

اللَّهُمَّ صَلِّ وَسَلِّمْ وَبَارِكْ عَلَى سَيِّدِنَا مُحَمَّدٍ



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

آقای علی کاظمی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان بررسی اثر نانو پودر های مواد
تغییر فازی و ساختار مدرج بر کارایی حفاظت حرارتی فومهای کربنی در تاریخ
۱۳۹۱/۱۱/۲۹ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده، پذیرش آنرا
برای اخذ درجه کارشناسی ارشد پلیمر پیشنهاد می کنند.

| اعضا | رتبه علمی | نام و نام خانوادگی | عضو هیات داوران |
|---|-----------|-------------------------------|--------------------------------------|
|  | استادیار | دکتر احمد رضا بهرامیان | استاد راهنما |
|  | استاد | دکتر مجتبی صدر عاملی | استاد ناظر |
|  | دانشیار | دکتر محمد حسین نوید فامیلی | استاد ناظر |
|  | دانشیار | دکتر علیرضا مهدویان | استاد ناظر |
|  | دانشیار | دکتر محمد حسین نوید فامیلی | مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی) |

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 پایان نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامهها / رسالههای مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین نامه‌ها و دستورالعمل‌های 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 باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد. تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود 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 آئین نامه های 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 پایان نامه/ 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 می‌شود.

نام و نام خانوادگی علی کاظمی

امضاء



۹۲، ۳، ۲

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های 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 می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (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 پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی پلیمر است که در سال ۱۳۹۱ در دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر احمدرضا بهرامیان از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند 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 می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد 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 علی کاظمی دانشجوی رشته مهندسی پلیمر مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: علی کاظمی

تاریخ و امضا:

۹۲، ۳، ۲۰



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی پلیمر

بررسی اثر نانو پودرهای مواد تغییرفازی و ساختار مدرج بر کارکرد حرارتی

فوم‌های کربنی

علی کاظمی

استاد راهنما:

دکتر احمدرضا بهرامیان

زمستان ۱۳۹۱

چکیده

ایروژل‌های کربنی نوع خاصی از ابرهای سلول‌باز با چگالی پایین، تخلخل پیوسته و اندازه حفرات نانومتری بوده که از ماتریسی با ذرات شبه‌کلوئیدی به هم‌پیوسته در ابعادی نانومتری تشکیل شده‌اند. مواد تغییر فاز نیز موادی با گرمای نهان ذوب بالا بوده که در هنگام تغییر فاز توانایی جذب و آزادسازی مقادیر زیادی انرژی حرارتی را دارند. این مواد در هنگام تغییر فاز همانند حائلی در برابر عبور حرارت عمل کرده و از انتقال یافتن حرارت جلوگیری می‌نمایند و همین سبب استفاده از این مواد در کاربردهای حفاظت حرارتی گردیده است. در این پژوهش به منظور بهبود خواص حرارتی ایروژل‌های کربنی اثر اضافه نمودن ماده تغییرفازی منیزیم کلراید هگزا هیدرات (دمای ذوب 115°C) به آنها مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین اثر استفاده از رزین نووالاک بعنوان نگه‌دارنده نمک بر روی خواص حرارتی ایروژل‌های کربنی ارزیابی شد. در این تحقیق، همچنین اثر پراکنش مدرج ماده تغییر فاز بر خواص حرارتی ایروژل کربنی مورد بررسی قرار گرفت. در این میان از آزمون عملکرد حرارتی و همچنین آزمون‌های DSC، SEM و BET به ترتیب برای مقایسه رفتار دما- زمان ایروژل‌های ساخته شده، تعیین گرمای نهان ذوب ماده تغییر فاز، مشاهده ریزساختار و بررسی اندازه حفرات در نمونه‌های ساخته شده، استفاده گردید. بررسی نتایج بدست آمده نشان داد که استفاده از مواد تغییر فاز در درصد‌های پایین تاثیر چندانی در بهبود خواص حرارتی ایروژل کربنی ندارند، این در حالی است که با افزایش یافتن درصد ماده تغییرفازی، خواص حرارتی ایروژل بهبود می‌یابند. در آزمون عملکرد حرارتی در شرایطی که تنها یک سطح نمونه در دمای 300°C قرار داده می‌شود، مشاهده گردید که در نمونه‌های پر شده با درصد زیادی از مواد تغییر فاز، سرعت افزایش دمای سطح دیگر به شدت کاهش یافته و در محدوده دمایی 115°C تا 200°C کاهش شیب قابل ملاحظه‌ای نسبت به نمونه‌های ایروژل کربنی بدون ماده تغییرفازی، اتفاق می‌افتد. همچنین زمان رسیدن دمای سطح دیگر به 115°C در ایروژل حاوی ۶۵ درصد ماده تغییرفازی همگن، در حدود ۱۳ دقیقه و در ایروژل پر شده با ۶۵ درصد ماده تغییر فاز به صورت مدرج در حدود ۲۲ دقیقه و ۳۰ ثانیه نسبت به ایروژل کربنی پر نشده تاخیر داشت. در این میان نتایج بدست آمده نشان داد که ایروژل‌های پر شده به روش پراکنش مدرج دارای خواص حرارتی مطلوب‌تر در مقایسه با ایروژل‌های پر شده به صورت همگن و همچنین ایروژل‌های فاقد مواد تغییر فاز، در قبل و بعد از ذوب شدن ماده تغییر فاز هستند.

کلیدواژه: مواد تغییر فاز، ایروژل کربنی، ساختار مدرج، خواص حرارتی، گرمای نهان ذوب

تقدیم به

پدر، مادر

و خواهر عزیزم

تقدیر و تشکر

خدای متعال را بسی شاکرم که از روی کرم مرا توفیق بندگی داده و در مسیر پر فراز و نشیب زندگی یاریم می‌رساند.

مراتب سپاسگزاریم را از جناب آقای دکتر احمد رضا بهرامیان استاد راهنمای دلسوزم ابراز می‌دارم که همواره با صبر و روی گشاده مرا راهنمایی نموده است و از ایشان بسیار آموختم.

از دوست بسیار خوبم، جناب آقای مهندس ایمان ناصری که با کمک‌های بی‌دریغش مرا در انجام این پروژه یاری نمود، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

فهرست مطالب

| صفحه | عنوان |
|------|---|
| ۱ | فصل ۱ مقدمه..... |
| ۲ | ۱-۱ مقدمه..... |
| ۵ | فصل ۲ نظری..... |
| ۶ | ۱-۲ مقدمه..... |
| ۷ | ۲-۲ ایروژل‌ها..... |
| ۹ | ۱-۲-۲ پیرولیز..... |
| ۱۰ | ۲-۲-۲ پیش‌ماده‌های جایگزین..... |
| ۱۱ | ۱-۲-۲-۲ فنول..... |
| ۱۱ | ۲-۲-۲-۲ ملامین..... |
| ۱۲ | ۳-۲-۲-۲ فلوروگلوکسینول..... |
| ۱۲ | ۴-۲-۲-۲ کرزول‌ها..... |
| ۱۳ | ۳-۲-۲ انتقال حرارت در ایروژل‌های کربنی..... |
| ۱۵ | ۴-۲-۲ کاربردها..... |
| ۱۵ | ۱-۴-۲-۲ عایق حرارتی بر پایه ایروژل..... |
| ۱۵ | ۲-۴-۲-۲ کاربرد ایروژل‌ها به عنوان پایه کاتالیزور..... |
| ۱۶ | ۳-۴-۲-۲ کاربرد ایروژل‌ها به عنوان جاذب..... |
| ۱۶ | ۴-۴-۲-۲ کاربردهای دیگر ایروژل‌ها..... |
| ۱۶ | ۳-۲ مواد تغییر فاز..... |
| ۱۸ | ۱-۳-۲ مواد تغییر فاز آلی..... |
| ۱۸ | ۱-۱-۳-۲ واکس‌های پارافینی..... |
| ۲۰ | ۲-۱-۳-۲ پلی‌اتیلن گلایکول‌ها..... |
| ۲۰ | ۳-۱-۳-۲ اسیدهای چرب..... |
| ۲۱ | ۴-۱-۳-۲ پلی‌اتیلن شبکه‌ای شده..... |
| ۲۲ | ۲-۳-۲ مواد تغییر فاز غیر آلی..... |
| ۲۲ | ۱-۲-۳-۲ نمک‌های هیدراته..... |
| ۲۴ | ۲-۲-۳-۲ فلزات..... |
| ۲۵ | ۳-۳-۲ مواد ترکیبی..... |
| ۲۵ | ۱-۳-۳-۲ نمک‌ها و ترکیبات آنها..... |
| ۲۶ | ۴-۳-۲ مزایا و معایب انواع مواد تغییر فاز..... |
| ۲۸ | ۵-۳-۲ معیارهای انتخاب ماده تغییر فاز..... |
| ۲۸ | ۱-۵-۳-۲ خواص ترمودینامیکی..... |
| ۲۸ | ۲-۵-۳-۲ ذوب متجانس..... |

| | | |
|----|--|---------|
| ۲۹ | خواص سینیتیکی..... | ۳-۵-۳-۲ |
| ۲۹ | خواص شیمیایی..... | ۴-۵-۳-۲ |
| ۲۹ | خواص اقتصادی..... | ۵-۵-۳-۲ |
| ۲۹ | کاربردها..... | ۶-۳-۲ |
| ۳۰ | انواع نگهدارنده‌های مواد تغییر فاز..... | ۷-۳-۲ |
| ۳۰ | ذخیره‌کننده‌ی توده‌ای..... | ۱-۷-۳-۲ |
| ۳۱ | ماکروکپسول‌ها..... | ۲-۷-۳-۲ |
| ۳۱ | میکروکپسول‌ها..... | ۳-۷-۳-۲ |
| ۳۱ | روش‌های میکروکپسوله کردن..... | ۸-۳-۲ |
| ۳۲ | روش‌های شیمیایی..... | ۱-۸-۳-۲ |
| ۳۳ | رزین‌های فنولی..... | ۴-۲ |
| ۳۵ | رزین‌های نووالاک..... | ۱-۴-۲ |
| ۳۶ | رزین‌های رزول..... | ۲-۴-۲ |
| ۳۶ | سخت‌شدن یا پخت رزین‌های فنولی..... | ۳-۴-۲ |
| ۳۸ | پخت نووالاک..... | ۱-۳-۴-۲ |
| ۳۹ | مواد ساختارمدرج..... | ۵-۲ |
| ۴۱ | کاربرد مواد تغییرفازی و میکروکپسول‌های آنها در فوم‌ها..... | ۶-۲ |
| ۴۳ | جمع‌بندی..... | ۷-۲ |
| ۴۴ | فرضیه‌های تحقیق، سوالات و عناوین پیش‌بینی‌شده در اجرای تحقیق..... | ۱-۷-۲ |
| ۴۴ | فرضیه‌ها/ پیش‌فرض‌ها:..... | ۲-۷-۲ |
| ۴۵ | سوالات..... | ۳-۷-۲ |
| ۴۵ | عناوین پیش‌بینی‌شده در اجرای این تحقیق..... | ۴-۷-۲ |
| ۴۷ | فصل ۳ مواد | |
| ۴۸ | مواد..... | ۱-۳ |
| ۴۸ | رزین نووالاک..... | ۱-۱-۳ |
| ۴۸ | منیزیم کلراید هگزا هیدرات..... | ۲-۱-۳ |
| ۵۰ | ۲- پروپانول..... | ۳-۱-۳ |
| ۵۱ | تجهیزات و دستگاهها..... | ۲-۳ |
| ۵۳ | روش انجام کار..... | ۳-۳ |
| ۵۳ | روش تهیه ایزوژل نووالاکی..... | ۱-۳-۳ |
| ۵۵ | خشک‌کردن ژل با استفاده از روش خشک‌کردن محیطی..... | ۲-۳-۳ |
| ۵۵ | ساخت ایزوژل کربنی..... | ۳-۳-۳ |
| ۵۶ | ساخت ایزوژل‌های پرشده با مواد تغییر فاز..... | ۴-۳-۳ |
| ۵۷ | استفاده از رزین نووالاک برای جلوگیری از نشت ماده تغییر فاز از داخل ایزوژل کربنی..... | ۵-۳-۳ |
| ۵۷ | ساخت دستگاه آزمون حرارتی..... | ۴-۳ |

| | | | |
|-----------|-------|--|--------------|
| ۵۹ | ..... | آزمون‌های انجام شده | ۵-۳ |
| ۵۹ | ..... | تعیین چگالی | ۱-۵-۳ |
| ۶۰ | ..... | آزمون تعیین درصد جذب آب توسط ایزوژل‌ها | ۲-۵-۳ |
| ۶۰ | ..... | آزمون حرارتی عملکردی | ۳-۵-۳ |
| ۶۱ | ..... | آزمون کالریمتری روبشی تفاضلی | ۴-۵-۳ |
| ۶۱ | ..... | آزمون میکروسکوپ الکترونی روبشی | ۵-۵-۳ |
| ۶۲ | ..... | آزمون طیف سنجی مادون قرمز به روش FTIR | ۶-۵-۳ |
| ۶۲ | ..... | آزمون تجزیه گرماوزن‌سنجی | ۷-۵-۳ |
| ۶۲ | ..... | آزمون هلیوم پیکنومتری | ۸-۵-۳ |
| ۶۳ | ..... | آزمون جذب- واجذب نیتروژن | ۹-۵-۳ |
| ۶۳ | ..... | روش تحقیق | ۶-۳ |
| ۶۵ | ..... | نتایج و بحث | فصل ۴ |
| ۶۶ | ..... | مقدمه | ۱-۴ |
| ۶۶ | ..... | ساخت ایزوژل | ۲-۴ |
| ۶۶ | ..... | دمای پخت | ۱-۲-۴ |
| ۶۸ | ..... | بررسی اثر دمای پیرولیز بر جمع‌شدگی ایزوژل کربنی | ۲-۲-۴ |
| ۷۱ | ..... | تعیین برنامه حرارت‌دهی بهینه برای ساخت ایزوژل کربنی | ۳-۲-۴ |
| ۷۲ | ..... | خواص فیزیکی ایزوژل‌های فنولیک و کربنی | ۴-۲-۴ |
| ۷۳ | ..... | بررسی ساختار و ریخت‌شناسی ایزوژل‌های کربنی | ۵-۲-۴ |
| ۷۵ | ..... | آزمون حرارتی عملکردی بر روی ایزوژل‌های کربنی | ۶-۲-۴ |
| ۷۸ | ..... | جمع‌بندی قسمت ایزوژل: انتخاب ایزوژل مناسب برای اضافه کردن مواد تغییر فاز | ۷-۲-۴ |
| ۷۹ | ..... | نتایج آزمون تخلخل‌سنج جذب- واجذب نیتروژن از ایزوژل کربنی ۲۰ درصد | ۸-۲-۴ |
| ۸۲ | ..... | ماده تغییرفازی | ۳-۴ |
| ۸۲ | ..... | تحلیل حرارتی ماده تغییرفازی | ۱-۳-۴ |
| ۸۴ | ..... | تعیین درصد جذب ماده تغییر فاز با توجه به مدت غوطه‌وری ایزوژل کربنی | ۲-۳-۴ |
| ۸۵ | ..... | بررسی ساختار و ریخت‌شناسی ایزوژل‌های کربنی پرشده با مواد تغییر فاز | ۳-۳-۴ |
| ۸۷ | ..... | آزمون کالریمتری روبشی تفاضلی بر روی ایزوژل کربنی پرشده با ماده تغییر فاز | ۴-۳-۴ |
| ۸۸ | ..... | نتایج آزمون حرارتی بر روی ایزوژل‌های کربنی پرشده با مواد تغییر فاز | ۵-۳-۴ |
| ۹۲ | ..... | بررسی اثر استفاده از رزین نووالاک به عنوان نگهدارنده ماده تغییر فاز | ۴-۴ |
| ۹۲ | ..... | آزمون طیف‌سنجی مادون قرمز به روش FTIR | ۱-۴-۴ |
| ۹۴ | ..... | آزمون تجزیه گرماوزن‌سنجی بر روی رزین نووالاک پخت شده | ۲-۴-۴ |
| ۹۴ | ..... | آزمون حرارتی | ۳-۴-۴ |
| ۹۸ | ..... | بررسی خواص حرارتی ساختار همگن و مدرج ماده تغییر فاز درون ایزوژل کربنی | ۵-۴ |
| ۱۰۲ | ..... | آزمون میکروسکوپ الکترونی روبشی بر روی نمونه ساختار مدرج | ۱-۵-۴ |

| | | |
|----------|---------------------------------|-------|
| ۱۰۵..... | نتیجه‌گیری..... | فصل ۵ |
| ۱۰۶..... | نتیجه‌گیری..... | ۱-۵ |
| ۱۰۷..... | پیشنهادها برای تحقیقات آتی..... | ۲-۵ |

فهرست جدول‌ها

عنوان

صفحه

| | | |
|-----------|---|----|
| جدول ۱-۲ | تاثیر شرایط پیرولیز بر خواص ژل کربنی | ۱۰ |
| جدول ۲-۲ | پیش‌ماده‌های مختلف ایزوژل‌های آلی و پارامترهای ساختاری آن‌ها | ۱۳ |
| جدول ۲-۳ | خواص برخی مواد تغییر فاز جامد-جامد | ۱۷ |
| جدول ۲-۴ | دمای ذوب و گرمای نهان ذوب پارافین‌ها با توجه به تعداد اتم‌های کربنی | ۱۹ |
| جدول ۲-۵ | خواص حرارتی - فیزیکی برخی اسیدهای چرب | ۲۱ |
| جدول ۲-۶ | برخی نمک‌های هیدراته قابل کاربرد و خواص آنها | ۲۴ |
| جدول ۲-۷ | خواص حرارتی برخی فلزات | ۲۵ |
| جدول ۲-۸ | خواص برخی ترکیبات نمکی | ۲۶ |
| جدول ۲-۹ | مزایا و معایب هر کدام از مواد تغییر فاز | ۲۷ |
| جدول ۲-۱۰ | تکنیک‌های میکروکپسوله کردن | ۳۲ |
| جدول ۳-۱ | جدول پیک‌های جذبی طیف FTIR ماده تغییر فاز | ۵۰ |
| جدول ۳-۲ | دستگاه‌های استفاده شده در تحقیق | ۵۱ |
| جدول ۳-۳ | برنامه دمایی خشک کردن ایزوژل | ۵۷ |
| جدول ۴-۱ | خواص فیزیکی ایزوژل‌های کربنی و نووالاکی | ۷۳ |
| جدول ۴-۲ | نتایج حاصل از حل معکوس معادله انتقال حرارت | ۷۸ |
| جدول ۴-۳ | مشخصات ساختار تخلخل ایزوژل کربنی | ۸۱ |
| جدول ۴-۴ | مشخصات پیک‌های ایزوژل کربنی پر شده با ۶۵٪ ماده تغییر فاز | ۸۸ |
| جدول ۴-۵ | مشخصات پیک طیف جذبی FTIR | ۹۳ |

فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

-
- شکل ۱-۱ نمایی از علت انتخاب ماده تغییر فاز برای بهبود خواص حرارتی ایروژل کربنی..... ۳
- شکل ۱-۲ نمونه‌هایی از ایروژل‌های کربنی و سیلیکایی..... ۷
- شکل ۲-۲ مراحل مختلف ساخت ایروژل رزورسینول- فرمالدهید..... ۸
- شکل ۲-۳ تقسیم‌بندی مواد تغییر فاز..... ۱۸
- شکل ۲-۴ دمای ذوب و انتالپی ذوب گروه‌های مختلف مواد تغییرفازی..... ۲۸
- شکل ۲-۵ نمایی از تشکیل میکروکپسول مواد تغییر فاز..... ۳۳
- شکل ۲-۶ ساختار شیمیایی دو رزین رزول و نووالاک..... ۳۴
- شکل ۲-۷ ساختار شیمیایی یک نوع رزین نووالاک پخت شده..... ۳۹
- شکل ۲-۸ نمونه ای از مواد ساختار مدرج..... ۴۰
- شکل ۳-۱ طیف FTIR رزین نووالاک..... ۴۸
- شکل ۳-۲ ساختار شیمیایی منیزیم کلراید هگزا هیدرات و منیزیم بیس مالونات دی‌هیدرات..... ۴۹
- شکل ۳-۳ طیف FTIR ماده تغییرفازی..... ۴۹
- شکل ۳-۴ تصاویری از قالب‌های تفلونی استفاده شده..... ۵۴
- شکل ۳-۵ تصویر اتوکلوا استفاده شده..... ۵۴
- شکل ۳-۶ برنامه حرارتی مورد استفاده برای پیرولیز ایروژل‌های نووالاک..... ۵۶
- شکل ۳-۷ نمایی از دستگاه آزمون حرارتی..... ۵۸
- شکل ۳-۸ نمونه‌های تهیه شده برای آزمون حرارتی..... ۵۹
- شکل ۳-۹ مراحل انجام تحقیق..... ۶۴
- شکل ۴-۱ آزمون کالریمتری روبشی تفاضلی بر روی رزین نووالاک پخت نشده..... ۶۷
- شکل ۴-۲ طیف FTIR رزین نووالاک IP 502..... ۶۸
- شکل ۴-۳ منحنی TGA ایروژل نووالاک در محیط نیتروژن..... ۶۹
- شکل ۴-۴ اثر دمای پیرولیز بر جمع‌شدگی ایروژل کربنی..... ۷۱
- شکل ۴-۵ برنامه حرارتی مناسب برای پیرولیز ایروژل نووالاک..... ۷۲
- شکل ۴-۶ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان از ایروژل کربنی..... ۷۴
- شکل ۴-۷ نتایج آزمون TGA ایروژل کربنی در محیط هوا..... ۷۶
- شکل ۴-۸ اثر غلظت رزین بر عملکرد عایقی ایروژل‌های کربنی..... ۷۷
- شکل ۴-۹ منحنی جذب- واجذب نیتروژن در دمای ۷۷ کلوین..... ۸۰

- شکل ۴-۱۰ نمودار توزیع اندازه حفرات ایروژل کربنی..... ۸۲
- شکل ۴-۱۱ منحنی گرماسنجی پوششی تفاضلی منیزیم کلراید هگزا هیدرات..... ۸۳
- شکل ۴-۱۲ آزمون کالریمتری روبشی تفاضلی بر روی نمک ۸۴
- شکل ۴-۱۳ درصد جذب ماده تغییر فازی بر حسب زمان غوطه وری ایروژل..... ۸۵
- شکل ۴-۱۴ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی ایروژل کربنی پر شده با ماده تغییر فاز..... ۸۶
- شکل ۴-۱۵ آزمون کالریمتری روبشی تفاضلی بر روی ایروژل کربنی پر شده ۸۸
- شکل ۴-۱۶ نتایج آزمون حرارتی بر روی نمونه‌های ایروژل کربنی پر شده با مواد تغییر فاز..... ۹۲
- شکل ۴-۱۷ آزمون طیف سنجی مادون قرمز..... ۹۳
- شکل ۴-۱۸ آزمون گرما وزن سنجی بر روی رزین نووالاک پخت شده..... ۹۴
- شکل ۴-۱۹ آزمون حرارتی بر روی ایروژل کربنی پر شده با ۵۵ درصد ماده تغییر فاز ۹۶
- شکل ۴-۲۰ آزمون حرارتی بر روی ایروژل کربنی پر شده با درصدهای مختلف ماده تغییر فاز..... ۹۸
- شکل ۴-۲۱ آزمون حرارتی بر روی ایروژل کربنی پر شده با ۶۵٪ ماده تغییر فاز ۱۰۱
- شکل ۴-۲۲ آزمون حرارتی بر روی دو ایروژل کربنی پر شده با ۶۵ و ۵۵ درصد ماده تغییر فاز ... ۱۰۲
- شکل ۴-۲۳ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه ساختار مدرج..... ۱۰۳

فصل اول
مقدمه

کنترل درجه حرارت و انتقال حرارت در بسیاری از فرآیندهای صنعتی همچون کاربردهای نظامی و هوافضایی، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی ساختمانی، خنک‌سازی قطعات الکترونیکی و ابزارهای ارتباطی که حفاظت حرارتی در آنها با اهمیت است، امری ضروری است. ابروزل‌های^۱ کربنی مواد کربنی متخلخل با چگالی پایین، تخلخل پیوسته، مساحت سطح زیاد و اندازه حفرات بسیار کوچک نانومتری هستند که از پیرولیز^۲ ابروزل‌های آلی در محیط خنثی تهیه می‌شوند. خواص منحصر بفرد ابروزل‌های کربنی به خصوص پایداری حرارتی عالی، حفظ ساختار در دماهای بالا (تا °C ۲۰۰۰ در خلا) و تخلخل بالا این مواد را در کاربردهای حرارتی مورد توجه قرار داده است. با توجه به خواص فوق، ابروزل‌های کربنی در بسیاری از کاربردهایی که در آنها ضخامت و وزن عایق محدود است به طور مثال در وسایل پیشرفته صنعتی، صنایع هوا فضا و وسایل مافوق صوت مورد توجه قرار گرفته‌اند[۱].

[۲].

از طرف دیگر مواد تغییر فاز^۳ در دهه‌های اخیر توجهات زیادی را در حفاظت حرارتی به خود جلب کرده‌اند. مواد تغییر فاز در هنگام تغییر فاز مقدار زیادی انرژی را با توجه به گرمای نهان تغییر فاز خود جذب کرده و سبب تاخیر در افزایش دمای سطح مقابل حرارت می‌شوند. روش حفاظت حرارتی با استفاده از مواد تغییر فاز از جمله روش‌های حفاظت حرارتی غیرفعال است که به علت سادگی و قابل اطمینان بودن کاربرد دارد. محافظت از سطح مقابل شار حرارتی برای نگهداری دما پایین‌تر از نقطه عملکرد بحرانی سامانه‌های مدنظر توسط این مواد امکان‌پذیر است [۳، ۴]. این مواد به سه گروه اصلی آلی^۴، غیرآلی^۵ و ترکیبی^۶ تقسیم‌بندی می‌شوند. هرکدام از گروه‌های مواد تغییر فاز دارای محدوده

¹ Aerogels

² Pyrolysis

³ Phase change materials

⁴ Organic

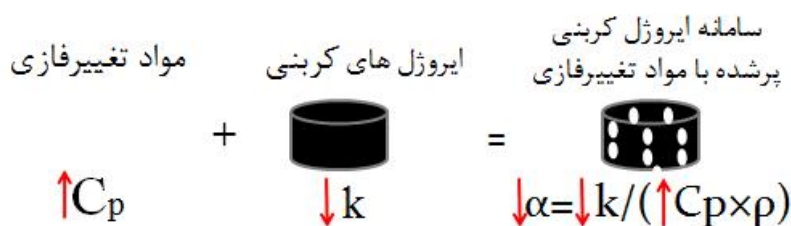
⁵ Inorganic

⁶ Eutectic

دمای ذوب و گرمای نهان ذوب متفاوتی هستند، ولی در کل گرمای نهان ذوب مواد تغییر فاز غیرآلی بیشتر از مواد تغییر فاز آلی است [۵].

با توجه به موارد اشاره شده، تخلخل بالا، هدایت حرارتی پایین و پایداری حرارتی، مساحت سطح بزرگ و جذب‌کنندگی بالا ایزوژل‌های کربنی را گزینه مناسبی برای افزودن مواد تغییر فاز می‌سازد.

ایزوژل‌های کربنی هدایت حرارتی بسیار پایین و ضریب اتلاف بالایی دارند [۲]. برای بهبود خواص حرارتی و عایقی این ساختارها از مواد تغییر فاز استفاده شده است. مواد تغییر فاز دارای ظرفیت گرمایی بالایی هستند. در واقع فرضیه اصلی در این تحقیق ترکیب ساختارهای ایزوژل با هدایت حرارتی پایین با مواد تغییر فاز با ظرفیت گرمایی ویژه بالا برای بهبود خواص حرارتی ایزوژل‌های کربنی بوده است. فرض بر این بوده که کاهش نفوذپذیری حرارتی^۱ و بهبود حفاظت حرارتی^۲ (شکل ۱-۱) در این ساختار با هدایت حرارتی پایین ایزوژل‌ها و ظرفیت گرمایی ویژه بالای مواد تغییر فاز امکانپذیر است.



شکل ۱-۱ نمایی از علت انتخاب ماده تغییرفازی برای بهبود خواص حرارتی ایزوژل کربنی

یکی از معایب پرکردن ایزوژل‌های کربنی با مواد تغییر فاز این است که مواد تغییر فاز قبل از ذوب در فاز جامد هستند و سبب افزایش هدایت حرارتی سامانه ایزوژل کربنی و ماده تغییر فاز می‌شوند. پراکنش مدرج این مواد در ایزوژل کربنی می‌تواند سبب بهبود خواص حرارتی نسبت به پراکنش

¹ Thermal diffusivity

² Thermal protection

همگن شود. فرض دوم این پژوهش بهتر شدن خواص حرارتی ابروژل کربنی با پراکنش مدرج مواد تغییر فاز در ابروژل کربنی است.

هدف از این تحقیق ساخت سامانه حفاظت حرارتی بر پایه ابروژل‌های کربنی پر شده با مواد تغییر فاز و بررسی اثر نوع پراکنش مواد تغییر فاز بر خواص حرارتی ابروژل کربنی است.

در این پژوهش اثر افزوده شدن ماده تغییر فاز به ابروژل کربنی بررسی شده است. بدین منظور ابروژل‌های کربنی با پیش‌ماده محلول‌هایی با درصد رزین فنولیک متفاوت تهیه شده و خواص این ابروژل‌ها شناسایی شد و تاثیر مقادیر مختلف ماده تغییر فاز و پخش مدرج ماده تغییر فاز در کارایی حرارتی ابروژل‌های کربنی با استفاده از آزمون حرارتی مورد بررسی قرار گرفت.

بدین ترتیب در فصل دوم به بررسی مباحث نظری و مرور کارهای انجام شده پرداخته شده است. در فصل سوم آزمون‌های انجام شده و روش انجام آن‌ها شرح داده شده است و فصل چهارم به گزارش نتایج و تحلیل آنها اختصاص یافته است. در پایان نیز به جمع بندی نهایی و ارائه پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی پرداخته شده است.

فصل دوم

نظری