



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده شیمی

گرایش شیمی آلی

پایان نامه کارشناسی ارشد

سنتز مشتقات یورازول با استفاده از کاتالیزگر نانو بوهمیت

نام دانشجو:

سکینه عبادی صوفلو

استاد راهنما:

دکتر محمد باخرد

استاد مشاور:

دکتر علی کیوانلو

بهمن ۱۳۹۲

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

که شوق آموختن را از آن ها به یادگار دارم.

تشکر و قدردانی

به ثمر نشستن این تحقیق مرهون الطاف بیکران الهی است، خداوند را شاکرم که این منت را بر من نهاد.

با نهایت سپاس از زحمات و پشتیبانی بی‌دریغ و بی‌شائبه‌ی استاد راهنمای محترم جناب آقای دکتر محمد باخرد و استاد مشاور ارجمند دکتر علی کیوانلو که وقت پر ارزش خودشان را در طی انجام این تحقیق در اختیار اینجانب گذاشته و همواره با روی گشاده پذیرای بنده بوده اند. بی‌شک بدون حمایت و پشتیبانی ایشان انجام این تحقیق مقدور نمی‌بود.

سپاس گزارم از کلیه دوستان و عزیزانی که در مراحل مختلف تحصیلی مرا یاری نمودند؛ لیکن همیشه خود را مرهون لطف و مهربانی آن‌ها دانسته و امیدوارم به لطف الهی روزی توان جبران محبت هایشان را داشته باشم.

تعهد نامه

اینجانب سکینه عبادی صوفلو دانشجوی دوره کارشناسی ارشد شیمی آلی دانشکده شیمی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه سنتز مشتقات یورازول با استفاده از کاتالیزگر نانو بوهمیت تحت راهنمایی دکتر محمد باخرد متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است
- تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

در میان ترکیبات هتروسیکل حاوی هترو اتم نیتروژن آن دسته از ترکیباتی که در ساختارشان بخش هیدرازینی دارند بدلیل داشتن خواص دارویی و بیولوژیکی مورد توجه می‌باشند.

از واکنش یورازول، دیمدون و آلدهیدهای آروماتیک در حضور نانوبوهمیت-فسفریک‌اسید به عنوان کاتالیزگر در شرایط بدون حلال، مشتقات تری‌آزولو [a-2,1] ایندازول-8,3,1-تری‌اون تهیه گردید. از ویژگی‌های این روش، زمان کوتاه و بهره‌ی واکنش بالا و تک‌ظرفی بودن واکنش می‌باشد.

کلمات کلیدی: تراکم سه‌جزئی، یورازول، نانوبوهمیت-فسفریک‌اسید، بدون حلال

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	
۱-۱- واکنش چند جزئی	۳
۲-۱- واکنش تراکمی نووناگل	۳
۳-۱- یورازول	۵
۱-۳-۱- کاربرد یورازولها	۶
۴-۱- کاتالیزگرها و تقسیم‌بندی آنها	۷
۵-۱- مقایسه کاتالیزگرهای همگن و ناهمگن	۸
۶-۱- نانو بوهمیت	۹
۱-۶-۱- کاربردهای نانو بوهمیت آلومینیم	۱۰
۷-۱- سنتز مشتقات ایندازول با استفاده از انواع کاتالیزگرها	۱۱

فصل دوم: بحث و بررسی نتایج

۱-۲- بحث و بررسی نتایج	۱۵
۲-۲- سنتز نانو بوهمیت	۱۵
۱-۲-۲- سنتز نانو ذرات بوهمیت-فسفریک اسید	۱۵
۳-۲- بهینه نمودن شرایط واکنش	۱۶
۴-۲- مکانیسم واکنش	۱۹

- ۲-۵- شواهد طیفی مشتقات تری آزولو [a-۲،۱] ایندازول-۸،۳،۱ تری اون ۲۰
- ۲-۵-۱) ۷،۶-دی هیدرو ۶،۶-دی متیل-۲-فنیل-۹-(۴-کلروفنیل)-[۴،۲،۱]-تری آزولو [a-۲،۱] ایندازول-۸،۳،۱ (۹H-۵H-۲H)-تری اون ۲۰
- ۲-۵-۲) ۷،۶-دی هیدرو ۶،۶-دی متیل-۲-فنیل-۹-(۴-متوکسی فنیل)-[۴،۲،۱]-تری آزولو [a-۲،۱] ایندازول-۸،۳،۱ (۹H-۵H-۲H)-تری اون ۲۰
- ۲-۵-۳) ۷،۶-دی هیدرو ۶،۶-دی متیل-۲-فنیل-۹-(۳-نیتروفنیل)-[۴،۲،۱]-تری آزولو [a-۲،۱] ایندازول-۸،۳،۱ (۹H-۵H-۲H)-تری اون ۲۱
- ۲-۶- نتیجه گیری ۲۱
- ۲-۷- آینده نگری ۲۲

فصل سوم: بخش تجربی

- ۳-۱- دستگاه ها ۲۵
- ۳-۲- مواد اولیه ۲۵
- ۳-۳- تهیه ی کاتالیزگر نانوبوهمیت-فسفریک اسید ۲۵
- ۳-۴- روش عمومی برای تهیه ی مشتقات تری آزولو [a-۲،۱] ایندازول-۸،۳،۱ تری اون ۲۶
- ۳-۴-۱) ۷،۶-دی هیدرو ۶،۶-دی متیل-۲-فنیل-۹-(۴-کلروفنیل)-[۴-۲-۱]-تری آزولو [a-۲،۱] ایندازول-۸،۳،۱ (۹H-۵H-۲H)-تری اون ۲۶
- ۳-۴-۲) ۷،۶-دی هیدرو ۶،۶-دی متیل-۲-فنیل-۹-(۴-متوکسی فنیل)-[۴-۲-۱]-تری آزولو [a-۲،۱] ایندازول-۸،۳،۱ (۹H-۵H-۲H)-تری اون ۲۶
- ۳-۴-۳) ۷،۶-دی هیدرو ۶،۶-دی متیل-۲-فنیل-۹-(۳-نیتروفنیل)-[۴-۲-۱]-تری آزولو [a-۲،۱] ایندازول-۸،۳،۱ (۹H-۵H-۲H)-تری اون ۲۷

ضمیمه

۲۹ضمیمه

مراجع

۴۱مراجع

فصل اول

مقدمه

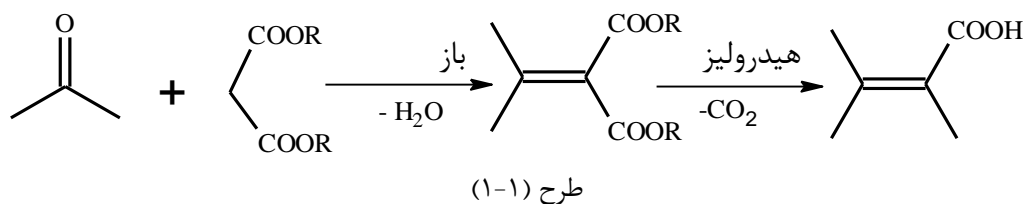
۱-۱- واکنش چند جزئی^۱

واکنش‌های چندجزئی در سال ۱۸۵۰ به وسیله استرکر^۲ کشف شد [۱]. مهم‌ترین معیار برای کارایی و قابلیت اجرای یک فرآیند این است که تا حد امکان تعداد مراحل سنتزی و مراحل خالص سازی واکنش‌ها به حداقل برسد. انجام واکنش‌های چندجزئی یک زمینه‌ی نوید بخش و موفقیتی بزرگ در شیمی محسوب می‌شود. در تکنیک واکنش چندجزئی، ساختارهای پیچیده‌ی مفید و با ارزش به صورت سریع، کارآمد و مؤثر و با صرف زمان کم، بدون نیاز به جداسازی حد واسطها، سنتز می‌شوند. بنابراین با کاهش دادن مراحل سنتزی نسبت به روش‌های سنتی، واکنش سرعت و بازده بیشتری خواهد داشت. این روش این امکان را می‌دهد که از جداسازی حد واسطها، تغییر شرایط یا افزودن هر واکنش‌گری به طور اضافی پرهیز نماییم.

توجه و علاقه‌مندی شیمیدان‌های آلی به واکنش‌های چندجزئی باعث توسعه و پیشرفت واکنش‌های چندجزئی در راستای واکنش‌پذیری بیشتر و بهینه‌سازی آن شده است. به همین علت واکنش‌های چند جزئی از تکنیک‌های برتر در شیمی سبز محسوب می‌شوند. این واکنش‌ها دارای اهمیتی روز افزون در شیمی آلی و شیمی دارویی بوده و به یکی از مؤثرترین و اقتصادی‌ترین ابزارها برای سنتز هم‌زمان ترکیبات تبدیل شده‌اند. این واکنش‌ها به دلیل سرعت و بهره‌ی بالا برای سنتز هم‌زمان بسیاری از ترکیبات تحت شرایط ملایم به صورت تک ظرفی کاربرد فراوانی پیدا کرده‌اند.

۱-۲- واکنش تراکمی نووناگل^۳

واکنش نووناگل شامل واکنش الدهیدها و یا کتون‌ها با یک ترکیب دارای متیلن فعال در حضور مقدار کم از یک باز ضعیف مانند آمین (به عنوان کاتالیزگر) می‌باشد [۶-۲]. طرح (۱-۱)

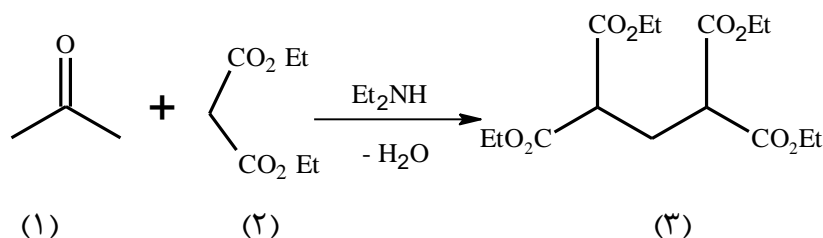


¹ Multi-Component reactions (MCRs)

² Strecker

³ Knoevenagel

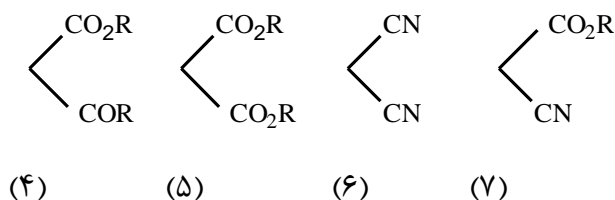
در سال ۱۸۹۴ نووناگل برای اولین بار این واکنش را بر اساس واکنش بین فرمالدهید و دی‌اتیل مالونات در حضور کاتالیزگر دی‌اتیل آمین گزارش کرد. محصول واکنش ترکیب (۳) بود که حاصل افزایش دو مول دی‌اتیل مالونات به فرم‌آلدهید بود [۷]. طرح (۲-۱)

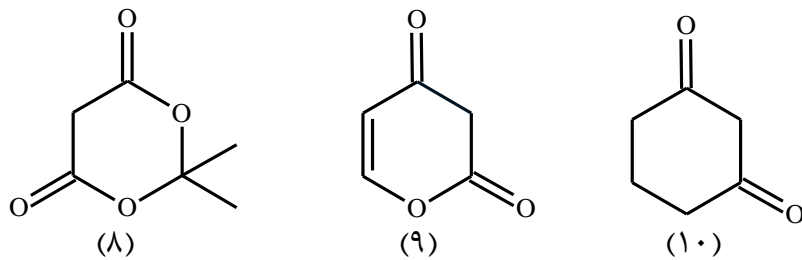


طرح (۲-۱)

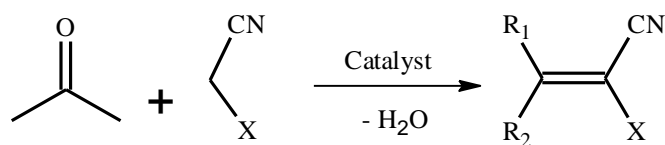
واکنش نووناگل به طور معمول در حضور بازهای ضعیف مثل اتیلن‌دی‌آمین، پی‌پیریدین، آمین‌های نوع اول و دوم و نمک‌های آمونیومی آن‌ها، پتاسیم فلوئورید و آمینو اسیدهای نظیر گلیسین، آلانین و L-پرولین تحت شرایط همگن انجام می‌شود [۸]. علاوه بر نوع باز، محیط انجام واکنش شامل نوع حلال و یا شرایط بدون حلال (استفاده از بستر جامد یا شرایط خشک) و همچنین دمای واکنش از پارامترهای دیگر تعیین کننده در این واکنش محسوب می‌شوند.

ترکیبات دارای متیلن فعال که در این واکنش مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از: ۱، ۳-دی‌کربنیدهای حلقوی شامل: استوئات‌ها (۴)، مالونات‌ها (۵)، مالونیتریل (۶)، آلکیل سیانو استات‌ها (۷). همچنین ترکیبات حلقوی مانند ملدروم اسید (۸)، ۴-هیدروکسی کومارین‌ها (۹) و ۱، ۳-سیکلوهاگزادی‌اون (۱۰) نیز غالباً به کار برده می‌شوند.





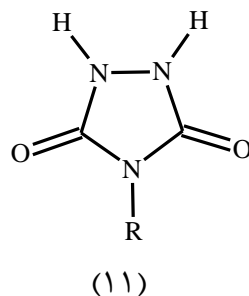
در واکنش نووناگل، برای آلدهیدها محدودیتی وجود ندارد و بهترین نتایج با آلدهیدهای آروماتیک به دست می آید؛ در حالی که کتون‌ها در این واکنش فعالیت کمتری دارند. همچنین این واکنش یکی از مهمترین روش‌ها برای تهیه آلکن‌های سه استخلافی است که دارای گروه‌های الکترون کشنده مثل CO_2R , COR , CN , و NO_2 می‌باشند. از این آلکن‌ها به طور گسترده به عنوان حد واسطها در سنتز ترکیبات آلی استفاده می‌شود. طرح (۳-۱)



طرح (۳-۱)

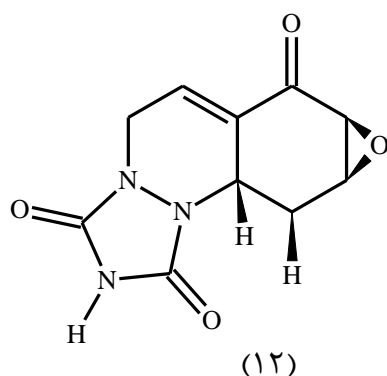
۳-۱- یورازول

یورازول‌ها، ترکیبات حلقوی پنج عضوی هستند که دارای سه اتم نیتروژن و دو گروه کربونیل غیر مجاور می‌باشند. نام آیوپاک این ترکیبات ۴،۲،۱-تری‌آزولیدین-۳،۵-دی‌اون (۱۱) می‌باشد. پروتون‌های متصل به نیتروژن‌های یورازول نسبتاً اسیدی هستند [۱۰].

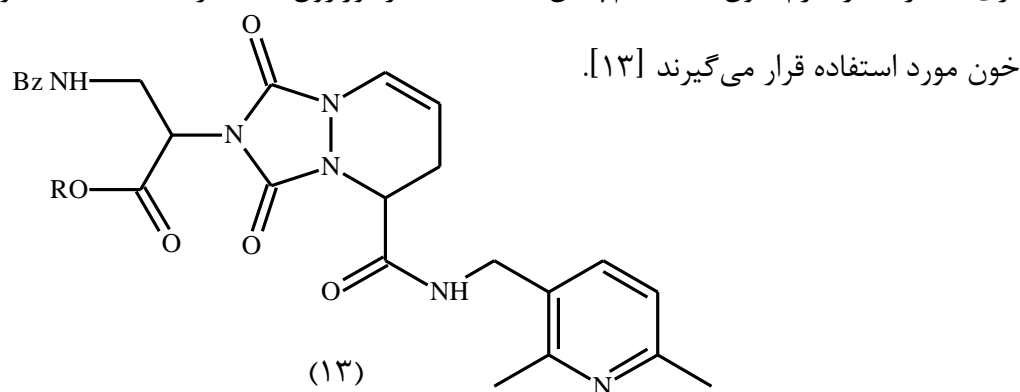


۱-۳-۱- کاربرد یورازولها

یورازولها چه در آزمایشگاه و چه در صنعت ترکیبات بسیار مفیدی محسوب می‌شوند. یورازول‌های صنعتی به عنوان عامل کف‌کننده در پلاستیک‌ها، در تهیه‌ی کیسه‌های اتومبیل‌ها، در تولید علف‌کش‌ها و به عنوان نگهدارنده‌ی مواد غذایی استفاده می‌شوند. این ترکیبات در آزمایشگاه به عنوان ترکیبات جدید برای تولید هتروسیکل‌های متنوع و ترکیبات آلی فلزی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۰]. سنتز پلی‌مرهایی که در زنجیره اصلی‌شان حلقه یورازول دارند از موضوعات قابل توجه است، زیرا این دسته از پلی‌مرها پایداری حرارتی خوبی دارند. مشتقات یورازولی پلی‌مر شده در پلاستیک‌های گرمانرم، تهیه‌ی پوشش‌های مقاوم حرارتی، تایر اتومبیل‌ها با استحکام بالا و رزین‌های ملامین کاربرد گسترده‌ای دارند [۱۱]. از کاربردهای مهم دیگر یورازول‌ها، استفاده از این ترکیبات در پزشکی و صنعت داروسازی است. بعضی از مشتقات یورازول رفتار ضد تشنج یا ضد قارچ دارند [۱۲]. همچنین بعضی از مشتقات دیگر یورازول‌ها مانند ترکیب (۱۲) با کاهش تولید سلول‌های سرطانی به عنوان داروی ضد سرطان استفاده می‌شود.



از دیگر کاربردهای دارویی مشتقات یورازول فعالیت ضد چربی آن‌ها از طریق کم کردن میزان کلسترول و تری‌گلیسرید در سرم خون است. همچنین مشتقات دیگر یورازول مانند ترکیب (۱۳) به عنوان داروی انعقاد



۴-۱- کاتالیزگرها و تقسیم‌بندی آنها

مناسب بودن یک کاتالیزگر در فرآیند شیمیایی اساساً به سه خصوصیت زیر بستگی دارد:

الف) فعالیت^۱ ب) گزینش‌پذیری^۲ ج) پایداری^۳

توانایی کاتالیزگر برای تبدیل مواد اولیه به محصولات مختلف (خواسته یا ناخواسته) را فعالیت گویند که این شاخص از روش‌های مختلف تعریف می‌شود:

بر اساس سرعت مصرف واکنش‌گر

بر اساس تبدیل واکنش‌گر

بر اساس عدد بازده

در یک واکنش شیمیایی بین واکنش‌گرها و محصولات حد واسطه‌هایی وجود دارند، کاتالیزگر باید توانایی فعال کردن واکنش‌هایی که منجر به تولید محصولات مطلوب می‌شوند را داشته باشد. به عبارتی دیگر، گزینش‌پذیری، توانایی کاتالیزگر جهت تولید محصول مطلوب از میان محصولات احتمالی می‌باشد.

پایداری یا عمر مفید کاتالیزگر، مدت زمانی است که کاتالیزگر یک حد کافی یا مطلوب از فعالیت یا گزینش‌پذیری را حفظ می‌کند.

به طور معمول پاسخ به این پرسش که کدام یک از پارامترهای فوق مهم‌تر از بقیه می‌باشند مشکل بوده زیرا در هر فرآیندی نوع نیاز خواسته شده از کاتالیزگر متفاوت است.

امروزه در علم کاتالیزگرها با توجه به اصول شیمی سبز، علاوه بر ۳ عامل فعالیت، گزینش‌پذیری و پایداری، عامل دیگری نیز در عملکرد کاتالیزگرها نقش مهمی ایفا می‌کند و آن ظرفیت بازیافت^۴ کاتالیزگر می‌باشد. پژوهشگران این عرصه در تلاش هستند تا کاتالیزگرهایی را طراحی کنند که علاوه بر سه پارامتر فوق، قابلیت بازیافت با روش‌های ارزان و آسان و استفاده در چرخه‌های متوالی را داشته باشند.

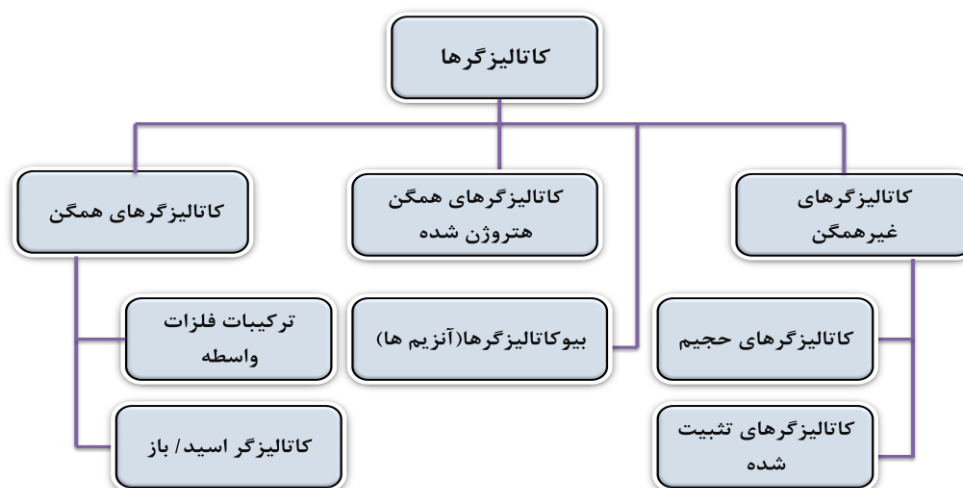
¹ Activity

² Selectivity

³ Stability

⁴ Recycle Capacity

کاتالیزگرهای متعدد شناخته شده تا به امروز، براساس معیارهای مختلفی مانند ترکیب، ساختار و حالت تراکم طبقه‌بندی می‌شوند. براساس حالت تراکم، کاتالیزگرها به دو دسته‌ی اصلی همگن^۱ و ناهمگن^۲ (کاتالیزگرهای حالت جامد^۳) تقسیم می‌شوند. همچنین اقسام واسطه‌ای نظیر کاتالیزگرهای همگن متصل شده به جامدات (کاتالیزگرهای تثبیت شده^۴) نیز وجود دارند [۱۴]. شکل (۱-۱)



شکل (۱-۱) طبقه بندی کاتالیزگرها

۱-۵- مقایسه کاتالیزگرهای همگن و ناهمگن

فرآیندهای کاتالیزگری که در فاز مایع یا گاز به صورت یکنواخت صورت می‌گیرند، فرآیندهای کاتالیزگری همگن نامیده می‌شوند. کاتالیزگرهای همگن عموماً ترکیبات شیمیایی یا کمپلکس‌های کئوردینه شونده معینی هستند که به همراه مواد واکنش دهنده در محیط واکنش در یک فاز توزیع شده‌اند. اسیدهای معدنی و ترکیبات فلز واسطه نمونه‌ای از این کاتالیزگرها هستند.

کاتالیزگرهای همگن با توجه به هم فاز بودن با مواد واکنش دهنده و پراکندگی^۵ بالا در محیط واکنش، فعالیت بیشتری نسبت به کاتالیزگرهای ناهمگن از خود نشان می‌دهند. تحرک بالای مولکول‌ها، برخورد بیشتر کاتالیزگر و مولکول‌های ماده اولیه را در پی خواهد داشت. مواد واکنش دهنده از هر سمت می‌توانند

¹ Homogenius

² Hetrogenuse

³ Solid-Stae Catalysts

⁴ Suported Catalysts

⁵ Dspersion

به مراکز فعال کاتالیزگری نزدیک شده و واکنش در هر مرکز فعال موجب بلوکه شدن گروه‌های همسایه نخواهد شد. لذا این عامل به استفاده از مقادیر کمتر کاتالیزگر و شرایط ملایم‌تر واکنش منجر خواهد شد [۱۵-۲۰].

اما مشکل اصلی در کاتالیزگرهای همگن، مسئله جداسازی دشوار آن‌ها از مخلوط واکنش است که این مرحله اغلب با تولید مقدار زیادی پسماند و صرف انرژی زیاد همراه می‌باشد. برای جداسازی کاتالیزگرهای همگن اغلب باید مراحل پیچیده‌ای نظیر تقطیر، استخراج، تعویض یونی^۱ و..... مورد استفاده قرار گیرد. به علاوه استخراج یک کاتالیزگر گران، ممکن است منجر به تجزیه آن شود. بنابراین حذف این مراحل یکی از اهداف اصلی در تحقیقات علمی مدرن در زمینه کاتالیزگر می‌باشد.

مزایا و معایب کاتالیزگرهای همگن و ناهمگن، که مکمل هم هستند، پژوهشگران را به آن داشت که سیستم‌هایی طراحی کنند که مزایای کاتالیزگرهای همگن و ناهمگن را هم زمان داشته باشد. در این صورت فعالیت و گزینش‌پذیری بالای کاتالیزگر به همراه جداسازی آسان آن از محیط واکنش قابل دسترس خواهد بود. به همین منظور کاتالیزگرهای مختلفی نظیر کاتالیزگرهای فاز مایع تثبیت شده^۲ [۲۱-۲۲]، کاتالیزگرهای دوفازی^۳ [۲۳-۲۷]، استفاده از مایع یونی^۴ به عنوان حلال در فرآیندهای کاتالیزگری [۲۸-۳۱]، مایعات فوق بحرانی^۵ [۳۲-۳۴]، کاتالیزگرهای دندریمری^۶ [۳۵-۳۶] و کاتالیزگرهای تثبیت شده [۳۷-۴۷]، استفاده گردید.

۱-۶- نانو بوهمیت^۷

بوهمیت، اکسید هیدروکسید آلومینیوم، AlOOH ، با مقادیر مولکول‌های آب و اندازه‌ی بلوری گوناگون می‌باشد که جایگاه ویژه‌ای در تهیه‌ی کاتالیزگر و مواد گوناگون با پایه‌ی آلومینا دارد. بوهمیت دارای آرایش هگزاگونال از آنیون‌های اکسیژن است که تمامی حفره‌های هشت‌وجهی آن را کاتیون‌های آلومینیم پر

¹ Ionic exchange

² Supported liquid phase catalysts

³ Bphysic catalyst

⁴ Ionic liquid

⁵ Supercritical fluids

⁶ Dendrimeric catalysts

⁷ Nanobohemit

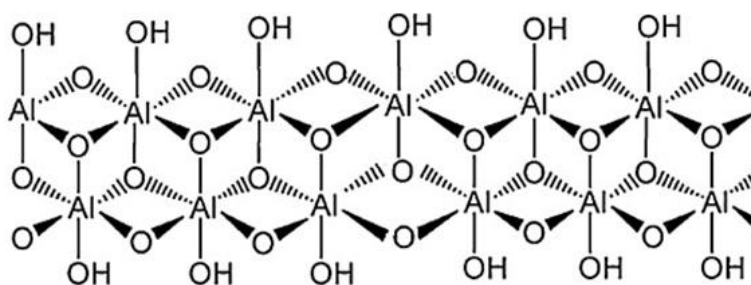
کرده‌اند. این ساختار از واحدهای $\text{AlO}_3(\text{OH})_2$ هشت‌وجهی انحراف یافته که با پیوندهای هیدروژنی کنار هم قرار گرفته‌اند، شکل گرفته است. اتم‌های اکسیژن که بر روی سطح بوهمیت قرار دارند دهنده‌های الکترون بوده که می‌توانند با گونه‌های الکتروفیل پیوند کووالانسی برقرار کنند. این ساختار با داشتن ذره‌هایی در ابعاد نانو، مساحت سطح بسیار بالایی داشته و می‌تواند در جایگاه یک نگهدارنده، برای ساخت نانو کاتالیزورها به کار رود.

نانوبوهمیت‌ها به سه روش تهیه می‌شوند [۴۸]:

۱- تبدیل هیدروترمال گیسیت، محصول میانی فرایند بایر در دماهای بالا در اتوکلاو

۲- رسوب از محلول بازی یا اسیدی نمک‌های آلومینیوم

۳- هیدرولیز الکوکسیدهای آلومینیوم در شرایط هیدروترمال.



برای تهیه کاتالیزورهای ناهمگن، کاتالیزورهای همگن را روی یک بستر جامد قرار می‌دهند. این بسترها می‌توانند پلیمرهای آلی یا معدنی باشند. به دلیل این‌که پلیمرهای معدنی پایداری حرارتی خیلی بالایی از خود نشان داده و هم‌چنین در مقابل تابش نور تخریب نمی‌شوند، بنابراین اهمیت بیشتری نسبت به پلیمرهای آلی دارند.

۱-۶-۱- کاربردهای نانو بوهمیت آلومینیم

روش‌های گوناگونی برای تهیه‌ی سرامیک‌ها وجود دارد. قدیمی‌ترین روش، مخلوط کردن مکانیکی اکسیدها یا هیدروکسیدهای فلزی و حرارت دادن آن‌ها، و جدیدترین و بهترین روش، فرایند سل-ژل^۱ می‌باشد. امروزه

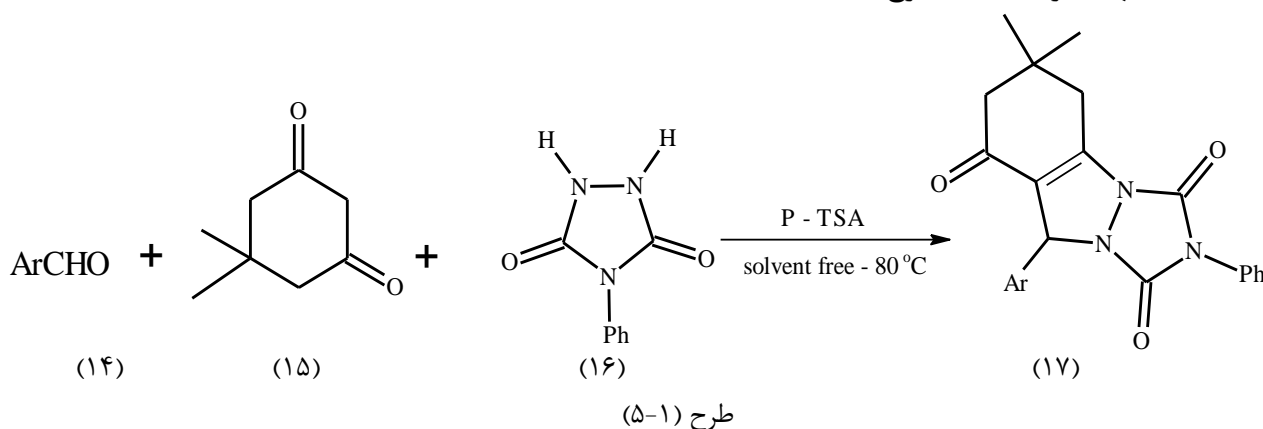
^۱ Sol-gel

آلکوکسیدهای فلزی یکی از پیش ماده‌های مهم در فرآیند سل-ژل محسوب می‌شوند، چرا که فرآورده‌ای خالص‌تر تولید می‌کنند [۴۹].

آلومینا یک اکسید فلزی-سرامیکی حاصل از روش سل-ژل است که فرم نانو ساختار آن از پایداری حرارتی مطلوب، پایداری شیمیایی مناسب، پایداری مکانیکی قابل قبول، سطح ویژه‌ی بزرگ، اسیددیتته‌ی سطحی و واکنش‌پذیری با فلزات واسطه برخوردار است، مهمترین کاربرد آلومین‌های فعال در پتروشیمی عبارتست از: حذف کلریدها از مایعات پتروشیمیایی، برای حذف گوگرد از گاز طبیعی و تصفیه‌ی نفت، و حذف آلودگی‌هایی مانند ترکیبات وانادیوم و نیکل.

۷-۱- سنتز مشتقات ایندازول با استفاده از انواع کاتالیزورها

در سال ۲۰۰۷ تری‌آزولو [a-۲،۱] ایندازول-۸،۳،۱-تری‌اون، از واکنش دیمدون، یورازول و آلدهیدهای آروماتیک بدون استفاده از حلال و در حضور کاتالیزگر همگن پارا تولوئن سولفونیک‌اسید با راندمان (۷۸-۹۰٪) تهیه گردید [۱۳]. طرح (۵-۱)



اگرچه واکنش فوق در حضور کاتالیزگر همگن به راحتی انجام می‌گیرد، اما استفاده از مقدار زیاد کاتالیزگر و عدم بازیابی آن از معایب این روش سنتزی می‌باشد.

در روشی دیگر، مشتقات تری‌آزولو [a-۲،۱] ایندازول-۸،۳،۱-تری‌اون با استفاده از کاتالیزگر سیلیکا سولفوریک‌اسید در شرایط بدون حلال سنتز گردیدند که میانگین زمان لازم برای انجام واکنش، ۲۴۰ دقیقه بوده است مدت زمان طولانی از معایب این روش است [۵۰].

پلی اتیلن گلايکول سولفونه (PEG-SO₃H) [۵۱]، آلومینیوم سیلیکات متخلخل (AIKIT-5) [۵۲]، و هم چنین هتروپلی اسید (H₄SiW₁₂O₄₀) [۵۳]، از جمله کاتالیزورهای ناهمگنی هستند که واکنش فوق در حضور این کاتالیزورها با موفقیت صورت گرفته است. نتایج این واکنش‌ها در جدول (۱-۱) آورده شده است. جدول (۱-۱) مقایسه‌ی کاتالیزورهای مختلف در سنتز ترکیب تری‌آزولو [a-۲،۱] ایندازول ۸،۳،۱ تری‌اون، (۱۷f) با استفاده از واکنش دیمدون-یورازول-آلدهیدهای آروماتیک

ردیف	کاتالیزگر	حلال	دما °C	زمان (دقیقه)	بهره‌ی واکنش (%)	مرجع
۱	پلی اتیلن گلايکول سولفونه (۱۰ مول درصد)	-	۸۰	۳۵	۹۰	[۵۱]
۲	آلومینیوم سیلیکات متخلخل (۰/۱۵) گرم	استونیتریل	۸۰	۶۰	۸۴	[۵۲]
۳	H ₄ SiW ₁₂ O ₄₀ (۰/۲) گرم	-	۱۰۰	۴۰	۷۵	[۵۳]

فصل دوم

بحث و بررسی