وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه
گاوازنگ – زنجان

طراحی و ساخت کاتالیزورهای جدید بر پایه نانوذرات طلا در حفرات جامدات مزومتخلخل منظم و کاربرد آنها در برخی تبدیلات شیمی آلی

پایان نامهٔ دکتری

فرهاد کبیری اصفهانی

استاد راهنما: دکتر بابک کریمی

شهریورماه ۱۳۹۰

یک شکر تو از هزار نتوانم کرد

به پاس زحمات فراوان و الطاف بی پایانشان تقدیم می‌کنم به زیباترین‌های زندگیم:

پدر و مادر مهربانم

و ستاره فروزان زندگیم همسرم

تقدیر

چنین فضل ازسوی یکتا خداست که دانایی‌ش بس همه خلق راست

سر آغاز کلامم را مزین می‌کنم به یاد پروردگار بزرگم، هم او که از عدم وجودم بخشید و از خاک بر افلاکم کشانید. خداوند بزرگی که دستم بگرفت در حالیکه نیازمندش بودم و شمیم دانش را در مشامم خوش نشانید. پس ستایش می‌کنم او را با همه عظمتش و از او می‌خواهم که دانش اندکم گامی باشد برای تجلیل از مقام او و متعالی ساختن خود و دیگران.

از پدر و مادر مهربانم به پاس همه حمایت‌ها و الطاف بی‌دریغشان در طول این دوره خالصانه تقدیر و تشکر می‌کنم.

بدین وسیله از همسر دلسوز و مهربانم که علاوه بر زحمت تایپ و تنظیم این رساله، آرامش روحی و آسایش فکری را برایم فراهم نمود تا در محیطی مطلوب، مراحل اتمام این رساله دکتری را به نحو احسن به انجام برسانم صمیمانه تشکر و سپاسگزاری می‌نمایم.

همچنین بر خود لازم می‌دانم تا به رسم تعظیم و تکریم از برادران بسیار خوبم که الطافشان در طول مدت تحصیل همواره شامل حال بنده بوده است تشکر و قدردانی ویژه نمایم.

به راستی آیا قلمی را می شناسید که با کلک خیال، شکوه ایثار خاموش استاد را که در بستر رویش های مکرر آدمی و درگسترده‌ی تاریخ مکتوب بشریت هماره چون نگینی زرین درخشیده است به تصویر آورد؟ آنچه از بن جان بر می‌آید آن است که از صمیم قلب از استاد گرامی و فرهیخته‌ام جناب آقای **دکتر بابک کریمی** که همواره در مدت مطالعه و تحقیق، مساعدت و یاری‌ام نموده‌اند صمیمانه تقدیر و تبجیل نمایم. آرزومندم؛ ذات اقدس احدیت ایشان و خانواده محترمشان را در کنف الطاف خاصه‌ی خویش قرار دهد و برایشان آرزوی بهروزی، شادکامی و سرافرازی روزافزون را از خداوند متعال مسئلت دارم.

در کمال اکرام و احترام و به رسم ادب از اساتید گرانقدرم جناب آقایان دکتر یداللهی، دکتر کبودین، دکتر کاظمی، دکتر شمس، دکتر عمادی، دکتر حقیقی و دکتر عبداللهی که در طول دوران تحصیل به عنوان شاگرد از حضورشان بهره جستم، قدردانی می‌کنم.

همچنین با محبت و مّودت از دوستان بسیار خوبم بخصوص آقایان دکتر داریوش زارعی، دکتر داود الهامی‌فر و حسام بهزادنیا که الطافشان در طول مدت تحصیل همواره شامل حال بنده بوده است تشکر و قدردانی می‌نمایم.

همتم بدرقه‌ی راه کن ای طایر قدس که دراز است ره مقصد و من نوسفرم

چکیده

هدف اصلی این رساله طراحی و سنتز کاتالیزورهای نوین بر پایه نانوذرات طلای تثبیت شده بر روی بستر مزوحفرات سیلیکایی منظم و بررسی برخی از کاربردهای مهم این دسته از مواد در تبدیلات آلی می‌باشد. مطالعات انجام شده در این رساله در چهار فصل تقسیم‌بندی شده است.

در فصل اول، مقدمه‌ای کلی در مورد عنصر طلا و تاریخچه نانوذرات طلا آورده شده است. علاوه بر این روش‌های متداول جهت سنتز نانوذرات طلا مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش پایانی فصل اول، کاربرد کاتالیزوری نانوذرات طلا در برخی فرآیندهای شیمیایی به طور خلاصه بررسی شده است. بر اساس این مرور در ادامه به اهداف کلی و رئوس مطالب این رساله پرداخته شده است.

در فصل دوم، کاربردکاتالیزوری نانوذرات طلا در اکسایش هوازی الکل‌ها بررسی شده است. در بخش ابتدایی فصل دوم، با استفاده از سدیم تتراکلروآئورت اکسایش هوازی الکل‌ها مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج این پژوهش منجر به معرفی یک سیستم کاتالیزوری ساده و در عین حال کارا، قابل بازیافت و انتخاب پذیر برای اکسید نمودن هوازی الکل‌های مختلف به گونه های آلدهید و کتون شد. این واکنش در دمای اتاق و بدون نیاز به هیچ گونه پلیمر و یا اکسید فلزی برای پایداری نانوذرات طلا صورت گرفت. نتایج نشان دادند که الکل‌های مختلف نوع دوم آلیفاتیک، نوع اول و دوم آروماتیک و هتروآروماتیک می‌توانند به صورت موفقیت آمیزی در حضور مقدار کم از نانوکاتالیزور و در مدت زمان پایین، به محصولات کربونیلی مربوطه اکسید شوند. این سیستم کاتالیزوری انتخاب‌پذیری عالی را در اکسایش الکل‌های نوع اول به آلدهید از خود نشان می‌دهد، بطوریکه هیچ گونه مشاهده‌ای مبنی بر تشکیل اسید برای الکل‌های نوع اول استفاده شده صورت نگرفته است. همچنین این کاتالیزور تحت اتسفر هوا هم فعالیت خوبی را از خود به نمایش گذاشت. مطالعات ساختار شناسی میکروسکوپ الکترونی عبوری، طیف سنجی ماوراء بنفش و اسپکتروسکوپی فتوالکترون اشعه ایکس(XPS) این کاتالیزور بیانگر آن است که نانوذرات فلزی طلا در محدوده ۱۵-۸۰ نانومتر بر روی سطح سزیم کربنات تثبیت شده‌اند. این مطالعه همچنین نشان داد که کاتالیزور می‌تواند حداقل ۳ بار به آسانی بازیافت و مورد استفاده مجدد قرار گیرد.

در بخش پایانی فصل دوم، فعالیت کاتالیزوری نانوذرات طلای تثبیت شده در داخل ساختارهای نانوحفره سیلیکایی در فرآیند اکسایش هوازی الکل‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است. در ابتدا، تهیه و شناسایی نانوذرات طلا بررسی شده است. در مرحله بعد، کاربرد کاتالیزوری این ترکیبات در واکنش اکسایش هوازی الکل‌ها در

حضور سزیم کربنات مطالعه شده است. این مطالعات نشان داده از میان کاتالیزورهای سنتز شده، نانوذرات طلای تثبیت شده بر روی بستر مزوحفره منظم اورگانوسیلیکا فعال‌ترین کاتالیزور در واکنش اکسایش هوازی الکل‌ها می‌باشد. نتایج نشان دادند که الکل‌های مختلف نوع اول و دوم آلیفاتیک، آروماتیک، هتروآروماتیک و آلیلی می‌توانند به صورت موفقیت آمیزی در حضور مقدار کم از کاتالیزور Au@PMO و در مدت زمان پایین، به محصولات کربونیلی مربوطه اکسید شوند. این مطالعه همچنین نشان داد که کاتالیزور می‌تواند حداقل ۷ بار به آسانی بازیافت و مورد استفاده مجدد قرار گیرد و محصولات کربونیلی مربوطه را با بازده عالی تولید کند. علاوه بر این، آزمایش جذب-واجذب نیتروژن و آنالیز میکروسکوپ الکترونی عبوری کاتالیزور بازیافتی، کارایی بالای نانوساختار در تثبیت موفق نانوذرات فعال و پایدار طلا را تایید کردند.

در فصل سوم، کاربرد نانوذرات طلا در واکنش‌های جفت شدن سوزوکی، هک، اتری‌شدن و اولمن مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان دادند که نانوذرات طلای تهیه شده در واکنش‌های سوزوکی، هک و اتری شدن کاملا غیر فعال می‌باشند. در این میان نانوذرات طلای تثبیت شده در ساختار نانوحفره ارگانوسیلیکای منظم Au@PMO کارایی مناسبی در واکنش جفت شدن اولمن نشان داده است. این مطالعه نشان داد که کاتالیزور می‌تواند ۴ مرتبه بازیافت و مورد استفاده مجدد قرار گیرد. لازم به ذکر است که این دستاورد به عنوان اولین گزارش در مورد کاربرد کاتالیزوری طلا در فرآیند جفت شدن اولمن ارائه شده است.

فهرست مطالب

عنوان | **شماره صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... **VIII**

فهرست شکل‌ها ..... **XI**

فهرست طیف‌ها ..... **XVI**

پیوست **۲۴۵**

واژه‌نامه **۲۵۶**

اختصارات **۲۶۹**

فصل اول: مقدمه و تاریخچه ۱

۱-۱- کاتالیزور ۱

۱-۲- طلا ۲

۱-۳- تاریخچه نانوذرات طلا ۳

۱-۴- سنتز و پایدار کردن نانوذرات طلا ۵

۱-۴-۱- احیاء طلا توسط سیترات ۶

۱-۴-۲- روش براست – شفرین ۶

۱-۴-۳- میکروامولسیون‌ها، مایسل‌های برگشتی، سورفکتانت‌ها، غشاها و پلی الکترولیت‌ها ۱۰

۱-۴-۴- روش‌های فیزیکی: فتوشیمی، سونوشیمی، رادیوکافت، گرماکافت ۱۰

۱-۴-۵- دندریمرها ۱۱

۱-۴-۶- بسپارها ۱۲

۱-۵- سنتز نانوذرات طلا تثبیت شده بر روی سطح جامدات ۱۴

۱-۵-۱- نانوذرات طلاتثبیت شده بر روی سطح اکسیدهای فلزی ۱۵

۱-۵-۱-۱- جذب سطحی ۱۵

۱-۵-۱-۲- بارگیری- رسوب ۱۷

۱-۵-۲- تثبیت نانوذرات طلا در داخل حفرات جامدات منظم ۱۷

۱-۵-۲-۱- بسترهای نانو حفره منظم برای پایدارکردن نانوذرات ۱۸

۱-۶- کاربرد طلا در زمینه کاتالیزوری ۲۴

۱-۶-۱- کاربردهای نانوذرات طلا در زمینه کاتالیزوری ۲۷
۱-۶-۲- مروری بر واکنش‌های شیمیایی انجام شده توسط نانوذرات طلا ۲۷
۱-۶-۲-۱- اکسایش مونوکسیدکربن ۲۷
۱-۶-۲-۲- اکسایش الکل‌ها ۳۵
۱-۶-۲-۳- واکنش جفت شدن ۳۶
۱-۶-۲-۴- اپوکسایش الفین‌ها ۳۸
۱-۶-۲-۵- اکسایش هیدروکربن‌ها ۴۲
۱-۶-۲-۶- کاهش ترکیبات نیترو ۴۳
۱-۷- کاربرد کاتالیزوری نانوذرات طلا در صنعت ۴۷
۱-۸- ارزیابی اهداف رساله و رئوس مطالب ۴۹
۱-۹- مراجع ۵۱
فصل دوم: طراحی، شناسایی و تثبیت نانوذرات طلا بر روی سطح سزیم کربنات و درون مزوحفرات اورگانوسیلیکای منظم و بررسی کاربرد کاتالیزوری آنها در فرآیند اکسایش هوازی الکل‌ها ۶۰
۲-۱- مقدمه‌ای بر اهمیت واکنش‌های اکسایش ۶۰
۲-۲- اکسایش الکل‌ها ۶۱
۲-۳- اکسایش هوازی الکل‌ها توسط کاتالیزورهای فلزات واسطه ۶۲
۲-۳-۱- کبالت ۶۲
۲-۳-۲- مس ۶۴
۲-۳-۳- آهن ۶۷
۲-۳-۴- اسمیم ۶۸
۲-۳-۵- وانادیم ۶۹
۲-۳-۶- روتنیم ۷۱
۲-۳-۷- پالادیم ۷۶
۲-۳-۸- طلا ۸۹
۲-۴- اورگانوسیلیکاهای مزوحفره متناوب (PMOs) ۱۰۴
۲-۴-۱- سنتز ترکیبات PMO ۱۰۶
۲-۴-۲- تثبیت نانوذرات طلا بر روی بستر نانوساختارهای منظم PMO ۱۱۱

۲-۵- بخش تجربی ۱۱۵
۲-۵-۱- کلیات مواد، دستگاه‌ها و روش‌های مورد استفاده ۱۱۵
۲-۵-۲- دستور کار واکنش اکسایش بنزیل الکل توسط کاتالیزور $NaAuCl_4$ در حضور اکسیژن، حلال تولوئن، دمای ۸۰ درجه سانتیگراد و بازهای مختلف ۱۱۵
۲-۵-۳- دستور کار واکنش اکسایش هوازی بنزیل الکل توسط کاتالیزور $NaAuCl_4$ در حضور اکسیژن، باز کربنات سزیم، در حلال تولوئن و دماهای مختلف ۱۱۶
۲-۵-۴- دستور کار عمومی جهت واکنش اکسایش هوازی الکل‌ها در حضور کاتالیزور $NaAuCl_4$، اتمسفر اکسیژن، کربنات سزیم، در حلال تولوئن و دمای محیط ۱۱۶
۲-۵-۵- دستور کار عمومی جهت واکنش اکسایش هوازی بنزیل الکل توسط کاتالیزور $NaAuCl_4$، اتمسفر اکسیژن، کربنات سزیم، در حلال تولوئن و دمای محیط ۱۱۶
۲-۵-۶- دستور کار عمومی جهت واکنش اکسایش هوازی الکل‌ها در حضور کاتالیزور $NaAuCl_4$، اتمسفر هوا، کربنات سزیم، در حلال تولوئن و دمای محیط ۱۱۷
۲-۵-۷- دستور کار عمومی جهت واکنش اکسایش هوازی بنزیل الکل توسط کاتالیزور $NaAuCl_4$، اتمسفر هوا، کربنات سزیم، در حلال تولوئن و دمای محیط ۱۱۷
۲-۵-۸- دستورکار جهت بازیافت کاتالیزور $Au@Cs_2CO_3$ در فرآیند اکسایش هوازی بنزیل الکل در حضور اتمسفر اکسیژن ۱۱۷
۲-۵-۹- دستورکار عمومی جهت تست فیلتر کردن در فرآیند اکسایش هوازی الکل‌ها توسط کاتالیزور $NaAuCl_4$ ۱۱۸
۲-۵-۱۰- دستور کار جهت سنتز سیلیکای مزوحفره منظم SBA-15 ..... ۱۱۸
۲-۵-۱۱- دستور کار جهت تهیه نانو کاتالیزور Au@SBA-15 ..... ۱۱۸
۲-۵-۱۲- دستور کار عمومی جهت واکنش اکسایش هوازی بنزیل الکل توسط کاتالیزور Au@SBA-15، اتمسفر اکسیژن، کربنات سزیم، در حلال تولوئن و دمای محیط ۱۱۹
۲-۵-۱۳- دستور کار جهت سنتز سیلیکای مزوحفره منظم SBA-15–Pr-SH ۱۱۹
۲-۵-۱۴- دستور کار جهت تهیه نانو کاتالیزور Au@SBA-15–Pr-SH ۱۱۹
۲-۵-۱۵- دستور کار عمومی جهت واکنش اکسایش هوازی بنزیل الکل توسط کاتالیزور Au@SBA-15–Pr-SH، اتمسفر اکسیژن، کربنات سزیم، در حلال تولوئن و دمای محیط ۱۲۰
۲-۵-۱۶- دستور کار جهت سنتز سیلیکای مزوحفره منظم $SBA-15–Pr-NMe_3^+$ ۱۲۰
۲-۵-۱۷- دستور کار جهت تهیه نانو کاتالیزور $Au@SBA-15–Pr-NMe_3^+$ ۱۲۰
۲-۵-۱۸- دستور کار عمومی جهت واکنش اکسایش هوازی بنزیل الکل توسط کاتالیزور $Au@SBA-15–Pr-NMe_3^+$، اتمسفر اکسیژن، کربنات سزیم، در حلال تولوئن و دمای محیط ۱۲۰
۲-۵-۱۹- دستور کار جهت سنتز سیلیکای مزوحفره منظم SBA-15–Ph ۱۲۱
۲-۵-۲۰- دستور کار جهت تهیه نانو کاتالیزور Au@SBA-15–Ph ۱۲۱

۲-۵-۲۱- دستور کار جهت واکنش اکسایش هوازی بنزیل الکل توسط کاتالیزور Au@SBA-15–Ph، اتمسفر اکسیژن، سزیم کربنات، در حلال تولوئن و دمای محیط ۱۲۱
۲-۵-۲۲- دستور کار جهت سنتز اورگانوسیلیکای مزوحفره منظم اتیل–بنزن (PMO) ۱۲۲
۲-۵-۲۳- دستورکار جهت تهیه نانوکاتالیزور Au@PMO ۱۲۲
۲-۵-۲۴- دستورکار جهت محاسبه میزان بارگیری طلا در Au@PMO ۱۲۲
۲-۵-۲۵- دستور کار عمومی جهت واکنش اکسایش هوازی بنزیل الکل توسط کاتالیزور Au@PMO، اتمسفر اکسیژن، کربنات سزیم، در حلال تولوئن و دمای محیط ۱۲۳
۲-۵-۲۶- دستور کار واکنش اکسایش بنزیل الکل توسط کاتالیزور Au@PMO در حضور اکسیژن، حلال تولوئن، دمای محیط و بازهای مختلف ۱۲۳
۲-۵-۲۷- دستور کار واکنش اکسایش هوازی بنزیل الکل توسط کاتالیزور Au@PMO در حضور اکسیژن، باز کربنات سزیم، در حلال تولوئن و دماهای مختلف ۱۲۴
۲-۵-۲۸- دستور کار واکنش اکسایش هوازی بنزیل الکل توسط کاتالیزور Au@PMO در حضور اکسیژن، دمای محیط، درحلال تولوئن و مقادیر مختلف باز کربنات سزیم ۱۲۴
۲-۵-۲۹- دستور کار واکنش اکسایش هوازی بنزیل الکل توسط کاتالیزور Au@PMO در حضور اکسیژن، دمای محیط، باز کربنات سزیم و درحلال‌های مختلف ۱۲۴
۲-۵-۳۰- دستور کار عمومی جهت واکنش اکسایش هوازی الکل‌ها در حضور کاتالیزور Au@PMO، اتمسفر اکسیژن، کربنات سزیم، در حلال تولوئن و دمای محیط ۱۲۵
۲-۵-۳۱- دستور کار عمومی جهت واکنش اکسایش هوازی بنزیل الکل توسط کاتالیزور Au@PMO، اتمسفر اکسیژن، کربنات سزیم، در حلال تولوئن و دمای محیط ۱۲۵
۲-۵-۳۲- دستور کار عمومی جهت واکنش اکسایش هوازی الکل‌ها در حضور کاتالیزور Au@PMO، اتمسفر هوا، کربنات سزیم، در حلال تولوئن و دمای محیط ۱۲۵
۲-۵-۳۳- دستور کار عمومی جهت واکنش اکسایش هوازی بنزیل الکل توسط کاتالیزور Au@PMO، اتمسفر هوا، کربنات سزیم، در حلال تولوئن و دمای محیط ۱۲۶
۲-۵-۳۴- دستورکار جهت بازیافت کاتالیزور Au@PMO در فرآیند اکسایش هوازی بنزیل الکل در حضور اتمسفر اکسیژن ۱۲۶
۲-۵-۳۵- دستورکار عمومی جهت تست فیلتر کردن در فرآیند اکسایش هوازی الکل‌ها توسط کاتالیزور Au@PMO ۱۲۶
۲-۶- نتایج و بحث ۱۲۸
۲-۶-۱- اکسایش هوازی الکل‌ها در حضور کاتالیزور $NaAuCl_4$ ۱۲۹
۲-۶-۱-۱- بررسی امکان بازیافت کاتالیزور $Au@Cs_2CO_3$ در فرآیند اکسایش هوازی الکل‌ها ۱۳۹
۲-۶-۱-۲- تست فیلترکردن ۱۴۰
۲-۶-۱-۳- بررسی طیف اسپکتروسکوپی ماوراء بنفش- مرئی کاتالیزور بازیافتی $Au@Cs_2CO_3$ در فرآیند اکسایش هوازی الکل‌ها ۱۴۱

۲-۶-۱-۴- بررسی تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی کاتالیزور بازیافتی $Au@Cs_2CO_3$ در فرآیند اکسایش هوازی الکل‌ها ۱۴۳
۲-۶-۱-۵- بررسی تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری کاتالیزور بازیافتی $Au@Cs_2CO_3$ در فرآیند اکسایش هوازی الکل‌ها ۱۴۴
۲-۶-۱-۶- بررسی طیف اسپکتروسکوپی فوتو الکترون اشعه ایکس کاتالیزور بازیافتی $Au@Cs_2CO_3$ در فرآیند اکسایش هوازی الکل‌ها ۱۴۵
۲-۶-۲- سنتز و شناسایی نانوذرات طلا درون حفرات مزو متخلخل اورگانوسیلیکا و بررسی کاربرد کاتالیزوری آن در واکنش اکسایش هوازی الکل‌ها ۱۴۷
۲-۶-۲-۱- بررسی امکان بازیافت کاتالیزور Au@PMO در فرآیند اکسایش هوازی الکل‌ها ۱۷۶
۲-۶-۲-۲- تست فیلترکردن ۱۷۸
۲-۶-۳- مقایسه فعالیت کاتالیزور Au@PMO و $Au@Cs_2CO_3$ در واکنش اکسایش هوازی الکل‌ها ۱۷۹
۲-۶-۴- مقایسه فعالیت کاتالیزور Au@PMO و $Au@Cs_2CO_3$ با دیگر کاتالیزورهای ناهمگن ارائه شده در زمینه واکنش اکسایش هوازی الکل‌ها ۱۸۰
۲-۷- مراجع ۱۸۳
فصل سوم: کاربرد کاتالیزوری نانوذرات طلای تثبیت شده در درون حفرات مزو متخلخل اورگانوسیلیکا در واکنش جفت شدن اولمان ۱۸۹
۳-۱- مقدمه‌ای بر واکنش جفت شدن اولمان ۱۸۹
۳-۲- واکنش جفت شدن آریل-آریل توسط سیستم‌های کاتالیزوری همگن ۱۹۰
۳-۳- واکنش جفت شدن آریل-آریل توسط سیستم‌های کاتالیزوری ناهمگن ۱۹۷
۳-۴- بخش تجربی ۲۰۳
۳-۴-۱- کلیات مواد، دستگاه‌ها و روش‌های مورد استفاده ۲۰۳
۳-۴-۲- دستور کار جهت تهیه کاتالیزور کربن-طلا ۲۰۳
۳-۴-۳- دستور کار جهت سنتز سیلیکای مزوحفره منظم SBA-15 ..... ۲۰۳
۳-۴-۴- دستور کار جهت تهیه نانو کاتالیزور Au@SBA-15 ..... ۲۰۴
۳-۴-۵- دستور کار جهت سنتز سیلیکای مزوحفره منظم SBA-15–Pr-SH ۲۰۴
۳-۴-۶- دستور کار جهت تهیه نانو کاتالیزور Au@SBA-15–Pr-SH ۲۰۴
۳-۴-۷- دستور کار جهت سنتز سیلیکای مزوحفره منظم $SBA-15 –Pr-NMe_3^+$ ۲۰۵
۳-۴-۸- دستور کار جهت تهیه نانو کاتالیزور $Au@SBA-15–Pr-NMe_3^+$ ۲۰۵
۳-۴-۹- دستور کار جهت سنتز سیلیکای مزوحفره منظم SBA-15–Ph ۲۰۵
۳-۴-۱۰- دستور کار جهت تهیه نانو کاتالیزور Au@SBA-15–Ph ۲۰۵
۳-۴-۱۱- دستور کار جهت تهیه نانو کاتالیزور $Au@SiO_2$ ۲۰۶
۳-۴-۱۲- دستور کار جهت تهیه نانو کاتالیزور $Au@TiO_2$ ۲۰۶
۳-۴-۱۳- دستور کار جهت تهیه نانو کاتالیزور Au@AC ۲۰۶

۳-۴-۱۴- دستور کار جهت سنتز اورگانوسیلیکای مزوحفره منظم اتیل-بنزن (PMO) ۲۰۶
۳-۴-۱۵- دستورکار جهت تهیه نانوکاتالیزور Au@PMO ۲۰۷
۳-۴-۱۶- دستورکار جهت محاسبه میزان بارگیری طلا در Au@PMO ۲۰۷
۳-۴-۱۷- دستورکار عمومی جهت انجام واکنش سوزوکی فنیل‌بورونیک‌اسید با ۴-برموبنزآلدهید در حضور کاتالیزورهای طلا ۲۰۸
۳-۴-۱۸- دستورکار عمومی جهت انجام واکنش هک ۴-برموبنزآلدهید با متیل‌آکریلات در حضور کاتالیزورهای طلا ۲۰۸
۳-۴-۱۹- دستور کار عمومی جهت واکنش آریلاسیون فنل توسط کاتالیزور Au@PMO، اتمسفر هوا، پتاسیم کربنات، در حلال دی‌متیل فرمآمید و دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد ۲۰۸
۳-۴-۲۰- دستور کار عمومی جهت واکنش جفت شدن اولمن توسط کاتالیزور Au@PMO، اتمسفر هوا، پتاسیم کربنات، در حلال دی‌متیل فرمآمید و دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد ۲۰۸
۳-۴-۲۱- دستور کار عمومی جهت واکنش جفت شدن اولمن توسط کاتالیزور Au@PMO، اتمسفر هوا، حلال دی‌متیل فرمآمید، دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد و بازهای مختلف ۲۰۹
۳-۴-۲۲- دستور کار عمومی جهت واکنش جفت شدن اولمن توسط کاتالیزور Au@PMO، اتمسفر هوا، حلال دی‌متیل فرمآمید، دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد و مقادیر مختلف باز پتاسیم فسفات ۲۰۹
۳-۴-۲۳- دستور کار عمومی جهت واکنش جفت شدن اولمن توسط کاتالیزور Au@PMO، اتمسفر هوا، باز پتاسیم فسفات، حلال دی‌متیل فرمآمید و دماهای مختلف ۲۰۹
۳-۴-۲۴- دستور کار عمومی جهت واکنش جفت شدن اولمن توسط کاتالیزور Au@PMO، اتمسفر هوا، باز پتاسیم فسفات، دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد در حلال‌های مختلف ۲۱۰
۳-۴-۲۵- دستور کار عمومی جهت واکنش جفت شدن اولمن توسط کاتالیزورهای نانوذرات طلا، اتمسفر هوا، باز پتاسیم فسفات، دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد و حلال دی‌متیل فرمآمید ۲۱۰
۳-۴-۲۶- دستور کار عمومی جهت واکنش جفت شدن اولمن توسط PMO، اتمسفر هوا، باز پتاسیم فسفات، دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد و حلال دی‌متیل فرمآمید ۲۱۰
۳-۴-۲۷- دستور کار عمومی جهت واکنش جفت شدن آریل یدیدها توسط کاتالیزور Au@PMO، اتمسفر هوا، باز پتاسیم فسفات، دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد و حلال دی‌متیل فرمآمید ۲۱۱
۳-۴-۲۸- دستور کار عمومی جهت واکنش جفت شدن یدوبنزن توسط کاتالیزور Au@PMO، اتمسفر هوا، باز پتاسیم فسفات، دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد و حلال دی‌متیل فرمآمید ۲۱۱
۳-۴-۲۹- دستورکار جهت بازیافت کاتالیزور Au@PMO در فرآیند جفت شدن یدوبنزن..... ۲۱۱
۳-۴-۳۰- دستورکار عمومی جهت تست فیلتر کردن در فرآیند جفت شدن اولمن توسط کاتالیزور Au@PMO ۲۱۲
۳-۵- نتایج و بحث..... ۲۱۳
۳-۵-۱- مطالعه کاربرد کاتالیزوری نانوذرات طلا در فرآیند جفت شدن سوزوکی..... ۲۱۴

۳-۵-۲- مطالعه کاربرد کاتالیزوری نانوذرات طلا در فرآیند جفت شدن هک ۲۲۴
۳-۵-۳- واکنش جفت شدن اولمن در حضور نانوکاتالیزورAu@PMO ۲۳۱
۳-۵-۴-بررسی امکان بازیافت کاتالیزور Au@PMO در فرآیند جفت شدن اولمن ۲۴۰
۳-۵-۵-تست فیلترکردن ۲۴۱
۳-۵-۶- مقایسه فعالیت کاتالیزوری Au@PMO با دیگر کاتالیزورهای ارائه شده در زمینه فرآیند جفت شدن اولمن ۲۴۲
۳-۶-مراجع ۲۴۳

فهرست جدول‌ها

عنوان **شماره صفحه**

جدول ۱-۱: کاهش ترکیبات نیترو توسط کاتالیزورهای طلا، پالادیم و پلاتین ۴۴

جدول ۲-۱: واکنشگرهای اکسیدکننده مورد استفاده در واکنش اکسایش الکل‌ها ۶۱

جدول ۲-۲: بررسی اثر باز در واکنش اکسایش هوازی بنزیل الکل توسط کاتالیزور $NaAuCl_4$ در حضور اکسیژن و در حلال تولوئن ۱۳۰

جدول ۲-۳: بررسی اثر دما در واکنش اکسایش هوازی بنزیل الکل توسط کاتالیزور $NaAuCl_4$ در حضور اکسیژن و در حلال تولوئن ۱۳۰

جدول ۲-۴: بررسی تاثیر مقادیر متفاوت باز سزیم کربنات در واکنش اکسایش هوازی بنزیل الکل توسط کاتالیزور $NaAuCl_4$ در حضور اکسیژن و در حلال تولوئن ۱۳۲

جدول ۲-۵: بررسی اثر حلال در واکنش اکسایش هوازی بنزیل الکل توسط کاتالیزور $NaAuCl_4$ در حضور اکسیژن و در حلال تولوئن ۱۳۲

جدول ۲-۶: بررسی تاثیر مقادیر مختلف کاتالیزور $NaAuCl_4$ در واکنش اکسایش هوازی بنزیل الکل در حضور اکسیژن و در حلال تولوئن ۱۳۳

جدول ۲-۷: اکسایش الکل‌های مختلف تحت اتمسفر اکسیژن ملکولی در حضور سیستم کاتالیزوری $Au@Cs_2CO_3$ ۱۳۴

جدول ۲-۸: اکسایش الکل‌های مختلف تحت اتمسفر هوا در حضور کاتالیزور $Au@Cs_2CO_3$ ۱۳۸

جدول۲-۹: بررسی اثر باز در واکنش اکسایش هوازی بنزیل الکل توسط کاتالیزور Au@PMO در حضور اکسیژن و در حلال تولوئن ۱۶۶

جدول۲-۱۰: بررسی اثر دما در واکنش اکسایش هوازی بنزیل الکل توسط کاتالیزور Au@PMO در حضور اکسیژن و در حلال تولوئن ۱۶۷

جدول۲-۱۱: بررسی تاثیر مقادیر متفاوت باز کربنات سزیم در واکنش اکسایش هوازی بنزیل الکل توسط کاتالیزور Au@PMO در حضور اکسیژن و در حلال تولوئن ۱۶۷

جدول۲-۱۲: بررسی اثر حلال در واکنش اکسایش هوازی بنزیل الکل توسط کاتالیزور Au@PMO در حضور اکسیژن و در حلال تولوئن ۱۶۸

جدول۲-۱۳: بررسی تاثیر مقادیر مختلف کاتالیزور Au@PMO در واکنش اکسایش هوازی بنزیل الکل در حضور اکسیژن و در حلال تولوئن ۱۶۹

جدول۲-۱۴: اکسایش الکل‌های مختلف تحت اتمسفر اکسیژن ملکولی در حضور کاتالیزور Au@PMO ۱۷۰

جدول ۲-۱۵: مقایسه سیستم‌های کاتالیزوری حاضر با کاتالیزورهای ناهمگن طراحی شده در سال‌های اخیر ۱۷۴

جدول ۲-۱۶: مقایسه سیستم‌های کاتالیزوری Au@PMO و $Au@Cs_2CO_3$ در اکسایش هوازی الکل‌ها ۱۸۰

جدول ۲-۱۷: مقایسه سیستم‌های کاتالیزوری حاضر با کاتالیزورهای ناهمگن طراحی شده در سال‌های اخیر ۱۸۱
جدول ۳-۱: بررسی اثر حلال‌ها و بازهای مختلف بر روی فعالیت کاتالیزوری AuCl در واکنش جفت‌شدن سوزوکی ۴-بروموبنزآلدهید با فنیل‌بورونیک‌اسید ۲۱۴
جدول ۳-۲: بررسی اثر حلال‌ها و بازهای مختلف بر روی فعالیت کاتالیزوری طلا- کاربن در واکنش جفت‌شدن سوزوکی ۴-بروموبنزآلدهید با فنیل‌بورونیک‌اسید ۲۱۶
جدول ۳-۳: بررسی اثر حلال‌ها و بازهای مختلف بر روی فعالیت کاتالیزوری Au@SBA-15 در واکنش جفت‌شدن سوزوکی ۴-بروموبنزآلدهید با فنیل‌بورونیک‌اسید ۲۱۷
جدول ۳-۴: بررسی اثر حلال‌ها و بازهای مختلف بر روی فعالیت کاتالیزوری Au@SBA-15-Pr-SH در واکنش جفت‌شدن سوزوکی ۴-بروموبنزآلدهید با فنیل‌بورونیک‌اسید ۲۱۸
جدول ۳-۵: بررسی اثر حلال‌ها و بازهای مختلف بر روی فعالیت کاتالیزوری Au@SBA-15-Pr-NMe_3 در واکنش جفت‌شدن سوزوکی ۴-بروموبنزآلدهید با فنیل‌بورونیک‌اسید ۲۲۰
جدول ۳-۶: بررسی اثر حلال‌ها و بازهای مختلف بر روی فعالیت کاتالیزوری Au@SBA-15-Ph در واکنش جفت‌شدن سوزوکی ۴-بروموبنزآلدهید با فنیل‌بورونیک‌اسید ۲۲۱
جدول ۳-۷: بررسی اثر حلال‌ها و بازهای مختلف بر روی فعالیت کاتالیزوری Au@PMO در واکنش جفت‌شدن سوزوکی ۴-بروموبنزآلدهید با فنیل‌بورونیک‌اسید ۲۲۳
جدول ۳-۸: بررسی اثر حلال‌ها و بازهای مختلف بر روی فعالیت کاتالیزوری AuCl در واکنش جفت‌شدن هک ۴-بروموبنزآلدهید با متیل‌آکریلات ۲۲۴
جدول ۳-۹: بررسی اثر حلال‌ها و بازهای مختلف بر روی فعالیت کاتالیزوری طلا- کاربن در واکنش جفت‌شدن هک ۴-بروموبنزآلدهید با متیل‌آکریلات ۲۲۵
جدول ۳-۱۰: بررسی اثر حلال‌ها و بازهای مختلف بر روی فعالیت کاتالیزوری Au@SBA-15 در واکنش جفت‌شدن هک ۴-بروموبنزآلدهید با متیل‌آکریلات ۲۲۶
جدول ۳-۱۱: بررسی اثر حلال‌ها و بازهای مختلف بر روی فعالیت کاتالیزوری Au@SBA-15-Pr-SH در واکنش جفت‌شدن هک ۴-بروموبنزآلدهید با متیل‌آکریلات ۲۲۷
جدول ۳-۱۲: بررسی اثر حلال‌ها و بازهای مختلف بر روی فعالیت کاتالیزوری Au@SBA-15-Pr-NMe_3 در واکنش جفت‌شدن هک ۴-بروموبنزآلدهید با متیل‌آکریلات ۲۲۸
جدول ۳-۱۳: بررسی اثر حلال‌ها و بازهای مختلف بر روی فعالیت کاتالیزوری Au@SBA-15-Ph در واکنش جفت‌شدن هک ۴-بروموبنزآلدهید با متیل‌آکریلات ۲۲۹
جدول ۳-۱۴: بررسی اثر حلال‌ها و بازهای مختلف بر روی فعالیت کاتالیزوری Au@PMO در واکنش جفت‌شدن هک ۴-بروموبنزآلدهید با متیل‌آکریلات ۲۳۰
جدول ۳-۱۵: بررسی اثر باز در واکنش جفت شدن یدوبنزن توسط کاتالیزور Au@PMO در حلال دی‌متیل فرمآمید ۲۳۲

جدول ۳-۱۶: بررسی تاثیر مقادیر متفاوت باز پتاسیم فسفات در واکنش جفت شدن یدوبنزن توسط کاتالیزور Au@PMO در حلال دی‌متیل فرمآمید ۲۳۳
جدول ۳-۱۷: بررسی اثر دما در واکنش جفت شدن یدوبنزن توسط کاتالیزور Au@PMO در حلال دی‌متیل فرمآمید ۲۳۴
جدول ۳-۱۸: بررسی اثر حلال در واکنش جفت شدن یدوبنزن توسط کاتالیزور Au@PMO در حلال دی‌متیل فرمآمید ۲۳۴
جدول ۳-۱۹: بررسی تاثیر مقادیر مختلف کاتالیزور Au@PMO در واکنش جفت شدن یدوبنزن توسط کاتالیزور Au@PMO در حلال N-متیل پیرولیدن ۲۳۵
جدول ۳-۲۰: بررسی واکنش جفت شدن یدوبنزن توسط کاتالیزورهای طلا در حلال N-متیل پیرولیدن ۲۳۶
جدول ۳-۲۱: واکنش جفت شدن آریل یدیدها توسط کاتالیزور Au@PMO ۲۳۹

فهرست شکل‌ها

عنوان **شماره صفحه**

شکل ۱-۱: تندیس توتانخ‌آمون ۳
شکل ۱-۲: جام لیکورگوس ۴
شکل ۱-۳: شمای کلی از تبدیل طلا به نانوذرات طلا و تثبیت آن به روش‌های مختلف ۵
شکل ۱-۴: سنتز و پایدار کردن نانوذرات طلا توسط سدیم سیترات ۶
شکل ۱-۵: پایدار کردن نانوذرات طلا به روش براست-شفرین ۷
شکل ۱-۶: پایدار کردن نانوذرات طلا توسط لیگاندهای مختلف تیولی ۸
شکل ۱-۷: پایدار کردن نانوذرات طلا توسط لیگاندهای تیولی حاوی اتیلن اکسید ۹
شکل ۱-۸: نانوذرات طلای پایدار شده توسط دودکان‌تیول
b) 25°C c) 150°C d) 190°C e) 230°C f) 250°C ۱۱
شکل ۱-۹: نانوذرات طلای پایدار شده توسط دندریمر ۱۲
شکل ۱-۱۰: بر همکنش هیدروکسی‌کلرید طلا با گروه‌های هیدروکسیل سطح اکسید فلزی ۱۶
شکل ۱-۱۱: شمای کلی ترکیبات نانوحفره با اندازه حفرات مختلف ۱۹
شکل ۱-۱۲: ساختارهای مختلف خانواده M41S ۱۹
شکل ۱-۱۳: مکانیزم کلی سنتز نانوحفرات در حضور عوامل فعال سطحی ۲۰
شکل ۱-۱۴: مکانیزم پیشنهادی برای سنتز ساختار نانوحفره هگزاگونال MCM-41 ..... ۲۱
شکل ۱-۱۵: شمای کلی سنتز ترکیبات مزوحفره هیبریدی آلی-معدنی ۲۳
شکل ۱-۱۶: روند رو به رشد چاپ مقالات در زمینه خصلت کاتالیزوری طلا ۲۵
شکل ۱-۱۷: راندمان اکسایش مونوکسید کربن توسط کاتالیزورهای مختلف ۲۸
شکل ۱-۱۸: عکس میکروسکوپ الکترونی از نانوذرات طلای تهیه شده به روش رسوب بخار شیمیایی بر روی بستر سیلیکا توسط هاروتا و همکاران ۲۹
شکل ۱-۱۹: عکس میکروسکوپ الکترونی عبوری از a) Au@SBA-15 قبل و (b بعد از انجام واکنش اکسایش مونوکسید کربن در دمای ۱۶۰ درجه سانتیگراد توسط شوت و همکاران ۳۰
شکل ۱-۲۰: اثر کاتالیزورهای $Au@TiO_2$، $Au@Fe_2O_3$ و $Au@CeO_2$ در اکسایش مونوکسیدکربن ۳۱
شکل ۱-۲۱: عکس میکروسکوپ الکترونی عبوری کاتالیزورهای a)Au@ZnO، b) $Au@ZrO_2$، c) $Au@TiO_2$، d) $Au@Al_2O_3$ ارائه شده توسط شوت وهمکاران ۳۲
شکل ۱-۲۲: تاثیر دمای کلسینه شدن بر فعالیت کاتالیزورها ۳۲
شکل ۱-۲۳: شمای تشکیل کاتالیزور $Au@TiO_2$-MCM-48 ..... ۳۳
شکل ۱-۲۴: عکس میکروسکوپ الکترونی عبوری از نانوذرات هسته/پوسته $Au@TiO_2$ توسط ژانگ و همکاران ۳۴

شکل ۱-۲۵: مکانیسم پیشنهادی جهت واکنش جفت شدن فنیل بورونیک اسید توسط کاتالیزور Au@PVP ارائه شده توسط سوکودا وهمکاران ۳۷
شکل ۱-۲۶: فعالیت کاتالیزورهای طلا در فرآیند اپوکسیداسیون ترانس استیلبن با استفاده از ۴۰۰ درصد مولی ترشیو بوتیل هیدروژن پراکسید ۳۹
شکل ۱-۲۷: فعالیت کاتالیزورهای طلا در فرآیند اپوکسیداسیون ترانس استیلبن با استفاده از ۵ درصد مولی ترشیو بوتیل هیدروژن پراکسید ۴۰
شکل ۱-۲۸: شمای نانوذرات طلای پایدار شده توسط گروه‌های دی سولفید درون ساختار PMO- SBA-15 ..... ۴۰
شکل ۱-۲۹: شمای کلی ساخت کاتالیزور $Au@SiO_2$ توسط کپس و همکاران ۴۱
شکل ۱-۳۰: مراحل سنتز کاتالیزور $Au_{25}@HAP$ سوکودا و همکاران ۴۲
شکل ۱-۳۱: روش‌های سنتز سیکلوهگزانون اکسیم و ε-کاپرولاکتام از طریق اکسایش هوازی سیکلوهگزان و سیکلوهگزانول ۴۴
شکل ۱-۳۲: روش‌های سنتز سیکلوهگزانون اکسیم و ε-کاپرولاکتام از طریق کاهش نیتروبنزن .. ۴۴
شکل ۱-۳۳: مسیرهای پیشنهادی برای واکنش احیاء ترکیبات نیترو توسط نانوذرات طلا ۴۵
شکل ۱-۳۴: ثبات قیمت طلا در مقایسه با پلاتین و پالادیم ۴۷
شکل ۱-۳۵: شمایی فرضی از کاتالیزوری $[Ir@La_2O_3\text{-}Pt@SnO_2\text{-}Au@Fe_2O_3]$ ۴۹
شکل۲-۱: روش‌های متداول جهت اکسایش الکل‌ها ۶۲
شکل۲-۲: ساختار روتنیم(III) هیدروکسی آپاتیت ۷۳
شکل۲-۳: روش تهیه کاتالیزور ARP-Pd ۸۰
شکل ۲-۴: تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری کاتالیزور Pd@SBA-15-BP در واکنش اکسایش هوازی بنزیل الکل پس از اولین مرحله بازیافت توسط کریمی و همکاران ۸۴
شکل۲-۵: سنتز و تثبیت نانوذرات پالادیم بر روی ساختار مزوحفره کربنی جهت استفاده در اکسایش هوازی الکل‌ها توسط شوت و همکاران ۸۶
شکل ۲-۶: سنتز و تثبیت نانوذرات پالادیم بر روی سیلیکای نامنظم اصلاح شده با زنجیره‌های پلی‌اتیلن‌گلیکول جهت استفاده در اکسایش هوازی الکل‌ها توسط لایتنر و همکاران ۸۶
شکل ۲-۷: سنتز و پایداری نانوذرات پالادیم بر روی سطح خاک رس اصلاح شده با گروه‌های آلی جهت استفاده در اکسایش هوازی الکل‌ها توسط ونگ و همکاران ۸۸
شکل ۲-۸: نانوذرات پالادیم پایدار شده بر روی پلی‌اتیلن‌گلیکول اصلاح شده با لیگاندهای بای‌پیریدینی توسط هو و همکاران ۸۹
شکل ۲-۹: TOF کاتالیزورهای نانوذرات طلا در واکنش اکسایش هوازی الکل‌ها توسط کورما و همکاران ۹۰
شکل ۲-۱۰: مکانیسم پیشنهادی اکسایش هوازی الکل‌ها توسط کاتالیزور $Au@CeO_2$ توسط کورما و همکاران ۹۱

شکل ۲-۱۱: شمای کلی از سنتز نانوذرات طلا در نانوساختارهای PMO توسط کورما و همکاران ۹۲
شکل ۲-۱۲: ترتیب فعالیت کاتالیزورهای طلا در تبدیل بنزیل الکل به بنزل آلدهید ۹۳
شکل ۲-۱۳: تصویر ADF-STEM کاتالیزور $Au\text{-}Pd@TiO_2$، قرمز تیتانیوم، سبز پالادیم، آبی طلا توسط هاچینگز و همکاران ۹۳
شکل ۲-۱۴: شمای کلی از سنتز نانوذرات طلا در داخل پلیمر پلی‌استایرن ۹۴
شکل ۲-۱۵: شمایی از بکارگیری سیستم نانوذرات طلا/پلیمر و بازیافت ساده کاتالیزور در اکسایش هوازی الکل‌ها توسط اوشیما و همکاران ۹۵
شکل ۲-۱۶: تصویر میکروسکوپ الکترونی از نانوذرات طلای پایدارشده توسط پلیمر پراتی و همکاران ۹۶
شکل ۲-۱۷: پایداری فوق‌العاده نانوذرات طلا در ساختار پلورونیک ارائه شده توسط کاوانامی و همکاران ۹۷
شکل ۲-۱۸: فعالیت بالای کاتالیزور $Au@Ga_3Al_3O_9$ در اکسایش هوازی بنزیل الکل ۹۷
شکل ۲-۱۹: تصویر میکروسکوپ الکترونی نانوذرات طلا تهیه شده از طریق روش سوم توسط هاروتا و همکاران ۹۹
شکل ۲-۲۰: تصویر میکروسکوپ الکترونی نانوذرات طلا تثبیت شده بر روی بستر رزین‌های جابجا کننده یون توسط هاروتا و همکاران ۱۰۰
شکل ۲-۲۱: تصویر میکروسکوپ الکترونی نانوذرات طلا تثبیت شده بر روی سلولز توسط هاروتا و همکاران ۱۰۱
شکل ۲-۲۲: مراحل سنتز کاتالیزور نانوذرات طلا در درون مزوحفرات SBA-15 ..... ۱۰۲
شکل ۲-۲۳: شمای از سنتز نانوذرات طلا درون شبکه فلز-آلی توسط لی و تانگ ۱۰۳
شکل ۲-۲۴: شمایی از مراحل سنتز نانوذرات طلا بر روی نانوذرات مغناطیسی توسط روسی و همکاران ۱۰۳
شکل ۲-۲۵: تصویر میکروسکوپ الکترونی نانوذرات طلای تثبیت شده بر روی نانوذرات مغناطیسی توسط روسی و همکاران ۱۰۴
شکل ۲-۲۶: روش‌های سنتز اولین دسته ترکیبات نانوحفره منظم PMO ۱۰۵
شکل ۲-۲۷: تعدادی از مواد اولیه بکاربرده شده جهت سنتز نانوساختارهای PMO ۱۰۷
شکل ۲-۲۸: شمای کلی از سنتز PMO با استفاده از مخلوط تراآلکوکسی‌سیلان و پیش ماده اورگانوسیلیکانی ۱۰۸
شکل ۲-۲۹: سنتز PMO با استفاده از یک نوع پیش ماده اورگانوسیلیکانی ۱۰۹
شکل ۲-۳۰: شمای کلی از سنتز PMO با استفاده از مخلوط پیش ماده‌های اورگانوسیلیکانی ۱۱۰