

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری



دانشگاه دامغان  
دانشکده شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد شیمی (گرایش شیمی فیزیک)

تثبیت نانوذرات نیکل بر بستر آلومینا و بررسی خواص کاتالیزوری

آن در واکنش احیاء پیوند دوگانه‌ی کربن-کربن

توسط:

مرضیه غفاری

استاد راهنما:

دکتر سید احمد نبوی امری

شهریور ۱۳۹۱

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه دامغان

دانشکده شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد شیمی (گرایش شیمی فیزیک)

تثبیت نانوذرات نیکل بر بستر آلومینا و بررسی خواص کاتالیزوری

آن در واکنش احیاء پیوند دوگانه‌ی کربن-کربن

توسط:

مرضیه غفاری

استاد راهنما:

دکتر سید احمد نبوی امری

شهریور ماه ۱۳۹۱

به نام خدا

تثبیت نانوذرات نیکل بر بستر آلومینا و بررسی خواص کاتالیزوری  
آن در واکنش احیاء پیوند دوگانه‌ی کربن-کربن

به وسیله‌ی:

مرضیه غفاری

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه  
کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:

شیمی (گرایش شیمی فیزیک)

از دانشگاه دامغان

ارزیابی و تصویب توسط کمیته پایان‌نامه با درجه:

دکتر سید احمد نبوی امری، استادیار شیمی فیزیک، دانشکده شیمی دانشگاه دامغان (استاد راهنما)

دکتر علی حقیقی اصل، دانشیار مهندسی شیمی، دانشکده شیمی دانشگاه سمنان (استاد داور)

دکتر داود عاجلو، دانشیار شیمی فیزیک، دانشکده شیمی دانشگاه دامغان (استاد داور)

دکتر حسین بهنیا فر، دانشیار شیمی آلی، دانشکده شیمی دانشگاه دامغان (نماینده تحصیلات تکمیلی)

شهریور ۱۳۹۱

تقدیم بہ

فرشتگان زندگیم:

پدر عزیز و مادر صبورم

حامیانی بی ادعا و مشوقانی دلسوز

تقدیم به

استاد خوبم:

جناب آقای دکتر سید احمد نبوی امری

که شوق به آموختن را در وجودم زنده کردند

## پاسکزاری

پاس بیکران مهربان پروردگارم را که مرا از کودالی نیستی به ورطی نهایت کشاند. حقیقتی که زیایی های وصف نپذیرش، مرابه سوی دانستن و بیشتر دانستن و حرکت در راهی غریب و سوسه کرد.

باتوانی ناچیز و امکاناتی محدود، این پروژه را شروع کردم. خدای توانار اساکرم که کلچینی از بهترین بنگاش را به یاریم رساند. و طیفی خود می دانم که مراتب پاس و قدر دانیم را نسبت به این عزیزان اعلام کنم:

پدر و مادر عزیزم، زبان و قلمم ناتوان تر از آن است که بتواند زحمت ها و نگرانی هایمان در طول این سالها را به تصویر کشد و هر چه دارم به برکت دعای خیرتان است. تمام دلجویم در روزهای سخت غربت امید دیدارتان بود. برقرار باشید عزیزانم.

استاد مهربانم جناب آقای دکتر سید احمد نبوی امری، بی شک داشتن اسادی دلسوز و صمیمی چون شما، نعمتی بزرگ از سوی خداوند مایه می فخر و مهابت هر دانشجویی است. شوقی مضاعف جهت تربیت جوانان این سرزمین را برایتان آرزو مندوم.

و بسیار متکرم از

خانواده می محترم جناب آقای دکتر نبوی، که در طی این دو سال صمیمانه حمایت کردند؛

جناب آقای دکتر عظیم ملک زاده و کارشناسان محترم آزمایشگاه های دانشکده های شیمی و زیست شناسی: خانم حاجیان، حسین پور، دهقان، نفری و آقایان ساگری و میر عابد که الطاف بی دریغشان به مواره مایه می دلگرمیم بوده است؛

دوستان پر تلاشم در دانشکده های زیست شناسی و نیز هم اتاقی های عزیزم که سخااتی خاطر ه انگیز را بر ایم به یادگار گذاشتند

و آقایان دکتر علی حقیقی اصل و دکتر داود عاجلو که داوری پایان نامه ام را به عهده گرفتند و جناب آقای دکتر حسین بنیافر نمایندگی محترم تحصیلات تکلیبی.

## چکیده

تثبیت نانوذرات نیکل بر بستر آلومینا و بررسی خواص کاتالیزوری آن در

واکنش احیاء پیوند دوگانه‌ی کربن-کربن

به وسیله‌ی:

مرضیه غفاری

خواص بستر می‌تواند کارایی کاتالیزور را تحت تاثیر قرار دهد. هدف این پروژه، بررسی تاثیر مقدار pH بستر در هیدروژناسیون پیوند دوگانه توسط کاتالیزور نانوذرات نیکل به عنوان جزء فعال است. برای تثبیت کاتالیزور بر بستر، ابتدا دوغاب‌هایی از آلومینا ایجاد و pH آن‌ها به وسیله‌ی اضافه کردن مقادیر متفاوتی از اسید نیتریک، در محدوده‌ی ۰/۹۴ تا ۱۱/۷۶ تنظیم گردید. بعد از تثبیت pH، مخلوط‌های ۱۵،۲۰ و ۲۵ درصد از نانوذرات نیکل در دوغاب آلومینا، تهیه شد. این مجموعه پس از خشک شدن، در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد و جو هیدروژن، آنیل حرارتی و فعال گردید. بررسی‌ها روی روغن خام گیاهی به عنوان ملکول‌های حاوی پیوند دوگانه انجام شد. میزان کارایی کاتالیزورهای تولید شده، با محاسبه‌ی درصد سیرشدگی از طریق روشی ابداع شده در آزمایشگاه (متفاوت با روش مرسوم ویجز)، بررسی گردید. بررسی‌ها نشان داد که افزایش میزان محتوای قلیایی بستر کاتالیزور، سبب بهبود درصد سیرشدگی روغن می‌شود. به نظر می‌رسد که افزایش چگالی الکترونی کاتالیزور، علت این پدیده است. مقادیر مساحت سطح BET تطابق خوبی با عملکرد کاتالیزور دارد.



## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه
۳	۱-۱ تاریخچه
۴	۲-۱ طبقه‌بندی کاتالیزورها
۵	۱-۲-۱ کاتالیزورهای آنزیمی
۶	۲-۲-۱ کاتالیزورهای ناهمگن
۹	۱-۲-۲-۱ اجزاء کاتالیزورهای ناهمگن
۹	الف- بستر
۱۳	ب- فاز فعال
۱۳	ج- تقویت کننده
۱۴	۳-۱ طراحی کاتالیزور
۱۶	۴-۱ روش‌های تهیه‌ی کاتالیزور
۱۶	۱-۴-۱ آغشته‌سازی
۱۶	۲-۴-۱ ترسیب لایه‌نشانی
۱۶	۳-۴-۱ جذب سطحی
۱۷	۴-۴-۱ تبادل یونی

۱۷	..... ۵-۱ عملیات حرارتی
۱۷	..... ۱-۵-۱ خشک کردن
۱۷	..... ۲-۵-۱ تکلیس
۱۸	..... ۳-۵-۱ فعالسازی
۱۸	..... ۶-۱ تعیین خصوصیات کاتالیزورها
۱۸	..... ۱-۶-۱ تعیین مساحت سطح (BET)
۲۱	..... ۱-۱-۶-۱ روش تک نقطه در تعیین مساحت سطح
۲۲	..... ۷-۱ اسیدهای چرب
۲۷	..... ۱-۷-۱ واکنش‌های شیمیایی اسیدهای چرب
۲۷	..... ۱-۱-۷-۱ عمل کاهش
۲۷	..... ۲-۱-۷-۱ تشکیل استر و اکسایش
۲۸	..... ۸-۱ تری آسیل گلیسرول‌ها ( تری گلیسریدها) یا چربی‌های خنثی
۳۰	..... ۱-۸-۱ واکنش‌های شیمیایی آسیل گلیسرول‌ها
۳۰	..... ۱-۱-۸-۱ صابونی شدن
۳۱	..... ۲-۱-۸-۱ ترکیب با هالوژن‌ها
۳۱	..... ۳-۱-۸-۱ هیدروژن‌دار کردن
۳۲	..... ۲-۸-۱ فاسدشدن چربی‌ها
۳۲	..... ۹-۱ روش‌های تست چربی‌ها و روغن‌ها
۳۲	..... ۱-۹-۱ ثابت‌های فیزیکی
۳۲	..... ۱-۱-۹-۱ نقطه‌ی ذوب
۳۳	..... ۲-۱-۹-۱ ضریب شکست
۳۳	..... ۳-۱-۹-۱ حلالیت

۳۳	..... ویسکوزیته ۴-۱-۹-۱
۳۳	..... ثابت‌های شیمیایی ۲-۹-۱
۳۳	..... اندیس صابونی ۱-۲-۹-۱
۳۴	..... تعیین درجه‌ی اشباع نشدگی روغن ۲-۲-۹-۱
۳۴	..... اندیس ید ۱-۲-۲-۹-۱
۳۹	..... اندیس تیوسیانوژن ۲-۲-۲-۹-۱
۳۹	..... تعیین مقدار پلی‌برومورها ۳-۲-۲-۹-۱
۳۹	..... اندیس هیدروژن ۴-۲-۲-۹-۱
۴۰	..... سایر ثابت‌های شیمیایی ۳-۲-۹-۱
۴۱	..... ۱۰-۱ هیدروژناسیون پیوند دوگانه
۴۱	..... ۱-۱۰-۱ هیدروژناسیون پیوند دوگانه در آلکن‌ها
۴۱	..... ۲-۱۰-۱ هیدروژناسیون پیوند دوگانه در روغن خوراکی
۴۵	..... ۱۱-۱ نانو پودر
۴۵	..... ۱-۱۱-۱ خواص نانوپودر
۴۶	..... ۲-۱۱-۱ نانوپودر نیکل
۴۶	..... ۱۲-۱ تاثیر بستر در واکنش کاتالیزوری نانو ذرات
۴۸	..... فصل دوم- بخش تجربی
۴۹	..... ۱-۲ مواد و دستگاه‌ها
۴۹	..... ۱-۱-۲ مواد مورد استفاده
۵۰	..... ۲-۱-۲ دستگاه‌ها
۵۳	..... ۲-۲ روش تجربی
۵۳	..... ۱-۲-۲ روش تثبیت کاتالیزور

۵۴	..... ۱-۲-۲ تعیین وزن ماده‌ی خشک در هر دوغاب
۵۴	..... ۲-۱-۲ تهیه مخلوط‌های نانو ذره نیکل در آلومینا با درصدهای مختلف
۵۶	..... ۲-۲-۲ هیدروژناسیون
۵۶	..... ۳-۲-۲ تست تعیین سیرشدگی روغن‌های هیدروژنه شده
۵۶	..... ۴-۲-۲ استاندارد کردن محلول تیوسولفات سدیم
۵۷	..... ۵-۲-۲ آزمایشات با کاتالیزور صنعتی
۵۷	..... ۱-۵-۲-۲ تعیین درصد روغن در کاتالیزور صنعتی
۵۸	..... ۲-۵-۲-۲ تعیین درصد نیکل در کاتالیزور صنعتی
۵۹	..... ۶-۲-۲ تعیین اندیس صابونی روغن‌های هیدروژنه
۵۹	..... ۷-۲-۲ تعیین محتوای قلیا در کاتالیزورهای تولیدی
۵۹	..... ۸-۲-۲ تعیین خصوصیات کاتالیزور
۶۰	..... فصل سوم- بحث ونتیجه‌گیری
۶۲	..... ۱-۳ تعیین خصوصیات کاتالیزور
۶۵	..... ۲-۳ محاسبه‌ی عملکرد کاتالیزور توسط تعیین درصد سیر شدگی روغن
۶۹	..... ۳-۳ تعیین محتوای قلیای بستر
۷۱	..... ۴-۳ اندیس صابونی
۷۳	..... ۵-۳ نتایج BET
۷۴	..... منابع و مراجع

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان و شماره
۱۵	جدول ۱-۱ میزان تاثیر پارامترهای گوناگون بر تعدادی از واکنش‌های کاتالیزوری .....
۱۹	جدول ۲-۱ خصوصیات متفاوت جذب فیزیکی و شیمیایی .....
۲۲	جدول ۳-۱ نام شیمیایی و فرمول بعضی از اسیدهای چرب سیر شده .....
۲۳	جدول ۴-۱ نام شیمیایی و فرمول بعضی از اسیدهای چرب سیر نشده .....
۲۹	جدول ۵-۱ درصد اسیدهای چرب موجود در روغن‌های گیاهی سویا، پنبه دانه و ذرت .....
۵۴	جدول ۱-۲ درصد وزن ماده‌ی خشک به وزن کل دوغاب .....
۵۵	جدول ۲-۲ مقدار گرم لازم نانوذره برای تهیه محلول‌های ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد وزنی .....
۶۶	جدول ۱-۳ درصد سیر شدگی روغن در نمونه‌های مختلف .....
۶۹	جدول ۲-۳ محتوای قلیای بستر در کاتالیزورهای تولیدی .....
۷۲	جدول ۳-۳ اندیس صابونی .....
۷۳	جدول ۴-۳ نتایج آنالیز BET .....

## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان و شماره
۵	شکل ۱-۱ طبقه‌بندی کاتالیزورها ..... ۱-۱
۱۲	شکل ۱-۲ طرحی شماتیک از یک نوع زئولیت ..... ۲-۱
۱۵	شکل ۱-۳ عوامل موثر در طراحی کاتالیزور و چگونگی ارتباط آن‌ها ..... ۳-۱
۵۳	شکل ۱-۲ pH متر ..... ۲-۲
۵۴	شکل ۲-۲ کوره‌ی دست‌ساز ..... ۲-۲
۵۵	شکل ۳-۲ دستگاه هیدروژن ژنراتور ..... ۳-۲
۶۰	شکل ۲-۴ تصویر شماتیک سیستم هیدروژناسیون ..... ۴-۲
۶۵	شکل ۳-۱ تصویر میکروسکوپی از نانوذرات نیکل مورد استفاده در تهیه‌ی کاتالیزور ..... ۱-۳
	شکل ۳-۲ طیف XRD نانوذرات نیکل مورد استفاده در تهیه‌ی کاتالیزور، قبل از انجام عملیات حرارتی و فعالسازی ..... ۲-۳
۶۶	شکل ۳-۳ طیف XRD کاتالیزور A <sub>1</sub> بعد از انجام عملیات حرارتی و فعالسازی ..... ۳-۳
۶۹	شکل ۳-۴ نمودار درصد سیر شدگی روغن به ازای pH های مختلف تولید کاتالیزور و غلظت‌های ۰.۱۵٪، ۰.۲۰٪ و ۰.۲۵٪ نیکل در کاتالیزور ..... ۴-۳
۷۰	شکل ۳-۵ نمودار متوسط درصد سیر شدگی روغن به ازای pH های مختلف تولید کاتالیزور ..... ۵-۳
۷۲	شکل ۳-۶ نمودار محتوای قلیا برای نمونه‌های مختلف ..... ۶-۳
۷۵	شکل ۳-۷ نمودار Single point BET(m <sub>2</sub> /g) بر حسب pH ..... ۷-۳
۷۵	شکل ۳-۸ نمودار Multi point BET(m <sub>2</sub> /g) بر حسب pH ..... ۸-۳

# فصل اول

مقدمہ

## بخش اول

بیش از ۹۰٪ محصولات شیمیایی صنعتی، به کمک کاتالیزورها<sup>۱</sup>، تولید می‌شوند [۱]. کاتالیزور، از کلمه‌های کاتا - به معنی پایین افتادن - و لیزور - به معنی قطعه قطعه کردن - تشکیل شده است. در برخی از زبان‌ها، کاتالیزور را به عنوان گرد هم آوردن اجسام دور هم، معرفی کرده‌اند. [۲]

کاتالیزور، ماده‌ای است که سرعت واکنش شیمیایی را افزایش می‌دهد و در انتهای واکنش می‌توان آن را بدون آنکه تغییر شیمیایی خاصی کرده باشد، بازیافت کرد [۳]. شکل ساده‌ای از واکنش کاتالیزوری، چنین است:



در این واکنش‌ها cat کاتالیزور،  $R_1$  و  $R_2$  واکنشگرها،  $P_1$  و  $P_2$  محصولات و I به عنوان حد واسط است. در واکنش (۱-۱)، کاتالیزور مصرف شده و به شکل حد واسط درمی‌آید. این گونه‌ی حد واسط، در واکنش (۲-۱) شرکت کرده و ضمن بازتولید کاتالیزور، محصول واکنش را نتیجه می‌دهد. [۳ و ۴]

بدون کاتالیزور واکنش‌های مهم و مختلف شیمیایی، به کندی پیش می‌روند، تا جاییکه در شرایط مطلوب ترمودینامیکی نیز (یعنی دما و فشار مناسب)، پیشرفت آن‌ها قابل ملاحظه نیست. در مقابل، با یافتن کاتالیزور مناسب برای فرآیند، می‌توان سرعت آن را تا حدی بالا برد که منافع اقتصادی تامین گردد. به عنوان مثال، در ایالت متحده آمریکا، ارزش سالیانه‌ی محصولات تولیدی با استفاده از کاتالیزور، در حدود یک تریلیون دلار است. [۵]

کاتالیز کردن<sup>۲</sup>، دانشی چند بعدی است و مطالعه درباره‌ی فرآیندهای کاتالیزوری، نیازمند آگاهی در زمینه‌ی رشته‌های مختلف نظیر شیمی، فیزیک، ریاضی، مهندسی شیمی و علم مواد است [۶].

---

<sup>1</sup>- Catalyst

<sup>2</sup>- Catalysis



با توجه به اینکه کاتالیزورها، نقش مهمی را در واکنش‌های شیمیایی ایفا می‌کنند، انتخاب کاتالیزور صحیح با غلظتی مناسب، برای بدست آوردن شرایط بهینه واکنش بسیار مهم و بحرانی است [۷].

## ۱-۱ تاریخچه

اگرچه فرآیندهای کاتالیزوری نظیر هضم، تبخیر و سایر فرآیندهای آنزیمی، قرن‌هاست که در طبیعت رخ می‌دهند، اما اولین فرآیند کاتالیزوری که آگاهانه توسط بشر انجام شد، مربوط به سال ۱۷۵۰ میلادی است. پیش از آن، از کاتالیزور برای تهیه شراب (در فرآیند تخمیر)، صابون، پنیر و ... بدون هیچ دانشی از چگونگی اثر بخشی آن - استفاده می‌شد. تحقیقات دانشمندان در بررسی‌های شیمی و اساس پیشبرد واکنش‌ها در حضور کاتالیزور، منجر به پیشرفت در این زمینه گشته است [۱]. با توجه به اینکه توسعه و تولید کاتالیزورها، سالهای طولانی جنبه کیمیاگری داشته است، مبانی علمی تولید کاتالیزورها از سال‌های ۱۹۷۰ میلادی، به طور چشمگیری گسترش یافت [۸].

اولین گزارش رسمی استفاده از کاتالیزور، مربوط به کشف کیرشهف<sup>۱</sup> (سال ۱۸۱۴ میلادی) می‌باشد. وی در آزمایش خود توانست، با استفاده از یک اسید به عنوان کاتالیزور، نشاسته را به قند هیدرولیز کند. چند سال بعد (سال ۱۸۱۷ میلادی)، دیوی<sup>۲</sup> توانست واکنش اکسیداسیون هیدروژن را در حضور کاتالیزور پلاتین انجام دهد. این واکنش گرماگیر است و در هنگام انجام آن، جرقه تولید می‌شود. در سال ۱۸۲۳ میلادی، دوبرینر<sup>۳</sup> فندکی را طراحی کرد که در آن هیدروژن تولید شده از واکنش روی و هیدروکلریک اسید در حضور هوا و پلاتین، شعله ایجاد می‌کرد. اختراع وی در قرن ۱۹ میلادی، که هنوز کبریت ساخته نشده بود، به طور گسترده مورد استقبال و فروش قرار گرفت. [۲]

انقلاب اصلی تکنولوژی در زمینه کاتالیزور، مربوط به نیمه‌ی دوم قرن بیستم (سال‌های ۱۹۵۰-۱۹۸۰ میلادی) می‌باشد. از سال‌های ۱۹۵۰ الی ۱۹۶۰ میلادی، می‌توان به عنوان

---

<sup>1</sup> - Gustav Robert Kirchhoff

<sup>2</sup> - Sir Humphry Davy

<sup>3</sup> - Johann Wolfgang Döbereiner

دهه‌ای یاد کرد که با تولید کاتالیزورهای زیگلر-ناتا<sup>۱</sup>، ترکیبات بسیار مهم و استراتژیک ساخته شدند. [۵]

## ۲-۱ طبقه‌بندی کاتالیزورها

به طور کلی کاتالیزورها را می‌توان به سه دسته‌ی کاتالیزورهای همگن<sup>۲</sup>، کاتالیزورهای و کاتالیزورهای زیستی<sup>۴</sup> تقسیم نمود (شکل ۱-۱ این تقسیم‌بندی را نشان می‌دهد). [۹]. کاتالیزورهای همگن، در فازی مشابه و کاتالیزورهای ناهمگن، در فازی متفاوت با مخلوط واکنش عمل می‌کنند [۱۰ و ۱۱].

کاتالیزورهای ناهمگن، به دلیل حیطه عمل وسیعتر و پایداری گرمایی بیشتر، به طور گسترده بیش از کاتالیزورهای همگن در صنعت استفاده می‌شوند. دمایی که یک واکنش توسط کاتالیزور همگن، می‌تواند انجام شود، به واسطه نقطه جوش حلال و پایداری گرمایی کاتالیزور، محدود می‌شود که عمدتاً تا حدود  $250^{\circ}\text{C}$  است، در حالیکه کاتالیزورهای ناهمگن در دماهای بالاتر نیز کار می‌کنند. [۱۱]

دو خصوصیت مهم یک کاتالیزور، شامل فعالیت<sup>۵</sup> و گزینش‌پذیری<sup>۶</sup> آن است. فعالیت، دلالت بر تعداد تغییر و تبدیل‌ها در واکنش دارد. عدد تبدیل، تعداد مولکول‌های محصول به ازای هر مولکول کاتالیزور است. به طور کلی، کاتالیزورهای همگن و ناهمگن به دلیل برابری در میزان فعالیت، هنگامی که برای یک واکنش یکسان استفاده می‌شوند، تفاوتی در عملکرد ندارند. در واکنش‌های کاتالیزوری همگن، با انتخاب شرایط مطلوب و استفاده از کاتالیزور مناسب، می‌توان به گزینش‌پذیری بالایی دست یافت. از دلایل مهم موفقیت‌های تجاری در بسیاری از فرآیندهای صنعتی که توسط کاتالیزور همگن کاتالیز می‌شوند، همین نکته است. [۱۱]

---

<sup>1</sup>- Ziegler-Natta catalyst

<sup>2</sup>- Heterogeneous catalyst

<sup>3</sup>- Homogeneous catalyst

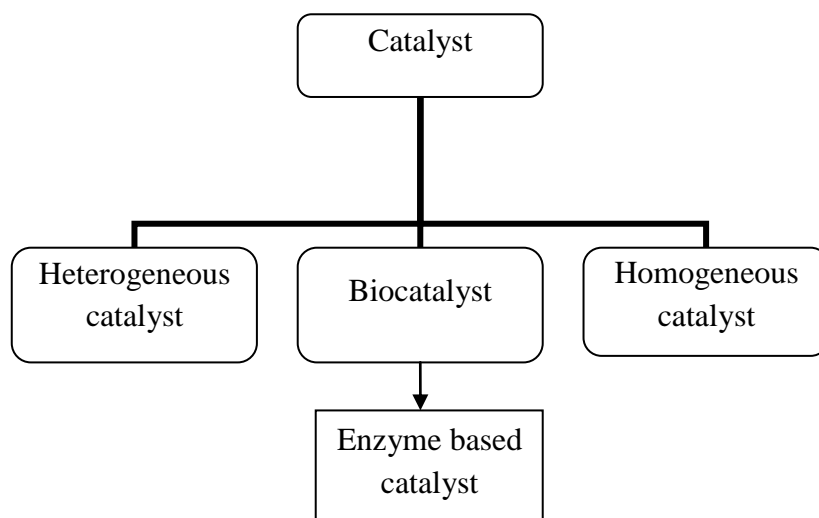
<sup>4</sup>- Biocatalyst

<sup>5</sup>- Activity

<sup>6</sup>- Selectivity

مسئله‌ی مهم دیگر در هر واکنش کاتالیزوری، سهولت جداسازی محصول واکنش و کاتالیزور از هم است. در مورد کاتالیزورهای ناهمگن، جداسازی کاتالیزور از محصول مایع به وسیله‌ی صاف و یا سرریز کردن به سادگی صورت می‌گیرد. اما در فرآیندهای کاتالیزوری همگن، به ویژه در مواقعی که کاتالیزور، فلزی گران بها نظیر رودیوم و یا پلاتین باشد، بازیافت کاتالیزور مشکل خطیری است. [۱۱]

عواملی نظیر فعالیت، گزینش‌پذیری و بازیافت کاتالیزورها، مواردی هستند که بین کاتالیزورهای همگن و ناهمگن قابل قیاس‌اند. مباحث مهم دیگر شامل عمر کاتالیزور و قابلیت مسموم شدن آن می‌باشند. معمولاً، عمر کاتالیزور همگن، کوتاهتر از کاتالیزور ناهمگن است و با توجه به ضرورت بازیافت کاتالیزور و تبدیل آن به گونه‌ی فعال، این مسئله سبب افزایش هزینه در فرآیندهای کاتالیزوری همگن می‌شود. با وجود پایداری گرمایی کمتر، قابلیت مسموم شدن کاتالیزورهای همگن کمتر از گونه‌های ناهمگن است. [۱۱]



شکل (۱-۱) طبقه‌بندی کاتالیزورها

## ۱-۲-۱ کاتالیزورهای آنزیمی

اغلب واکنش‌های شیمیایی که در ارگانیسم‌های زنده اتفاق می‌افتند، با مولکول‌هایی کاتالیز می‌شوند که آنزیم، نام دارند. اکثر آنزیم‌ها، پروتئین‌ها هستند. (مولکول‌های RNA ویژه‌ای نیز به عنوان آنزیم، عمل می‌کنند). هر آنزیم عمل مشخصی انجام می‌دهد؛ بسیاری از آنزیم‌ها تنها

واکنش تبدیل واکنشگر خاصی به محصول خاصی (و واکنش معکوس) را کاتالیز می‌کنند؛ آنزیم‌های دیگر تنها گروه ویژه‌ای از واکنش‌ها (مثلاً هیدرولیز استر) را کاتالیز می‌کنند. آنزیم‌ها سرعت واکنش‌ها را به طور اساسی افزایش می‌دهند و در غیابشان اغلب واکنش‌های بیوشیمیایی با سرعت‌های بسیار جزئی انجام می‌شوند. مولکولی که آنزیم روی آن عمل می‌کند، سوبسترا<sup>۱</sup>، نامیده می‌شود. سوبسترا، برای تشکیل کمپلکس آنزیم - سوبسترا، به محل فعال خاصی که روی آنزیم قرار دارد، متصل می‌شود. پس از متصل شدن به آنزیم، سوبسترا به محصول تبدیل و سپس آنزیم رها می‌شود. [۳]

### ۱-۲-۲ کاتالیزورهای ناهمگن

اساساً، کاتالیزوری که ماهیت ناهمگن دارد، نباید از محیط واکنش شسته شود و باید قابلیت استفاده مجدد را داشته باشد [۱۲].

با توجه به ایفای نقش اساسی کاتالیزورهای ناهمگن در تولید محصولات مختلف و کنترل آلودگی محیط زیست، استفاده از آن‌ها در سال‌های اخیر، به موضوعی مهم تبدیل شده است و نادیده گرفتن آن‌ها سبب تولید محصولات با روش‌هایی پر هزینه می‌گردد. بدین علت، دور از ذهن نیست که در آینده‌ای نزدیک، کاتالیزورهای همگن رایج، توسط کاتالیزورهای ناهمگنی که از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه هستند جایگزین گردند. اهمیت بی‌اندازه‌ی اقتصادی و فنی استفاده از کاتالیزور ناهمگن در کنار پیچیدگی ذاتی فرآیندهای کاتالیزوری، محرک انجام مطالعات تئوری و تجربی توسط طیف گسترده‌ای از دانشمندان اعم از شیمیدانان، فیزیکدانان، مهندسی شیمی و ... شده است. علم سطح در این میان از اهمیت زیادی برخوردار است و امروزه بر اثر مطالعات انجام شده، با استفاده از تکنیک‌های آزمایشگاهی، به دانشی وسیع در این زمینه دست یافته‌ایم. [۱۳ و ۱۴]

علاوه بر موارد فوق، از دیگر مزایای استفاده از کاتالیزورهای ناهمگن در مقایسه با گونه‌های همگن، می‌توان به ایمن، ارزان و سازگارتر بودن با محیط زیست [۷]، سادگی و کم‌هزینه‌تر بودن جداسازی کاتالیزور از واکنش‌دهنده و محصولات واکنش، سادگی روش‌های بازسازی و بازیافت کاتالیزور، خلوص محصولات، امکان تثبیت کاتالیزور در فرآیندهای پیوسته [۱۵ و ۱۶]، خوردگی کمتر و کاهش هزینه نگهداری رآکتور [۷ و ۱۶]، ساده‌سازی فرآیند تصفیه پساب به

<sup>1</sup> - Substrate