

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه
گاوزنگ - زنجان



طراحی و ساخت جامدات نانوساختار جدید بر پایه مایعات یونی و مطالعه کاربردهای آنها در برخی تبدیلات شیمیایی

رساله دکتری

داود الهامی فر

استاد راهنما: دکتر بابک کریمی

شهریور ۱۳۸۹

تقدیم به

بهترین گل‌های زندگی‌ام

پدر عزیز

9

مادر مهربونم



تقدیر

کز عهده شکرش به در آید

از دست و زبان که بر آید

منت فدای را عز و جل که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت. آری به راستی که کرم فدای تعالی در زهنی نگنجد و به زبانی توصیف نشود. اوست یگانه سرچشمه زلال عشق که به مرحمتش اکسیری از کیمیای ناب به کام حقیر شیرین گشت و به مدد او توفیق بهره‌مندی قطره‌ای از این دریای بی‌کران نسبیم شد.

از پدر و مادر مهربونم، برادران و خواهران گرامی‌ام به پاس همه حمایت‌ها و الطاف بی‌دریغشان در طول این دوره، فالصانه تقدیر و تشکر می‌کنم و از ایزد منان برای همه این عزیزان، پیروزی و سعادت دنیا و آخرت مسئلت می‌نمایم.

استاد ارجمندم، جناب دکتر بابک کریمی را به سبب مساعدت‌های کریمانه و رهنمودهای مدبرانه‌شان در طول این دوره، سپاس فراوان تقدیم می‌کنم و از کریم تعالی برای ایشان سعادت و کرم روزافزون آرزو می‌نمایم. معلمان گرامم جناب دکتر سعید عمادی و دکتر مصسن کمپانی را که از مضرشان درس‌های بزرگی از برای حیات آموختم، نهایت تشکر را دارم.

از دیگر معلمان فویش، جناب آقایان دکتر کاظمی، دکتر کبودین، دکتر حقیقی، دکتر عبداللهی، دکتر شمس و دکتر یداللهی که در طول این دوره ز شاگردی ایشان بهره‌مند شدم، کمال تشکر را دارم.

دوستان شیرین سفن، با محبت و فوش سفرم را به خاطر همه لطف و عنایتی که در همه اوقات به من داشتند صمیمانه سپاس‌گذاری می‌کنم و از معمار هستی برای همه‌شون آرزوی سربلندی و توفیق روز افزون مسئلت می‌نمایم.

و دگر بار معبود فویش را ستایش و شکرگذاری می‌کنم و از درگاه ملکوتی‌اش یاری می‌طلبم تا بتوانم ز این اندوخته اندکم در جهت عزت و افتخار ایران شریف بهره ببرم.

اللهم عجل لولیک الفرج و العافیة و النصر

چکیده

هدف اصلی این رساله طراحی و سنتز جامدات نانوساختار جدید زیروژل و اورگانوسیلیکای مزوحفره منظم است که در آنها گروه‌های مایعات یونی امیدازولیوم با بارگیری بالا و بصورت یکنواخت در بدنه سیلیکایی توزیع شده‌اند. برخی از کاربردهای مهم این مواد در تبدیلات آلی نیز بررسی شده است. مطالعات انجام شده در این رساله در چهار فصل تقسیم‌بندی شده است.

در فصل اول، مقدمه‌ای کلی در مورد مایعات یونی و اهمیت آنها در واکنش‌های مختلف شیمیایی و صنعتی آورده شده است. علاوه بر این، معایب اصلی مایعات یونی به همراه راهبردهای گزارش شده جهت برطرف کردن این معایب نیز ذکر شده است. در بخش دوم فصل اول، امتیازات و نواقص کاتالیزورهای همگن، ناهمگن و بین‌فازی بیان و مورد مقایسه قرار گرفته است. علاوه بر این، امتیازات کاتالیزورهای بین‌فازی نسبت به سیستم‌های کاتالیزوری سنتی نیز مورد اشاره قرار گرفته است. در بخش پایانی فصل اول، انواع مواد نانوحفره و خصوصیات آنها بررسی شده است.

در فصل دوم، برای اولین بار، طراحی، سنتز و شناسایی ترکیبات زیروژل و نانوساختار مزوحفره منظم جدید بر پایه مایعات یونی بررسی شده‌اند. در این راستا سنتز و شناسایی ساختارهای زیروژل بر پایه مایعات یونی ۱،۳-بیس(۳-تری-متوکسی پروپیل)ایمیدازولیوم‌هالید مورد مطالعه قرار گرفته است. علاوه بر این، خصوصیات و پایداری این مواد از طریق میکروسکوپ الکترونی روبشی، طیف‌سنجی رزنانس مغناطیسی هسته حالت جامد، وزن‌سنجی دمایی و طیف‌سنجی مادون قرمز انعکاسی بررسی شده است. در ادامه دسته‌ای از نانوساختارهای مزوحفره منظم PMO-IL حاوی مقدارهای متفاوت از واحدهای مایعات یونی پروپیل‌ایمیدازولیوم مذکور، سنتز و شناسایی شده‌اند. در همه این مطالعات تاثیر غلظت مایعات یونی در نظم و پایداری ساختارهای سنتز شده، بررسی شده است.

در فصل سوم، کاربرد نانوساختارهای منظم PMO-IL، در واکنش جفت شدن سوزوکی آریل‌هالیدها مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا، تهیه و شناسایی نانوکاتالیزور Pd@PMO-IL بررسی شده است. در مرحله بعد، کاربرد کاتالیزور Pd@PMO-IL در واکنش جفت شدن سوزوکی انواع یدو-، برم- و کلروآریل‌ها با آریل‌بورونیک اسیدهای مختلف در حضور پتاسیم کربنات و در آب به عنوان یک حلال سبز مطالعه شده است. به خصوص، فعالیت بالای این کاتالیزور برای ترکیبات غیرفعال آریل کلرید و آریل‌هالید حاوی هترواتم شایان توجه است. این مطالعه نشان داد که کاتالیزور می‌تواند ۴ بار بدون از اینکه کاهش قابل توجه در فعالیت و انتخابگری آن مشاهده شود، بازیافت و مورد استفاده مجدد قرار گیرد. نتایج این بررسی‌ها همچنین نشان داد که اگرچه نانوساختار PMO-IL در ظاهر به عنوان یک مخزن جهت نگهداری

گونه‌های پالادیم قابل حل در محیط، عمل می‌کند، ولی در حقیقت نقش یک نانوبستر را برای گرفتن و آزاد کردن مجدد نانوذرات پالادیم به درون نانوحفرات و در نتیجه جلوگیری از تجمع آنها طی فرایند واکنش دارد.

در فصل چهارم، کاربرد نانوکاتالیزور Pd@PMO-IL در اکسایش هوازی الکل‌ها بررسی شده است. کارآیی مهم ترکیب PMO-IL بر پایه مایعات یونی در تهیه و پایداری نانوذرات پالادیم در طی اکسایش هوازی الکل‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان دادند که الکل‌های مختلف نوع اول و دوم آلیفاتیک، آروماتیک، هتروآروماتیک و آلیلی می‌توانند بصورت موفقیت‌آمیزی در حضور مقادیر کمی از نانوکاتالیزور Pd@PMO-IL و در مدت زمان پایین، به محصولات کربونیلی مربوطه اکسید شوند. این مطالعه همچنین نشان داد که کاتالیزور می‌تواند حداقل ۹ بار به آسانی بازیافت و مورد استفاده مجدد قرار گیرد و محصولات کربونیلی مربوطه را بازده عالی تولید کند. نتایج حاصل از آزمون فیلتر کردن در دمای بالا، آنالیز اتمی، و اثرات عوامل مسموم کننده با نتیجه بازیافت کاتالیزور همخوانی خوبی داشته و نشان دادند که نانوکاتالیزور Pd@PMO-IL در محیط واکنش بصورت ناهمگن عمل می‌کند. علاوه بر این، آزمایش جذب سواجذب نیتروژن و آنالیز میکروسکوپ الکترونی عبوری کاتالیزور بازیافتی، کارآیی بالای نانوساختار PMO-IL را در تثبیت موفق نانوذرات فعال و پایدار پالادیم تایید کردند.

فهرست مطالب

| شماره صفحه | عنوان |
|------------|---|
| VIII | فهرست جدول‌ها |
| X | فهرست شکل‌ها |
| XXI | فهرست شماها |
| XXII | فهرست طیف‌ها |
| ۳۰۵ | پیوست |
| ۳۴۴ | واژه‌نامه |
| ۳۵۳ | اختصارات |
| ۱ | فصل اول: مقدمه و تاریخچه |
| ۱ | ۱-۱- شیمی سبز |
| ۵ | ۲-۱- مایعات یونی |
| ۸ | ۱-۲-۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مایعات یونی |
| ۹ | ۲-۲-۱- سنتز مایعات یونی |
| ۹ | ۱-۲-۲-۱- سنتز مایعات یونی از طریق واکنش $SN2$ |
| ۱۰ | ۲-۲-۲-۱- سنتز مایعات یونی از طریق فرایند تبادل آنیون‌ها |
| ۱۱ | ۳-۲-۱- کاربرد مایعات یونی در فرایندهای شیمیایی |
| ۱۵ | ۱-۳-۲-۱- کاربرد مایعات یونی در واکنش‌های کاتالیزوری فلزات واسطه |
| ۱۶ | ۲-۳-۲-۱- کاربرد مایعات یونی در سایر واکنش‌های شیمیایی |
| ۱۷ | ۳-۳-۲-۱- کاربرد مایعات یونی در واکنش‌های بیوشیمیایی |
| ۱۸ | ۴-۲-۱- کاربرد مایعات یونی در فرایندهای صنعتی |
| ۲۲ | ۵-۲-۱- معایب مایعات یونی و فلسفه تثبیت کردن آنها |
| ۲۴ | ۱-۵-۲-۱- تثبیت مایعات یونی بر روی سطوح سیلیکایی |
| ۲۴ | ۱-۱-۵-۲-۱- مایعات یونی تثبیت شده بر روی سطوح سیلیکایی نامنظم |
| ۲۹ | ۲-۱-۵-۲-۱- مایعات یونی تثبیت شده بر روی سطوح سیلیکایی منظم |
| ۳۶ | ۳-۱- کاتالیزور |
| ۳۶ | ۱-۳-۱- تاریخچه کاتالیزور |
| ۳۷ | ۲-۳-۱- انواع کاتالیزور |
| ۳۷ | ۱-۲-۳-۱- بیوکاتالیزورها (آنزیم‌ها) |

| | |
|----|---------------------------------------|
| ۳۷ | ۱-۳-۲-۲- کاتالیزورهای همگن |
| ۳۸ | ۱-۳-۲-۳- کاتالیزورهای ناهمگن |
| ۳۹ | ۱-۳-۲-۴- کاتالیزورهای بین فازی |
| ۴۲ | ۱-۳-۲-۴-۱- تهیه کاتالیزورهای بین فازی |
| ۴۲ | ۱-۴-۱- ترکیبات نانوحفره |
| ۴۳ | ۱-۴-۱- میکروحفرات |
| ۴۴ | ۱-۴-۲- مزوحفرات |
| ۵۱ | ۱-۵- ارزیابی اهداف رساله و رئوس مطالب |
| ۵۳ | ۱-۶- مراجع |

فصل دوم: طراحی، سنتز و شناسایی ساختارهای اورگانوسیلیکایی زیروژل و

| | |
|----|--|
| ۶۰ | نانوحفره جدید بر پایه مایعات یونی و بررسی خصوصیات آنها: تلفیق شیمی مایعات یونی با شیمی معدنی در ابعاد ملکولی |
|----|--|

| | |
|----|---|
| ۶۰ | ۲-۱- مقدمه‌ای بر اهمیت تثبیت مایعات یونی |
| ۶۱ | ۲-۲- مروری بر ساختارهای زیروژل |
| ۷۰ | ۲-۳- اورگانوسیلیکاهای مزوحفره متناوب (PMOs) |
| ۷۲ | ۲-۳-۱- سنتز ترکیبات PMO |
| ۷۵ | ۲-۳-۱-۱- ترکیبات اورگانوسیلیکای منظم PMO، که ماده اولیه بکارگرفته شده جهت سنتز آنها بصورت مخلوط با تتراآلکوکسی سیلان مورد استفاده قرار می‌گیرند |
| ۷۷ | ۲-۳-۱-۲- ترکیبات اورگانوسیلیکای منظم PMO، که تنها با استفاده از یک نوع پیش‌ماده اورگانوسیلیکائی سنتز شده‌اند |
| ۷۸ | ۲-۳-۱-۳- ترکیبات اورگانوسیلیکای منظم PMO، که از مخلوط دو یا چند نوع پیش‌ماده اورگانوسیلیکائی سنتز شده‌اند |
| ۸۰ | ۲-۳-۱-۴- ترکیبات اورگانوسیلیکای منظم PMO، که با بکارگیری مواد اولیه $(R'O)_3Si-R^1$ و $(R'O)_3Si-R^2-Si(OR')_3$ سنتز می‌شوند |
| ۸۱ | ۲-۳-۲- تاریخچه ترکیبات PMO |
| ۸۲ | ۲-۳-۳- کاربرد نانوساختارهای منظم PMO |
| ۸۳ | ۲-۳-۳-۱- نانوساختارهای منظم PMO حاوی گروه اسیدی و استفاده کاتالیزوری برخی از آنها در تبدیلات شیمیایی |
| ۸۹ | ۲-۳-۳-۲- نانوساختارهای اورگانوسیلیکای منظم PMO حاوی کمپلکس‌های فلزی و استفاده کاتالیزوری برخی از آنها در تبدیلات شیمیایی |
| ۹۵ | ۲-۳-۳-۳- ترکیبات PMO دارای فعالیت نوری |

- ۹۷ ۲-۳-۳-۴- نانوساختارهای منظم PMO حاوی لیگندهای کایرال و کاربرد آنها در فرایندهای کاتالیزوری نامتقارن ناهمگن
- ۱۰۲ ۲-۳-۳-۵- سایر کاربردهای نانوساختارهای PMO
- ۱۰۳ ۲-۴-۴- بخش تجربی
- ۱۰۳ ۲-۴-۱- کلیات، مواد، دستگاه‌ها و روش‌های مورد استفاده
- ۱۰۳ ۲-۴-۲- دستور کار برای خشک کردن حلال تتراهیدروفوران
- ۱۰۴ ۲-۴-۳- دستور کار برای خشک کردن حلال دی‌کلرومتان
- ۱۰۴ ۲-۴-۴- دستور کار برای خشک کردن حلال تولوئن
- ۱۰۴ ۲-۴-۵- دستور کار برای خشک کردن حلال متانول
- ۱۰۴ ۲-۴-۶- دستور کار برای سنتز مایع‌یونی ۳،۱-بیس (تری‌متوکسی‌سایلیل‌پروپیل)‌ایمیدازولیوم-کلرید (۱)
- ۱۰۵ ۲-۴-۷- دستور کار برای سنتز مایع‌یونی ۳،۱-بیس (تری‌متوکسی‌سایلیل‌پروپیل)‌ایمیدازولیوم‌یدید (۲)
- ۱۰۶ ۲-۴-۸- روش عمومی جهت سنتز ترکیبات اورگانوسیلیکای زیروژل Xe-IL بر پایه مایعات-یونی ۳،۱-بیس (تری‌متوکسی‌سایلیل‌پروپیل)‌ایمیدازولیوم‌هالید تحت شرایط اسیدی
- ۱۰۶ ۲-۴-۹- روش عمومی جهت سنتز ترکیب اورگانوسیلیکای PMO-IL-100-A در حضور ماده مؤثر سطح پلورونیک P123 تحت شرایط اسیدی
- ۱۰۷ ۲-۴-۱۰- روش عمومی جهت سنتز ترکیب اورگانوسیلیکای PMO-IL-100-B در حضور ماده مؤثر سطح پلورونیک P123 تحت شرایط اسیدی
- ۱۰۷ ۲-۴-۱۱- روش عمومی جهت سنتز ترکیبات نانو اورگانوسیلیکای منظم PMO بر پایه مایع‌یونی (PMO-IL-n) در حضور ماده مؤثر سطح پلورونیک P123 تحت شرایط اسیدی
- ۱۰۸ ۲-۴-۱۲- روش سنتز ترکیب نانو اورگانوسیلیکای منظم PMO-IL-50 بر پایه مایع‌یونی در حضور ماده مؤثر سطح پلورونیک P123 تحت شرایط اسیدی
- ۱۰۹ ۲-۵-۵- نتایج و بحث
- ۱۱۰ ۲-۵-۱- سنتز مایعات‌یونی ۳،۱-بیس (تری‌متوکسی‌سایلیل‌پروپیل)‌ایمیدازولیوم‌کلرید و ۳،۱-بیس (تری‌متوکسی‌سایلیل‌پروپیل)‌ایمیدازولیوم‌یدید
- ۱۱۱ ۲-۵-۲- طراحی، سنتز و شناسایی ساختارهای اورگانوسیلیکایی زیروژل جدید بر پایه مایعات-یونی و بررسی خصوصیات آنها
- ۱۱۲ ۲-۵-۱-۲- آنالیز و شناسایی زیروژل Xe-IL
- ۱۱۲ ۲-۵-۱-۱-۲- آنالیز وزن‌سنجی حرارتی (TGA)
- ۱۱۳ ۲-۵-۱-۲- آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)
- ۱۱۴ ۲-۵-۱-۳- طیف‌سنجی مادون‌قرمز تبدیل فوریه انعکاسی (DRIFTS)
- ۱۱۵ ۲-۵-۱-۴- طیف‌سنجی NMR حالت جامد

- ۱۲۰ ۳-۵-۲- سنتز ترکیب اورگانوسیلیکای حاوی ۱۰۰ درصد مولی مایع یونی (PMO-IL-100-A) در حضور ماده مؤثر سطح پلورونیک P123 تحت شرایط اسیدی
- ۱۲۱ ۱-۳-۵-۲- شناسایی ترکیب اورگانوسیلیکای PMO-IL-100-A
- ۱۲۵ ۴-۵-۲- سنتز ترکیب اورگانوسیلیکای حاوی ۱۰۰ درصد مولی مایع یونی (PMO-IL-100-B) در حضور نمک KCl و ماده مؤثر سطح پلورونیک P123 تحت شرایط اسیدی
- ۱۲۷ ۱-۴-۵-۲- آنالیز و شناسایی اورگانوسیلیکای PMO-IL-100-B
- ۱۳۱ ۵-۵-۲- سنتز ترکیبات نانو اورگانوسیلیکای منظم بر پایه مایعات یونی (PMO-IL) در حضور نمک KCl و ماده مؤثر سطح پلورونیک P123 تحت شرایط اسیدی
- ۱۳۱ ۱-۵-۵-۲- سنتز و شناسایی ترکیب نانو اورگانوسیلیکای منظم حاوی ۵۰ درصد مولی مایع یونی (PMO-IL-50) در حضور نمک KCl و ماده مؤثر سطح پلورونیک P123 تحت شرایط اسیدی
- ۱۴۰ ۲-۵-۵-۲- سنتز و شناسایی ترکیب نانو اورگانوسیلیکای منظم حاوی ۳۵ درصد مولی مایع یونی (PMO-IL-35) در حضور نمک KCl و ماده مؤثر سطح پلورونیک P123 تحت شرایط اسیدی
- ۱۴۸ ۳-۵-۵-۲- سنتز و شناسایی ترکیب نانو اورگانوسیلیکای منظم حاوی ۲۵ درصد مولی مایع یونی (PMO-IL-25) در حضور نمک KCl و ماده مؤثر سطح پلورونیک P123 تحت شرایط اسیدی
- ۱۵۶ ۴-۵-۵-۲- سنتز و شناسایی ترکیب نانو اورگانوسیلیکای منظم حاوی ۱۰ درصد مولی مایع یونی (PMO-IL-10) در حضور نمک KCl و ماده مؤثر سطح پلورونیک P123 تحت شرایط اسیدی
- ۱۶۴ ۵-۶-۵-۲- تاثیر جایگزینی تترامتوکسی سیلان (TMOS) با تتراتوکسی سیلان (TEOS) در سنتز نانو اورگانوسیلیکاهای منظم PMO-IL-n
- ۱۷۵ ۶-۲- مراجع
- ۱۷۹ **فصل سوم: تثبیت پالادیم بر روی نانوساختار PMO-IL و بررسی کاربرد کاتالیزوری آن در واکنش جفت شدن سوزوکی-میاورا در حلال آب**
- ۱۷۹ ۱-۳- مروری بر خواص کاتالیزوری نانوذرات فلزات واسطه
- ۱۸۱ ۱-۱-۳- استفاده از مایعات یونی جهت سنتز، پایدار کردن و کاربرد نانوذرات پالادیم
- ۱۸۸ ۲-۳- مروری بر واکنش سوزوکی-میاورا
- ۱۹۰ ۱-۲-۳- استفاده از سیستم های کاتالیزوری پالادیم جهت انجام واکنش سوزوکی تحت شرایط همگن
- ۱۹۵ ۲-۲-۳- استفاده از سیستم های کاتالیزوری پالادیم جهت انجام واکنش سوزوکی تحت شرایط ناهمگن
- ۲۰۲ ۳-۳- بخش تجربی
- ۲۰۲ ۱-۳-۳- کلیات، مواد، دستگاه ها و روش های مورد استفاده
- ۲۰۳ ۲-۳-۳- دستور کار جهت سنتز اورگانوسیلیکای مزوحفره منظم بر پایه مایع یونی (PMO-IL)
- ۲۰۳ ۳-۳-۳- دستور کار جهت تهیه نانو کاتالیزور Pd@PMO-IL
- ۲۰۳ ۴-۳-۳- دستور کار جهت محاسبه میزان بارگیری پالادیم در Pd@PMO-IL

- ۲۰۴ ۵-۳-۳- دستور کار عمومی جهت انجام واکنش سوزوکی در حضور کاتالیزور Pd@PMO-IL
- ۲۰۴ ۶-۳-۳- دستور کار جهت انجام واکنش سوزوکی فنیل بورونیک اسید با ۴-برموبنزالدهید در حضور کاتالیزور Pd@PMO-IL
- ۲۰۵ ۷-۳-۳- دستور کار جهت بازیافت کاتالیزور Pd@PMO-IL در فرایند سوزوکی
- ۲۰۵ ۸-۳-۳- دستور کار جهت تست فیلترکردن در دمای بالا
- ۲۰۵ ۹-۳-۳- دستور کار جهت بررسی اثرات عوامل سمی جیوه، SBA-15-propyl-SH و پلی-(۴-وینیل پیریدین) و بر روی فعالیت کاتالیزور Pd@PMO-IL در فرایند سوزوکی
- ۲۰۵ ۱۰-۳-۳- داده‌های طیفی محصولات سوزوکی
- ۲۰۹ ۴-۳- نتایج و بحث
- ۲۱۰ ۱-۴-۳- تثبیت پالادیم استات بر روی نانوساختار PMO-IL و مطالعه کاربرد کاتالیزوری آن در واکنش جفت شدن سوزوکی-میاورا
- ۲۲۴ ۱-۱-۴-۳- بررسی تعداد مراحل بازیافت کاتالیزور Pd@PMO-IL در واکنش سوزوکی
- ۲۲۵ ۲-۱-۴-۳- بررسی‌های تکمیلی جهت شناسایی نحوه عملکرد واقعی کاتالیزور Pd@PMO-IL در واکنش سوزوکی
- ۲۲۵ ۱-۲-۱-۴-۳- تست فیلترکردن در دمای بالا
- ۲۲۵ ۲-۲-۱-۴-۳- بررسی اثر عوامل سمی جیوه، پلی-(۴-وینیل پیریدین) و SBA-15-propyl-SH بر روی فعالیت کاتالیزور Pd@PMO-IL در واکنش سوزوکی
- ۲۲۹ ۳-۲-۱-۴-۳- بررسی آنالیز تخلخل سنجی جذب-واجذب نیتروژن نانوکاتالیزور بازیافتی RPd@PMO-IL
- ۲۳۱ ۴-۲-۱-۴-۳- تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری کاتالیزور بازیافتی RPd@PMO-IL
- ۲۳۲ ۲-۴-۳- مقایسه فعالیت کاتالیزور Pd@PMO-IL در واکنش سوزوکی با دیگر کاتالیزورهای ناهمگن ارائه شده در این زمینه
- ۲۳۸ ۵-۳- مراجع
- ۲۴۱ **فصل چهارم: کاربرد کاتالیزوری نانوساختار Pd@PMO-IL در اکسایش هوازی الکل‌ها**
- ۲۴۱ ۱-۴- مقدمه‌ای بر واکنش‌های اکسایش
- ۲۴۲ ۱-۱-۴- اکسیدان‌های مورد استفاده جهت اکسایش الکل‌ها به ترکیبات کربونیل مربوطه
- ۲۴۲ ۱-۱-۴- مشتقات فلزات واسطه
- ۲۴۴ ۲-۱-۴- اکسیدان‌های آلی
- ۲۴۶ ۳-۱-۴- اکسایش هوازی الکل‌ها
- ۲۴۷ ۱-۳-۱-۴- بکارگیری سیستم‌های همگن جهت اکسایش هوازی الکل‌ها در حضور کاتالیزور پالادیم
- ۲۵۴ ۲-۳-۱-۴- بکارگیری سیستم‌های ناهمگن جهت اکسایش هوازی الکل‌ها در حضور

کاتالیزور پالادیم

- ۲۶۳ ۲-۴- اهمیت بکارگیری مایعات یونی در واکنش‌های اکسایش کاتالیزوری فلزات واسطه
- ۲۶۵ ۳-۴- بخش تجربی
- ۲۶۵ ۱-۳-۴- کلیات، مواد، دستگاه‌ها و روش‌های مورد استفاده
- ۲۶۵ ۲-۳-۴- دستور کار واکنش اکسایش هوازی ۱-فنیل‌اتانول در حضور کاتالیزور Pd@PMO-IL تحت اتمسفر اکسیژن، در حلال آب و دماهای مختلف
- ۲۶۶ ۳-۳-۴- دستور کار واکنش اکسایش هوازی ۱-فنیل‌اتانول در حضور کاتالیزور Pd@PMO-IL تحت اتمسفر اکسیژن، در حلال تولوئن و دماهای مختلف
- ۲۶۶ ۴-۳-۴- دستور کار واکنش اکسایش هوازی ۱-فنیل‌اتانول در حضور کاتالیزور Pd@PMO-IL تحت اتمسفر اکسیژن، در حلال تری‌فلوئوروتولوئن و دماهای مختلف
- ۲۶۶ ۵-۳-۴- دستور کار عمومی جهت واکنش اکسایش هوازی الکل‌ها در حضور کاتالیزور Pd@PMO-IL، تحت اتمسفر اکسیژن، در حلال تری‌فلوئوروتولوئن و دمای ۹۵ درجه سانتیگراد
- ۲۶۷ ۶-۳-۴- دستور کار برای اکسایش هوازی ۱-فنیل‌اتانول در حضور کاتالیزور Pd@PMO-IL تحت اتمسفر اکسیژن، در حلال تری‌فلوئوروتولوئن و دمای ۹۵ درجه سانتیگراد
- ۲۶۷ ۷-۳-۴- دستور کار عمومی جهت واکنش اکسایش هوازی الکل‌ها در حضور کاتالیزور Pd@PMO-IL، تحت اتمسفر هوا، در حلال تری‌فلوئوروتولوئن و دمای ۹۵ درجه سانتیگراد
- ۲۶۷ ۸-۳-۴- دستور کار برای اکسایش هوازی ۱-فنیل‌اتانول در حضور کاتالیزور Pd@PMO-IL، تحت اتمسفر هوا، در حلال تری‌فلوئوروتولوئن و دمای ۹۵ درجه سانتیگراد
- ۲۶۸ ۹-۳-۴- دستور کار برای اکسایش هوازی هم‌زمان ۱-فنیل‌اتانول و ۲-کتانول در حضور کاتالیزور Pd@PMO-IL، تحت اتمسفر اکسیژن، در حلال تری‌فلوئوروتولوئن و دمای ۹۵ درجه سانتیگراد
- ۲۶۸ ۱۰-۳-۴- دستور کار برای اکسایش هوازی هم‌زمان ۱-فنیل‌اتانول و بنزیل‌الکل در حضور کاتالیزور Pd@PMO-IL، تحت اتمسفر اکسیژن، در حلال تری‌فلوئوروتولوئن و دمای ۹۵ درجه سانتیگراد
- ۲۶۹ ۱۱-۳-۴- دستور کار جهت بازیافت کاتالیزور Pd@PMO-IL در فرایند اکسایش هوازی ۱-فنیل‌اتانول تحت اتمسفر اکسیژن
- ۲۶۹ ۱۲-۳-۴- دستور کار عمومی جهت تست فیلترکردن در دمای بالا در فرایند اکسایش هوازی الکل‌ها در حضور کاتالیزور Pd@PMO-IL
- ۲۶۹ ۱۳-۳-۴- دستور کار برای بررسی سینتیک کاتالیزور Pd@PMO-IL در اکسایش هوازی ۴-کلروبنزیل‌الکل در حضور و عدم حضور عوامل سمی جیوه، SBA-15-propyl-SH و پلی-۴-وینیل‌پیریدین
- ۲۷۱ ۴-۴- نتایج و بحث
- ۲۷۲ ۱-۴-۴- اکسایش هوازی مؤثر الکل‌ها در حضور نانوکاتالیزور Pd@PMO-IL

- ۲۸۴ ۱-۱-۴-۴- مقایسه عملکرد کاتالیزور Pd@PMO-IL در اکسایش هم‌زمان الکل‌های مختلف
- ۲۸۶ ۲-۱-۴-۴- بررسی تعداد مراحل بازیافت کاتالیزور Pd@PMO-IL در فرایند اکسایش هوازی الکل‌ها
- ۲۸۸ ۳-۱-۴-۴- بررسی‌های تکمیلی جهت شناسایی نحوه عملکرد واقعی کاتالیزور Pd@PMO-IL در واکنش اکسایش هوازی الکل‌ها
- ۲۸۸ ۱-۳-۱-۴-۴- تست فیلترکردن در دمای بالا
- ۲۸۸ ۲-۳-۱-۴-۴- بررسی سینتیک کاتالیزور Pd@PMO-IL در واکنش اکسایش هوازی الکل‌ها در حضور و عدم حضور عوامل سمی جیوه، پلی(۴-وینیل‌پیریدین) و SBA-15-propyl-SH
- ۲۹۰ ۳-۳-۱-۴-۴- بررسی آنالیز تخلخل‌سنجی جذب-وا جذب نیتروژن کاتالیزور بازیافتی ROPd@PMO-IL در فرایند اکسایش هوازی الکل‌ها
- ۲۹۲ ۴-۳-۱-۴-۴- بررسی تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری کاتالیزور بازیافتی ROPd@PMO-IL در فرایند اکسایش هوازی الکل‌ها
- ۲۹۳ ۴-۱-۴-۴- مقایسه فعالیت کاتالیزور Pd@PMO-IL در واکنش اکسایش هوازی الکل‌ها با دیگر کاتالیزورهای ناهمگن ارائه شده در این زمینه
- ۲۹۶ ۲-۴-۴- مقایسه عملکرد کاتالیزور Pd@PMO-IL در واکنش سوزوکی آریل‌هالیدها و اکسایش هوازی الکل‌ها
- ۳۰۲ ۵-۴-۴- مراجع

فهرست جدول‌ها

| شماره صفحه | عنوان |
|------------|--|
| ۷۶ | جدول ۱-۲: ساختار و درصد مولی تعدادی از پیش‌ماده‌های PMO که بصورت مخلوط با تتراآلکوکسی‌سیلان مورد استفاده قرار گرفته‌اند |
| ۱۱۸ | جدول ۲-۲: داده‌های $^{29}\text{Si-NMR}$ حالت جامد زیروژل Xe-IL |
| ۱۷۰ | جدول ۳-۲: پارامترهای ساختاری نانومواد PMO-IL به دست آمده از آنالیز تخلخل‌سنجی |
| ۱۷۲ | جدول ۴-۲: داده‌های آنالیز عنصری و وزن‌سنجی حرارتی نانوساختارهای PMO-IL حاوی درصد‌های مختلف مایع‌یونی |
| ۱۷۳ | جدول ۵-۲: داده‌های $^{29}\text{Si-MAS-NMR}$ حالت جامد نانوساختارهای PMO-IL حاوی درصد‌های مولی مختلف مایع‌یونی |
| ۲۱۶ | جدول ۱-۳: بررسی اثر حلال‌ها و بازهای مختلف بر روی فعالیت کاتالیزوری نانوساختار Pd@PMO-IL در واکنش جفت‌شدن سوزوکی ۴-بروموبنزآلدهید با فنیل‌بورونیک‌اسید |
| ۲۱۷ | جدول ۲-۳: بررسی تاثیر مقادیر مختلف کاتالیزور Pd@PMO-IL در واکنش جفت‌شدن سوزوکی ۴-بروموبنزآلدهید با فنیل‌بورونیک‌اسید |
| ۲۱۸ | جدول ۳-۳: بررسی تاثیر دما در واکنش سوزوکی ۴-بروموبنزآلدهید با فنیل‌بورونیک‌اسید در حضور کاتالیزور Pd@PMO-IL |
| ۲۱۹ | جدول ۴-۳: واکنش جفت‌شدن سوزوکی مشتقات مختلف آریل‌هالید با آریل‌بورونیک‌اسیدها در حضور نانوکاتالیزور Pd@PMO-IL در حلال آب |
| ۲۳۰ | جدول ۵-۳: پارامترهای ساختاری نانومواد PMO-IL, Pd@PMO-IL و RPd@PMO-IL به دست آمده از آزمایش‌های جذب-واجذب نیتروژن |
| ۲۳۳ | جدول ۶-۳: مقایسه سیستم کاتالیزوری حاضر با کاتالیزورهای ناهمگن طراحی شده در سال‌های اخیر |
| ۲۷۳ | جدول ۱-۴: بررسی دما در اکسایش هوازی ۱-فنیل‌تانول در حضور کاتالیزور Pd@PMO-IL تحت اتمسفر اکسیژن در آب |
| ۲۷۳ | جدول ۲-۴: نتایج واکنش اکسایش هوازی ۱-فنیل‌تانول در حضور کاتالیزور Pd@PMO-IL تحت اتمسفر اکسیژن و در حلال تولوئن |
| ۲۷۴ | جدول ۳-۴: نتایج واکنش اکسایش هوازی ۱-فنیل‌تانول در حضور کاتالیزور Pd@PMO-IL تحت اتمسفر اکسیژن و در حلال تری‌فلوئوروتولوئن |
| ۲۷۵ | جدول ۴-۴: بررسی تاثیر مقادیر مختلف کاتالیزور Pd@PMO-IL در واکنش اکسایش هوازی ۱-فنیل‌تانول در حضور اکسیژن و در حلال تری‌فلوئوروتولوئن |
| ۲۷۷ | جدول ۵-۴: اکسایش الکل‌های مختلف تحت اتمسفر اکسیژن ملکولی در حضور کاتالیزور Pd@PMO-IL |
| ۲۸۲ | جدول ۶-۴: اکسایش الکل‌ها تحت اتمسفر هوا در حضور کاتالیزور Pd@PMO-IL |

- ۲۹۲ جدول ۷-۴: پارامترهای ساختاری نانومواد PMO-IL، Pd@PMO-IL و ROPd@PMO-IL به دست آمده از آزمایش‌های جذب-واجذب نیتروژن
- ۲۹۴ جدول ۸-۴: مقایسه سیستم کاتالیزوری حاضر با کاتالیزورهای ناهمگن طراحی شده در سال‌های اخیر

فهرست شکل‌ها

| شماره صفحه | عنوان |
|------------|---|
| ۲ | شکل ۱-۱: شمایی از اهداف شیمی سبز |
| ۳ | شکل ۲-۱: کلمات کلیدی ۱۲ اصل شیمی سبز |
| ۶ | شکل ۳-۱: تعدادی از کاتیون‌ها و آنیون‌های بکارگرفته شده در مایعات یونی |
| ۸ | شکل ۴-۱: مقایسه ساختار مایعات یونی با نمک‌های معدنی (a) نمک NaCl، (b) مایع یونی بوتیل-متیل ایمیدازولیوم هگزافلئوروفسفات |
| ۱۰ | شکل ۵-۱: تعدادی از مایعات یونی که با بکارگیری مواد اولیه خنثی و از طریق واکنش S_N2 سنتز شده‌اند |
| ۱۱ | شکل ۶-۱: سنتز مشتقات مختلف مایعات یونی بر پایه کاتیون ایمیدازولیوم با استفاده از تبادل آنیون |
| ۱۴ | شکل ۷-۱: رشد تعداد مقالات ارائه شده در زمینه مایعات یونی در بازه زمانی ۲۰۰۶-۱۹۸۶ |
| ۱۸ | شکل ۸-۱: رشد رازنوشته‌های ارائه شده در زمینه مایعات یونی در بازه زمانی ۲۰۰۶-۱۹۹۶ |
| ۱۹ | شکل ۹-۱: فرایند صنعتی بکارگرفته شده توسط شرکت BASF جهت تولید آلکوکسی فنیل فسفین |
| ۱۹ | شکل ۱۰-۱: فرایندهای سنتی جهت تولید ۴،۱-دی‌کلوروبوتان از بوتان-۴،۱-دی‌ال |
| ۲۰ | شکل ۱۱-۱: فرایند صنعتی بکارگرفته شده توسط شرکت BASF جهت تولید ۴،۱-دی‌کلوروبوتان |
| ۲۰ | شکل ۱۲-۱: فرایند صنعتی بکارگرفته شده توسط شرکت ایستمن جهت تولید ۵،۲-دی‌هیدروفران |
| ۲۱ | شکل ۱۳-۱: فرایند صنعتی بکارگرفته شده توسط شرکت دگوسا جهت تولید اورگانوسیلان‌ها |
| ۲۴ | شکل ۱۴-۱: تثبیت فیزیکی کمپلکس مایع یونی/رودیم بر روی سیلیکای نامنظم و استفاده کاتالیزوری آن در هیدروژنه کردن آلکن‌ها توسط مهنرت و همکاران |
| ۲۵ | شکل ۱۵-۱: تثبیت مایع یونی/آمینواسید پرولین بر روی سیلیکای نامنظم و استفاده کاتالیزوری آن در فرایند نامتقارن آلدول توسط گراتاداوریا و همکاران |
| ۲۶ | شکل ۱۶-۱: تثبیت کمپلکس مایع یونی/تنگستات بر روی سیلیکای نامنظم و استفاده کاتالیزوری آن در فرایند اپوکسیده کردن اولفین‌ها توسط کیم و همکاران |
| ۲۶ | شکل ۱۷-۱: تثبیت فیزیکی کمپلکس مایع یونی/پالادیم بر روی سیلیکای نامنظم و استفاده از آن به عنوان کاتالیزور در فرایند هک توسط هاگیوارا و همکاران |
| ۲۷ | شکل ۱۸-۱: تثبیت کوئووالانسی مایع یونی/کمپلکس‌های فلزی بر روی سیلیکای Aerosil-300 توسط ساساکی و همکاران |
| ۲۷ | شکل ۱۹-۱: تثبیت کوئووالانسی کمپلکس مایع یونی/پالادیم بر روی سیلیکای نامنظم توسط کریمی و اندرز |
| ۲۸ | شکل ۲۰-۱: تثبیت فیزیکی کمپلکس مایع یونی/رودیم بر روی سیلیکای نامنظم توسط ریساگر و |

همکاران

- شکل ۱-۲۱: کاتالیزور ناهمگن تهیه شده توسط گروه کوباپاشی و استفاده آن در فرایند مایکل ۲۸
- شکل ۱-۲۲: تثبیت کمپلکس روی بر روی سیلیکای نامنظم اصلاح شده با مایعات یونی توسط پارک و همکاران ۲۹
- شکل ۱-۲۳: سنتز ساختارهای نانوحفره MCM-41 حاوی واحدهای مایع یونی توسط مورثو و همکاران ۳۰
- شکل ۱-۲۴: تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری ساختار MCM-41 اصلاح شده با کمپلکس مایع یونی/رودیم توسط یان و همکاران ۳۰
- شکل ۱-۲۵: بکارگیری ساختار مزوحفره MCM-41 اصلاح شده با مایع یونی حاوی یون روتات در فرایند اکسایش الکل ها توسط پاگلیارو و همکاران ۳۱
- شکل ۱-۲۶: تثبیت کمپلکس کایرال منگنز/مایع یونی بر روی بستر مزوحفره MCM-48 و استفاده از آن در فرایند اپوکسید کردن نامتقارن آلکن ها توسط لیو و همکاران ۳۲
- شکل ۱-۲۷: تثبیت کمپلکس کایرال روتنیم/مایع یونی و استفاده از آن در فرایند هیدروژنه کردن نامتقارن استوفنون توسط لیو و همکاران ۳۳
- شکل ۱-۲۸: تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری کاتالیزور SBA-15-IL-Pd توسط هان و همکاران ۳۳
- شکل ۱-۲۹: تثبیت فیزیکی کمپلکس رودیم/مایع یونی بر روی سیلیکای منظم تجاری و بکارگیری آن در فرایند هیدروفورمیله کردن استرهای غیراشباع توسط باناز و همکاران ۳۴
- شکل ۱-۳۰: تثبیت کمپلکس مایع یونی/وانادیم بر روی ساختار مزوحفره SBA-15 توسط هالیگودی و همکاران ۳۴
- شکل ۱-۳۱: نمایشی از مفهوم "بین فاز" ۴۰
- شکل ۱-۳۲: شمای کاتالیزور بین فاز ۴۰
- شکل ۱-۳۳: شمای کلی ترکیبات نانوحفره با اندازه حفرات مختلف ۴۳
- شکل ۱-۳۴: نمونه ای از کاربرد ژئولیت ها در واکنش های شکل گزین ۴۳
- شکل ۱-۳۵: ساختارهای مختلف خانواده M41S ۴۵
- شکل ۱-۳۶: مکانیزم کلی سنتز نانوحفرات در حضور عوامل فعال سطحی ۴۵
- شکل ۱-۳۷: مکانیزم پیشنهادی برای سنتز ساختار نانوحفره هگزاگونال MCM-41 ۴۶
- شکل ۱-۳۸: عامل دار کردن سطوح مزوحفره از طریق روش پیوند زدن ۴۸
- شکل ۱-۳۹: عامل دار کردن سطوح مزوحفره از طریق روش سل-ژل ۴۹
- شکل ۱-۲: مکانیزم سنتز ساختارهای زیروژل ۶۲
- شکل ۲-۲: سنتز ساختارهای زیروژل با استفاده از مواد اولیه $(R'O)_3Si-R-Si(OR')_3$ ۶۳
- شکل ۲-۳: مواد اورگانوسیلانی که جهت سنتز ساختارهای زیروژل مورد استفاده قرار گرفته اند توسط شیا و همکاران ۶۴

- شکل ۲-۴: سنتز ساختارهای زیروژل با استفاده از بیس تری اتوکسی سایللیل آنتراسن توسط شیا و همکاران
۶۴
- شکل ۲-۵: سنتز ساختارهای زیروژل با استفاده از واحدهای بیس تری اتوکسی سایللیل آلکیل توسط شیا و همکاران
۶۵
- شکل ۲-۶: ساختار زیروژل اصلاح شده با فلز کروم توسط شیا و همکاران
۶۵
- شکل ۲-۷: مواد اولیه اتیلنی که جهت سنتز ساختارهای زیروژل مورد استفاده قرار گرفته اند توسط لوی و همکاران
۶۵
- شکل ۲-۸: ساختار زیروژل اصلاح شده با فلز وانادیم توسط تیلی و همکاران
۶۶
- شکل ۲-۹: تعدادی از ساختارهای اورگانوسیلانی که جهت سنتز زیروژل مورد استفاده قرار گرفته اند توسط بن و همکاران
۶۶
- شکل ۲-۱۰: تعدادی از ساختارهای اورگانوسیلانی که جهت سنتز جامدات زیروژل مورد استفاده قرار گرفته اند توسط مورنو و همکاران
۶۷
- شکل ۲-۱۱: ساختار زیروژل حاوی واحدهای آنیلینی توسط لیما و همکاران
۶۷
- شکل ۲-۱۲: ساختارهای اورگانوسیلانی حاوی گروه عاملی کربامیدی که جهت سنتز زیروژل مورد استفاده قرار گرفته اند توسط گروه های سریو و بلک
۶۸
- شکل ۲-۱۳: تعدادی از مواد اولیه بکار گرفته شده جهت سنتز جامدات زیروژل
۶۹
- شکل ۲-۱۴: شمای کلی سنتز ترکیبات مزوحفره هیبریدی آلی-معدنی
۷۱
- شکل ۲-۱۵: شمای کلی سنتز ترکیبات PMO در محیط های اسیدی یا بازی
۷۳
- شکل ۲-۱۶: تعدادی از مواد اولیه بکاربرده شده جهت سنتز نانو ساختارهای PMO
۷۴
- شکل ۲-۱۷: سنتز ترکیبات PMO با استفاده از مخلوط تتراآلکوکسی سیلان و پیش ماده اورگانوسیلیکانی
۷۵
- شکل ۲-۱۸: سنتز ترکیبات PMO با استفاده یک نوع پیش ماده اورگانوسیلیکانی
۷۷
- شکل ۲-۱۹: تعدادی از مواد اولیه بکاربرده شده جهت سنتز نانو ساختارهای PMO
۷۸
- شکل ۲-۲۰: سنتز ترکیبات PMO با استفاده مخلوط پیش ماده های اورگانوسیلیکانی
۷۹
- شکل ۲-۲۱: تعدادی از مواد اولیه بکاربرده شده جهت سنتز نانو ساختارهای BPMO
۸۰
- شکل ۲-۲۲: سنتز ترکیبات BPMO با استفاده مخلوط پیش ماده های اورگانوسیلیکانی
۸۱
- $(R'O)_3Si-R^1$ و $(R'O)_3Si-R^2-Si(OR')_3$
- شکل ۲-۲۳: شمایی کلی از سنتز اولین دسته ترکیبات نانو حفره منظم PMO
۸۲
- شکل ۲-۲۴: کاربرد نانو ساختارهای PMO به عنوان نانورآکتور در فرایندهای مختلف شیمیایی
۸۳
- شکل ۲-۲۵: نانو سیلیکای بنزنی سنتز شده توسط ایناگاکای و همکاران
۸۴
- شکل ۲-۲۶: ساختار نانواتان سیلیکای منظم اصلاح شده با گروه سولفونیک اسید توسط همودی و همکاران
۸۵
- شکل ۲-۲۷: سنتز ترکیبات PMO سولفونیک اسیدی و بررسی کاربرد آنها در تراکم استن با فنل
۸۵

توسط ایناگای و همکاران

- ۸۶ شکل ۲-۲۸: نانواتیلن سیلیکای منظم اصلاح شده با گروه بنزن سولفوریک اسید توسط کاندو و همکاران
- ۸۷ شکل ۲-۲۹: دی اتیل بنزن سیلیکای اصلاح شده با گروه سولفونیک اسید توسط یانگ و همکاران
- ۸۸ شکل ۲-۳۰: نانواتان سیلیکای منظم اصلاح شده با گروه پرفلئوروآلکیل سولفونیک اسید توسط شن و همکاران
- ۸۸ شکل ۲-۳۱: تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری اتان سیلیکای عامل دار شده با پرفلئوروآلکیل سولفونیک اسید توسط شن و همکاران
- ۸۹ شکل ۲-۳۲: ترکیب حلقوی سیکلام بکاربرده شده جهت سنتز نانو اورگانوسیلیکاهای منظم توسط کوریو و همکاران
- ۹۰ شکل ۲-۳۳: آنالیز اشعه ایکس پودری مواد نانو اورگانوسیلیکای PMO حاوی فلز تیتانیم: نمونه ۱ (نانوساختار منظم PMO اتان خالص)، نمونه های ۲، ۳ و ۴ به ترتیب شامل ۶، ۱۹ و ۳۰ درصد تیتانیم تترا ایزوپروپیل اکسید می باشند توسط چو و همکاران
- ۹۰ شکل ۲-۳۴: تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری مواد نانو اورگانوسیلیکای منظم حاوی فلز روتنیم با غلظت های مختلف: نمونه های a، b و c به ترتیب شامل ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد روتنیم-کلرید می باشند توسط وهاب و همکاران
- ۹۱ شکل ۲-۳۵: سنتز نانواتیل سیلیکای منظم اصلاح شده با فلز وانادیم توسط شایلس و همکاران
- ۹۲ شکل ۲-۳۶: ساختار نانو اورگانوسیلیکای Ph-PMO اصلاح شده با کاتالیزور پالادیم توسط ون و همکاران
- ۹۲ شکل ۲-۳۷: نانو اورگانوسیلیکای حاوی لیگاندهای آمینی متصل به پالادیم و استفاده آن در واکنش باربایر توسط لی و همکاران
- ۹۳ شکل ۲-۳۸: آنالیز جذب-واجذب نیتروژن نانو اورگانوسیلیکای حاوی لیگاندهای آمینی Et-PMO-NH₂ و نانو اورگانوسیلیکای حاوی لیگاندهای آمینی متصل به پالادیم Pd-PMO توسط لی و همکاران
- ۹۴ شکل ۲-۳۹: سنتز ساختار نانو اورگانوسیلیکای حاوی لیگاندهای دی سولفیدی و استفاده آن در پایدار کردن نانوذرات طلا توسط جین و همکاران
- ۹۴ شکل ۲-۴۰: طیف حالت جامد ²⁹Si-NMR نانو اورگانوسیلیکای حاوی واحدهای ایمیدازولینوم دی سولفید توسط جین و همکاران
- ۹۵ شکل ۲-۴۱: سنتز و پایدار کردن نانوذرات طلا با استفاد از نانواتان سیلیکای اصلاح شده با گروه-های اکتادسیل تری متوکسی سیلان و آمینوپروپیل تری متوکسی سیلان توسط وئی و همکاران
- ۹۵ شکل ۲-۴۲: تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نانوذرات طلا در کانال های نانواتان سیلیکای اصلاح شده با گروه های اکتادسیل تری متوکسی سیلان و آمینوپروپیل تری متوکسی سیلان توسط وئی و همکاران

- شکل ۲-۴۳: نانو اورگانوسیلیکای منظم PMO بر پایه واحدهای بای پیریدینی توسط گارسیا و همکاران
- شکل ۲-۴۴: (a) پیش ماده اورگانوسیلانی بکار گرفته شده جهت سنتز نانو ساختارهای فعال نوری (b) تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری مربوط به نانو ساختار اورگانوسیلیکایی حاوی واحدهای کربازول با غلظت ۵ درصد مولی توسط پارک و همکاران
- شکل ۲-۴۵: تعدادی از پیش ماده های بکار گرفته شده جهت سنتز نانو ساختارهای PMO فعال نوری
- شکل ۲-۴۶: سنتز نانواتان سیلیکای منظم حاوی لیگاندهای کایرال سیکلو هگزادی ایل در درون کانال جهت استفاده در تثبیت کمپلکس رودیم توسط لی و همکاران
- شکل ۲-۴۷: سنتز نانو اورگانوسیلیکای اتیلی حاوی لیگاندهای کایرال پروپیل سیکلو هگزادی ایل در درون کانال
- شکل ۲-۴۸: سنتز نانو اورگانوسیلیکای حاوی لیگاند کایرال تارتار آمید و استفاده آن در فرایند اکسایش سولفیدها توسط گارسیا و همکاران
- شکل ۲-۴۹: سنتز نانو اورگانوسیلیکای منظم حاوی لیگاند کایرال L-تارتار آمید و کاربرد آن در اپوکسید کردن نامتقارن الکل های آلیلی در حضور کمپلکس تیتانیم تترا ایزوپروپیل اکسید توسط ژنگ و همکاران
- شکل ۲-۵۰: سنتز PMO کایرال حاوی گروه عاملی BINAP-(R) توسط یانگ و همکاران
- شکل ۲-۵۱: سنتز نانو اورگانوسیلیکای حاوی لیگاند کایرال باینول و گروه های اتان در درون دیواره و کاربرد آن در افزایش نامتقارن دی اتیل روی به بنز آلدهید توسط یانگ و همکاران
- شکل ۲-۵۲: سنتز ساختارهای زیروژل Xe-IL از طریق هیدرولیز و تراکم مایعات یونی ۱،۳- بیس (تری متوکسی سایلبل پروپیل) ایمیدازولیوم هالید تحت شرایط اسیدی
- شکل ۲-۵۳: آنالیز وزن سنجی حرارتی (TGA) اورگانوسیلیکای Xe-IL
- شکل ۲-۵۴: تصویر SEM ساختار زیروژل Xe-IL
- شکل ۲-۵۵: طیف مادون قرمز انعکاسی نمونه زیروژل Xe-IL
- شکل ۲-۵۶: طیف ^{13}C -MAS-NMR حالت جامد ساختار زیروژل Xe-IL
- شکل ۲-۵۷: (a) طیف ^{29}Si -MAS-NMR حالت جامد ترکیب Xe-IL ، (b) طیف ^{29}Si -MAS-NMR ترکیب Xe-IL شبیه سازی شده توسط کامپیوتر
- شکل ۲-۵۸: تثبیت کمپلکس کایرال ایتربیم بر روی زیروژل Xe-IL و استفاده آن در واکنش استرکر نامتقارن
- شکل ۲-۵۹: سنتز ترکیبات اورگانوسیلیکایی PMO-IL-100-A بر پایه مایعات یونی ۱،۳- بیس (تری متوکسی سایلبل پروپیل) ایمیدازولیوم کلرید
- شکل ۲-۶۰: آنالیز وزن سنجی حرارتی (TGA) اورگانوسیلیکای PMO-IL-100-A
- شکل ۲-۶۱: طیف مادون قرمز انعکاسی نمونه PMO-IL-100-A