

تهیه، شناسایی و کاربرد کاتالیزوری نانو اکسید فلزی $MgBi_2O_4$ در سنتز ۳-[(آلکیل/آریل

تیو)(آریل)متیل]-[H۱-ایندول]ها

زهرا خادمی^۱ و کبرا نیکوفار^{۱*}

۱ گروه شیمی آلی، دانشکده شیمی، دانشگاه الزهرا، ص.پ. ۱۹۹۳۸۹۳۹۷۳، تهران، ایران

(تاریخ وصول: ۹۶/۰۳/۰۳ – تاریخ پذیرش: ۹۶/۴/۱۴)

Synthesis, characterization, and catalytic application of nanometal oxide $MgBi_2O_4$ in the preparation of 3-[(alkyl/arylthio)(aryl)methyl]-1H-indolesZahra Khademi¹, Kobra Nikoofar^{1*}

1 Department of Organic Chemistry, Faculty of Chemistry, Alzahra University, P.O.Box 1993893973, Tehran, Iran

(Received: May. 24, 2017 - Accepted: July. 05, 2017)

Abstract

In the first stage of this project, a new spherical nanostructure in the form of magnesium bismuth was prepared by co-precipitation method using N-cetyl-N,N,N-trimethylammonium bromide as an ionic surfactant. The nanostructures were detected by techniques such as SEM, EDX, XRD and FT-IR. In the next step, the efficiency of this catalyst is used in the three-part reaction of indoles, thiols and benzaldehydes under solvent-free conditions at a temperature of 120 ° C to synthesize derivatives of 3-[(alkyl/arylthio)(aryl)methyl]-1H-indoles. Features such as recyclability and reusability at least in three cycles without reducing catalyst power, environmental friendliness, cheapness, cost-effectiveness and high stability are the advantages of this nanocatalyst. High efficiency of products and relatively short times, easy and simple working method and absence of hydrocarbon and toxic solvents are very important advantages of the proposed method. In the final section, a comparison is made between this catalyst and the cases reported in the articles for the synthesis of this type of anomalous compounds containing nitrogen and sulfur.

Keywords:

Green chemistry, multi component reaction, solvent free condition, metal oxide nano particles, nanocatalyst, 3-[(alkyl/arylthio)(aryl)methyl]-1H-indoles.

چکیده

در مرحله اول این پروژه نانو ساختار جدید کروی شکل منیزیم بیسموتات از طریق روش هم‌رسوبی و با استفاده از N-ستیل-N,N,N-تری‌متیل‌آمونیم برومید، به‌عنوان یک سورفکتانت یونی، تهیه شد. نانو ساختار ساخته شده با تکنیک‌هایی چون SEM, EDX, XRD و FT-IR شناسایی شد. در مرحله بعد کارایی این کاتالیزور در واکنش سه‌جزئی ایندول‌ها، تیول‌ها و بنزالدهیدها در شرایط بدون حلال و دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد، به‌منظور سنتز مشتقات ۳-[(آلکیل/آریل تیو)(آریل) متیل]-[H۱-ایندول]ها به‌کار برده می‌شود. ویژگی‌هایی چون قابلیت بازیافت و استفاده مجدد حداقل در سه چرخه بدون کاهش قدرت کاتالیزوری، دوستانه محیط زیست بودن، ارزان قیمت بودن و پایداری بالا از مزایای این نانو کاتالیزور است. بازده بالای محصولات و زمان‌های نسبتاً کوتاه، روش کار آسان و ساده و عدم حضور حلال‌های هیدروکربنی و سمی از مزایای بسیار مهم روش ارائه شده است. در بخش انتهایی مقایسه‌ای بین این کاتالیزور و موارد گزارش شده در مقالات برای سنتز این دسته از ترکیبات ناجور حلقه‌حای نیتروژن و گوگرد انجام یافته است.

واژگان کلیدی:

شیمی سبز، واکنش‌های چندجزئی، شرایط بدون حلال، نانو اکسید فلزی، نانو کاتالیزور، ۳-[(آلکیل/آریل تیو)(آریل) متیل]-[H۱-ایندول]ها

*Corresponding Author: Kobra Nikoofar

Email: kobranikoofar@yahoo.com; k.nikoofar@alzahra.ac.ir

*نویسنده مسئول: کبرا نیکوفار

پراش اشعه ایکس (XRD)، طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDX) به‌عنوان نانوساختار شناسایی شد [۱۹]. سپس نانوکاتالیزور تهیه‌شده در سنتز مشتقات ۳- [(آلکیل/آریل تیو)(آریل) متیل]-[H۱- ایندول استفاده شد. ایندول یک هسته هتروسیکلیک رایج در تعداد زیادی از ترکیبات طبیعی حاوی فعالیت‌های فیزیولوژی است [۲۱]. مشتقات ۳- استخلافی ایندول‌ها نقش مهمی در تهیه ترکیبات دارویی دارند [۲۲-۲۴] طیف گسترده‌ای از این ترکیبات فعالیت‌های زیستی‌ای مانند ضدآلتهاب، ضدباکتریایی و ضدتکثیر نشان داده‌اند [۲۵-۲۷]. مشتقات ۳- استخلافی ایندول‌های حاوی اتم گوگرد به‌طور قابل توجهی بسیار کمیاب است [۲۸-۳۰]، اما حقیقت امر این است که سنتز این ترکیبات حاوی اتم گوگرد، به دلیل فعالیت‌های دارویی‌ای که از خود نشان می‌دهند بسیار مفید و سودمند است [۳۱]؛ بنابراین، در این پژوهش یک روش آسان، سبز و کارآمد برای تهیه مشتقات ۳- [(آلکیل/آریل تیو)(آریل) متیل]-[H۱- ایندول‌ها از طریق تراکم تک مرحله‌ای و تک‌طرف ایندول‌ها، تیول‌ها و بنزآلدهیدها، در حضور نانوکاتالیزور $MgBi_2O_4$ ارائه شده است.

بخش تجربی

مواد

همه مواد و حلال‌های مورداستفاده از شرکت مرک، آلفا ایسر و سیگما-آلد ریچ تهیه شد و بدون خالص‌سازی مورداستفاده قرار گرفت. برای بررسی پیشرفت واکنش از صفحات TLC حاوی شناساگر فلورسنت فعال در طول موج ۲۵۴ نانومتر ساخت شرکت مرک استفاده شد. همچنین، از سیلیکاژل با دانه‌بندی ۷۰-۲۳۰ μ m، ساخت شرکت مرک در کروماتوگرافی صفحه‌ای، به منظور جداسازی محصولات، استفاده شد. سپس دوغابی یکنواخت از سیلیکاژل PF254 با دانه‌بندی ۷۰-۲۳۰ μ m در آب مقطر تهیه شد و به صورت یکنواخت بر روی صفحات شیشه‌ای با ابعاد ۲۰×۲۰ سانتی‌متر مربع ریخته شد. با خشک کردن صفحات در دمای محیط به مدت یک شبانه‌روز، صفحات تهیه شدند.

اکسیدهای فلزی نقش مهمی در زمینه‌های مختلف، مانند شیمی و فیزیک و علم مواد دارند [۱-۴]. از نظر کاربردهای صنعتی، اکسیدهای فلزی در تهیه مدارهای میکروالکترونیکی، سنسورها، پیل‌های سوختی، دستگاه‌های پیزوالکتریک و همچنین به‌عنوان پوششی برای غیرفعال کردن سطوح در برابر خوردگی به کار می‌روند [۵-۷]. اکسیدهای فلزی به دلیل ویژگی‌های اسیدی/بازی‌شان در تهیه و آماده‌سازی کاتالیزورها استفاده می‌شوند. سازگاری با محیط‌زیست و دارا بودن الکترون‌های s یا p در اوربیتال‌های ظرفیت، از جمله ویژگی‌های کلیدی و ضروری کاربرد اکسیدهای فلزی به‌عنوان کاتالیزورهای اسیدی/بازی است [۸]. تبدیلات مایع-جامد به‌طور گسترده‌ای برای آماده‌سازی اکسیدهای فلزی به‌منظور کنترل ویژگی‌های مورفولوژی با تطبیق‌پذیری شیمیایی مطمئن استفاده می‌شود [۹]. به‌غیر از تبدیلات ذکرشده تعداد دیگری از روش‌هایی که به‌طور خاص برای تهیه اکسیدهای فلزی استفاده می‌شوند عبارت‌اند از: روش‌های هم‌رسوبی [۱۰]، سل-ژل [۱۱]، میکروامولسیون [۱۲] و حلال حرارتی [۱۳].

نانوذرات فلزی، به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فرد فیزیکی و شیمیایی خود، در سال‌های اخیر توجه بسیار زیادی را به خود جلب کرده‌اند [۱۴]. تعداد زیادی از نانوذرات نسبت سطح به حجم بالایی دارند و در سنتز کاتالیزورها گزینش‌پذیری بسیار بالایی را از خود نشان می‌دهند [۱۵]. از جمله ویژگی‌های بسیار مهم و جالب توجه نانوذرات اکسیدفلزی به این صورت است: جاذب فعال برای گازها و مخرب مواد شیمیایی خطرناک‌اند [۱۶]. واکنش‌پذیری بالای آن‌ها، به دلیل اندازه محدودشان و چگالی بالا در سطح لبه‌ها و گوشه‌های آن‌هاست [۱۷، ۱۸]. به دلیل نقش مؤثر و کارآمد نانوذرات اکسیدفلزی در کارهای پژوهشی ما [۱۹، ۲۰]، در این پژوهش نانوکریستال جدید کروی شکل منیزیم بیسموتات ($MgBi_2O_4$) تهیه شد و با استفاده از طیف‌ها و تصاویر حاصل از تکنیک‌هایی چون طیف‌سنج فروسرخ (IR)، دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، دستگاه

تهیه نانوکاتالیزور فلزی $MgBi_2O_4$

(۱۰ میلی لیتر) شست و شو داده شد. پس از تبخیر متانول، ۳-
[(آلکیل / آریل تیو) (آریل) متیل] -H₁ - ایندول های خالص -a
۴h به روش کروماتوگرافی صفحه ای با بازده ۴۳ تا ۹۰ درصد
به دست آمد (جدول ۳).

شناسایی کاتالیزور و آنالیز فرآورده ها

به منظور تهیه نانوکاتالیزور از حمام فراصوت مدل wise
clean با قدرت ۹۰ وات و همچنین از دستگاه سانتریفوژ
مدل RST16، ۱۶ شاخه فول دیجیتال با 300 rpm دور در
دقیقه استفاده شد. برای اندازه گیری اندازه نانوذرات اکسید
فلزی از تصویر SEM مدل های EM 3200-kyky و
Zeisz-Σ-IJMA و برای تعیین ساختار کریستال ها از
دستگاه XRD استفاده شد. این اندازه گیری با بهره گیری از
دستگاه Philips مدل X'Pert MPD با لامپ مس (Cu)
دارای طول موج $K\alpha$ حدود ۱.۷۸۸۹ درجه آنگسترم، ۴۰
کیلوولت و ۴۰ میلی آمپر انجام پذیرفت. برای آنالیز عنصری
و توصیف و شناسایی نانوکریستال از دستگاه EDX
kz-225-EDS و برای شناسایی و آنالیز فرآورده ها از دستگاه
طیف سنج رزونانس مغناطیسی هسته (^1H-NMR) استفاده
شد. طیف های ^1H-NMR به وسیله دستگاه Bruker
AVANCE 400 MHz یا 500 MHz ثبت شدند و از
حلال های دی متیل سولفوکسید دوتره ($DMSO-d_6$) و
کلروفرم دوتره ($CDCl_3$) استفاده شد. طیف های IR توسط
دستگاه های اسپکترومتر FT-IR Bruker مدل Tensor 27
و Shimadzu مدل IR-435 گرفته شد. همچنین، برای
ساختن قرص ها از KBr استفاده شد. از دستگاه نقطه ذوب
مدل Ellectrothermal-9200 برای اندازه گیری نقاط ذوب
استفاده شد و مقادیر بدون تصحیح گزارش شد.

بحث و نتیجه گیری

به منظور بهینه سازی شرایط واکنش و ارائه روشی مناسب و
سریع در حضور نانوکاتالیزور ارزان و ناهمگن و غیرسمی
 $MgBi_2O_4$ واکنش تک مرحله ای و تک ظرف ایندول، ۴-
کلروبنزآلدئید و ۴-مرکاپتوبنزوتیازول در حضور $MgBi_2O_4$

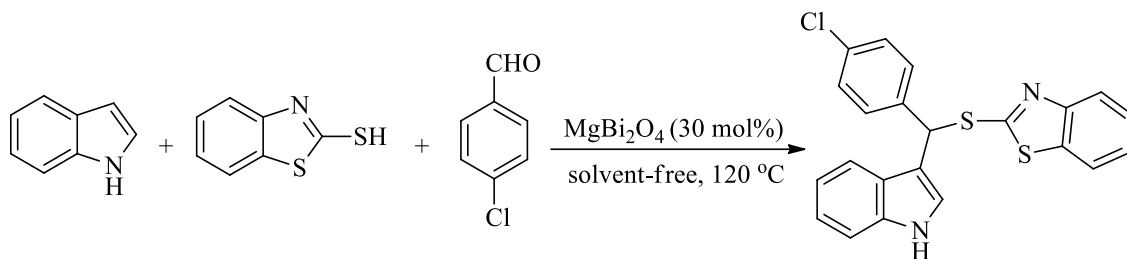
در یک بالن ته گرد ۲۵۰ میلی لیتری، به مخلوطی متشکل از
۱۰۰۲۴ گرم (۴ میلی مول) منیزیم نیترات ۶ آبه
($Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) و ۱۰۹۴۰ گرم (۴ میلی مول) بیسموت
نیترات ۵ آبه ($Bi(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$)، ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر
اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام فراصوت قرار داده شد.
سپس ۲ گرم N-ستیل -N,N,N-تری متیل آمونیوم برومید
(CTAB) به عنوان سورفاکتانت به آن اضافه شد. پس از آن
به مخلوط به دست آمده به صورت قطره قطره آمونیاک غلیظ
اضافه شد تا pH مخلوط بر روی ۹ تنظیم شود (این بررسی
توسط pH متر انجام یافت). در مرحله بعد سوسپانسیون
به دست آمده به مدت ۳۰ دقیقه در حمام فراصوت قرار داده
شد و سپس مخلوط به دست آمده به مدت ۲۴ ساعت تحت
شرایط بازروانی در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت و
به مدت ۶ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد خشک شد
و بعد از قرار گرفتن در کوره (دمای ۸۰۰ درجه سانتی گراد)
به مدت ۶ ساعت، پودر زرد کم رنگی که همان کاتالیزور
 $MgBi_2O_4$ است، به دست آمد [۲۰].

روش عمومی ۳- [(آلکیل / آریل تیو) (آریل) متیل] -H₁ -

ایندول ها در حضور کاتالیزور $MgBi_2O_4$

مخلوطی از ایندول (۱a) و یا ۲-متیل ایندول (۱b) (۱
میلی مول)، آلدئیدها (۲a-e) (۱ میلی مول) و تیول ها (۳a-c)
(۱ میلی مول) و $MgBi_2O_4$ (۰.۳ میلی مول، ۰.۱۵۲ گرم) در
یک بالن ته گرد ۲۵ میلی لیتری تهیه شد و به مدت ۱.۱۰ تا ۴
ساعت، در غیاب حلال و دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد با
مگنت به هم زده شد. پیشرفت واکنش به وسیله TLC (تانک
حلال: ۱۰:۳ اتیل استات / n-هگزان) دنبال شد. پس از پایان
واکنش، مخلوط واکنش در متانول (۱۰ میلی لیتر) حل شد و
کاتالیزور $MgBi_2O_4$ توسط کاغذ صافی جدا شد. کاتالیزور
بر روی کاغذ صافی به جا ماند و مخلوط واکنش درون ظرف
زیر کاغذ صافی قرار گرفت. روصافی با مقدار بیشتر متانول

به‌عنوان واکنش مدل در نظر گرفته شد (شکل ۱).



شکل ۱. سنتز ۳-(پارا-کلروفنیل)(۲-مرکاپتوبنزو تیازولو) متیل-۱H-ایندول (۴h) در حضور نانوکاتالیزور $MgBi_2O_4$

بررسی اثر دما

بهترین نتیجه به‌دست آمده از نظر زمان، بازده و عدم سمیت، در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد (جدول ۱، ردیف ۴) است. لازم به توضیح است که واکنش به‌صورت دو مرحله‌ای و تک‌طرف هم انجام پذیرفت، اما پیشرفت واکنش بسیار کند بود.

به‌منظور بهینه‌سازی شرایطی چون دما، واکنش ایندول (۱) میلی‌مول، ۴-کلروبنزآلدئید (۱ میلی‌مول) و ۲-مرکاپتوبنزو تیازول (۱ میلی‌مول) در حضور مقدار ۰.۱۵۲ گرم (۳۰ مول درصد) کاتالیزور $MgBi_2O_4$ در غیاب حلال و دماهای مختلف بررسی شد. همان‌طور که جدول (۱) نشان می‌دهد،

جدول ۱. بررسی اثر دما در سنتز ۳-(پارا-کلروفنیل)(۲-مرکاپتوبنزو تیازولو) متیل-۱H-ایندول (4h) در حضور نانوکاتالیزور $MgBi_2O_4$

در غیاب حلال

ردیف ^۱	دما (°C)	زمان ^۲ (ساعت)	بازده ^۳ (درصد)
۱	۸۰	۱۰	۹۰
۲	۱۰۰	۴	۹۰
۳	۱۱۰	۲	۹۰
۴	۱۲۰	۱	۹۰

^۱ در تمامی موارد از نسبت مولی ۱:۱:۱ ایندول، ۴-کلروبنزآلدئید و ۲-مرکاپتوبنزو تیازول استفاده شده است.

^۲ زمان گزارش شده بر اساس بیشترین پیشرفت واکنش بوده و با اعمال زمان بیشتر تغییر محسوسی در پیشرفت مشاهده نشده است.

^۳ بازده جداسازی شده.

درصد) از نانو ساختار (ردیف ۳) به‌دست آمده است.

بررسی اثر حلال

به‌منظور بررسی اثر حلال، واکنش مدل در غیاب حلال و در حضور حلال‌های مختلف در دمای محیط و تحت شرایط بازروانی بررسی شد. واکنش در شرایط مذکور، حتی با گذشت مدت‌زمان طولانی، هیچ پیشرفتی نمی‌کند.

بررسی اثر مقدار کاتالیزور

در ادامه بهینه‌سازی شرایط، واکنش مدل در حضور مقادیر متفاوتی از نانوکاتالیزور $MgBi_2O_4$ در غیاب حلال و دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد انجام پذیرفت تا بهترین نتیجه از نظر بازده و زمان به‌دست آید (جدول ۲). نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که بهترین نتیجه در حضور ۰.۱۵۲ گرم (۳۰ مول

جدول ۲. بررسی اثر مقدار کاتالیزور در سنتز ۳-((پارا-کلروفیل)(۲-مرکاپتوبنزوتیازولو)متیل)-1H-ایندول (۴h) در غیاب حلال و دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد

ردیف ^۱	مقدار کاتالیزور (گرم)/(مول درصد)	زمان ^۲ (ساعت)	بازده (درصد)
۱	(۱۰)/۰.۰۵۱	۱۰	-
۲	(۲۰)/۰.۱۰۱	۱۰	-
۳	(۳۰)/۰.۱۵۲	۱	۹۰ ^۳

^۱ در تمامی موارد از نسبت مولی ۱:۱:۱ ایندول، ۴-کلروبنزآلدئید و ۲-مرکاپتوبنزوتیازول استفاده شده است.

^۲ زمان گزارش شده بر اساس بیشترین پیشرفت واکنش بوده و با اعمال زمان بیشتر تغییر محسوسی در پیشرفت مشاهده نشده است.

^۳ بازده جداسازی شده.

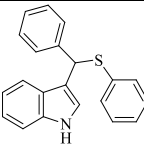
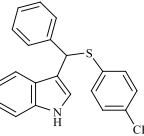
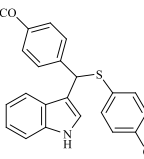
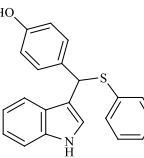
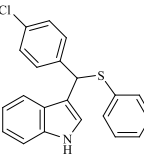
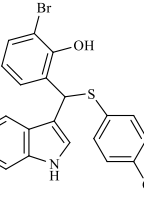
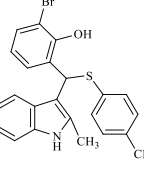
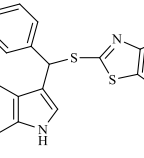
پس از بهینه‌سازی شرایط و با توجه به نتایج به دست آمده، مشتقات مختلفی از محصولات تراکمی ۳-[(آلکیل/آریل تیو)(آریل) متیل]-H۱-ایندول در غیاب حلال، دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد و در حضور ۰.۱۵۲ گرم از نانوکریستال MgBi₂O₄ در مدت زمان ۱ تا ۴ ساعت با بازده ۴۳ تا ۹۰ درصد حاصل شد (جدول ۳).

ایندول (۱a) با بنزآلدئید (۲a) و تیوفنول (۲a) به طور موفقیت‌آمیزی، واکنش تراکمی را انجام می‌دهد (جدول ۳، ردیف ۱). مشتق الکترون کشنده ۴-کلروبنزآلدئید (۲d) با ایندول و تیوفنول واکنش تراکمی را به طور موفقیت‌آمیز انجام می‌دهد (ردیف ۵). ایندول و همچنین ۲-متیل ایندول با مشتقات الکترون کشنده ۳-برمو-۲-هیدروکسی بنزآلدئید و ۴-متیل تیوفنول (۲b) واکنش تراکمی را با سرعت بسیار بالا و بازده عالی انجام می‌دهند (ردیف‌های ۶ و ۷). ۲-مرکاپتوبنزوتیازول (۲c) هم واکنش تراکمی را با سرعت بسیار بالا و بازده ۹۰٪ انجام می‌دهد (ردیف ۸). به طور کلی، بر اساس نتایج به دست آمده در جدول (۳)، مشتقات الکترون کشنده بنزآلدئید، در مقایسه با مشتقات الکترون دهنده، مانند ۴-متوکسی بنزآلدئید (۲b) واکنش تراکمی را با بازده بسیار بالاتر و در مدت زمان بسیار کوتاه‌تری انجام می‌دهند.

بررسی کارایی کاتالیزور

میزان کارایی کاتالیزور تهیه شده در این پژوهش، با کاتالیزورهای سولفات آهن هیدراته [Fe₂(SO₄)₃·xH₂O]، زیرکونیوم (IV) اکسی کلرید هشت‌آبه (ZrOCl₂·8H₂O) و همچنین نانو کاتالیزور Fe₃O₄@MCM-41-OSO₃H (نانوذرات مزوپور سیلیکای MCM-41 عامل دار شده با سولفوریک اسید پیوند شده روی نانومگنتیک) مقایسه شد [۲۸-۳۰]. همان گونه که جدول (۴) نشان می‌دهد نانوکاتالیزور MgBi₂O₄ زمان کوتاه‌تر و راندمان تولید ۳-[(آلکیل/آریل تیو)(آریل) متیل]-H۱-ایندول‌های بالاتری نسبت به دیگر کاتالیزورها نشان می‌دهد.

جدول ۳. سنتز ۳-[(آلکیل/آریل تیو)(آریل)متیل]-1H-ایندول در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و در غیاب حلال در حضور کاتالیزور $MgBi_2O_4$

بازده ^۱ (درصد)	زمان (ساعت)	محصول	تیول	بنزآلدهید	ایندول	ردیف
۹۰	۲.۳۰'	4a 	3a	2a Benzaldehyde	1a	۱
۷۰	۲.۳۰'	4b 	3b	2a Benzaldehyde	1a	۲
۴۳	۴	4c 	3b	2b 4-OCH ₃	1a	۳
۹۰	۲.۳۰'	4d 	3a	2c 4-OH	1a	۴
۷۵	۲.۴۵'	4e 	3a	2d 4-Cl	1a	۵
۹۰	۱.۱۰'	4f 	3b	2e 3-Br-2-OH	1a	۶
۹۰	۱.۱۰'	4g 	3b	2e 3-Br-2-OH	1b	۷
۹۰	۱	4h 	3c	2d 4-Cl	1a	۸

^۱ بازده جداسازی شده.

جدول ۴. مقایسه کاتالیزورها در سنتز ۳-[(فنیل)(فنیل تیو)متیل]-[۱H-ایندول (۴a)]

مرجع	بازده (درصد)	زمان (ساعت)	شرایط واکنش	کاتالیزور	ردیف
۲۸	۲۴	۵	اتانول / دمای محیط	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot xH_2O$	۱
۲۹	۳۰	۵	اتانول / دمای محیط	$Fe_3O_4@MCM-41-OSO_3H$	۲
۳۰	۷۴	۵	متانول / دمای محیط	$ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$	۳
در این پژوهش	۹۰	۲.۳۰'	بدون حلال / ۱۲۰ °C	$MgBi_2O_4$	۴

[4] Fernández-García M., Martínez-Arias, A., Hanson J.C., Rodríguez J.A. Nanostructured Oxides in Chemistry: Characterization and Properties. Chem. Rev. 2004;104:4063-104.

[5] Gleiter H. Nanostructured Materials: State of the Art and Perspectives. Nanostruct. Mater. 1995;6:3-14.

[6] Rodriguez J.A., Liu G., Jirsak T., Hrbek J., Chang Z., Dvorak J., Maiti A. Activation of Gold on Titania: Adsorption and Reaction of SO_2 on Au/TiO₂(110). J. Am. Chem. Soc. 2002;124:5242-50.

[7] Trudeau M.L., Ying J.Y. Nanocrystalline Materials in Catalysis and Electrocatalysis: Structure Tailoring and Surface Reactivity. Nanostruct. Mater. 1996;7:245-85.

[8] Busca, G. G The Surface Acidity and Basicity of Solid Oxides and Zeolites in Metal Oxides. Boca Raton: CRC Press, 2006.

[9] Chen J.F., Wang Y.H., Gou F., Wang X.M., Zheng C. Synthesis of Nanoparticles with Novel Technology: High-Gravity Reactive Precipitation. Ind. Eng. Chem. Res. 2002;39:948-54.

[10] Wu M.C., Hsiao, K.C., Lu H.C. Synthesis of InGaZnO₄ Nanoparticles using Low Temperature Multistep Co-precipitation Method. Mater. Chem. Phys. 2015;030:386-91.

[11] Kong L.B., Lu C., Liu M.C., Luo Y.C., Kang L., Li X., Walsh F.C. The Specific Capacitance of Sol-gel Synthesised Spinel MnCo₂O₄ in an Alkaline Electrolyte. Electrochim. Acta, 2014;115:22-7.

بحث و نتیجه گیری

نانوکاتالیزور $MgBi_2O_4$ که خاصیت اسیدلویی دارد، جزو کاتالیزورهای سنتزی جدید است که در این پروژه به روش هم‌رسوبی تهیه و با روش‌های معمول شناسایی شد. ویژگی‌هایی چون قابلیت بازیافت و استفاده مجدد، دوستدار محیط‌زیست و ارزان‌قیمت بودن و پایداری بالا از مزایای آن است. سپس از نانوکاتالیزور سنتزی در تهیه ترکیبات ۳-[(آلکیل/آریل تیو)(آریل)متیل]-[۱H-ایندول استفاده گردید. مشاهده شد که محصولات تحت شرایط ساده و آسان، عدم حضور حلال، زمان‌های بسیار کوتاه و بازده‌های بسیار بالا به دست آمدند.

سپاسگزاری

نویسندگان از دانشگاه الزهراء(س) بابت حمایت از این پژوهش سپاسگزاری می‌کنند.

منابع

[1] Noguera C. Physics and Chemistry at Oxide Surfaces. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1996.

[2] Kung H.H. Transition Metal Oxides, Surface Chemistry and Catalysis. Amsterdam Elsevier, 1st Edition, 1989.

[3] Henrich, V.E., Cox, P.A. The Surface Chemistry of Metal Oxides. Cambridge, UK Cambridge University Press, 1994.

Bis(indolyl)methanes. Arab. J. Chem.

2016;12:3776-84.

[20] Nikoofar K., Khademi Z., Haghghi, M. Nano $MgBi_2O_4$: A Novel Green Catalyst for the One-step Cascade Condensation of Arylamines, Acetone and Isatins in Water. J. Chem. Sci. 2016;128:1805-11.

[21] Sundberg R.J., Faulkner D.J., Ninomiya I.J. Recent Progress in the Synthesis of Indole Alkaloids. Nat. Prod. 1992;55:541-7.

[22] Subba Reddy B.V., Begum Z., Reddy Y.J., Yadav J.S. Pd(OAc)₂-Catalyzed C-H Activation of Indoles: a Facile Synthesis of 3-Cyanoindoles. Tetrahedron Lett. 2010;51:3334-6.

[23] Ismail M.M., Kamel M.M., Mohamed L.W, Faggal S.I. Synthesis of New Indole Derivatives Structurally Related to Donepezil and Their Biological Evaluation as Acetylcholinesterase Inhibitors. Molecules. 2012;17:4811-23.

[24] Özdemir A., Altıntop M.D., Turan-Zitouni G., Akalın Çiftçi G., Ertorun I., Alataş Ö., Kaplancıklı Z.A. Synthesis and Evaluation of New Indole-based Chalcones as Potential Antiinflammatory Agents. Eur. J. Med. Chem. 2015;89:304-9.

[25] Mi X., Luo S., He J., Cheng J.P. Dy(OTf)₃ in Ionic Liquid: An Efficient Catalytic System for Reactions of Indole with Aldehydes/Ketones or Imines. Tetrahedron Lett. 2004;45:4567-70.

[26] Pajouhesh H., Parson R., Popp F.D. Potential Anticonvulsants VI: Condensation of Isatins with Cyclohexanone and Other Cyclic Ketones. J. Pharm. Sci. 1983;72:318-21.

[27] Joshi K.C., Pathak V.N., Jain S.K. Synthesis and Antibacterial activity of Some New Fluorine Containing 3-Arylthiazolo[3,2:2',3']-1,2,4-triazino[5',6'-b]indoles. Adv. Synth. Catal. 1981;323:159-63.

[28] Dar A.A., Ali S., Khan A.T. Hydrated Ferric Sulfate Catalyzed Synthesis of 3-[(alkyl/arylthio)(aryl)methyl]-1H-indole derivatives through One-pot Reaction. Tetrahedron Lett. 2014;55:486-9.

[12] Montes V., Checa, M., Marinas A., Boutonnet M., Marinas J.M., Urbano F.J., Järas S., Pine C. Synthesis of different ZnO-supported Metal systems through Microemulsion Technique and Application to Catalytic Transformation of Glycerol to Acetol and 1,2-Propanediol. Catal. Today. 2014;223:129-34.

[13] Ye L., Fu J., Xu Z., Yuan R., Li Z. Facile One-pot Solvothermal Method to Synthesize Sheet-on-sheet reduced Graphene Oxide (RGO)/ZnIn₂S₄ Nanocomposites with Superior Photocatalytic Performance. ACS Appl. Mater. Interfaces. 2014;6:3483-90.

[14] Burda C., Chen X., Narayanan R., El-Sayed M.A. Chemistry and Properties of Nanocrystals of Different Shapes. Chem. Rev. 2005;105:1025-102.

[15] Praharaj S., Nath, S., Ghosh S.K., Kundu S., Pal T. Immobilization and Recovery of Au Nanoparticles from Anion Exchange Resin: Resin-Bound Nanoparticle Matrix as a Catalyst for the Reduction of 4-Nitrophenol. Langmuir. 2004;20:9889-92.

[16] Lucas E., Decker S., Khaleel A., Seitz A., Fultz S., Ponce A., Li W., Carnes C., Klabunde K.J. Nanocrystalline Metal Oxides as Unique Chemical Reagents/Sorbents. Chem. Eur. J. 2001;7:2505-10.

[17] Wagner G.W., Bartram P.W., Koper O., Klabunde K.J. Reactions of VX, GD, and HD with nanosize MgO. J. Phys. Chem. B. 1999;8:3225-8.

[18] Wagner G.W., Procell L.R., O'Connor R.J., Munavalli S., Carnes C.L., Kapoor P.N., Klabunde K.J. Reactions of VX, GB, GD, and HD with Nanosize Al₂O₃. Formation of Aluminophosphonates. J. Am. Chem. Soc. 2001;123:1636-44.

[19] Nikoofar K., Haghghi M., Khademi Z. Characterization, and Catalytic Application of Metallic Nanocrystalline $MgAl_2O_4$ in the Synthesis of 3-Hydroxy-3-indolyl-indolin-2-ones, Symmetrical and Unsymmetrical 3,3'-Bis(indolyl)indolin-2-ones, and 3,3'-

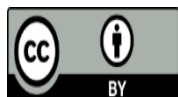
Catalyst for the Synthesis of Novel 3-[(alkyl/arylthio)(aryl)methyl]-1H-indoles. Res. Chem. Intermed. 2016;42:7111-9.

[31] Page P. Organosulfur Chemistry-Synthetic Aspects. London: Academic Press, 1995.

[29] Khorshidi A., Shariati Sh. Sulfuric Acid Functionalized MCM-41 Coated on Magnetite Nanoparticles as a Recyclable Core-shell Solid Acid Catalyst for Three-component Condensation of Indoles, Aldehydes and Thiols. RSC Adv. 2014;4:41469-75.

[30] Nikoofar K., Gorji S. Zirconium Oxy Dichloride Octahydrate: A Green Lewis Acid

COPYRIGHTS



© 2022 by the authors. Licensee PNU, Tehran, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY4.0) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)