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

محمدرضا خوشرو[۱]، حسن حسینی منفرد[۲*]

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

اطلاعات مقاله

نوع مقاله
پژوهشی

تاریخچه مقاله
دریافت : ۱۳۹۴/۸/۲۲
پذیرش : ۱۳۹۴/۱۱/۳۰

کلید واژگان
آلاینده های سمی، نانوکامپوزیت، اکسیداسیون کاتالیزوری سولفیدها، مواد سمی گوگردی.

نویسنده مسئول
Email:
monfared@znu.ac.ir

چکیده

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 ترکیبت مورد علاقه شیمیدان های نظامی می باشد.

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.

یافته ها: توانایی فعالیت کاتالیزوری نانوکامپوزیت به وسیله اکسیداسیون تیوآنیسول با هیدروژن پراکسید مورد ارزیابی قرار گرفت. اکسید شدن تیوآنیسول عالی بود. افزایش دما موجب تولید انتخاب پذیرتر محصول سولفون گردید.

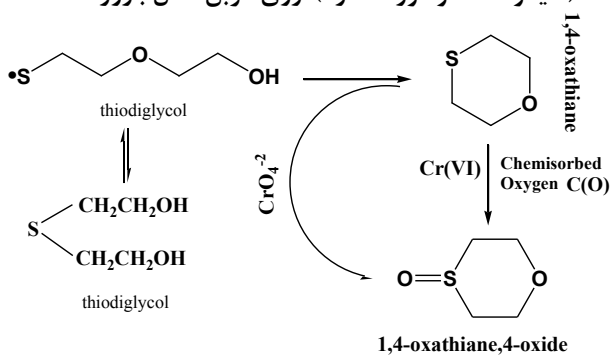
نتیجه گیری: نانوکامپوزیت به دست آمده می تواند ترکیبات گوگردی را به عنوان شبه عامل سمی، با روش اکسیدکردن خنثی سازی کند و توانمندی متفاوتی را در اکسیداسیون ترکیبات مختلف گوگردی از خود نشان دادند.

مقدمه

اولین مواد رفع آلودگی کننده، پودر رنگ‌برکلسیم 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(DS_2) یک فرمولاسیون کلی دیگر است که در برابر گونه‌هایی 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 می‌شود و رنگ را تخریب می‌کند. به این دلیل، نیاز به توسعه محلول رفع آلودگی عوامل شیمیایی جنگی مستعد وجود دارد که غیرخورنده، غیرسمی، غیرمشتعل بوده و از نظر زیست‌محیطی امن باشد. در سال‌های اخیر تعداد بسیار زیادی مطالعه پژوهشی در این زمینه انجام‌شده 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 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, CrO3, Mg (NO3)2.6H2O, RuCl3.3H2O توسعه دارد و آ نها را برای کاهش اثر سولفولرمستارد 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, CrO3مشخص شد که تیودی گلیکول به ۱و۴- اکساتیا، و ۱و۴- اکساتیان ۴- اکساید تبدیل شد. (تصویر ۱)

تصویر۱: مسیر واکنش دی تیوگلیکول (سیمولنت سولفورمستارد) روی کربن فعال بارور شده

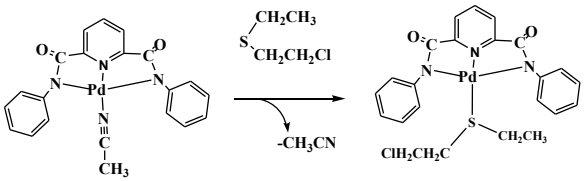


[Downloaded from npwjm.ajaums.ac.ir on 2025-07-13]

مطالعات نشان داد که سولفورمستارد روی کربن فعال بارور شده با NaOH, CrO3, Mg (NO3) 2.6H2O هیدرولیز می شود و محصولاتی شبیه به تیو دی گلیکول ایجاد می کند. همچنین مشخص شده است که در برابر C/ RuCl3.3H2O , به دی ونیل سولفون تبدیل می شود. بعد از گزارش بالا، بیرسینق(۱،۲) کربن فعال بارورشده با پلی اکسومتال ها را توسعه داد و کربنASCرا 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-۱وانادو فسفریک اسید، سیلیکو تنگستیک اسید، فسفوتنگستیک اسید، به همراه $RuCl_3.3H_2O$ 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 ۱و۴- اکسوتیان، سولفورمستاردسولفواکسید و سولفورمستاردسولفون را دادند. واکنش سولفورموستارد با کربن آغشته به NaOH / CrO3 / EDA تولید ۱و۴- تیازان می کند. سولفورموستارد با آمونیاک حاصل شده از تجزیه انبارداری کربن فعال بارورشده وارد واکنش می شود و۱و۴- تیازان تولید می کند.

تحقیقات انجام شده در سال ۲۰۱۳ میلادی نشان داد که کمپلکس های کیلیتی پالادیم می توانند با مولکول نیم سولفورموستارد واکنش دهد و آنرا به عنوان لیگاند بپذیرد (۱، ۲). شمای شماره(۴) چگونگی پیوند شدن کلرواتیل اتیل سولفید را نشان می دهد. (تصویر۲)

تصویر ۲: شمار محصول واکنش نیم سولفورمستارد با کمپلکس خرچنگی Pd^{2+}



در این مطالعه تهیه نانو کامپوزیت جدیدGO/-Co_3O_4 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 تیوآنیسول 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 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 CuKa, (l=1.5406 ˚A)با سرعت اسکن ۵ بر دقیقه در محدوده ۲θ از ۵۱ تا ۸۰۱. موفولوژی نانو کامپوزیت با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی(FE-SEM)مدلJOEL-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 ش(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 دمای۴۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۲ ساعت هم خورد. سپس ۱۰۰ میلی لیتر آب دیونیزه اضافه شد و دما برای ۳۰ دقیقه حدود۹۰ درجه سانتیگراد ضمن هم خوردن ثابت ماند. مقدار ۳۰۰ میلی لیتر آب دیونیزه با 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 اسیدکلرید ریک ۱ ملار و آب دیونیزه تارسیدن به PH خنثی ۷ شسته شد. حاصل در دمای۶۰ به مدت ۸ ساعت خشک گردید.

تهیه نانوکامپوزیت Co_3O_4-MoO_3

داخل یک بوته چینی مقدار ۵ میلی مول استات کبالت ۴ آبه و ۰/۷۱ 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 نانوکاتالیزور GO /Co_3O_4-MoO_3

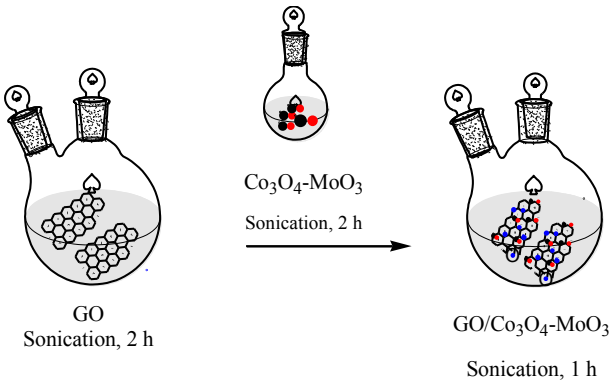
نانو کاتالیست با روش خود اتصالی ساده تهیه شد(؟) ۳۰۰ میلی گرم گرافن اکسید در ۲۴ میلی لیتر دی متیل فرمامید(DMF) برای ۲ ساعت در دمای اتاق اولتراسونیک گردید. محلول دومی که حاوی نانو کامپوزیت Co_3O_4-MoO_3در ۲۰ میلی لیتر کلروفرم بود و ۲ ساعت اولتراسونیک شده بود به صورت قطره قطره به محلول اولی ضمن اولتراسونیک 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.

[Downloaded from npwjm.ajaums.ac.ir on 2025-07-13]

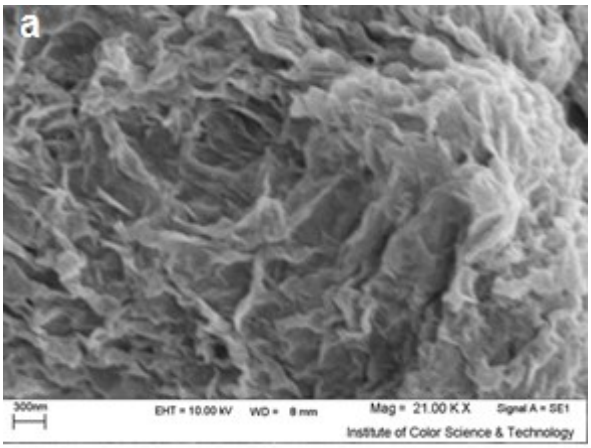
یافته ها

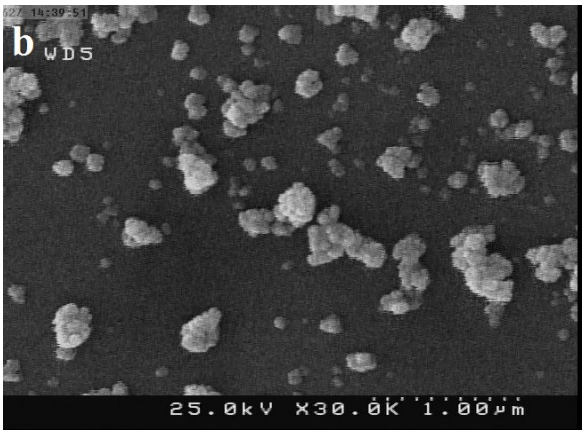
در ابتدا GO تهیه شد و نانوکامپوزیت Co_3O_4-MoO_3 با استفاده از کبالت استات و آمونیوم مولیبدات و کلسینه کردن در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد بدست آمد. کاتالیزور با روش خوداتصالی ساده تهیه گردید. (تصاویر ۳ و ۴)

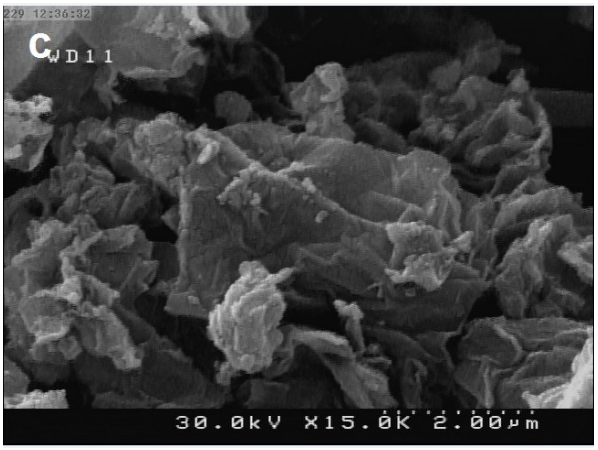
تصویر ۳: تهیه نانوکامپوزیت GO/Co_3O_4-MoO_3



تصویر ۴ :تصاویر SEM از GO و FE-SEM از Co3O4-MoO3 ، GO/Co3O4-MoO3 و GO/Co3O4-MoO3 استفاده شده در واکنش کاتالیزوری را نشان می دهد.







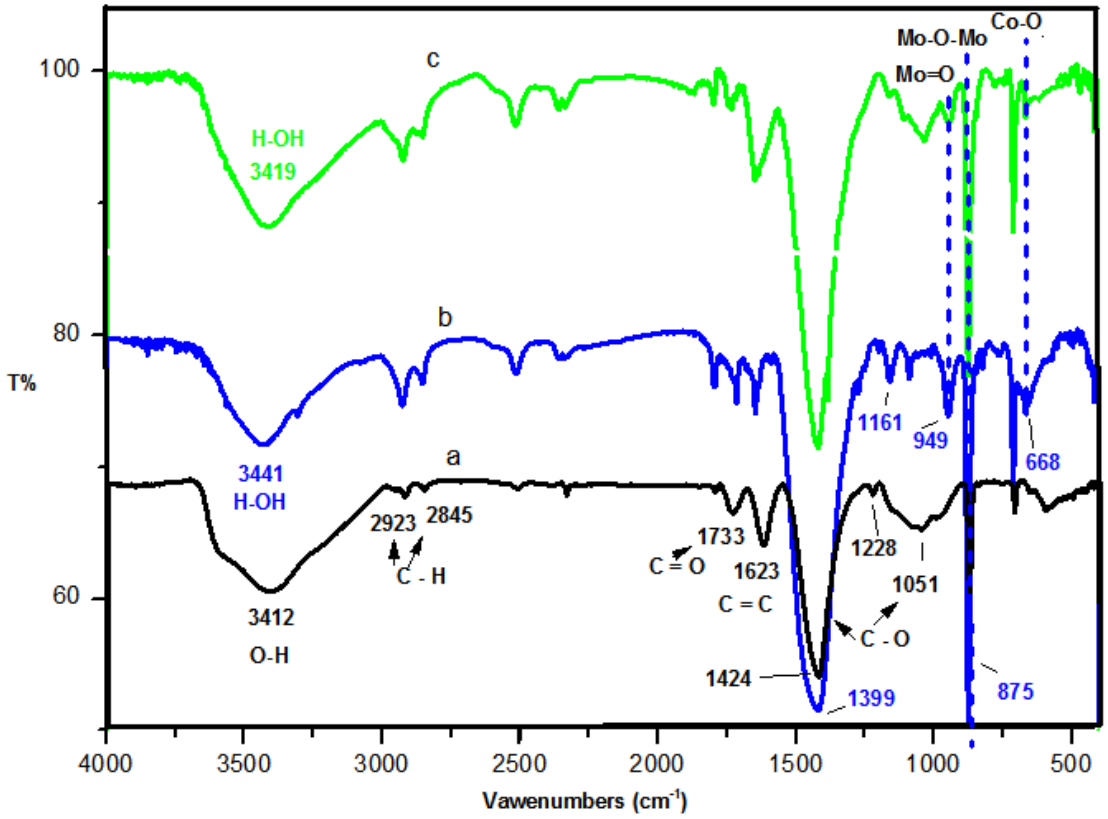
با بررسی مرفولوژی سطح لایه های GO گرافن اکسید مشاهده گردید. نانو ذرات کامپوزیت تایید شد(شکل b۱). تصویر قرار گرفتن نانو ذرات بر روی گرافن اکسید به وضوح دیده شد و نشان داد که به خوبی بر روی سطح گرافن توزیع شدند (شکل c ۱). همچنین این نانو ذرات بعد از انجام واکنش کاتالیزوری بر روی لایه های گرافن قرار داشتند(شکل d۱). 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 GO/Co_3O_4-MoO_3 در محدوده ۴۰۰ تا ۴۰۰۰ cm-1 در تصویر ۵ نشان 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 $3412cm^{-1}$ و دو باند مربوط به ارتعاش متقارن H-C-H را در ۲۹۲۳ 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 ۱۰۵۱ و $981\ cm^{-1}$ ظاهر شد(۳،۴،۵،۶،۷و ۸). شکل b ۲ باندهای کششی پیوند فلز- اکسیژن را در ۵۹۳ و $668\ cm^{-1}$ نشان داد که خود تاییدی بر شکل گرفتن اکسید اسپینل مکعبی Co_3O_4 است. باند دیده شده در ۳۴۳۰ و cm^{-1} ۱۶۳۰مربوط به باند ارتعاشی کششی و خمشی مولکولهای آب

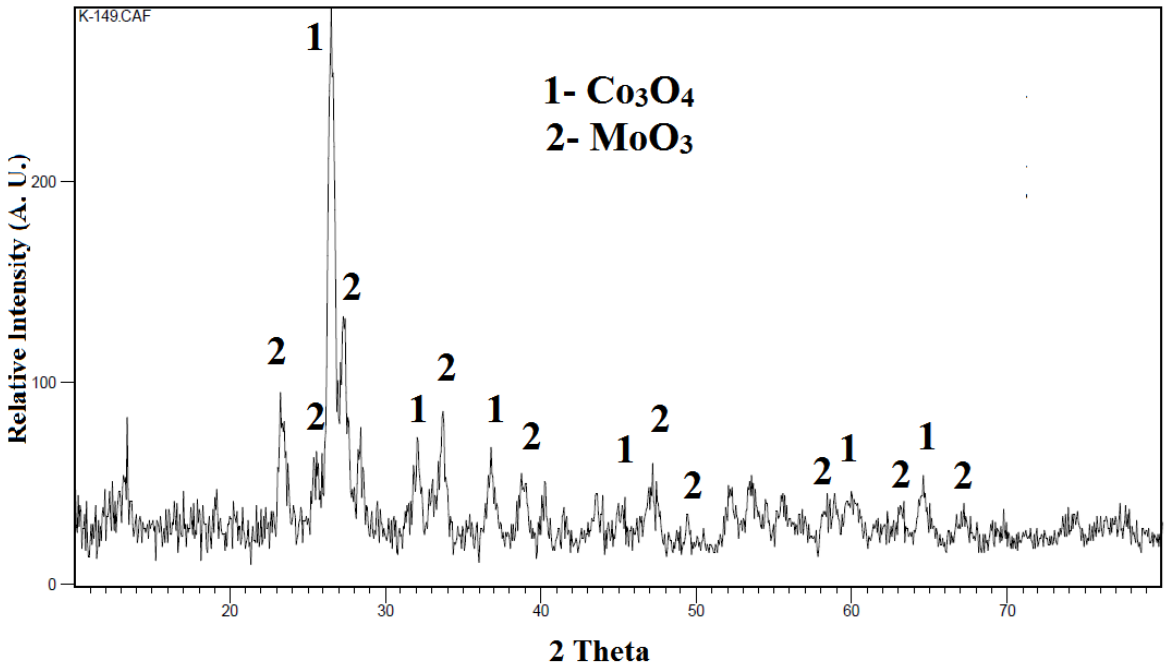
[Downloaded from npwjm.ajaums.ac.ir on 2025-07-13]

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 cm^{-1} ۹۴۹ مربوط به Mo=O ترمینال می باشد(۹، ۱۰، ۱۱). پیک cm^{-1} ۸۸۲ مربوط به Mo–O–Mo(۱۲، ۱۳) و باند cm^{-1} ۵۹۶ نشان دهند اکسید MoO_3می باشد(۱۲).

تصویر ۵: . طیف. -FT GO (a))، b) Co_3O_4-MoO_3)، c) GO/ Co_3O_4-MoO_3



نمودار ۱. اکسیداسیون تیوآنیسول توسط GO/Co_3O_4-MoO_3[a]



[Downloaded from npwjm.ajaums.ac.ir on 2025-07-13]

اندازه های به دست آمده از طیفXRD 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:

26.2°, 32°, 38.6°, 45°, 59.9°, 65°= 2θ

مربوط به (۳۱۱),(۲۲۰),(۲۲۲),(۴۰۰),(۵۱۱),(۴۴۰)

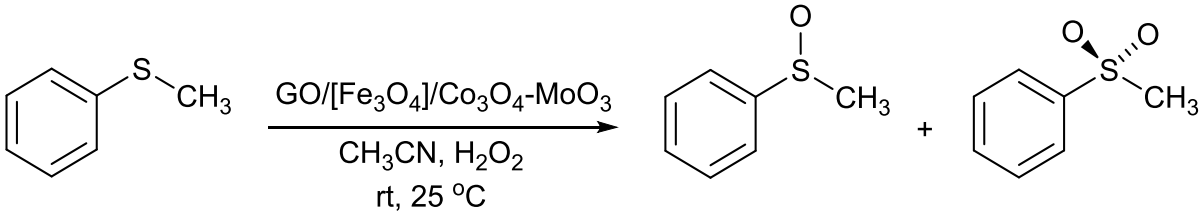
انعکاس دهنده Co_3O_4و باندها در:

around 2θ =23.2°, 25.1°, 27.3°, 33.2°, 38.9°, 47°, 49.2°, 58.2°, 64.1°, 66.7° مربوط به(۱۱۰), (۰۴۰), (۰۲۱), (۱۱۱), (۰۶۰), (۰۶۱), (۰۰۲), (۰۸۱), (۰۶۲), (۱۵۲) به ساختار اورتورومبیک? MoO_3مربوط است.

فعالیت کاتالیزوری نانو کامپوزیت GO/ Co3O4-MoO3بر ترکیب گوگردی متیل فنیل سولفید (تیوآنیسول) مورد بررسی قرار گرفت. واکنش با توجه به نوع حلال، مقدار کاتالیزور، زمان و دمای واکنش بهینه گردید جدول شماره ۱.

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 تیوآنیسول با اکسیدان H_2O_2 در استونیتریل در مدت ۱۰ دقیقه با استفاده از g ۰,۰۱ 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 اکسید کننده اثری بر اکسید کردن ترکیب گوگردی نداشت(جدول شماره۱. ردیف ۱۰ و۱۱).

جدول ۱. اکسیداسیون تیوآنیسول توسط GO/Co_3O_4-MoO_3[a]

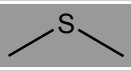
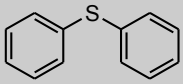
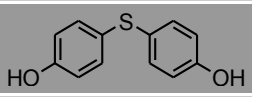
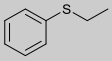
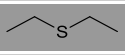
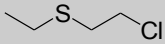
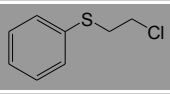


ردیف	حلال	H_2O_2/Sulfide نسبت مولی	دما (°C)	راندمان. (٪)	RSO انتخاب پذیری (٪)b	RSO_2 انتخاب پذیری (٪)b	زمان (min)
۱	CH_3Cl	۲,۷:۲	۴۰	۵۸	۳۹	۶۱	۱۰
۲	EtOH	۲,۷:۲	۴۰	۸۳	۴۳	۵۷	۱۰
۳	MeOH	۲,۷:۲	۴۰	۹۱	۵۱	۴۹	۱۰
۴	CH_3CN	۲,۷:۲	۴۰	۱۰۰	۵۳	۴۷	۱۰
۵	CH_3CN	۲,۷:۲	۲۵	۱۰۰	۶۵	۳۵	۲۰
۶	CH_3CN	۲,۷:۲	۴۰	۱۰۰	۵۳	۴۹	۱۰
۷	CH_3CN	۲,۷:۲	۶۰	۱۰۰	۱۸	۸۲	۵
۸	CH_3CN	۱:۱	۴۰	۹۵	۴۳	۵۷	۱۰
۹	CH_3CN	۲:۱	۴۰	۱۰۰	۶۱	۳۹	۱۰
۱۰	CH_3CN	no H_2O_2	۴۰	۱۶	۹۴	۶	۱۰
۱۱	No Cat. /CH_3CN	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، bمیزان تبدیل به محصول و انتخاب پذیری بر اساس مقدار سابستریت اولیه می باشد.. شرایط بهینه برای نانوکامپوزیت GO/Co_3O_4-MoO_3بدست 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.

[Downloaded from npwjm.ajaums.ac.ir on 2025-07-13]

جدول ۲. خنثی سازی شبه عامل الایندهای سمی با اکسیداسیون ترکیبات گوگردی توسط $GO/Co_3O_4\text{-}MoO_3$[a]

ردیف	ترکیب گوگردی	راندمان(٪) زمان (دقیقه)	RSO انتخاب پذیری (٪)b	RSO_2 انتخاب پذیری (٪)b	TON [c]
۱		(۱۰) ۱۰۰	۵۲	۴۸	۶۶۷
۲		(۱۰) ۱۰۰	۱۱	۸۹	۶۶۷
۳		(۱۰) ۱۰۰	۸۳	۱۷	۶۶۷
۴		(۱۰) ۹۶	۴۲	۵۸	۶۴۰
۵		(۱۰) ۹۵	۵۹	۴۱	۶۳۴
۶		(۱۰) ۴۹	۵۰	۵۰	۶۲۷
۷		(۶۰) ۹۱	۷۳	۲۷	۱۴۰
۸		(۶۰) ۹۵	۶۹	۳۱	۲۳۳
۹		(۱۰) ۲۳	۹۴	۶	۱۵۳

a شرایط واکنش: $GO/Co_3O_4\text{-}MoO_3$ 10 mg (8×10^{-3} mmol) ، H_2O_2 2.7 mmol ٪۳۰ ، ماده اولیه ۲mmol دما ۴۰ درجه سانتیگراد b میزان تبدیل به محصول و انتخاب پذیری بر اساس مقدار سابستریت اولیه می باشد.

[c] TON = [sulfoxide + sulfone]/[catalyst].

نتایج به دست آمده از چهار بار انجام واکنش کاتالیزوری $GO/Co_3O_4\text{-}MoO_3$ در جدول شماره۳ آورده شده است. در این حالت ۱۰ میلی گرم کاتالیزور، ۲ میلی مول تیوآنیسول، 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 $GO/Co_3O_4\text{-}MoO_3$[a] و سنجش توانایی اکسیواسیون تیوآنیسول

شماره استفاده	راندمان(٪) زمان (دقیقه)	RSO انتخاب پذیری b(٪)	RSO_2 انتخاب پذیریb(٪)
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

نتیجه گیری

به طور خلاصه ما نانو کامپوزیت جدید را تهیه کردیم. توسط روش های طیف سنجی آنرا شناسایی و مشخصه یابی نمودیم. کاتالیست تهیه شده را برای خنثی سازی آلاینده های گوگردی و شبه عامل مواد سمی گوگردی به کار گرفتیم. نتایج نشان داد که این نانوکامپوزیت 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.

تشکر و قدردانی

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

[Downloaded from npwjm.ajaums.ac.ir on 2025-07-13]

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 decamolybdophosphonic 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.inoforog 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 Aydog˘an , Kadem Meral, new route for the synthesis of graphene oxide–Fe_3O_4 (GO–Fe_3O_4), 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.; Achariya, A; Pramanik, P. A novel sol− gel synthesis of mesoporous ZrO2−MoO_3/WO_3 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 MoO_3 on TiO_2−ZrO_2 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 V_2O_5−MoO_3/TiO_2 De-NOx 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. Kaczoro wska, Z. Kolarska, K. Mitka and P. Kowalski, Tetrahedron, 2005, 61, 8315.

[Downloaded from npwjm.ajaums.ac.ir on 2025-07-13]

Synthesis and Characterization of New GO/Co_3O_4-MoO_3 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 Zanjan. monfared@znu.ac.ir.

[Downloaded from npwjm.ajaums.ac.ir on 2025-07-13]