا-اکسید قلع بر روی لایه میانی .....	۱۰۰
<b>فصل ۵.....</b>	<b>۱۱۰</b>
۵-۱- نتیجه‌گیری .....	۱۱۱
۵-۲- پیشنهادات .....	۱۱۳
مراجع.....	۱۱۴

## فهرست شکل‌ها

عنوان .....	صفحه
شکل (۱-۲) سیستم‌های مختلف انواع غشاها .....	۱۰
شکل (۲-۲) دو نوع سیستم در غشاءها: واکنش و جدایش در یک واحد (سمت چپ) و واکنش در یک واحد و جدایش در واحدی دیگر (سمت راست) .....	۱۵
شکل (۳-۲) تصویر شماتیک غشاءهای مختلف ( <i>a</i> ) لوله ی پر شده با کاتالیست ( <i>b</i> ) یک لایه از کاتالیست درون لوله ( <i>c</i> ) دیواره غشاء به همراه کاتالیست .....	۱۶
شکل (۴-۲) تصویر شماتیک از غشاء لوله‌ای نامتقارن .....	۱۸
شکل (۵-۲) تصویر شماتیک و <i>SEM</i> از غشاء سه لایه شامل زیر لایه، لایه میانی و لایه نهایی .....	۲۱
شکل (۶-۲) تصویر شماتیک از تئوری <i>DLVO</i> (سمت راست) و لایه مضاعف الکتریکی (سمت چپ) .....	۲۴
شکل (۷-۲) بر هم کنش بر حسب فاصله .....	۲۵
شکل (۸-۲) تصویر شماتیک سه روش عمومی سل-ژل .....	۳۲
شکل (۹-۲) توزیع اندازه حفرات در ژل سیلیکایی تهیه شده توسط آبکافت <i>TMOS</i> با آب مقطر و محلول آمونیاکی در $pH = 10$ .....	۳۵

- شکل (۱۰-۲) توزیع اندازه حفرات در ژل سیلیکایی تهیه شده توسط آبکافت *TMOS* با آب
- مقطر و ژل سازی در دماهای مختلف ..... ۳۶
- شکل (۱۱-۲) پارامترهای مؤثر بر مکانیزم‌های پوشش‌دهی فیلم و فیلتراسیون کلوئیدی
- موئینگی ..... ۳۸
- شکل (۱۲-۲) *a* و *b* در مرحله *CRP* هستند *b* موقعیت نقطه بحرانی *c* در مرحله *FRPI*، که
- f* فیلم جذب شده در دیواره‌های تخلخل غیر اشباع شده، *w* پهنای قسمت خشک شده .. ۴۲
- شکل (۱-۳) تصویر دستگاه پوشش‌دهی به روش غوطه‌وری ..... ۵۱
- شکل (۲-۳) سیکل خشک کردن پوشش آلومینایی لایه میانی ..... ۵۲
- شکل (۳-۳) سیکل سینتر جزئی پوشش گاما-آلومینا در دمای  $600^{\circ}\text{C}$  ..... ۵۲
- شکل (۴-۳) سیکل خشک کردن پوشش سیلیکا-اکسید قلع لایه نهایی ..... ۵۳
- شکل (۵-۳) سیکل سینتر جزئی پوشش سیلیکا-اکسید قلع در دمای  $500^{\circ}\text{C}$  ..... ۵۳
- شکل (۱-۴) تصویر *SEM* از سطح زیر لایه سینتر شده در  $1400^{\circ}\text{C}$  (بزرگنمایی ۳۰۰۰۰ برابر) ..... ۵۹
- شکل (۲-۴) اندازه و توزیع اندازه تخلخل پایه آلومینایی سینتر شده در  $1300^{\circ}\text{C}$  ..... ۶۰
- شکل (۳-۴) منحنی زبری سنجی مربوط به نمونه آلومینایی سینتر شده در  $1300^{\circ}\text{C}$  توسط
- فرهنگ ..... ۶۱
- شکل (۴-۴) منحنی زبری سنجی مربوط به نمونه آلومینایی سینتر شده در  $1300^{\circ}\text{C}$  ..... ۶۱
- شکل (۵-۴) منحنی زبری سنجی مربوط به نمونه آلومینایی سینتر شده در  $1400^{\circ}\text{C}$  توسط
- فرهنگ ..... ۶۲
- شکل (۶-۴) منحنی زبری سنجی مربوط به نمونه آلومینایی سینتر شده در  $1400^{\circ}\text{C}$  ..... ۶۲

- شکل (۷-۴) منحنی زبری سنجی نمونه آلومینایی که ابتدا در دمای  $1400^{\circ}\text{C}$  سینتر و سپس پولیش شده. ۶۳ .....
- شکل (۸-۴) تصویر شماتیک از غشاء نامتقارن چندلایه. ۶۵ .....
- شکل (۹-۴) توزیع اندازه ذرات در سل های  $Al-IP-F$  و  $Al-Et-F$ . ۶۸ .....
- شکل (۱۰-۴) توزیع اندازه ذرات در سل های  $Al-Et-F$  و  $Al-Et-F-PVA$ . ۶۹ .....
- شکل (۱۱-۴) توزیع اندازه ذرات در سل های  $Al-IP-F$  و  $Al-IP-F-PVA$ . ۷۰ .....
- شکل (۱۲-۴) توزیع اندازه ذرات سل  $Al-Et-F$  و  $Al-Et-Aged$ . ۷۱ .....
- شکل (۱۳-۴) تابع توزیع اندازه ذرات آلومینا در سل  $Al-IP-F$  و  $Al-IP-Aged$ . ۷۲ .....
- شکل (۱۴-۴) توزیع اندازه ذرات در سل های  $Al-IP-Age$  و  $Al-Et-Aged$ . ۷۲ .....
- شکل (۱۵-۴) الگوی پراش اشعه ایکس لایه میانی آلومینایی پس از عملیات حرارتی در دماهای ۱۱۰، ۴۰۰ و  $600^{\circ}\text{C}$ . ۷۵ .....
- شکل (۱۶-۴) پوشش لایه میانی آلومینایی با سل  $Al-IP-F$  بر روی زیر لایه آلفا-آلومینایی متخلخل و عملیات حرارتی شده در دمای  $600^{\circ}\text{C}$ . ۷۷ .....
- شکل (۱۷-۴) سطح لایه میانی پس از پوشش با سل های دارای  $PVA$  بر روی زیر لایه متخلخل آلفا-آلومینایی (بالا) و عملیات حرارتی شده در دمای  $600^{\circ}\text{C}$  و آنالیز  $EDX$  از آن (پایین). ۷۸ .....
- شکل (۱۸-۴) فصل مشترک ناحیه پوشش دیده و بدون پوشش بر روی سطح زیر لایه آلفا-آلومینایی متخلخل و عملیات حرارتی شده در دمای  $600^{\circ}\text{C}$  (بالای نمونه ناحیه بدون پوشش و در پایین قسمت پوشش داده شده). ۷۹ .....
- شکل (۱۹-۴) سطح لایه میانی گاما-آلومینا بر روی زیر لایه آلفا-آلومینا، پس از ۵ بار پوششدهی با دو سل و عملیات حرارتی در دمای  $600^{\circ}\text{C}$ . ۸۰ .....

- شکل (۴-۲۰) مقطع عرضی نمونه پوشش داده شده با سل کلوئیدی آلومینایی بر روی زیرلایه آلفا-آلومینا متخلخل با دو بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ برابر (بالا) و ۳۰۰۰ برابر (پایین). ..... ۸۱
- شکل (۴-۲۱) تصویر *AFM* سه بعدی لایه میانی گاما-آلومینایی بر روی زیرلایه آلفا-آلومینا متخلخل. .... ۸۲
- شکل (۴-۲۲) تصویر دو بعدی از سطح پوشش گاما-آلومینا بر روی زیرلایه متخلخل آلفا-آلومینایی به همراه زبری‌سنجی خط ۱ و میانگین زبری در طول خط. .... ۸۳
- شکل (۴-۲۳) تصویر دو بعدی از سطح پوشش گاما-آلومینا بر روی زیرلایه متخلخل آلفا-آلومینایی به همراه زبری‌سنجی خط ۲ و میانگین زبری در طول خط. .... ۸۳
- شکل (۴-۲۴) تصویر دو بعدی از سطح پوشش گاما-آلومینا بر روی زیرلایه متخلخل آلفا-آلومینایی و زبری‌سنجی میانگین سطح. .... ۸۴
- شکل (۴-۲۵) توزیع اندازه ذرات سیلیکا در سل پلیمری. .... ۸۶
- شکل (۴-۲۶) توزیع اندازه ذرات سل حاوی قلع در سل پلیمری. .... ۸۶
- شکل (۴-۲۷) توزیع اندازه ذرات حاوی سیلیکا و قلع در سل‌های پلیمری با (a) ۵%mol، (b) ۱۰%mol و (c) ۲۰%mol اکسید قلع. .... ۸۷
- شکل (۴-۲۸) آنالیز *FTIR* سل پلیمری سیلیکا-۵%mol اکسید قلع از ژل خشک شده در دمای ۱۰۰°C به مدت ۲h. .... ۸۹
- شکل (۴-۲۹) آنالیز *FTIR* سه نمونه سیلیکا حاوی ۵، ۱۰ و ۲۰%mol قلع از ژل خشک شده در ۱۰۰°C به مدت ۲h. .... ۹۳
- شکل (۴-۳۰) آنالیز *FTIR* سه نمونه سیلیکا حاوی ۵، ۱۰ و ۲۰%mol قلع پس از عملیات حرارتی در دمای ۱۰۰۰°C. .... ۹۵



- شکل (۴-۳۱) آنالیز گرماسنجی افتراقی (*DSC*-منحنی آبی رنگ) و توزین حرارتی (*TGA*-  
 منحنی قرمز رنگ) نمونه سیلیکا- حاوی  $10\%mol$  قلع. ۹۷.....
- شکل (۴-۳۲) الگوی پراش اشعه ایکس لایه نهایی سیلیکا- حاوی  $10\%mol$  قلع پس از  
 عملیات حرارتی در دماهای ۱۱۰، ۶۰۰، ۸۰۰ و  $1000^{\circ}C$ . ۹۸.....
- شکل (۴-۳۳) دیاگرام فاز دو تایی  $SiO_2-SnO$ . ۹۹.....
- شکل (۴-۳۴) زیر لایه آلومینایی متخلخل پوشش داده شده با سل پلیمری سیلیکا-  
 حاوی  $10\%mol$  قلع (بالا) و پوشش سیلیکا-اکسید قلع بر روی زیر لایه چگال  
 آلومینایی (پایین) پس از عملیات حرارتی در دمای  $500^{\circ}C$ . ۱۰۱.....
- شکل (۴-۳۵) آنالیز *EDX* از سطح شیشه پوشش داده شده با سل پلیمری سیلیکا-  
 حاوی  $10\%mol$  قلع. ۱۰۲.....
- شکل (۴-۳۶) سطح لایه نهایی سیلیکا-اکسید قلع بر روی لایه میانی گاما-آلومینا با  
 زیر لایه متخلخل آلفا-آلومینا (بالا) و آنالیز *EDX* آن (پایین). ۱۰۴.....
- شکل (۴-۳۷) تصویر سه لایه آلفا-آلومینا، گاما-آلومینا و لایه نهایی سیلیکا-اکسید قلع. ۱۰۵.....
- شکل (۴-۳۸) تصویر لایه نهایی سیلیکا-اکسید قلع بر روی لایه میانی گاما-آلومینا با  
 بزرگ‌نمایی ۶۰۰۰۰ برابر. ۱۰۶.....
- شکل (۴-۳۹) تصویر *AFM* سه بعدی لایه میانی گاما-آلومینایی بر روی زیر لایه آلفا-آلومینا  
 متخلخل. ۱۰۶.....
- شکل (۴-۴۰) تصویر دو بعدی از سطح پوشش گاما-آلومینا بر روی لایه میانی متخلخل گاما-  
 آلومینایی به همراه زبری‌سنجی خط ۱ و میانگین زبری در طول خط. ۱۰۷.....

شکل (۴-۴۱) تصویر دو بعدی از سطح پوشش سیلیکا-اکسید قلع بر روی لایه میانی

متخلخل گاما-آلومینایی به همراه زبری سنجی خط ۲ و میانگین زبری در طول خط..... ۱۰۸

شکل (۴-۴۲) تصویر دو بعدی از سطح پوشش لایه نهایی سیلیکا-اکسید قلع بر روی لایه

میانی گاما-آلومینایی و زبری سنجی میانگین سطح..... ۱۰۹

## فهرست جدول‌ها

عنوان .....	صفحه
جدول (۱-۱) مثال هایی از فرآیندهای موجود برای جداسازی‌های محیطی.....	۳
جدول (۱-۲) کاربردهای غشاء گاز به همراه تهیه کنندگان آنها .	۱۳
جدول (۲-۲) میانگین قطر حفرات تخمین زده شده توسط سطح ویژه و دانسیته بالک ..	۳۶
جدول (۳-۲) وضعیت توسعه غشاها .	۴۵
جدول (۱-۴) ویژگی سلهای کلوئیدی آلومینایی .	۶۷

فصل ١

**مقدمه**