



دانشگاه شاهرود

سنتز، شناسایی و کاربرد نانوکاتالیزگرهای بین فازی بر پایه نانومواد ارگانوسیلیکای متخلخل تناوبی در واکنش‌های شیمیایی

دکتر فاطمه رجبی

«امروزه کتاب‌خوانی و علم‌آموزی، نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است.»^۱

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتاب‌خوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه‌ی فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه‌ی الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پربار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه‌ی مطالعه‌ی هر ایرانی، برآیمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره‌ی دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه‌ی دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان، تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه‌ی بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاورد انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام(ص) این است که «بخوان!» و در اولین

۱. پیام مقام معظم رهبری به مناسبت آغاز هفته کتاب ۷۲/۱۰/۴

سوره‌ای که بر آن فرستاده‌ی عظیم‌الشأن خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد شده‌است: «إِقْرَأْ وَ رَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه‌ی انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره‌ی جغرافیایی ایران‌شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه‌جا و همه‌وقت، به‌عنوان دانشگاهی کتاب‌محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه‌سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره‌گیری از تجربه‌های گرانقدر استادان و صاحب‌نظران برجسته کشورمان، کتاب‌ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام‌نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به‌طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه‌ی مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه‌ی خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگاه اندیشه‌سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش‌پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام‌نور

فهرست مطالب

پیشگفتار.....	پانزده
فصل اول. نانو مواد.....	۱
هدف کلی.....	۱
هدف های یادگیری.....	۱
مقدمه.....	۱
۱-۱ خواص نانو مواد.....	۲
۲-۱ نانوکاتالیز گر ها.....	۴
۱-۲-۱ طراحی نانوکاتالیز گر ها.....	۶
۲-۲-۱ نانوکاتالیز گر های بین فازی.....	۶
۳-۲-۱ تهیه کاتالیز گر های بین فازی.....	۸
۳-۱ مواد نانو متخلخل.....	۹
۴-۱ روش های نوین تهیه کاتالیز گر های تثبیت شده روی بستر.....	۱۴
۱-۴-۱ تعویض یونی.....	۱۵
۲-۴-۱ استخلاف در استخوان بندی.....	۱۵
۳-۴-۱ کپسوله کردن کمپلکس های فلزی.....	۱۵
۵-۱ روش های تهیه سیلیکای اصلاح شده آلی حاوی گروه های عاملی.....	۱۶
۱-۵-۱ پیوند زدن نهایی و تشکیل سیلیکاهای دارای گروه های عاملی.....	۱۶
۱-۵-۲ تراکم هم زمان ارگانوسیلان و آلکوکسی سیلان (سنتز مستقیم).....	۱۸
۶-۱ ارگانوسیلان های مزو متخلخل متناوب (PMOs).....	۲۰
۱-۶-۱ ارگانوسیلیکان های کایرال.....	۲۳

فصل دوم. روش‌های شناسایی و مشخصه‌یابی نانومواد.....	۲۵
هدف کلی.....	۲۵
هدف‌های یادگیری.....	۲۵
مقدمه.....	۲۶
۱-۲ روش‌های متداول شناسایی و مشخصه‌یابی نانومواد.....	۲۶
۱-۲-۱ تجزیه گرمایی هم‌زمان (STA).....	۲۷
۱-۲-۲ اندازه‌گیری مساحت سطح و درجه تخلخل (تخلخل سنجی).....	۲۸
۱-۲-۲-۱ معادله لانگمیر.....	۳۳
۱-۲-۲-۲ معادله BET.....	۳۴
۱-۲-۳ طیف‌سنجی مادون قرمز انعکاسی.....	۳۵
۱-۲-۴ طیف‌سنجی رزونانس مغناطیسی هسته در حالت جامد.....	۳۵
۱-۲-۵ طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس.....	۳۵
۱-۲-۶ طیف‌سنجی فتو الکترونی پرتو ایکس.....	۳۶
۱-۲-۷ طیف‌سنجی ماوراءبنفش انعکاسی (DRIR-UV).....	۳۷
۱-۲-۸ میکروسکوپ الکترونی.....	۳۷
۱-۲-۹ تیتراسیون.....	۳۹
۱-۲-۱۰ روش طیف‌سنجی جذب پرتوی ایکس (XAS).....	۴۰
۱-۲-۱۱ طیف‌سنجی پراکندگی نور دینامیکی (DLS).....	۴۰
۱-۲-۱۲ طیف‌سنجی پراکندگی انرژی (EDS).....	۴۱

فصل سوم. سنتز و مشخصه‌یابی خانواده جدید از نانومواد متخلخل ارگانوسیلیکایی بسیار منظم (PMO) و کاربرد کاتالیزگری آن‌ها در واکنش‌های شیمیایی.....	۴۳
هدف کلی.....	۴۳
هدف‌های یادگیری.....	۴۳
مقدمه.....	۴۴
۱-۳ نانو ساختارهای ارگانوسیلیکای مزو متخلخل تناوبی (PMO).....	۴۴
۱-۳-۱ کاربردهای نانو ساختارهای ارگانوسیلیکای متخلخل تناوبی (PMO).....	۴۵
۱-۳-۱-۱ کاربرد نانومواد PMO در پزشکی.....	۴۶
۱-۳-۱-۲ کاربرد نانومواد PMO در تصفیه آب.....	۴۷
۱-۳-۱-۳ کاربرد نانومواد PMO در سوخت و انرژی.....	۵۰
۱-۳-۱-۴ کاربرد نانومواد PMO در صنایع آرایشی و بهداشتی.....	۵۱
۱-۳-۱-۵ کاربرد نانومواد PMO در نانو حسگرها.....	۵۲
۲-۳ سنتز، مشخصه‌یابی و کاربرد نانومواد متخلخل ارگانوسیلیکای بسیار منظم با کالبد پیریدین.....	۵۳
۲-۳-۱ سنتز نانومواد متخلخل ارگانوسیلیکای منظم بر پایه پیریدین.....	۵۳
۲-۳-۲ مشخصه‌یابی نانومواد متخلخل ارگانوسیلیکای منظم بر پایه پیریدین (PMO-Py).....	۵۴
۲-۳-۲-۱ آزمون جذب- و جذب و تعیین خواص فیزیکی نانومواد ارگانوسیلیکای PMO-Py.....	۵۴

۵۵	PMO-Py	۲-۲-۳	آنالیز تجزیه حرارتی وزنی نانومواد ارگانوسیلیکای
۵۶	PMO-Py	۳-۲-۲-۳	آنالیز پراش پرتو ایکس نانومواد ارگانوسیلیکای
۵۷	PMO-Py	۴-۲-۲-۳	طیف مادون قرمز نانومواد ارگانوسیلیکای
۵۸	PMO-Py	۵-۲-۲-۳	طیف رزونانس مغناطیسی جامد سیلیس ^{29}Si CP/MAS NMR نانومواد
۵۹	PMO-Py	۶-۲-۲-۳	طیف رزونانس مغناطیسی جامد کربن ^{13}C CP/MAS NMR نانومواد ارگانوسیلیکای
۵۹	PMO-Py	۳-۲-۳	بررسی قدرت کاتالیزگری نانومواد ارگانوسیلیکای PMO-Py در واکنش تراکمی نووناگل
۶۲	.....	۳-۳	سنتز، مشخصه یابی و کاربرد نانومواد متخلخل ارگانوسیلیکای منظم با کالبد مایع یونی پیریدینیم
۶۲	.....	۱-۳-۳	سنتز نانومواد متخلخل ارگانوسیلیکای منظم با کالبد مایع یونی پیریدینیم
۶۲	.....	۲-۳-۳	مشخصه یابی نانومواد متخلخل ارگانوسیلیکای منظم با کالبد مایع یونی پیریدینیم تری فلوئورواستات (PMO-Py-IL)
۶۲	PMO-Py-IL	۱۲-۳-۳	آزمون جذب- و جذب و تعیین خواص فیزیکی نانومواد ارگانوسیلیکای PMO-Py-IL
۶۴	PMO-Py-IL	۲-۲-۳-۳	آنالیز پراش پرتو ایکس نانومواد ارگانوسیلیکای PMO-Py-IL
۶۵	PMO-Py-IL	۳-۲-۳-۳	تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانومواد ارگانوسیلیکای PMO-Py-IL
۶۶	PMO-Py-IL	۴-۲-۳-۳	آنالیز تجزیه حرارتی وزنی نانومواد ارگانوسیلیکای PMO-Py-IL
۶۷	.....	۳-۳-۳	بررسی قدرت کاتالیزگری نانومواد ارگانوسیلیکای PMO-Py-IL در سنتز سوخت های زیستی
۷۱	.....	۴-۳	سنتز، مشخصه یابی و کاربرد نانومواد متخلخل ارگانوسیلیکای منظم حاوی سیتوزین
۷۱	.....	۱-۴-۳	سنتز نانومواد متخلخل ارگانوسیلیکای منظم حاوی سیتوزین
۷۱	.....	۲-۴-۳	مشخصه یابی نانومواد متخلخل ارگانوسیلیکای منظم حاوی سیتوزین
۷۱	Cyt@SBA-15	۱-۲-۴-۳	آنالیز پراش پرتو ایکس نانومواد ارگانوسیلیکای Cyt@SBA-15
۷۲	Cyt@SBA-15	۲-۲-۴-۳	آزمون جذب- و جذب و تعیین خواص فیزیکی نانومواد ارگانوسیلیکای
۷۳	Cyt@SBA-15	۳-۲-۴-۳	طیف مادون قرمز نانومواد ارگانوسیلیکای Cyt@SBA-15
۷۴	Cyt@SBA-15	۴-۲-۴-۳	طیف رزونانس مغناطیسی جامد سیلیس و کربن ^{29}Si CP/MAS NMR و ^{13}C CP/MAS NMR نانومواد ارگانوسیلیکای Cyt@SBA-15
۷۵	Cyt@SBA-15	۵-۲-۴-۳	آنالیز تجزیه حرارتی وزنی نانومواد ارگانوسیلیکای Cyt@SBA-15
۷۶	.....	۳-۴-۳	بررسی قدرت کاتالیزگری نانومواد ارگانوسیلیکای Cyt@SBA-15 در واکنش تراکمی نووناگل
۷۷	.....	۵-۳	ترکیبات اورگانوسیلیکای مزو متخلخل متناوب دارای گروه های یونی پل شونده
۷۹	.....	۱-۵-۳	مایعات یونی
۸۱	.....	۲-۵-۳	سنتز، مشخصه یابی و کاربرد نانومواد اورگانوسیلیکای متخلخل متناوب دارای مایع یونی اسیدی و یون تنگستات
۸۱	.....	۱-۲-۵-۳	سنتز نانومواد اورگانوسیلیکای متخلخل متناوب دارای مایع یونی اسیدی و یون تنگستات

۳-۵-۲	مشخصه‌یابی نانومواد اورگانوسیلیکای متخلخل متناوب دارای مایع یونی اسیدی و یون تنگستات	۸۲
۳-۵-۳	بررسی قدرت کاتالیزگری نانومواد ارگانوسیلیکای PMO-HPA-IL در واکنش استریفیکاسیون گزینشی دی کربوکسیلیک اسیدها	۸۶
۳-۵-۴	سنتر، مشخصه‌یابی و کاربرد نانومواد اورگانوسیلیکای متخلخل متناوب تنگستات با کالبد مایع یونی	۹۰
۳-۵-۴-۱	سنتر نانومواد اورگانوسیلیکای متخلخل متناوب تنگستات با کالبد مایع یونی	۹۰
۳-۵-۴-۲	مشخصه‌یابی نانومواد اورگانوسیلیکای متخلخل متناوب تنگستات با کالبد مایع یونی	۹۱
۳-۵-۴-۳	بررسی قدرت کاتالیزگری نانومواد PMO-IL-WO ₄ ²⁻ در واکنش اکسایش	۹۶

فصل چهارم. سنتر و مشخصه‌یابی نانومواد متخلخل ارگانوسیلیکای کبات و کاربرد کاتالیزگری

۱۰۳	آن‌ها در واکنش‌های شیمیایی	۱۰۳
۱۰۳	هدف کلی	۱۰۳
۱۰۳	هدف‌های یادگیری	۱۰۳
۱۰۴	مقدمه	۱۰۴
۱-۴	سنتر کمپلکس شیف باز کبات (II) تثبیت شده روی بستر سیلیکا	۱۰۴
۲-۴	مشخصه‌یابی کمپلکس شیف باز کبات (II) تثبیت شده روی بستر نانومواد SBA-15	۱۰۵
۲-۴-۱	آنالیز تجزیه حرارتی وزنی کمپلکس کبات II تثبیت شده روی بستر نانومواد SBA-15	۱۰۵
۲-۴-۲	طیف DRIFT-IR کمپلکس کبات II تثبیت شده روی بستر نانومواد SBA-15	۱۰۶
۲-۴-۳	آزمون جذب- و جذب و تعیین خواص فیزیکی نانومواد Co@SBA-15	۱۰۷
۳-۴	کاربرد نانومواد Co@SBA-15 به‌عنوان کاتالیزگر در واکنش‌های شیمیایی	۱۰۷
۱-۳-۴	سنتر استرکر	۱۰۷
۲-۳-۴	محافظت گروه‌های عاملی	۱۱۲
۱-۲-۳-۴	محافظت گروه‌های کربونیل به‌صورت استال در حضور نانوکاتالیزگر Co@SBA-15	۱۱۳
۲-۲-۳-۴	محافظت گروه‌های هیدروکسی و تبدیل به استات در حضور نانوکاتالیزگر Co@SBA-15	۱۱۴
۳-۲-۳-۴	سیلیل دار کردن الکل‌ها و فنل‌ها در حضور نانوکاتالیزگر Co@SBA-15	۱۱۵
۴-۲-۳-۴	حذف گزینشی گروه محافظت استات در حضور نانوکاتالیزگر Co@SBA-15	۱۱۶
۳-۳-۴	سنتر آمیدها از طریق واکنش افزایش اکسایشی آمین‌ها به آلدئیدها	۱۱۷
۴-۳-۴	واکنش افزایش مایکل	۱۲۱
۵-۳-۴	سنتر بیس ایندولیل متان	۱۲۳
۶-۳-۴	سنتر ترکیبات هتروسیکل کینوکسالین	۱۲۵
۷-۳-۴	سنتر ترکیبات زانتن	۱۲۷
۸-۳-۴	سنتر ترکیبات بنزایمیدازول	۱۲۸
۹-۳-۴	سنتر ترکیبات کومارین	۱۳۱
۱۰-۳-۴	اکسایش آلکیل بنزن‌ها	۱۳۲

۱۳۳	۱۱-۳-۴ اکسایش الکل ها
۱۳۴	۱۲-۳-۴ سنتز فیشر استرها

فصل پنجم. سنتز و مشخصه یابی N- هیدروکسی فتالیمید تثبیت شده روی بستر نانومواد متخلخل و

۱۳۷	کاربرد کاتالیزگری آن در واکنش های شیمیایی
۱۳۷	هدف کلی
۱۳۷	هدف های یادگیری
۱۳۸	مقدمه
۱۳۸	۱-۵ سنتز N- هیدروکسی فتالیمید تثبیت شده روی بستر نانومواد متخلخل
۱۳۹	۱-۱-۵ سنتز نانومواد متخلخل آمینو پروپیل سیلیکا به روش سل- ژل
۱۳۹	۱-۵-۲ مشخصه یابی نانومواد متخلخل آمینو پروپیل سیلیکا
۱۳۹	۱-۲-۱-۵ تجزیه حرارتی هم زمان نانومواد متخلخل آمینو پروپیل سیلیکا
۱۴۱	۱-۲-۱-۵ طیف DRIFT نانومواد متخلخل آمینو پروپیل سیلیکا
۱۴۱	۱-۳-۱-۵ آزمون جذب- واجذب و تعیین خواص فیزیکی نانومواد آمینو پروپیل سیلیکا
۱۴۱	۱-۳-۱-۵ سنتز N- هیدروکسی فتالیمید تثبیت شده روی بستر نانومواد متخلخل آمینو پروپیل سیلیکا
۱۴۳	۱-۴-۱-۵ مشخصه یابی N- هیدروکسی فتالیمید تثبیت شده روی بستر نانومواد متخلخل آمینو پروپیل سیلیکا
۱۴۳	۱-۴-۱-۵ تجزیه حرارتی هم زمان N- هیدروکسی فتالیمید تثبیت شده روی بستر نانومواد متخلخل آمینو پروپیل سیلیکا
۱۴۳	۱-۲-۱-۵ طیف DRIFT N- هیدروکسی فتالیمید تثبیت شده روی بستر نانومواد متخلخل آمینو پروپیل سیلیکا
۱۴۴	۱-۳-۱-۵ ایزوترم جذب و واجذب نیتروژن N- هیدروکسی فتالیمید تثبیت شده روی بستر نانومواد متخلخل آمینو پروپیل سیلیکا
۱۴۵	۱-۴-۱-۵ تصاویر میکروسکوپ جاروب الکترونی N- هیدروکسی فتالیمید تثبیت شده روی بستر نانومواد متخلخل آمینو پروپیل سیلیکا
۱۴۶	۲-۵ اکسایش انتخابی متیل آروماتیک ها

فصل ششم. سنتز و مشخصه یابی نانومواد متخلخل ارگانوسیلیکای آهن و کاربرد کاتالیزگری آن در

۱۵۱	واکنش های شیمیایی
۱۵۱	هدف کلی
۱۵۱	هدف های یادگیری
۱۵۲	مقدمه
۱۵۲	۱-۶ سنتز، مشخصه یابی و کاربرد کمپلکس آهن تثبیت شده بر بستر PMO
۱۵۲	۱-۱-۶ سنتز کمپلکس آهن تثبیت شده بر بستر PMO
۱۵۳	۱-۲-۶ مشخصه یابی کمپلکس آهن تثبیت شده بر بستر PMO

۱۵۳	۱-۲-۱-۶ آنالیز جذب و واجذب نیتروژن نانوکاتالیزگر Fe@PMO
۱۵۴	۱-۲-۱-۶ آنالیز پراش پرتوی ایکس نانوکاتالیزگر Fe@PMO
۱۵۵	۱-۲-۱-۶ اکسایش انتخابی الکل‌ها با استفاده از نانوکاتالیزگر قابل بازیافت Fe@PMO
۱۵۶	۱-۲-۶ سنتز، مشخصه‌یابی و کاربرد نانوکاتالیزگر آهن تثبیت شده بر بستر SBA-15
۱۵۶	۱-۲-۶ سنتز نانوکاتالیزگر آهن تثبیت شده بر بستر SBA-15
۱۵۷	۱-۲-۶ مشخصه‌یابی نانوکاتالیزگر آهن تثبیت شده بر بستر SBA-15
۱۵۷	۱-۲-۶ طیف پراش اشعه ایکس (XRD) نانوکاتالیزگر آهن تثبیت شده بر بستر SBA-15
۱۵۸	۱-۲-۶ تصویر میکروسکوپ الکترونی (TEM) نانوکاتالیزگر آهن تثبیت شده بر بستر SBA-15
۱۵۸	۱-۲-۶ ایزوترم جذب و واجذب نیتروژن نانوکاتالیزگر آهن تثبیت شده بر بستر SBA-15
۱۶۰	۱-۲-۶ آنالیز طیف‌سنجی فتوالکترون پرتوایکس XPS
۱۶۱	۱-۲-۶ کاربرد نانوکاتالیزگر FeNP@SBA-15 در واکنش‌های شیمیایی
۱۶۱	۱-۲-۶ اکسایش الکل‌ها
۱۶۲	۱-۲-۶ اکسایش گزینش‌پذیر آلکن‌ها به آلدئیدها در حلال آب
۱۶۵	۱-۲-۶ اکسایش گزینش‌پذیر تیول‌ها به دی سولفیدها
۱۷۱	۱-۲-۶ اکسایش گزینشی سولفیدها به سولفوکسید
۱۷۳	۱-۲-۶ واکنش استیل‌دار کردن الکل‌ها و فنول‌ها
۱۷۴	۱-۲-۶ سنتز استرها از طریق اکسایش افزایشی آلدئیدها به الکل‌ها
۱۷۵	۱-۲-۶ سنتز فیشتر استر
۱۷۸	۱-۲-۶ سنتز مشتقات زانتن

فصل هفتم. سنتز و مشخصه‌یابی نانومواد متخلخل ارگانوسیلیکای پالادیم و کاربرد کاتالیزگری

۱۸۱	آنها در واکنش‌های شیمیایی
۱۸۱	هدف کلی
۱۸۱	هدف‌های یادگیری
۱۸۲	مقدمه
۱۷-۱	سنتز، کاربرد و مشخصه‌یابی نانوکاتالیزگر قابل بازیافت پالادیم N-هتروسیکل کاربن تثبیت شده الکتروستاتیکی بر بستر ارگانوسیلیکای منظم
۱۸۲	۱-۱-۷ سنتز نانوکاتالیزگر قابل بازیافت پالادیم N-هتروسیکل کاربن تثبیت شده الکتروستاتیکی بر بستر ارگانوسیلیکای منظم
۱۸۲	۲-۱-۷ مشخصه‌یابی نانوکاتالیزگر قابل بازیافت پالادیم N-هتروسیکل کاربن تثبیت شده الکتروستاتیکی بر بستر ارگانوسیلیکای منظم
۱۸۴	۱-۲-۱-۷ آزمون جذب و واجذب نیتروژن نانوکاتالیزگر $[\text{Pd-NH}^{3+}](\text{SO}_3\text{-PhPMO})$
۱۸۶	۱-۲-۱-۷ آنالیز پراش پرتوایکس نانوکاتالیزگر $[\text{Pd-NH}^{3+}](\text{SO}_3\text{-PhPMO})$
۱۸۷	۱-۲-۱-۷ آنالیز تجزیه حرارتی وزنی نانوکاتالیزگر $[\text{Pd-NH}^{3+}](\text{SO}_3\text{-PhPMO})$
۱۷-۱-۴	طیف رزونانس مغناطیسی جامد سیلیس ^{29}Si CP/MAS NMR و کربن
۱۸۸	^{13}C CP/MAS NMR نانوکاتالیزگر $[\text{Pd-NH}^{3+}](\text{SO}_3\text{-PhPMO})$

۳-۱-۷ بررسی فعالیت کاتالیزگری نانومواد $(\text{Pd-NH}^{3+})(\text{SO}_3\text{-PhPMO})$ در واکنش سوزوکی-میورا.....	۱۸۸
۲-۷ سنتز، مشخصه‌یابی و کاربرد نانوکاتالیزگر جدید و قابل بازیافت پالادیم N-هتروسیکل کاربن حاوی پیریمیدین تثبیت شده بر روی بستر PMO.....	۱۹۲
۱-۲-۷ سنتز نانوکاتالیزگر قابل بازیافت پالادیم N-هتروسیکل کاربن حاوی پیریمیدین تثبیت شده بر بستر PMO.....	۱۹۲
۲-۲-۷ مشخصه‌یابی نانوکاتالیزگر قابل بازیافت پالادیم N-هتروسیکل کاربن حاوی پیریمیدین تثبیت شده بر بستر PMO.....	۱۹۳
۱-۲-۲-۷ آزمون جذب- واجذب نیتروژن نانوکاتالیزگر Pd-Pym-NHC@PMO	۱۹۳
۲-۲-۲-۷ آنالیز پراش پرتو ایکس نانوکاتالیزگر Pd-Pym-NHC@PMO	۱۹۵
۳-۲-۲-۷ آنالیز تجزیه حرارتی هم‌زمان نانوکاتالیزگر Pd-Pym-NHC@PMO	۱۹۵
۴-۲-۲-۷ طیف رزونانس مغناطیسی جامد سیلیس ^{29}Si CP/MAS NMR نانوکاتالیزگر Pd-Pym-NHC@PMO	۱۹۶
۳-۲-۷ بررسی قدرت کاتالیزگری پالادیم تثبیت شده بر بستر نانو مواد ارگانوسیلیکا (Pd-Pym-NHC@PMO)	۱۹۶
۱-۳-۲-۷ اکسایش الکل‌ها.....	۱۹۷
۲-۳-۲-۷ اکسایش سولفیدها.....	۱۹۹
۳-۲-۲-۷ واکنش جفت شدن سوزوکی - میورا.....	۲۰۰
۳-۷ سنتز، کاربرد و مشخصه‌یابی نانوکاتالیزگر قابل بازیافت پالادیم بر بستر نانومواد ارگانوسیلیکای تناوبی PMO.....	۲۰۱
۱-۳-۷ سنتز نانوکاتالیزگر قابل بازیافت پالادیم بر بستر نانومواد ارگانوسیلیکای تناوبی PMO.....	۲۰۱
۲-۳-۷ مشخصه‌یابی نانوکاتالیزگر قابل بازیافت پالادیم بر بستر نانومواد ارگانوسیلیکای تناوبی PMO.....	۲۰۲
۱-۲-۳-۷ آزمون جذب- واجذب نانوکاتالیزگر Pd@PMO-NHC	۲۰۲
۲-۲-۳-۷ آنالیز تجزیه حرارتی هم‌زمان نانوکاتالیزگر Pd@PMO-NHC	۲۰۴
۳-۲-۳-۷ آنالیز پراش پرتو ایکس نانوکاتالیزگر Pd@PMO-NHC	۲۰۵
۴-۲-۳-۷ تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نانوکاتالیزگر Pd@PMO-NHC	۲۰۵
۳-۳-۷ بررسی فعالیت کاتالیزگری Pd@PMO-NHC در واکنش سوزوکی-میورا.....	۲۰۶
۴-۷ سنتز، مشخصه‌یابی و کاربرد نانوکاتالیزگر قابل بازیافت کمپلکس سیتوزین پالادیم تثبیت شده بر بستر ارگانوسیلیکای منظم.....	۲۰۷
۱-۴-۷ سنتز نانوکاتالیزگر قابل بازیافت کمپلکس سیتوزین پالادیم تثبیت شده بر بستر ارگانوسیلیکای منظم.....	۲۰۷
۲-۴-۷ مشخصه‌یابی نانوکاتالیزگر قابل بازیافت کمپلکس سیتوزین پالادیم تثبیت شده بر بستر ارگانوسیلیکای منظم.....	۲۰۸
۱-۲-۴-۷ آنالیز پراش پرتو ایکس نانوکاتالیزگر Pd-Cyt@SBA-15	۲۰۸
۲-۲-۴-۷ آزمون جذب- واجذب نانوکاتالیزگر Pd-Cyt@SBA-15	۲۰۸

۲۱۰	۳-۴-۷ آنالیز تجزیه حرارتی هم‌زمان نانوکاتالیزگر Pd-Cyt@SBA-15
۲۱۰	۳-۴-۷ بررسی فعالیت کاتالیزگری Pd-Cyt@SBA-15 در واکنش سوزوکی-میوارا
۲۱۲	۴-۴-۷ بررسی فعالیت کاتالیزگری Pd-Cyt@SBA-15 در اکسایش افزایشی آلدئیدها

فصل هشتم. سنتز و مشخصه‌یابی نانومواد متخلخل ارگانوسیلیکای مس و کاربرد کاتالیزگری آن‌ها

۲۱۵	در واکنش‌های شیمیایی
۲۱۵	هدف کلی
۲۱۵	هدف‌های یادگیری
۲۱۶	مقدمه
۲۱۶	۱-۸ سنتز، مشخصه‌یابی و کاربرد کمپلکس مس تثبیت شده بر بستر SBA-15
۲۱۶	۱-۱-۸ سنتز کمپلکس مس تثبیت شده بر بستر SBA-15
۲۱۶	۲-۱-۸ مشخصه‌یابی کمپلکس مس تثبیت شده بر بستر SBA-15
۲۱۶	۱-۲-۱-۸ طیف مادون‌قرمز نانوکاتالیزگر Cu@SBA-15
۲۱۶	۲-۲-۱-۸ طیف رزونانس مغناطیسی جامد کربن CP/MAS NMR ¹³ C نانوکاتالیزگر Cu@SBA-15
۲۱۷	۳-۲-۱-۸ آزمون جذب- واجذب و تعیین خواص فیزیکی سطح نانوکاتالیزگر Cu@SBA-15
۲۱۹	۴-۲-۱-۸ آنالیز تجزیه حرارتی هم‌زمان نانوکاتالیزگر Cu@SBA-15
۲۲۰	۵-۲-۱-۸ آنالیز پراش پرتو ایکس نانوکاتالیزگر Cu@SBA-15
۲۲۱	۶-۲-۱-۸ تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نانوکاتالیزگر Cu@SBA-15
۲۲۱	۳-۱-۸ بررسی فعالیت کاتالیزگری Cu@SBA-15 در واکنش‌های شیمیایی
۲۲۱	۱-۳-۱-۸ واکنش بیگینلی
۲۲۷	۲-۳-۱-۸ تجزیه کاتالیزگری پراکسید هیدروژن
۲۲۹	۳-۳-۱-۸ اکسایش الکل‌ها
۲۳۰	۲-۸ سنتز، مشخصه‌یابی و کاربرد نانوذرات مس تثبیت شده بر بستر ارگانوسیلیکای منظم با کالبد مایع یونی
۲۳۰	۱-۲-۸ سنتز نانوذرات مس تثبیت شده بر بستر ارگانوسیلیکای منظم با کالبد مایع یونی
۲۳۰	۲-۲-۸ مشخصه‌یابی نانوذرات مس تثبیت شده بر بستر ارگانوسیلیکای منظم با کالبد مایع یونی
۲۳۰	۱-۲-۲-۸ طیف مادون‌قرمز نانومواد Cu-NHC@SBA-15
۲۳۲	۲-۲-۲-۸ طیف رزونانس مغناطیسی جامد سیلیس ²⁹ Si CP/MAS NMR نانومواد Cu-NHC@SBA-15
۲۳۳	۳-۲-۲-۸ طیف رزونانس مغناطیسی جامد کربن CP/MAS NMR ¹³ C نانومواد Cu-NHC@SBA-15
۲۳۴	۴-۲-۲-۸ تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نانومواد Cu-NHC@SBA-15
۲۳۵	۵-۲-۲-۸ تصویر میکروسکوپ الکترونی رویشی نانومواد Cu-NHC@SBA-15
۲۳۵	۶-۲-۲-۸ آنالیز پراش پرتو ایکس نانومواد Cu-NHC@SBA-15

- ۸-۲-۷ آزمون جذب- واجذب و تعیین خواص فیزیکی نانومواد Cu-NHC@SBA-15 ۲۳۶
- ۸-۲-۸ آنالیز تجزیه حرارتی همزمان نانومواد Cu-NHC@SBA-15..... ۲۳۸
- ۸-۲-۳ بررسی قدرت کاتالیزگری نانومواد Cu-NHC@SBA-15 در اکسایش گزینشی الکل‌ها.. ۲۳۸

منابع..... ۲۴۱

پیشگفتار

در عصر حاضر، بسیاری از محققان و سیاستمداران جهان معتقدند که علم نانو می‌تواند تحولات اساسی در توسعه و پیشرفت علمی و صنعتی جهان ایجاد کند. با پیشرفت‌های سریع و شگرف در همگرایی فناوری نانو، شاهد تحولات عظیم و چشمگیر در آینده نزدیک خواهیم بود. نانوفناوری یک دانش میان رشته‌ای و فراگیر است که در زمینه‌های گوناگون از جمله صنعتی، نظامی، پزشکی، الکترونیک، انرژی، کشاورزی، داروسازی، محیط‌زیست، شیمی و مواد با سرعت زیاد در حال توسعه است و در آینده‌ای نزدیک تمامی جنبه‌های زندگی و نیازهای مختلف انسان‌ها را تحت تأثیر اساسی قرار می‌دهد. یکی از کاربردهای فناوری نانو در حوزه کاتالیزورها و ساخت نانوکاتالیزورها است که در صنایع مختلف شیمیایی و نفت و گاز مورد استفاده قرار می‌گیرند. همواره تولید کاتالیزگر با فعالیت، گزینش‌پذیری و بازده بالا، قابلیت جداسازی و بازیابی از مخلوط واکنش، مصرف حداقل انرژی و عمر مفید بالا یکی از مهم‌ترین هدف‌های شیمی‌دان‌ها در فناوری کاتالیزورها بوده است. به همین منظور نانوکاتالیزگرهایی طراحی و سنتز شده‌اند که نسبت به کاتالیزگرهای مرسوم، کارایی و گزینش‌پذیری بالاتری دارند. بازده بالا، صرفه اقتصادی، هدر رفت کم مواد شیمیایی، مصرف حداقل گرما و انرژی، ایمنی بالا و استفاده بهینه از مواد شیمیایی اولیه، جداسازی آسان و بازیافت از مهم‌ترین مزایای نانوکاتالیزورها می‌باشند. کتاب حاضر یک اثر تصنیفی است و مجموعه‌ای از مطالعات و پژوهش‌های سال‌های اخیر گروه تحقیقاتی این‌جانب در زمینه طراحی،

ساخت، مشخصه‌یابی و کاربرد نانوکاتالیزگرهای بین‌فازی بر پایه نانومواد هیبریدی آلی معدنی است، که در راستای اصول شیمی سبز و توسعه شیمی پایدار صورت گرفته است. نانوکاتالیزگرهای بین‌فازی هم‌زمان مزایای کاتالیزگرهای همگن و ناهمگن را دارا هستند. در این کتاب که مشتمل بر هشت فصل است، تلاش شده است تا متون مرتبط به این حوزه، به زبانی ساده و قابل فهم برای دانشجویان و سایر علاقه‌مندان نگارش شود. امید است این کتاب مورد استفاده علاقه‌مندان علم شیمی و فرایندهای کاتالیزگری قرار گیرد. پیشاپیش از کلیه صاحب‌نظران و خوانندگان که با نظرات و پیشنهادهای ارزشمند خود، این جانب را در راستای بهبود کیفیت کتاب در ویرایش‌های آتی یاری دهند، سپاسگزاری می‌کنم. در پایان از همکاری صمیمانه مسئولین محترم مؤسسه انتشارات دانشگاه پیام نور که امکان لازم برای چاپ این کتاب را فراهم کردند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنم.

فاطمه رجبی

f_rajabi@pnu.ac.ir

تابستان ۱۴۰۰

فصل اول

نانو مواد

هدف کلی

هدف کلی از ارائه مطالب این فصل آشنایی با مطالب پایه‌ای مرتبط با مفاهیم نانومواد، نانوکاتالیزگرهای بین فازی و روش‌های تهیه آن‌ها است.

هدف‌های یادگیری

انتظار می‌رود پس از مطالعه این فصل یادگیرنده توانایی‌های زیر را کسب کرده باشد و بتواند مفاهیم زیر را توضیح دهد:

۱. ویژگی‌های نانومواد.
۲. نحوه طراحی و ساخت نانوکاتالیزرها.
۳. نانوکاتالیزگرهای بین فازی و سنتز آن‌ها.
۴. نانومواد متخلخل ارگانوسیلیکا.
۵. روش‌های سنتز کاتالیزگرهای تثبیت شده.
۶. سنتز ارگانوسیلیکا و کاربرد آن‌ها.

مقدمه

در دنیای مدرن امروز تمایل به استفاده از سیستم‌های هرچه کوچک‌تر و درعین‌حال کاراتر رو به فزونی است و تحقیقات در حیطه علوم و فناوری نانو از جذاب‌ترین حوزه‌هایی است که دانشمندان شاخه‌های مختلف علمی از جمله شیمی را به سمت خود جلب کرده است. تحقیق و توسعه در سنتز، ساخت و کنترل ابزارها و سیستم‌هایی

که به دلیل دارا بودن اندازه‌هایی در مقیاس طول ۱ تا ۱۰۰ نانومتر دارای خواص و کاربردهای ویژه‌ای می‌باشند، نانوفناوری نام دارد. امروزه سنتز نانومواد با اندازه، ساختار و میزان تخلخل کنترل شده، در زمینه‌های علمی و کاربردهای صنعتی مورد توجه قرار گرفته است؛ زیرا ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نانومواد نه تنها به ترکیب شیمیایی آن‌ها بلکه به ساختار، تخلخل، بلورینگی، شکل، اندازه و توزیع اندازه آن‌ها بستگی دارد. نانومواد متخلخل سیلیکایی، زیرمجموعه‌ای از نانو مواد است که حفرا تی در مقیاس نانومتر دارد و کاربردهای فراوانی در انواع زمینه‌های شیمی به ویژه به عنوان بستر در تثبیت کاتالیزگرهای بین فازی دارد. جالب توجه است که این ترکیبات نانوساختار را می‌توان در اشکال و فرم‌های مختلف به روش‌های بالا به پایین و یا پایین به بالا، سنتز کرد. نانوکاتالیزگرهای بین فازی معمولاً از طریق دو روش تراکمی سل ژل و پیوند زنی به صورت ساختارهایی با ابعاد نانومتر سنتز می‌شوند. در این فصل ابتدا مفاهیم کلی نانومواد و نانوکاتالیزگرها آموزش داده می‌شود و سپس روش‌های سنتز آن‌ها معرفی می‌شود.

۱-۱ خواص نانو مواد

بسیاری از خواص مواد در مقیاس نانو اعم از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دچار تغییر می‌شود، ویژگی‌هایی مانند خواص الکتریکی، نوری، مغناطیسی، استحکام، انعطاف‌پذیری و واکنش‌پذیری و سه ویژگی مهم نیز در آن‌ها ایجاد می‌شود: افزایش نسبت مساحت سطحی به حجم بسیار بالا، ورود اندازه ذره به قلمرو کوانتومی و زیاد شدن تعداد اتم‌های روی سطح. این سه عامل اخیر، مهم‌ترین دلیل پیدایش خاصیت کاتالیزگری در نانومواد هستند. اصولاً وقتی ذرات خیلی کوچک می‌شوند (مقیاس نانو) به دلیل انحنای بسیار بالایی که پیدا می‌کنند دارای اتم‌های زیادی روی سطح خود هستند که این اتم‌های سطحی پیوند بسیار ضعیفی با اتم‌های توده شبکه دارند؛ بنابراین، این ذرات انرژی سطحی بسیار بالایی دارند و به شدت فعال‌اند و به اصطلاح گفته می‌شود اتم‌های سطح در حالت ناپایدار فیزیکی و فعال شیمیایی هستند و مستعد برای انجام بسیاری از واکنش‌های شیمیایی هستند. می‌توان گفت دلیل اصلی و تعیین کننده پیدایش خاصیت کاتالیزگری در نانومواد نسبت سطح به حجم بسیار بالای آن‌ها است که هر چه این نسبت بیشتر شود، به دلیل افزایش انرژی سطحی،

خاصیت کاتالیزگری در نانومواد بیشتر می‌شود. در اصل، دلیل این تغییرات به تغییر در ساختار الکترونی مواد برمی‌گردد که با مکانیک کوانتوم قابل توجیه است. وقتی اندازه ذرات خیلی کوچک می‌شود، چگالی حالت نوار ظرفیت دچار تغییر می‌شود و مجموعه‌ای از ترازهای گسسته مشاهده می‌شود. سرانجام، با کوچک شدن ذرات، اندازه آن‌ها به جایی می‌رسد که سطح ذرات با مقداری که مرتبه‌ای از طول‌موج الکترون است، با هم فاصله داشته باشند. در این وضعیت می‌توان ترازهای انرژی را به وسیله رفتار مکانیک کوانتومی یک ذره در یک جعبه مدل‌سازی کرد. این اثر را اثر اندازه کوانتومی می‌نامند. پیدایش خواص الکترونی جدید را می‌توان برحسب اصل عدم قطعیت هایزنبرگ - اصلی که توصیف می‌کند هر چه یک الکترون از نظر فضایی بیشتر محبوس شود محدوده مقدار اندازه حرکت آن وسیع‌تر می‌شود - درک کرد. در نیمه‌رساناها وجود اکسیتون تأثیر زیادی بر خواص الکترونی دارد. در یک نیمه‌رسانای حجیم با فوتونی که انرژی آن بیشتر از گاف انرژی ماده است می‌توان یک جفت الکترون - متخلخل مقید را که اکسیتون نام دارد تولید کرد. اکسیتون یک شبه ذره خنثی است که در عایق‌ها، نیم‌رساناها و برخی مایعات وجود دارد. فوتون الکترون را از نوار ظرفیت کنده و به نوار هدایت منتقل می‌کند. در نتیجه، متخلخلی در نوار ظرفیت ایجاد می‌شود که معادل یک الکترون یا بار مؤثر مثبت است. به دلیل جاذبه بین متخلخل مثبت و الکترون منفی، یک جفت مقید اکسیتون در سرتاسر شبکه حرکت می‌کند که تأثیر زیادی بر خواص الکترونی و اپتیکی می‌گذارد. اگر شعاع نانوذره بزرگ‌تر از شعاع الکترون - متخلخل باشد، محدوده حرکت اکسیتون محدود می‌شود. در نتیجه، جذب اکسیتون نمایان شده و یک جابه‌جایی به سمت طول‌موج‌های کمتر (جابه‌جایی آبی، اثر هیپسو کرومیک) مشاهده می‌شود. از آنجا که ساختار الکترونی نانوذرات به اندازه ذره بستگی دارد، قابلیت آن‌ها در واکنش دادن با دیگر نمونه‌ها نیز به اندازه آن‌ها بستگی دارد. این تغییرات و اثر آن‌ها بسیار محسوس است. به عنوان مثال، یکی از فلزاتی که رفتار بسیار متفاوت در حال توده و مقیاس نانو دارد فلز طلا است. طلا در حالت توده دارای خاصیت کاتالیزگری بسیار پایینی است و یکی از غیرفعال‌ترین فلزات است، اما وقتی به مقیاس نانو برده می‌شود فعالیت کاتالیزگری بسیار بالایی از خود نشان می‌دهد و جالب آنکه یکی از متداول‌ترین فلزات واسطه‌ای است که در سنتز نانوکاتالیزورها مورد استفاده قرار می‌گیرد، به‌ویژه در سنتز

کاتالیزگرهایی که برای واکنش اکسیداسیون کربن مونوکسید و تبدیل آن به کربن دی‌اکسید استفاده می‌شوند. عوامل مؤثر بر خواص کاتالیزگری نانومواد عبارت‌اند از: اندازه نانوذرات، شکل نانوذرات، نحوه توزیع نانوذرات، بستر تهیه نانوذرات و شرایط انجام واکنش.

۱-۲ نانوکاتالیزگرها

امروزه یکی از اصلی‌ترین نگرانی‌ها از دیدگاه جهانی و اقتصادی غلبه بر چالش‌های انرژی و زیست‌محیطی است. کاتالیزگرها می‌توانند از طریق توسعه روش‌های سنتزی سبزتر برای صنایع مهم شیمیایی آلی، برای غلبه بر این چالش‌ها کمک کنند. با استفاده از کاتالیزگرها می‌توان به روش‌های سنتزی جدید و مؤثری دست پیدا کرد که معایب روش‌های مرسوم مانند استفاده از حلال‌های آلی فرار، واکنش‌دهنده‌های سمی، شرایط سخت واکنش و نیز چالش‌های زمان‌بر و یا جداسازی را نداشته باشند. استفاده از فرایندهای کاتالیزگری بخش اصلی روش‌های تولید محصولات شیمیایی است که در مقیاس بزرگ تولید می‌شوند و امروزه بر اهمیت استفاده از کاتالیزگرها برای سنتز محصولات میانی و یا پایانی افزوده شده است.

کاتالیزگرها را می‌توان به‌طور عمده به دو دسته همگن و ناهمگن تقسیم‌بندی کرد. در سیستم‌های کاتالیزگری همگن، گونه‌های کاتالیزگری و واکنش‌دهنده‌ها در یک فاز قرار دارند. این کاتالیزگرها به‌طور کلی مولکول‌های محلول یا ترکیبات یونی هستند. این باعث می‌شود تا برهمکنش بین ترکیبات بهتر انجام شود و از این‌رو فعالیت بیشتر و انتخاب‌پذیری بالاتری را می‌توان داشت؛ بنابراین این کاتالیزگرها به‌طور گسترده‌ای در صنایع مختلفی برای واکنش‌های آلی مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ اما بسیاری از این کاتالیزگرها به‌دلیل مشکلاتی چون جداسازی از محصول نهایی، تجاری نشده‌اند. به‌خصوص برای بعضی از صنایع مانند داروسازی حذف مقدار بسیار کمی از کاتالیزگر در محصول نهایی ضروری است. از طرف دیگر کاتالیزگرهای ناهمگن به‌آسانی می‌توانند از محصول نهایی جدا شوند. با این حال این دسته از کاتالیزگرها فعالیت و انتخاب‌پذیری پایین‌تری دارند. برای غلبه بر مشکلات هر دو دسته از کاتالیزگرها معمولاً ناهمگن‌سازی انجام می‌شود. این کار از طریق به دام انداختن^۱ و یا اتصال

کووالانسی گونه‌های کاتالیزگری فعال بر روی سطح یا درون حفرات بسترهای جامد مانند مگنتیت، گرافن، سیلیکا، ژئولیت و غیره انجام می‌شود. برای غلبه بر محدودیت‌های هر دو گروه کاتالیزگرهای همگن و ناهمگن نیاز به سیستم‌های کاتالیزگری جدیدی است که مزیت هر دو گروه را داشته باشند. یک راه استفاده از نانوکاتالیزگرها است. با توسعه سریع فناوری نانو، مواد مقیاس نانو به‌عنوان کاتالیزگر در سنتز مولکول‌های آلی مورد توجه قرار گرفتند. امروزه استفاده از نانوذرات به‌عنوان جایگزین مناسب برای کاتالیزگرهای مرسوم در نظر گرفته می‌شوند. این نوع کاتالیزگرها پلی بین کاتالیزگرهای همگن و ناهمگن محسوب می‌شوند و مزایای هر دو سیستم را دارند. از جمله مزایای این کاتالیزگرها فعالیت بالا، انتخاب‌پذیری بالا، قابلیت جداسازی و استفاده مجدد و نیز پایداری بالا است.

نانوکاتالیزگرها مواد مهمی در فرایندهای شیمیایی، تولید انرژی، صرفه‌جویی در انرژی، و جلوگیری از آلودگی‌های زیست‌محیطی به‌شمار می‌روند. برای نمونه، تبدیل نفت خام، زغال‌سنگ، و گاز طبیعی به سوخت‌ها و تولید محصولات متنوع پتروشیمی و شیمیایی و کنترل انتشار منوکسید کربن، هیدروکربن‌ها، و منوکسید نیتروژن براساس فناوری‌های کاتالیزگری انجام می‌شود. کاتالیزگرها همچنین به‌عنوان اجزای ضروری در ساختمان الکتروده‌های مورد استفاده در پیل‌های سوختی به‌کار می‌روند. از بین مواد نانوکاتالیزگر، نانوذرات فلزات واسطه به‌دلیل فعالیت کاتالیزگری بهتر و نسبت بالای سطح به حجم، به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این حال، استفاده از نانوذرات فلزی به‌واسطه چند مانع عمده مانند جداسازی دشوار محصولات از باقیمانده‌ها، و بازیابی کم بازده نانوکاتالیزگرها با محدودیت‌هایی روبه‌رو شده است. از آنجایی که بهینه‌سازی کاتالیزگرها نیازمند افزایش تعداد مکان‌های فعال و افزایش سطح ویژه است، اندازه ذرات کاتالیزگر باید کاهش یابد. کاتالیزگرهای امروزی معمولاً شامل فازهای فعال چند جزئی با یک پایه مناسب هستند. این پایه منجر به بروز ویژگی‌های منحصربه‌فرد در ذرات کاتالیزگر می‌شود. ویژگی کلیدی نانوکاتالیزگرها، افزایش نسبت مساحت سطح به حجم در آن‌ها است. اجسام کوچک‌تر مساحت سطح بزرگ‌تری نسبت به حجمشان دارند. این مواد به دو دلیل مؤثرتر از کاتالیزگرهای معمولی هستند: الف) اندازه فوق‌العاده کوچک آن‌ها (زیر ۱۰۰ نانومتر) که منجر به یک «نسبت مساحت سطح به حجم» بالا می‌شود. ب) زمانی که ابعاد یک ماده تا مقیاس نانو کاهش می‌یابد، خواصی بروز و ظهور پیدا می‌کنند که قبلاً وجود نداشتند.

مطالعات نشان می‌دهند که اندازه و فاصله بین نانوذرات، تأثیر مهمی بر فعالیت کاتالیزگری و انتخاب‌پذیری این مواد دارد.

۱-۲-۱ طراحی نانوکاتالیزگرها

طراحی کاتالیزگر در مقیاس ذره‌ای و در مقیاس راکتور، عمدتاً براساس اصول هیدرودینامیکی و انتقال جرم انجام می‌شود. افزایش فعالیت کاتالیزگری و انتخاب‌پذیری، نیازمند بهبود خود ماده کاتالیزگری است. پیشرفت‌های اخیر نشان می‌دهند که بهبود عملکرد کاتالیزگر می‌تواند با اصلاح ساختاری در مقیاس نانو یا ترکیب مواد دیگر با آن به دست آید. برای یک ذره کاتالیزگر جامد یا بلور، سطح خارجی در دسترس برای واکنش‌های کاتالیزگری، در واحد حجم با کاهش اندازه ذره افزایش می‌یابد. روند تغییر فعالیت کاتالیزگری با اندازه ساختار یک کاتالیزگر تغییر می‌کند، فعالیت کاتالیزگری یک ماده کاتالیزگر، از اندازه اتم‌های مشخص تا خوشه‌های معین افزایش می‌یابد و سپس، با افزایش بیشتر اندازه ذرات یا دانه، به سرعت افت می‌کند. اندازه بحرانی ممکن است در مقیاس نانومتر باشد و با پراش اشعه ایکس نیز قابل تشخیص نباشد. مهندسی نانو در مواد کاتالیزگری به دو طریق عمل می‌کند: ۱. مکان‌های فعال در واحد جرم یا حجم یک ماده کاتالیزگری مشخص را به حداکثر می‌رساند؛ ۲. ساختارهای کاتالیزگری جدیدی را با ترکیب مواد گوناگون در مقیاس نانو به وجود می‌آورد. فلز پلاتین (Pt) برای فرایندهای کاتالیزگری مختلف مانند ریفرمینگ کاتالیزگری در صنعت پالایش، کنترل آلودگی ناشی از اتومبیل‌ها، و الکترودهای مورد استفاده در پیل‌های سوختی کاربرد دارد. در مقیاس نانو، خواص مواد با آرایش اتم‌ها تعیین می‌شود. برای یک عنصر فلزی معین مانند پلاتین، روش‌هایی برای خوشه‌دار کردن اتم‌های آن وجود دارد.

۱-۲-۲ نانوکاتالیزگرهای بین فازی

برای رفع معایب کاتالیزگرهای همگن و ناهمگن و همچنین استفاده از مزایای آن‌ها رویکرد ساخت کاتالیزگرهای جدیدی مورد توجه محققان قرار گرفت که کاتالیزگرهای بین فازی^۱ نامیده شد. نانوکاتالیزگرهای بین فازی هم‌زمان مزایای کاتالیزگرهای همگن و ناهمگن را دارا هستند.