

تهیه و شناسایی نانوکامپوزیت جدید $GO / Co_3O_4-MoO_3$ و اکسیداسیون کاتالیزوری سولفیدها به عنوان شبه عامل مواد سمی گوگردی

محمد رضا خوشرو^۱، حسن حسینی منفرد^{۲*}

۱- گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان ۲- گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان. نویسنده مسئول.

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله پژوهشی	مقدمه: آلاینده های سمی زیادی از ترکیبات گوگردی برای اهداف مختلف از جمله تهدیدات تروریستی استفاده می شود. یافتن روش های نوین برای خنثی سازی این ترکیب مورد علاقه شیمیدان های نظامی می باشد.
تاریخچه مقاله دریافت: ۱۳۹۴/۸/۲۲ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۳۰	روش کار: نانوکامپوزیت جدید به روش خود اتصالی تهیه شد و با استفاده از آنالیز عنصری، پراش اشعه ایکس (SAX)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و طیف سنجی مادون قرمز (FT-IR) مشخصه یابی گردید.
کلید واژگان آلاینده های سمی، نانوکامپوزیت، اکسیداسیون کاتالیزوری سولفیدها، مواد سمی گوگردی.	یافته ها: توانایی فعالیت کاتالیزوری نانوکامپوزیت به وسیله اکسیداسیون تیوانیسول با هیدروژن پراکسید مورد ارزیابی قرار گرفت. اکسید شدن تیوانیسول عالی بود. افزایش دما موجب تولید انتخاب پذیرتر محصول سولفون گردید.
نویسنده مسئول Email: monfared@znu.ac.ir	نتیجه گیری: نانوکامپوزیت به دست آمده می تواند ترکیبات گوگردی را به عنوان شبه عامل سمی، با روش اکسید کردن خنثی سازی کند و توانمندی متفاوتی را در اکسیداسیون ترکیبات مختلف گوگردی از خود نشان دادند.

مقدمه

اولین مواد رفع آلودگی کننده، پودر رنگ برکلسیم هیپوکلریت یا سدیم هیپوکلریت بودند که در برابر عوامل شیمیایی جنگی به کار رفتند. اما این مواد به دلیل نداشتن پایداری، از کاربرد گسترده محروم شدند. محلول رفع آلودگی شماره ۲ (DS₂) یک فرمولاسیون کلی دیگر است که در برابر گونه هایی از عوامل شیمیایی سمی مانند خردل (HD) و سارین (GB) مناسب بوده است. اما این مواد پس از تماس طولانی موجب خوردگی در سطح فلز می شود و رنگ را تخریب می کند. به این دلیل، نیاز به توسعه محلول رفع آلودگی عوامل شیمیایی جنگی مستعد وجود دارد که غیرخورنده، غیرسمی، غیرمشتعل بوده و از نظر زیست محیطی امن باشد. در سال های اخیر تعداد بسیار زیادی مطالعه پژوهشی در این زمینه انجام شده است (۱).

دومیکو (Damico) (۱) نوع مشابهی از کربن را در مقابل سیمولنت سولفورمستارد توسعه داد. این نوع کربن بر پایه کربن فعال بارور شده با پلی اکسومتال ها که تیواتر را اکسید کرد و این، روش کاربردی برای کاهش سمیت عوامل جنگی از جمله سولفورمستارد می باشد. به دنبال این پراساد (۱، ۲، ۳، ۴) کربن های بارور شده مختلفی را برپایه $NaOH$, CrO_3 , Mg

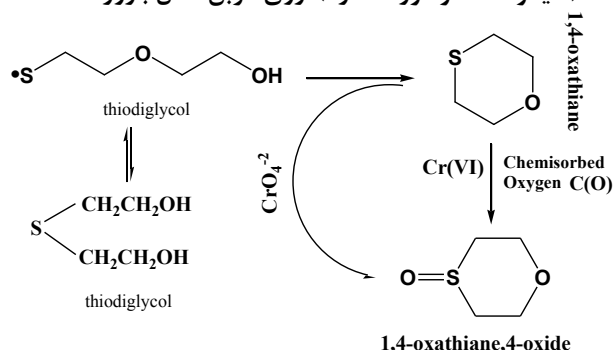
$(NO_3)2.6H_2O$, $RuCl_3.3H_2O$ توسعه دارد و آنها را

برای کاهش اثر سولفورمستارد و ترکیبات مشابه آن مانند تیودی گلیکول، دی اتیل سولفات و دی بوتیل سولفات ارزیابی کرد. این عوامل متحمل واکنش های هیدرولیز، حذف و اکسیداسیون با محل های فعال روی کربن بارور شده. بر پایه مطالعات تجربی انجام شده تیودی گلیکول بر روی کربن بارور شده با $NaOH$, CrO_3 مشخص شد که تیودی گلیکول به $4-O$ اکساتیا، و $4-O$ اکساتیان $4-$ اکساید تبدیل شد.

(تصویر ۱)

تصویر ۱: مسیر واکنش دی تیوگلیکول

(سیمولنت سولفورمستارد) روی کربن فعال بارور شده



۳۰٪ و آمونیوم مولیبدات ۴ آبه از شرکت آلمانی مرک، کبالت استات ۴ آبه ۹۸٪ از شرکت دی جونگ کره، کلروفرم ۹۹٪ و ان - هگزان ۹۹٪ از شرکت ایرانی مجللی تهیه شدند. مشخصه یابی با استفاده از پراش اشعه ایکس (XRD-6000)، با پرتوی $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$) با سرعت اسکن ۵ بر دقیقه در محدوده 2θ از ۵۱ تا ۸۰۱. موفولوژی نانو کامپوزیت با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (FE-SEM) مدل JOEL-S4700 و طیف سنجی مادون قرمز (FT-IR) و آنالیز عنصری انجام شد.

تهیه و خالص سازی گرافن اکسید

گرافن اکسید با روش بهینه شده هامر تهیه شد (۱، ۲). گرافیت (۱، ۵ گرم) و سدیم نیترات (۱، ۵ گرم) در حمام آب یخ با اسید سولفوریک ۹۸٪ (۷۰ میلی لیتر) مخلوط شد. پرمنگنات پتاسیم (۹ گرم) به آرامی به مخلوط اضافه شد و حاصل در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۲ ساعت هم خورد. سپس ۱۰۰ میلی لیتر آب دیونیزه اضافه شد و دما برای ۳۰ دقیقه حدود ۹۰ درجه سانتیگراد ضمن هم خوردن ثابت ماند. مقدار ۳۰۰ میلی لیتر آب دیونیزه به آرامی اضافه شد. دما به ۴۰ درجه سانتیگراد کاهش یافت و ۱۰ میلی لیتر پراکسید هیدروژن ۳۰٪ به صورت قطره قطره اضافه شد. واکنش به مدت ۲۰ دقیقه هم خورد. مخلوط سانتریفیوژ و با اسید کلرید ریک ۱ ملار و آب دیونیزه تارسیدن به PH خنثی ۷ شسته شد. حاصل در دمای ۶۰ به مدت ۸ ساعت خشک گردید.

تهیه نانو کامپوزیت $\text{Co}_3\text{O}_4\text{-MoO}_3$

داخل یک بوته چینی مقدار ۵ میلی مول استات کبالت ۴ آبه و ۷۱/۰ میلی مول هپتا مولیبدات ۴ آبه (نسبت مولی کبالت : مولیبدن = ۱:۱) باهم مخلوط شد و با حداقل آب دیونیزه خمیر شد. حاصل به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه قرار گرفت تا خمیر خشک شود سپس در دمای ۶۵۰ درجه به مدت ۶ ساعت کلسینه گردید.

تهیه نانو کاتالیزور $\text{GO / Co}_3\text{O}_4\text{-MoO}_3$

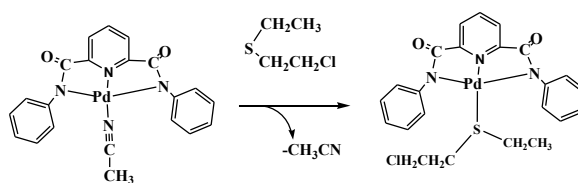
نانو کاتالیست با روش خود اتصالی ساده تهیه شد (۴) ۳۰۰ میلی گرم گرافن اکسید در ۲۴ میلی لیتر دی متیل فرمامید (DMF) برای ۲ ساعت در دمای اتاق اولتراسونیک گردید. محلول دومی که حاوی نانو کامپوزیت $\text{Co}_3\text{O}_4\text{-MoO}_3$ در ۲۰ میلی لیتر کلروفرم بود و ۲ ساعت اولتراسونیک شده بود به صورت قطره قطره به محلول اولی ضمن اولتراسونیک اضافه شد و به مدت ۱ ساعت اولترا سونیک ادامه داشت. نانو کامپوزیت جداسازی و دو بار شسته شد. سپس در دمای ۵۵ درجه سانتیگراد به مدت ۸ ساعت خشک گردید.

مطالعات نشان داد که سولفورمستارد روی کربن فعال بارور شده با NaOH , CrO_3 , $\text{Mg}(\text{NO}_3) \cdot 2.6\text{H}_2\text{O}$ هیدرولیز می شود و محصولاتی شبیه به تیو دی گلیکول ایجاد می کند. همچنین مشخص شده است که در برابر $\text{C/RuCl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ به دی ونیل سولفون تبدیل می شود. بعد از گزارش بالا، بیرسینق (۱، ۲) کربن فعال بارور شده با پلی اکسومتال ها را توسعه داد و کربن ASC را بهبود بخشید و آنها را برای کاهش اثر عوامل شیمیایی جنگی بویژه سولفورمستارد به کار گرفت. آنها کربن را با پلی اکسومتال ها مانند ۱۱- مولیبدات-۱ وانادو فسفریک اسید، سیلیکو تنگستیک اسید، فسفوتنگستیک اسید، به همراه $\text{RuCl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ برای مطالعه کاهش اثر سولفورمستارد بارور کردند. سولفورمستارد واکنش داده شده با کربن فعال بارور شده با پلی اکسومتال ها تشکیل محصولات غیر سمی مانند ۴۱- اکسوتیان، سولفورمستارد سولفواکسید و سولفورمستارد سولفون را دادند. واکنش سولفورمستارد با کربن آغشته به $\text{NaOH} / \text{CrO}_3 / \text{EDA}$ تولید ۴۱- تیازان می کند. سولفورمستارد با آمونیاک حاصل شده از تجزیه انبارداری کربن فعال بارور شده وارد واکنش می شود و ۴۱- تیازان تولید می کند.

تحقیقات انجام شده در سال ۲۰۱۳ میلادی نشان داد که کمپلکس های کیلیتی پالادیم می توانند با مولکول نیم سولفورمستارد واکنش دهد و آنرا به عنوان لیگاند بپذیرد (۱، ۲). شمای شماره (۴) چگونگی پیوند شدن کلرواتیل اتیل سولفید را نشان می دهد. (تصویر ۲)

تصویر ۲: شمار محصول واکنش نیم سولفورمستارد با

کمپلکس خرچنگی Pd^{2+}

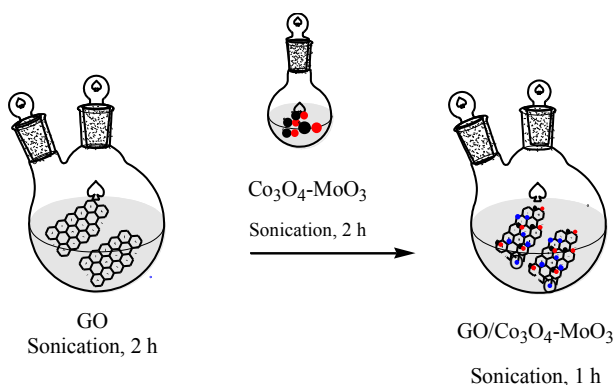


در این مطالعه تهیه نانو کامپوزیت جدید $\text{GO-CO}_3\text{O}_4\text{-MoO}_3$ توصیف شد. گرافن اکسید سنتز شده به جای بستر کربنی قرار داده شد و طی یک مرحله با نانو کامپوزیت اکسید کبالت و مولیبدن بارور گردید. مشخصه یابی با روش های طیف سنجی و آنالیز عنصری صورت گرفت. سپس شرایط واکنش با ماده گوگردی تیوانیسول بهینه سازی و میزان اثر خنثی سازی کاتالیزور جدید با ترکیبات گوگردی به عنوان شبه عامل عوامل سمی گوگردی مورد مطالعه قرار گرفت.

روش کار

مواد شامل پودر گرافیت، دی متیل فرمامید ۹۹٪، آب اکسیژنه

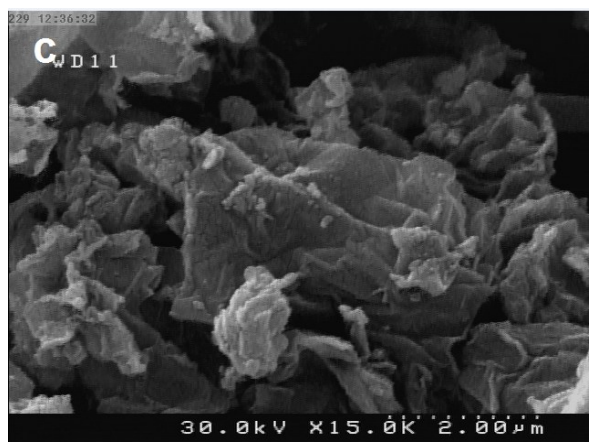
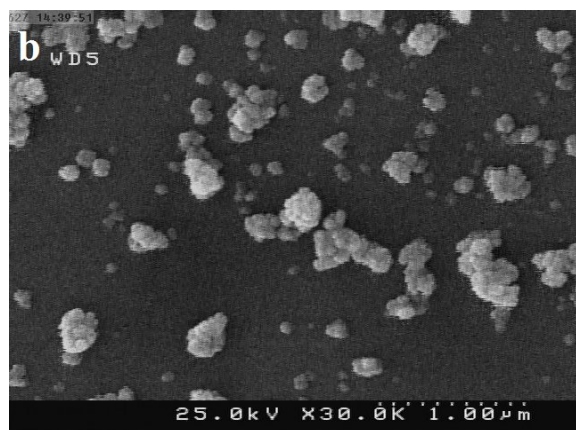
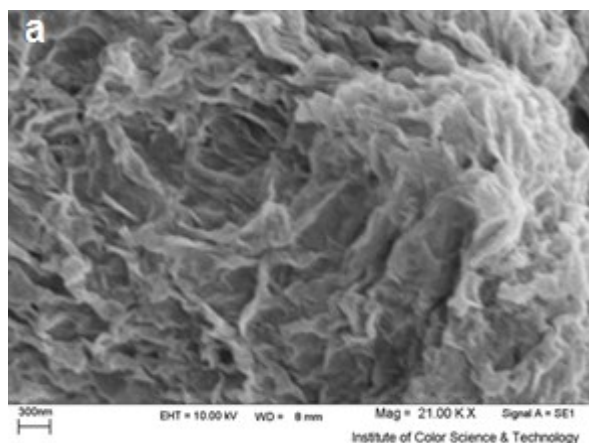
تصویر ۳: تهیه نانوکامپوزیت $GO/Co_3O_4-MoO_3$



یافته ها

در ابتدا GO تهیه شد و نانوکامپوزیت $Co_3O_4-MoO_3$ با استفاده از کبالت استات و آمونیوم مولیبدات و کلسینه کردن در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد بدست آمد. کاتالیزور با روش خوداتصال ساده تهیه گردید. (تصاویر ۳ و ۴)

تصویر ۴: تصاویر SEM از GO و FE-SEM از $Co_3O_4-MoO_3$ و $GO/Co_3O_4-MoO_3$ استفاده شده در واکنش کاتالیزوری را نشان می دهد.



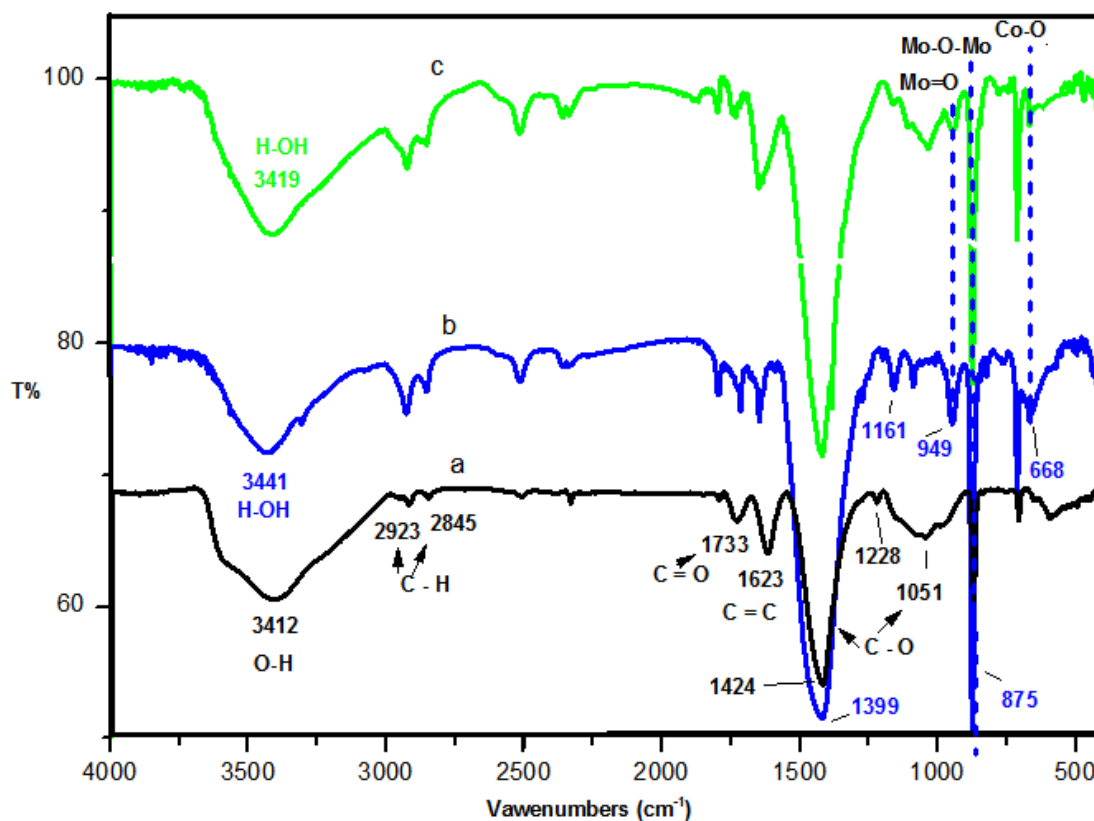
داده شده است. همانطور که در شکل ۴ a مشاهده می شود نمونه پودر GO باند کششی O-H از C-OH را در ناحیه 3412 cm^{-1} و دو باند مربوط به ارتعاش متقارن H-C-H را در 2923 و 2845 cm^{-1} نشان داد. همچنین ارتعاش کششی گروه C=O مربوط به COOH در 1733 cm^{-1} و باند خمشی O-H از C-OH و خمشی C=C در 1623 cm^{-1} و ارتعاش اپوکسی در 1051 و 981 cm^{-1} ظاهر شد (۷، ۴، ۳ و ۸). شکل ۲ b باندهای کششی پیوند فلز-اکسیژن را در 593 و 668 cm^{-1} نشان داد که خود تاییدی بر شکل گرفتن اکسید اسپینل مکعبی Co_3O_4 است. باند دیده شده در 3430 cm^{-1} و 1630 cm^{-1} مربوط به باند ارتعاشی کششی و خمشی مولکولهای آب

با بررسی مرفولوژی سطح لایه های GO گرافن اکسید مشاهده گردید. نانو ذرات کامپوزیت تایید شد (شکل ۱b). تصویر قرار گرفتن نانو ذرات بر روی گرافن اکسید به وضوح دیده شد و نشان داد که به خوبی بر روی سطح گرافن توزیع شدند (شکل ۱c). همچنین این نانو ذرات بعد از انجام واکنش کاتالیزوری بر روی لایه های گرافن قرار داشتند (شکل ۱d). حضور کاتالیزور بعد از انجام واکنش خود نشان دهنده پیوند قوی بین G-OOH و نانو ذرات $Co_3O_4-MoO_3$ می باشد. ساختار و مشخصه یابی کامپوزیت توسط طیف سنجی مادون قرمز FT-IR برای $GO/Co_3O_4-MoO_3$ و $Co_3O_4-MoO_3$ در محدوده 400 تا 4000 cm^{-1} در تصویر ۵ نشان

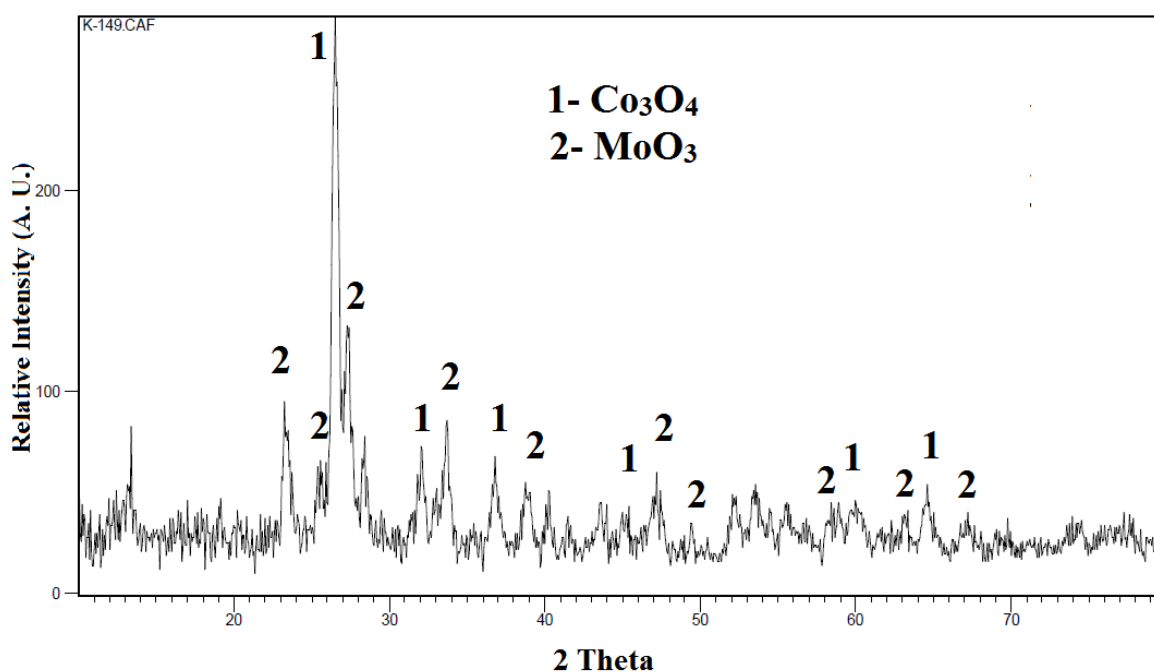
می باشد (۹، ۱۰، ۱۱). پیک 882 cm^{-1} مربوط به Mo-O-Mo (۱۲، ۱۳) و باند 596 cm^{-1} نشان دهند اکسید MoO_3 می باشد (۱۲).

جذب شده می باشد. باند در محدوده ۹۰۰ تا ۱۱۰۰ مربوط است به ویژگی های ارتعاش کششی یونهای پیوند Mo=O و باند کششی کوچک 949 cm^{-1} مربوط به Mo=O ترمینال

تصویر ۵: طیف FT-IR $\text{GO/C}_3\text{O}_4\text{-MoO}_3$ ، b) $\text{C}_3\text{O}_4\text{-MoO}_3$ ، c) GO



نمودار ۱. اکسیداسیون تیوانیسول توسط $\text{GO/C}_3\text{O}_4\text{-MoO}_3^a$



برای یافتن بهترین حلال، حلال های دی کلرو متان، کلروفرم، استونیتریل، متابل و اتانل بکار گرفته شد و مشخص گردید که حلال استونیتریل کارایی بهتری دارد (جدول شماره ۱ ردیف ۱-۴). اکسیداسیون تیوانیسول با اکسیدان H_2O_2 در استونیتریل در مدت ۱۰ دقیقه با استفاده از ۰.۰۱ g کاتالیزور و ۲ mmol و ۲.۷ mmol آب اکسیژنه در دمای بهینه ۴۰ درجه سانتیگراد انجام شد. واکنش ها با گاز کروماتوگرافی (GC) تا کامل شدن دنبال گردید. نتایج در جدول ۱ خلاصه شد. علاوه بر سولفوکسید، سولفون نیز تولید شد (۱۲) افزایش دما منجر به تولید بیشتر سولفون می گردد (جدول شماره ۱. ردیف ۸ و ۹). واکنش های کنترل انجام شد و کاتالیست $GO/Co_3O_4-MoO_3$ بدون MoO_3 اکسید کننده اثری بر اکسید کردن ترکیب گوگردی نداشت (جدول شماره ۱. ردیف ۱۰ و ۱۱).

اندازه های به دست آمده از طیف XRD باند های تیز و شدت بالا را نشان داد که نشانگر کریستال بودن خوب نانوکامپوزیت $GO/Co_3O_4-MoO_3$ می باشد. باندها در:

$2\theta = 26.2^\circ, 32^\circ, 38.6^\circ, 45^\circ, 59.9^\circ, 65^\circ$ مربوط به (۴۴۰), (۵۱۱), (۴۰۰), (۲۲۲), (۲۲۰), (۳۱۱)

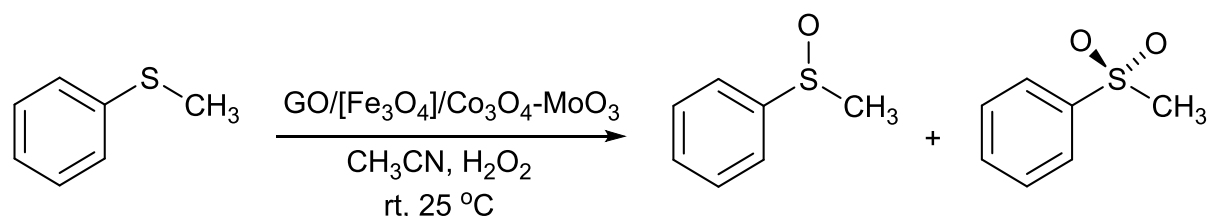
انعکاس دهنده Co_3O_4 و باندها در:

around $2\theta = 23.2^\circ, 25.1^\circ, 27.3^\circ, 33.2^\circ, 38.9^\circ, 47^\circ, 49.2^\circ, 58.2^\circ, 64.1^\circ, 66.7^\circ$ مربوط به (۱۱۰), (۰۴۰), (۰۲۱), (۱۱۱), (۰۶۰), (۰۶۱), (۰۰۲), (۰۸۱), (۰۶۲).

(۱۵۲) به ساختار اورتورومبیک MoO_3 مربوط است.

فعالیت کاتالیزوری نانو کامپوزیت $GO/Co_3O_4-MoO_3$ ترکیب گوگردی متیل فنیل سولفید (تیوانیسول) مورد بررسی قرار گرفت. واکنش با توجه به نوع حلال، مقدار کاتالیزور، زمان و دمای واکنش بهینه گردید جدول شماره ۱.

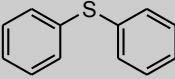
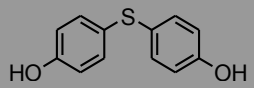
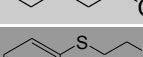
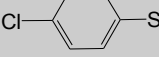
جدول ۱. اکسیداسیون تیوانیسول توسط $GO/Co_3O_4-MoO_3^a$



ردیف	حلال	H_2O_2 /Sulfide نسبت مولی	دما (°C)	راندمان. (%)	RSO انتخاب پذیری (%)	RSO ₂ انتخاب پذیری (%)	زمان (min)
۱	CH ₃ Cl	۲,۷:۲	۴۰	۵۸	۳۹	۶۱	۱۰
۲	EtOH	۲,۷:۲	۴۰	۸۳	۴۳	۵۷	۱۰
۳	MeOH	۲,۷:۲	۴۰	۹۱	۵۱	۴۹	۱۰
۴	CH ₃ CN	۲,۷:۲	۴۰	۱۰۰	۵۳	۴۷	۱۰
۵	CH ₃ CN	۲,۷:۲	۲۵	۱۰۰	۶۵	۳۵	۲۰
۶	CH ₃ CN	۲,۷:۲	۴۰	۱۰۰	۵۳	۴۹	۱۰
۷	CH ₃ CN	۲,۷:۲	۶۰	۱۰۰	۱۸	۸۲	۵
۸	CH ₃ CN	۱:۱	۴۰	۹۵	۴۳	۵۷	۱۰
۹	CH ₃ CN	۲:۱	۴۰	۱۰۰	۶۱	۳۹	۱۰
۱۰	CH ₃ CN	no H_2O_2	۴۰	۱۶	۹۴	۶	۱۰
۱۱	No Cat. /CH ₃ CN	۲,۷:۲	۴۰	۰	۰	۰	۱۰

a شرایط واکنش: $GO/Co_3O_4-MoO_3$ 10 mg (8×10^{-3} mmol), H_2O_2 2.7 mmol, ۳۰٪ b میزان تبدیل به محصول و انتخاب پذیری بر اساس مقدار سابستریت اولیه می باشد. شرایط بهینه برای نانوکامپوزیت $GO/Co_3O_4-MoO_3$ بدست آمد و با توجه به این شرایط ترکیبات گوگردی شبه عامل عوامل آلوده کننده و سمی تحت واکنش قرار گرفت و نتایج در جدول شماره ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. خنثی سازی شبه عامل الایندهای سمی با اکسیداسیون ترکیبات گوگردی توسط $\text{GO}/\text{Co}_3\text{O}_4\text{-MoO}_3^a$

ردیف	ترکیب گوگردی	راندمان (%) زمان (دقیقه)	RSO انتخاب پذیری (%)	RSO ₂ انتخاب پذیری (%)	TON ^c
۱		۱۰۰ (۱۰)	۵۲	۴۸	۶۶۷
۲		۱۰۰ (۱۰)	۱۱	۸۹	۶۶۷
۳		۱۰۰ (۱۰)	۸۳	۱۷	۶۶۷
۴		۹۶ (۱۰)	۴۲	۵۸	۶۴۰
۵		۹۵ (۱۰)	۵۹	۴۱	۶۳۴
۶		۴۹ (۱۰)	۵۰	۵۰	۶۲۷
۷		۹۱ (۶۰)	۷۳	۲۷	۱۴۰
۸		۹۵ (۶۰)	۶۹	۳۱	۲۳۳
۹		۲۳ (۱۰)	۹۴	۶	۱۵۳

a شرایط واکنش: $\text{GO}/\text{Co}_3\text{O}_4\text{-MoO}_3$ 10 mg (8×10^{-3} mmol)، H_2O_2 2.7 mmol، ۳۰٪، ماده اولیه ۲ mmol، دما ۴۰ درجه سانتیگراد b میزان تبدیل به محصول و انتخاب پذیری بر اساس مقدار سابستریت اولیه می باشد.

$$^c \text{TON} = [\text{sulfoxide} + \text{sulfone}] / [\text{catalyst}].$$

نتایج به دست آمده از چهار بار انجام واکنش کاتالیزوری $\text{GO}/\text{Co}_3\text{O}_4\text{-MoO}_3$ در جدول شماره ۳ آورده شده است. در این حالت ۱۰ میلی گرم کاتالیزور، ۲ میلی مول تیوانیسول، ۳ میلی لیتر حلال استونیتریل و ۲.۷ میلی مول اکسیدان آب اکسیژنه در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ دقیقه صورت گرفت.

جدول ۳. به کارگیری چهار مرحله از کاتالیزور $\text{GO}/\text{Co}_3\text{O}_4\text{-MoO}_3^a$ و سنجش توانایی اکسیواسیون تیوانیسول

شماره استفاده	راندمان (%) زمان (دقیقه)	RSO انتخاب پذیری (%)	RSO ₂ انتخاب پذیری (%)
تازه	۱۰۰ (۱۰)	۵۶	۴۴
مرحله ۱	۹۲ (۱۰)	۵۷	۴۳
مرحله ۲	۸۴ (۱۰)	۶۲	۳۸
مرحله ۳	۷۲ (۱۰)	۶۱	۳۹
مرحله ۴	۶۹ (۱۰)	۶۰	۴۰

تشکر و قدردانی

نویسنده ها از دانشگاه زنجان به منظور پشتیبانی از این مطالعه تشکر می کنند.

نتیجه گیری

به طور خلاصه ما نانو کامپوزیت جدید را تهیه کردیم. توسط روش های طیف سنجی آنرا شناسایی و مشخصه یابی نمودیم. کاتالیزت تهیه شده را برای خنثی سازی آلاینده های گوگردی و شبه عامل مواد سمی گوگردی به کار گرفتیم. نتایج نشان داد که این نانو کامپوزیت توانایی خنثی سازی و اکسید کردن ترکیبات گوگردی را به طور موثر دارد و از آن می توان در ماسکهای شیمیایی و فیلترهای هوایی استفاده کرد.

References

- 1- Singh, B., et al., Decontamination of Chemical Warfare Agents (Review Article). 2010, 2010. 60(4): p. 14.
- 2- Damico, G.R. Destruction of thioether of mustard analogue by divanado decamolybdo-phosphonic acid. Chemical Abstracts, 1997, 126, 224933.
- 3- Beer Singh; Prasad G. K.; Suryanarayana, M.V.S. & Banerjee, S. The reaction of thiodiglycol on metalimpregnated carbon. Carbon, 2001, 39(14), 2131-142.
- 4- Prasad, G.K. & Beer Singh. Reactions of sulphur mustard on impregnated carbons. J. Hazardous Mater, 2004, 116(3), 213-17.
- 5- Prasad, G.K.; Beer Singh.; Suryanarayana, M.V.S. & Batra, B.S. Kinetics of degradation of sulphur mustard on impregnated carbons. J. Hazardous Mater. 2005, 121(1-3), 159-65.
- 6- Prasad, G.K. & Beer Singh. Impregnated carbon for the degradation of diethyl sulphide. J. Hazardous Mater, 2005, 126(1-3), 195-97.
- 7- Abha, S.; Amit, S.; Beer Singh; Suryanarayana, M.V.S.; Ganesan, K.; Sekhar, K. & Dwivedi, K.K. Development and evaluation of modified whetlerite, an adsorbent material for in-situ degradation of sulphur mustard. Carbon, 2006, 44, 907-12.
- 8- Abha, S.; Saxena, Amit.; Beer Singh; Mamta S.; Suryanarayana, M.V.S.; Semwal, R.P.; Ganesan, K. & Sekhar, K. In-situ degradation of sulphur mustard and its simulants on the surface of impregnated carbon systems. J. Hazard. Mater, 2006, B133, 106-12.
- 9- Qi-Qiang Wang, Rowshan Ara Begum, Victor W. Day, and Kristin Bowman-James, Chemical Mustard Containment Using Simple Palladium Pincer Complexes: The Influence of Molecular Walls, J. A.C.S. 2013
- 10- Dell'Amico, D. B.; Calderazzo, F.; Colo, F. D.; Guglielmetti, G.; Labella, L.; Marchetti, F. Inorg. Chim. Acta 2006, 359, 127-35.
- 11- W.S. Hummers, R.E. Offeman, Preparation of graphitic oxide, J. Am. Chem. Soc. 80 (1958) 1339
- 12- M. Fu, Q.Z. Jiao, Y. Zhao, H.S. Li, Vapor diffusion synthesis of CoFe₂O₄ hollowsphere/graphene composites as absorbing materials, J. Mater. Chem. A 2 (2014) 735-44
- 13- Zakir Çaldıran, Mehmet S. inofo ro g lu , Önder Metin , Sakir Aydogan , Kadem Meral, Space charge limited current mechanism (SCLC) in the grapheme, J. Alloys Comp 631 (2015) 261-65.
- 14- Onder Metina, S_ akir Aydogan , Kadem Meral, new route for the synthesis of graphene oxide-Fe₃O₄ (GO-Fe₃O₄), nanocomposites and their Schottky diode applications, J. Alloys Comp, 2014, vol. 585, pp. 681-88
- 15- Yang, H.; Li, F.; Shan, C.; Han, D.; Zhang, Q.; Niu, L.; Ivaska, A. J. Mater. Chem. 2009, 19, 4632-4638.
- 16- Jeong, H. K.; Lee, Y. P.; Jin, M. H.; Kim, E. S.; Bae, J. J. Chem. Phys. Lett. 2009, 470, 255-58.
- 17- Titelman, G. I.; Gelman, V.; Bron, S.; Khalfin, R. L.; Cohen, Y.; Bianco-Peled, H. Carbon 2005, 43, 641-49.
- 18- Shan, C. S.; Yang, H. F.; Han, D. X.; Zhang, Q. X.; Ivaska, A.; Niu, L. Langmuir 2009, 25, 12030-33.
- 19- Xu, C.; Wang, X.; Yang, L. C.; Wu, Y. P. J. Solid State Chem. 2009, 182, 2486-2490.
- 20- A. V. Murugan, T. Muraliganth and A. Manthiram, Chem. Mater., 2009, 21, 5004-6.
- 21- Sarkar, A.; Pramanik, S.; Acharya, A.; Pramanik, P. A novel sol- gel synthesis of mesoporous ZrO₂-MoO₃/WO₃ mixed oxides. Microporous Mesoporous Mater. 2008, 115, 426-31.
- 22- Wachs, I. E. Raman and IR studies of surface metal oxide species on oxide supports: Supported metal oxide catalysts. Catal. Today 1996, 27, 437-55
- 23- Zhang, H. L.; Shen, J. Y.; Ge, X. Physicochemical properties of Fe-Mo oxide catalysts under condition of selective oxidation of toluene. Chin. J. Catal. 1993, 14, 263-69.
- 24- Reddy, B. M.; Chowdhury, B. Dispersion and thermal stability of MoO₃ on TiO₂-ZrO₂ mixed oxide support. J. Catal. 1998, 179, 413-19.
- 25- Lietti, L.; Nova, I.; Ramis, G.; Dall'Acqua, L.; Busca, G.; Giamello, E.; Forzatti, P.; Bregani, F. Characterization and reactivity of V₂O₅-MoO₃/TiO₂ De-NO_x SCR catalysts. J. Catal. 1999, 187, 419- 35.
- 26- Sohn, J. R.; Chun, E. W.; Pae, Y. I. Spectroscopic studies on ZrO₂ modified with MoO₃ and activity for acid catalysis. Bull. Korean Chem. Soc. 2003, 24, 1785-92.
- 27- J. A. Azurdia, A. McCrum and R. M. Laine, Systematic synthesis of mixed-metal oxides in NiO-Co₃O₄, NiO-MoO₃, and NiO-CuO systems via liquid-feed flame spray pyrolysis, J. Mater. Chem., 2008, 18, 3249-58.
- 28- K. Kaczorowska, Z. Kolarska, K. Mitka and P. Kowalski, Tetrahedron, 2005, 61, 8315.

Synthesis and Characterization of New GO/Co₃O₄-MoO₃ Nanocomposite and Catalytic Sulfide Oxidation as a Simulant of Sulfur Toxic Materials

Khoshrou M, Hosseini Monfared H*

Abstract

Introduction :There are many toxic sulfur materials that can be used for terrorism targets. The neutralization of these materials is favorable for Military chemists.

Methods :A new nanocomposite was synthesized by a simple liquid self-assembly method and characterized by SEM, small angle X-ray diffraction (SAX), FTIR.

Results :The catalytic potential of the nanocomposite was evaluated in the oxidation of thioanisole with hydrogen peroxide. The conversion of thioanisole was excellent. Increase the temperature reaction, increased the selectivity toward sulfone

Conclusion :In addition, the synthesized nanomaterial exhibited verifying their potential application in sulfur oxidation as a simulant of toxic materials.

Keywords :Toxic pollutants, nanocomposite, catalytic sulfide oxidation, sulfur toxic materials

*Corresponding author: Department of Chemistry, University of Zanzan. monfared@znu.ac.ir.