

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه بیرجند

دانشکده علوم

رساله دکتری شیمی آلی

عنوان:

سنتز و کاربرد کاتالیزورهای ناهمگن نانومغناطیس جدید

استاد راهنما:

دکتر سارا سبحانی

نگارش:

زهرا پاکدین پاریزی

خرداد ماه ۱۳۹۳

کلیه مزایا اعم از چاپ، تکثیر، نسخه برداری، ترجمه، اقتباس و ... از رساله دکتری
برای دانشگاه بیرجند محفوظ می باشد.

نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

تقدیم به مهربان فرشتگانی که
که از نگاهشان صلابت
از رفتارشان محبت
و از صبرشان ایستادگی را آموختم
تقدیم به خانواده عزیزم

سپاسگزاری

سپاس و ستایش خداوندی را سزااست که کسوت هستی را بر اندام موزون آفرینش پیوشانید و تجلیات قدرت لایزال را در مظاهر و آثار طبیعت نمایان گردانید. با الهام من با یاد تو به تو تقرّب می‌جویم و تو را به پیشگاه تو شفیع میآورم و از تو خواستارم به کرمات مرا به خودت نزدیک گردانی و یاد خود را به من الهام کنی و بر من رحمت آوری و به آنچه بهره و نصیب من ساخته‌ای خشنودم قرار دهی و در همه حال به فروتنی‌ام واداری.

اکنون که با یاری خداوند این پایان‌نامه به اتمام رسیده است، بر خود لازم میدانم که از تمامی اساتید و تمامی بزرگواران که به هر نحو در اجرای پروژه و پیشرفت آن یاری رساندند، نهایت تقدیر و تشکر را داشته باشم.

بدین وسیله مراتب سپاس و قدردانی خود را نسبت به استاد راهنمای عزیز و بزرگوارم، سرکار خانم دکتر سبحانی ابراز میدارم که بدون راهنمایی‌های ارزنده و سعه‌ی صدر فراوان ایشان در مراحل پژوهش انجام این پروژه میسر نبود.

همچنین مراتب قدردانی و تشکر خود را نسبت به اساتید ارجمند سرکار خانم دکتر جعفرپور، جناب آقای دکتر مهدوی و جناب آقای دکتر ناصری که زحمت داوری این پایان‌نامه را بر عهده داشتند، ابراز میدارم. از حضور سرکار خانم دکتر سلیمی به عنوان نماینده تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاعیه متشکرم.

از تمامی اساتید، کارشناسان و مسئولین محترم گروه شیمی دانشگاه بیرجند که در طول این پروژه مرا یاری نمودند صمیمانه تشکر می‌نمایم.

از همه دوستان و هم‌آزمایشگاهی‌های عزیزم سپاسگزارم و برای همه آنها بهترین‌ها را آرزومندم.

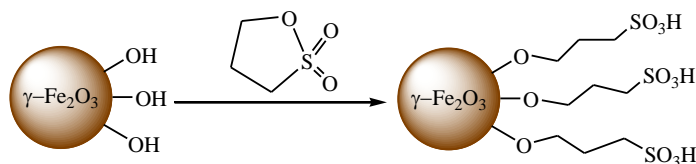
و

در پایان از خانواده عزیزم که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت‌هایم گذشته‌اند و در تمام عرصه‌های زندگی یار و یآوری بی‌چشم‌داشت برای من بوده‌اند تشکر و قدردانی می‌کنم.

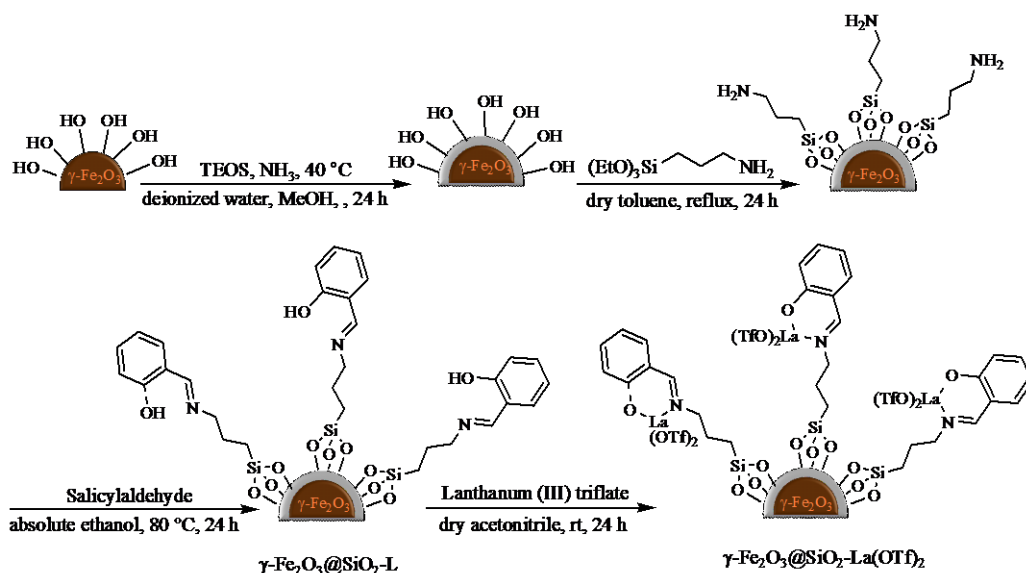
چکیده:

در این تحقیق، کاتالیزورهای ناهمگن جدید اسیدی و همچنین کمپلکس پالادیوم تثبیت شده بر روی سطح نانوذرات مغناطیسی سنتز و شناسایی شد.

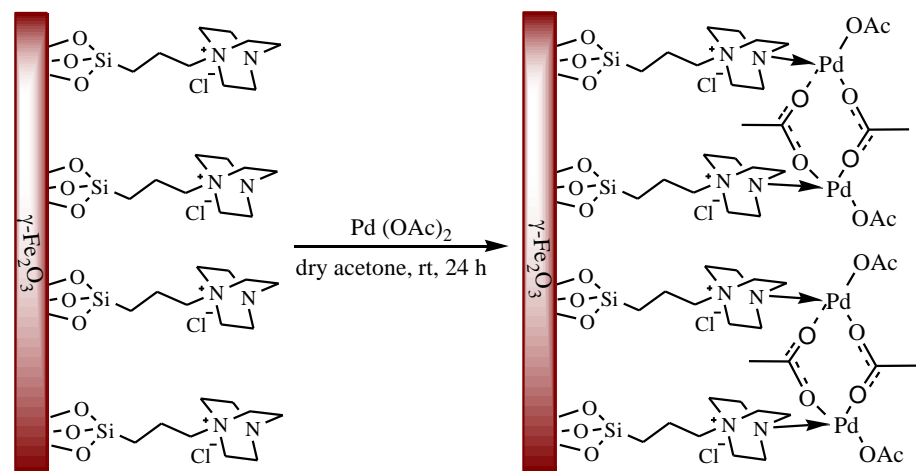
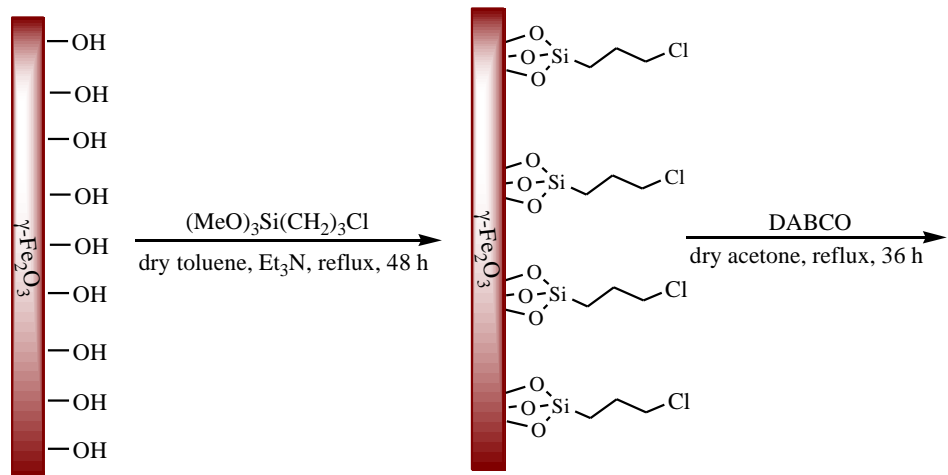
در قسمت اول، پروپیل سولفونیک اسید تثبیت شده بر روی سطوح نانومغناطیس ($\text{NPS-}\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) بوسیله یک روش بسیار ساده و تک مرحله ای از واکنش $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ با ۳-پروپان سولتون سنتز شد. پس از شناسایی کاتالیزور به روشهای مختلف نظیر BET, FT-IR, TGA, TEM, XRD, SEM، تیتراسیون معکوس، آنالیز pH تعویض یون و آنالیز عنصری، از آن به عنوان یک کاتالیزور ناهمگن اسیدی جدید و قابل بازیافت جهت سنتز یک مشتقات بتا-فسفونومالونیتها و بیس پیرازولیل متانها با راندمان بالا استفاده شد.



در قسمت دیگر، لانتان تری فلیت تثبیت شده بر روی $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ سنتز و به وسیله تکنیکهای مختلف نظیر XRD, HRTEM, ICP, FT-IR, TGA, VSM شناسایی شد. از کاتالیزور سنتز شده بعنوان کاتالیزور جدید در سنتز یک مشتقات بتا-فسفونومالونیتها استفاده شد. کاتالیزور ب راحتی با استفاده از یک مگنت از محیط واکنش جدا شده و پنج مرتبه بدون کاهش فعالیت مورد استفاده مجدد قرار گرفت.



پالادیوم یکی از فلزات مهم کاتالیزوری می‌باشد و به طور متداول در واکنش‌های تشکیل پیوند کربن-کربن بکار می‌رود. از جمله این واکنش‌ها می‌توان به آریل‌دار کردن اولفین‌ها (واکنش جفت شدن هک-میزوروکی) اشاره کرد. واکنش جفت شدن هک-میزوروکی معمولاً توسط کمپلکس‌های همگن پالادیوم که شامل لیگاندهای فسفین می‌باشند، انجام می‌شود. این کمپلکس‌ها با مشکلاتی از قبیل جداسازی، بازیافت از محیط واکنش و ناپایداری در دمای بالا روبرو هستند. علاوه بر این اغلب لیگاندهای فسفین گران‌قیمت، سمی و نسبت به هوا و رطوبت حساس هستند. بنابراین سنتز یک کاتالیزور ناهمگن پالادیوم که فاقد لیگاند فسفین باشد ضروری به نظر می‌رسد. در بخش دیگری از این تحقیق کمپلکس پالادیوم تثبیت شده بر روی سطح نانوذرات مغناطیسی با لیگاند $\text{DABCO}(\text{Pd-DABCO-}\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3)$ سنتز و به وسیله تکنیک‌های مختلف نظیر XRD، HRTEM، VSM، TGA، FT-IR، ICP، XPS، SEM و آنالیز عنصری شناسایی شد. از کاتالیزور سنتز شده بعنوان یک کاتالیزور جدید قابل بازیافت و ناهمگن در واکنش جفت شدن هک-میزوروکی استفاده شد. کاتالیزور براحتی با استفاده از یک مگنت از محیط واکنش جدا شده و پنج مرتبه بدون کاهش فعالیت مورد استفاده مجدد قرار گرفت.



فهرست مطالب

صفحه		عنوان
فصل اول (تاریخچه)		
۲	مقدمه‌ای بر کاتالیزورها	۱-۱
۲	مروری بر تثبیت کردن کاتالیزورهای همگن بر روی بسترهای مختلف	۲-۱
۴	نانوتکنولوژی و اهمیت آن	۳-۱
۶	نانوساختارها	۴-۱
۷	نانوذرات مغناطیسی (MNPs)	۵-۱
۱۰	خاصیت کاتالیزوری اسید سولفوریک	۶-۱
۱۱	معرفی ساختار و کاربرد تری‌فلیت‌های فلزی کمیاب خاکی	۷-۱
۱۵	معرفی ساختار و کاربرد کمپلکس‌های پالادیوم	۸-۱
۱۷	مروری بر خواص و روش‌های سنتز بتا-فسفونومالونیت‌ها	۹-۱
۱۸	مروری بر خواص و روش‌های سنتز بیس پیرازولیل متان‌ها	۱۰-۱
۲۰	بررسی تشکیل پیوند کربن-کربن با استفاده از واکنش جفت شدن هک-میزوروکی	۱۱-۱
۲۳	اهداف	۱۲-۱
فصل دوم (بخش تجربی)		
۲۵	دستگاه‌ها و مواد شیمیایی	۱-۲
۲۷	دستور کار خشک کردن حلالها	۲-۲
۲۷	سنتز نانوذرات $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$	۳-۲
۲۸	سنتز نانو ذره $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ پوشانده شده با سیلیکا ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{@SiO}_2$)	۴-۲
۲۸	سنتز n -پروپیل سولفونیک اسید تثبیت شده بر روی اکسید آهن ($\text{NPS-}\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$)	۵-۲

۲۸	آنالیز pH تعویض یون	۱-۵-۲
۲۹	آنالیز تیتراسیون معکوس	۲-۵-۲
۲۹	بررسی سنتز آلومینیوم کلراید تثبیت شده بر روی سطح نانوذرات مغناطیسی (AlCl ₃ -NPS- γ -Fe ₂ O ₃)	۶-۲
۲۹	بررسی سنتز آلومینیوم تری فلایت تثبیت شده بر روی سطح نانوذرات مغناطیسی [Al(OTf) ₂ -NPS- γ -Fe ₂ O ₃] (روش اول)	۷-۲
۳۰	بررسی سنتز آلومینیوم تری فلایت تثبیت شده بر روی سطح نانوذرات مغناطیسی [Al(OTf) ₂ -NPS- γ -Fe ₂ O ₃] (روش دوم)	۸-۲
۳۰	سنتز نمک سدیم نانو ذرات مغناطیسی NPS- γ -Fe ₂ O ₃	۹-۲
۳۰	بررسی سنتز آلومینیوم تری فلایت تثبیت شده بر روی سطح نانوذرات مغناطیسی [Al(OTf) ₂ -NPS- γ -Fe ₂ O ₃] (روش سوم)	۱۰-۲
۳۱	سنتز ۳-آمینو پروپیل تثبیت شده بر روی سطح نانوذرات مغناطیسی (aminopropylated γ -Fe ₂ O ₃ @SiO ₂)	۱۱-۲
۳۱	سنتز شیف باز تثبیت شده بر روی سطح نانوذرات مغناطیسی (γ -Fe ₂ O ₃ @SiO ₂ -L)	۱۲-۲
۳۱	سنتز لاتنان تری فلایت تثبیت شده بر روی سطح نانوذرات مغناطیسی [γ -Fe ₂ O ₃ @SiO ₂ -La(OTf) ₂]	۱۳-۲
۳۲	سنتز ۳-کلرو پروپیل تثبیت شده بر روی سطح نانوذرات مغناطیسی (-chloropropylated γ -Fe ₂ O ₃)	۱۴-۲
۳۲	تثبیت DABCO بر روی سطح نانوذرات مغناطیسی (DABCO- γ -Fe ₂ O ₃)	۱۵-۲
۳۲	تثبیت کمپلکس پالادیوم بر روی سطح نانوذرات مغناطیسی (Pd-DABCO- γ -Fe ₂ O ₃)	۱۶-۲
۳۲	روش عمومی سنتز بتا-فسفونومالونیتها در حضور سولفونیک اسید تثبیت شده بر روی	۱۷-۲

سطح نانوذرات مغناطیسی ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-NPS}$)

۳۳	سنتز [۱- (فنیل)-۲ و ۲-دی سیانواتیل] فسفونیک اسید دی اتیل استر (۱)	۱-۱۷-۲
۳۳	روش عمومی سنتز بتا-فسفونومالونیت ها در حضور لانتان تری فلایت تثبیت شده بر روی سطح نانوذرات مغناطیسی	۱۸-۲
۳۴	سنتز [۱- (فنیل)-۲ و ۲-دی سیانواتیل] فسفونیک اسید دی اتیل استر (۱) در حضور لانتان تری فلایت تثبیت شده بر روی سطح نانوذرات مغناطیسی	۱-۱۸-۲
۳۴	اطلاعات طیفی مربوط به محصولات بتا-فسفونومالونیت سنتز شده	۱۹-۲
۴۱	روش عمومی سنتز بیس (پیرازولیل) متان ها	۲۰-۲
۴۱	سنتز ۴ و ۴'-[۳-متیل فنیل] متیلن [بیس (۳-متیل-۱-فنیل-پیرازول-۵-ال) (۱۹)]	۱-۲۰-۲
۴۱	اطلاعات طیفی مربوط به محصولات بیس (پیرازولیل) متان ها	۲۱-۲
۴۵	روش عمومی تشکیل پیوند کربن-کربن با استفاده از واکنش هک در حضور کمپلکس پالادیوم تثبیت شده بر روی سطح نانوذرات مغناطیسی ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-DABCO-Pd}$)	۲۲-۲
۴۵	سنتز E-ان- بوتیل سینامات (۳۵)	۱-۲۲-۲
۴۵	اطلاعات طیفی مربوط به محصولات هک	۲۳-۲
فصل سوم (بحث و نتیجه گیری)		
۴۸	سنتز، شناسایی و بررسی اثر کاتالیزوری سولفونیک اسید تثبیت شده بر روی نانو ذرات مغناطیسی $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ در سنتز بتا-فسفونومالونیت ها به صورت تک مرحله ای	۱-۳
۴۸	سنتز کاتالیزور $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-NPS}$	۱-۱-۳

۴۸	شناسایی کاتالیزور نانوذرات $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-NPS}$	۲-۱-۳
۵۳	بررسی اثر کاتالیزوری $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-NPS}$ در سنتز بتا-فسفونومالونیت‌ها	۳-۱-۳
۶۱	بررسی اثر کاتالیزوری $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-NPS}$ سنتز مشتقات پیرازول مانند بیس(پیرازولیل)متان‌ها	۴-۱-۳
۶۸	نتیجه گیری	۵-۱-۳
۶۹	سنتز، شناسایی و کاربرد تری‌فلیت‌های فلزی تثبیت شده بر روی سطح نانوذرات مغناطیسی	۲-۳
۶۹	سنتز و شناسایی آلومینیوم تری‌فلیت تثبیت شده بر روی نانوذرات مغناطیسی $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$	۱-۲-۳
۷۵	سنتز، شناسایی و بررسی اثر کاتالیزوری لانتان‌تری‌فلیت تثبیت شده بر روی سطح نانو ذرات مغناطیسی $[\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3@SiO_2\text{-La(OTf)}_2]$ در سنتز بتا-فسفونومالونیت‌ها	۲-۲-۳
۷۵	سنتز و شناسایی کاتالیزور لانتان‌تری‌فلیت تثبیت شده بر روی سطح نانو ذرات مغناطیسی $[\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3@SiO_2\text{-La(OTf)}_2]$	۱-۲-۲-۳
۸۱	بررسی اثر کاتالیزوری $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3@SiO_2\text{-La(OTf)}_2$ در سنتز بتا-فسفونومالونیت‌ها به صورت تک مرحله‌ای	۲-۲-۲-۳
۸۹	نتیجه گیری	۳-۲-۳
۸۹	سنتز، شناسایی و بررسی اثر کاتالیزوری $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Pd-DABCO}$ در تشکیل پیوند کربن-کربن با استفاده از واکنش جفت شدن هک-میزوروکی	۳-۳
۹۰	سنتز کاتالیزور $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Pd-DABCO}$	۱-۳-۳
۹۱	شناسایی کاتالیزور $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Pd-DABCO}$	۲-۳-۳
۹۸	بررسی اثر کاتالیزوری $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Pd-DABCO}$ در سنتز پیوند کربن-کربن از طریق واکنش	۳-۳-۳

جفت شدن میزوروکی - هک

۱۰۶	نتیجه گیری	۴-۳-۳
۱۰۷	ضمیمه	
۱۲۶	مراجع	

اختصارات

XRD	X-Ray Diffraction
SEM	Scanning Electron Microscopy
TEM	Transmission Electron Microscopy
HRTEM	High Resolution Transmission Electron Microscopy
TGA	Thermogravimetric Analysis
BET	Brunauer–Emmett–Teller
VSM	Vibrating Sample Magnetometer
ICP	Inductively Coupled Plasma
FT-IR	Fourier Transform Infrared
IR	Infrared
CHNS	Carbon-Hydrogen-Nitrogen-Sulfur
DMSO	Dimethyl Sulfoxid
TMS	Tetramethylsilane
NMR	Nuclear Magnetic Resonance
r.t.	room temperature
s.f.	solvent free
TLC	Thin Layer Chromotography
MNPs	Magnetic Nano Particles
RE(OTf)₃	Rare Earth metal triflates
NPS-Fe₂O₃	<i>n</i>-Propylsulfonated-γ-Fe₂O₃

O	1,4-Diazabicyclo[2.2.2]octane
ALBN	Azobisisobutyronitrile
TBD	1,5,7-triazabicyclo[4.4.0]dec-5-ene
5-HPAA	5-Hydroxy Phenyl Ammonium Acetate

فصل اول

(تاریخچه)

۱-۱- مقدمه‌ای بر کاتالیزورها

کاتالیزور، گونه‌ای است که انرژی فعال سازی واکنش (انرژی اولیه برای انجام واکنش) را کاهش داده و در نتیجه سرعت واکنش را افزایش می‌دهد. هدف شیمی‌دانان، تولید کاتالیزوری با فعالیت^۱ بالا، گزینش پذیری^۲ کامل، قابلیت جداسازی و بازیابی از مخلوط واکنش، مصرف انرژی کم و عمر بالا است.

کاتالیزورها به دو دسته همگن^۳ و ناهمگن^۴ تقسیم می‌شوند. کاتالیزورهای همگن با واکنش دهنده‌ها هم فاز می‌باشند. به بیان دیگر، ذرات کاتالیزور همگن می‌توانند به راحتی در مخلوط واکنش حل شوند. کاتالیزورهای ناهمگن، با واکنش دهنده‌ها در یک فاز نیستند. اندازه و خصوصیت ذرات کاتالیزورهای ناهمگن به صورتی است که به راحتی در محیط واکنش حل نمی‌شوند. از این رو فعالیت آنها محدود می‌گردد [۱].

هر کدام از انواع کاتالیزورهای یاد شده، مزایا و معایبی دارند. از خصوصیات کاتالیزورهای همگن می‌توان به فعالیت بالا و گزینش پذیری زیادشان اشاره نمود. اما معمولاً فرآیند جداسازی این کاتالیزورها از محصولات واکنش دشوار بوده و فعالیت کاتالیزور بازیابی شده پایین است. بر خلاف کاتالیزورهای همگن، در مورد کاتالیزورهای ناهمگن امکان جداسازی آسان کاتالیزور فراهم است. این کاتالیزورها بدون اینکه کاهش چشمگیری در فعالیت کاتالیزوری شان مشاهده شود، برای چندین بار قابل استفاده می‌باشند. بنابراین تلاش‌های زیادی در جهت ناهمگن کردن کاتالیزورهای همگن، از طریق تثبیت کردن^۵ آنها بر روی بسترهای مختلف صورت گرفته است. اما مشکلاتی در این بین همواره محدودیت‌هایی ایجاد نموده است که از آن جمله می‌توان به جدا شدن کاتالیزور از بستر، کارآیی ضعیف کاتالیزور و تخریب بستر اشاره کرد.

۱-۲- مروری بر تثبیت کردن کاتالیزورهای همگن بر روی بسترهای مختلف

^۱Activity

^۲Selectivity

^۳Homogeneous

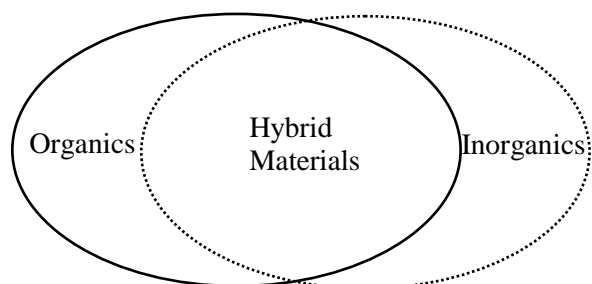
^۴Heterogeneous

^۵Supporting

عمل تثبیت کردن، روشی جهت تبدیل کردن کاتالیزور همگن به ناهمگن می‌باشد. این عمل علاوه بر اینکه امکان جداسازی راحت و بازیافت مجدد کاتالیزورهای همگن را فراهم می‌کند، باعث تعدیل عملکرد کاتالیزور-های همگن از نظر انتخاب پذیری و فعالیت کاتالیزوری می‌شود [۲]. از سوی دیگر، قدرت خوردگی کاتالیزورهای همگن اسیدی، با تثبیت کردن آن‌ها بر روی سطح بستر از بین می‌رود [۳]. تثبیت کردن کاتالیزورهای گران قیمت بر روی سطوح جامد، علاوه بر اینکه منجر به بهبود روشهای جداسازی و بازیافت این کاتالیزورها شده، استفاده آنها را از نظر اقتصادی و صنعتی مقرون به صرفه می‌کند. نوع ماده‌ای که به عنوان بستر انتخاب می‌گردد نیز باید به گونه‌ای باشد که دارای بهترین کارایی بوده و قیمت مناسبی داشته باشد. همچنین از نظر زیست محیطی کمترین آلودگی را ایجاد کند. بسترهایی که به طور معمول مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از: آلومینا، سیلیکاژل، بسترهای طبیعی معدنی مانند خاک رس و زئولیت‌ها، بسترهای پلیمری مانند رزین‌ها.

عمل تثبیت کردن کاتالیزور بر روی بستر، می‌تواند هم به صورت جذب سطحی [۴] و هم به صورت پیوند شیمیایی انجام شود. زمانی که کاتالیزور به صورت جذب سطحی روی بستر قرار می‌گیرد، امکان بازیافت کاتالیزور با حفظ کارایی اولیه پس از انجام واکنش کاهش پیدا می‌کند. درحالی‌که امکان بازیافت کاتالیزورهایی که با پیوند شیمیایی به بستر متصل می‌شوند تا چندین بار در واکنش‌های بعدی امکان‌پذیر است. پیوند شیمیایی بین بستر و کاتالیزور ناهمگن می‌تواند از طریق گروه‌های هیدروکسیل آزادی که بر روی سطح وجود دارد انجام شود [۵]. با پیوند دادن کاتالیزور بر روی سطح، از طریق زنجیره‌های کربنی طولانی و ایجاد فاصله بین کاتالیزور و سطح (شما ۱-۱)، نسل جدیدی از کاتالیزورهای ناهمگن به نام هیبریدهای آلی-معدنی^۱ ایجاد شده است [۶]. با استفاده از این کاتالیزورها می‌توان از بدام افتادن مواد واکنش دهنده در داخل حفرات سطحی که کاتالیزور روی آن قرار دارد جلوگیری کرد. از این رو راندمان واکنش نسبت به زمانی که کاتالیزور مستقیماً بر روی سطح نشسته است افزایش پیدا می‌کند.

¹Organic-inorganic hybrid materials



شماي ۱-۱: شمايي از هيبريدهاي آلي-معدني

از ميان بستريهاي مختلفي كه براي تثبيت كردن كاتاليزورهاي همگن بكار مي‌روند، بستريهاي نانوذره توجه زيادي را به خود جلب كرده‌اند [۷]. در بستريهاي نانو به دليل افزايش نسبت سطح به حجم، امكان بارگيري بيشتر كاتاليزور بر روي بستر فراهم ميگردد و بدين ترتيب شرايط به يك سيستم همگن نزديك و سرعت واكنش افزايش مي‌يابد، در حالي كه سيستم ناهمگن بوده و به راحتی قابل جداسازي و استفاده مجدد است [۸-۱۰]. بر اين اساس نانوكاتاليزورها را پل ارتباطي بين كاتاليزورهاي همگن و ناهمگن ناميده‌اند [۱۱]. به علاوه كاتاليزورهاي تثبيت شده روي سطح نانوذره، انجام واكنش‌هاي چند مرحله‌اي را در يك مرحله ممكن مي‌سازند كه امتيازي مهم در واكنش‌هاي چند مرحله‌اي براي حذف حد واسطه‌هاي ناپايدار و كاهش محصولات جانبي به شمار مي‌رود [۱۲]. در مورد بستريهاي نانو اين نكته قابل توجه است كه اندازه ريز ذرات از يك سو و ممانعت فضايي ناشي از حجيم بودن كاتاليزور از سوي ديگر سبب مي‌شود كاتاليزور به خوبي بر روي بستر تثبيت نشود. از اين رو استفاده از زنجيره‌هاي طولاني و ايجاد فاصله بين كاتاليزور و سطح در بستريهاي نانو از اهميت بالايي برخوردار است [۱۳]. با وجود مزايای بسيار اين گونه بسترها، بازياي دشوار كاتاليزورهاي نانوذره از مخلوط واكنش، به دليل اندازه كوچك اين ذرات، کاربرد آنها را محدود كرده است [۱۴].

۱-۳- نانوتكنولوژي و اهميت آن