

«مقاله پژوهشی»

سنتز RGO/SiO_2 و $\text{RGO/SiO}_2/\text{Fe}_3\text{O}_4$: بررسی خواص ساختاری، مغناطیسی و عملکرد فوتوکاتالیستی آن در تخریب رنگ متیل نارنجی

فاطمه ابراهیمی تزنگی^۱، سیده هدی حکمت آراء^۲، جمیله سیدی زدی^{۳*}

۱. دانشجوی دکتری فیزیک ماده چگال، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

۲. استادیار، گروه فیزیک، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

۳. دانشیار، گروه فیزیک، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۰۷

Synthesis of RGO/SiO₂ and RGO/SiO₂/Fe₃O₄: Investigating its Structural, Magnetic Properties and Photocatalytic Activity on Methyl Orange Degradation

F. Ebrahimi Tazangi¹, S. H. Hekmatara², J. Seyedyazdi^{3*}

1. Ph.D. Student in Condensed Matter Physics, Vali-e-Asr University of Rafsanjan

2. Assistant Professor, Department of Physics, Vali-e-Asr University of Rafsanjan

3. Associate Professor, Department of Physics, Vali-e-Asr University of Rafsanjan

Received: 2020/07/21 Accepted: 2020/08/28

Abstract

In this study, at first, reduced graphene oxide (RGO) has been synthesized by Hummers' method and then RGO/SiO₂ binary compound and finally RGO/SiO₂/Fe₃O₄ ternary compound were synthesized by co-precipitation method. Magnetic properties of nanoparticles were investigated by VSM and their morphology was studied by SEM. Crystalline structure and functional groups and bonds analyzed by XRD and FTIR, respectively. The size of nanoparticles of iron-oxide, reduced graphene oxide/silicon dioxide, and iron-oxide/reduced graphene oxide/silicon-dioxide was respectively estimated as 11.9, 10.44, and 11.17 nm. Saturation magnetization of iron-oxide and ternary nanocomposite are obtained as 72 emu/g and 31.2 emu/g respectively that shows that by covering iron-oxide nanoparticles with non-magnetic materials, the obtained saturation magnetization decreases. Photocatalytic activity of the synthesized RGO/SiO₂/Fe₃O₄ was evaluated in the degradation of methyl orange dye (MO) as a pollutant under irradiation of ultraviolet light. Photocatalytic efficiency 51.59% was obtained. RGO/SiO₂/Fe₃O₄ composite with capable of photocatalytic activity with efficiency of 51.59% , was evaluated as a pollutant in the degradation of methyl orange (MO).

Keywords

Nanocomposite, Superparamagnetic, Photocatalytic Activity, Methyl Orange.

چکیده

در این مقاله ابتدا اکسیدگرافن کاهش یافته (RGO) به روش هامرز سنتز شد؛ سپس ترکیب دوگانه RGO/SiO₂ و در نهایت ترکیب سه گانه RGO/SiO₂/Fe₃O₄ به روش هم‌رسوبی تهیه شدند. خواص مغناطیسی ذرات به وسیله آتالیز VSM و ریخت‌شناسی نمونه‌ها به وسیله تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گرفت. ساختار بلوری و ویژگی‌های پیوندی نانوساختارها به ترتیب با استفاده از الگوی پراش پرتوی ایکس و طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروسخ مورد مطالعه قرار گرفت. اندازه نانوذرات اکسید آهن، اکسیدگرافن کاهش یافته/اکسیدسیلیکون و اکسید آهن/اکسیدگرافن کاهش یافته/اکسیدسیلیکون به ترتیب ۱۱٫۹، ۱۰٫۴۴ و ۱۱٫۱۷ نانومتر به دست آمد. مغناطش اشباع نانوذرات اکسید آهن و ترکیب سه تایی به ترتیب ۷۲ emu/g و ۳۱٫۲ emu/g به دست آمد که نشان دهنده این واقعیت است که وقتی سطح نانوذرات اکسید آهن با مواد غیرمغناطیسی پوشانده شود، مغناطش اشباع کاهش می‌یابد. فعالیت فوتوکاتالیستی کامپوزیت سنتز شده نیز بر پایه میزان تخریب متیل نارنجی (MO) به عنوان مدل آلاینده در مجاورت آن و در حضور امواج فرابنفش بررسی شد. کامپوزیت RGO/SiO₂/Fe₃O₄ قابلیت تخریب آلاینده متیل نارنجی با بازده ۵۱٫۵۹ درصد، به عنوان یک فوتوکاتالیست مؤثر در حذف متیل نارنجی را دارا بود.

واژگان کلیدی

نانوکامپوزیت، ابرپارامغناطیس، فعالیت فوتوکاتالیستی، متیل نارنجی.

مقدمه

در سال‌های اخیر، حفاظت از محیط زیست طبیعی، به ویژه کیفیت آب، به یک نگرانی عمده در سراسر جهان تبدیل شده است. آلودگی آب با توجه به استفاده بیش از حد و غیر قابل کنترل انتشار مواد سمی، یک تهدید مداوم برای انسان و محیط زیست است. بسیاری از فعالیت‌های صنعتی، مقدار زیادی آب را آلوده می‌کنند. تخلیه فاضلاب برخی از آنها، به خصوص صنایع نساجی، کاغذ، پلاستیک، زغال سنگ، مواد غذایی، پتروشیمی، صنایع دارویی و رنگ، حاوی مواد شیمیایی زیادی است که برای انسان و محیط زیست سمی هستند [۱-۲]. رنگ‌ها، یک گروه از آلاینده‌های آلی هستند که به طور گسترده در صنایع نساجی، کاغذ، صنایع چاپ، پتروشیمی، رنگرزی، داروسازی و غیره استفاده می‌شوند. افزایش اکسیژن مورد نیاز شیمیایی وجود ذرات جامد معلق و ترکیبات سمی فاضلاب موجب بروز مشکلات عمده‌ای در پساب‌ها و فاضلاب‌ها می‌شوند. رنگ‌ها به علت وجود حلقه‌های آروماتیک و فلزات و کلریدها در ساختارشان و همچنین به علت ممانعت از نفوذ نور در آب می‌توانند بر فعالیت آبزیان تأثیر منفی بگذارند [۳-۴].

گرافن تک لایه دو بعدی از اتم‌های کربن با پیوند sp^2 در یک شبکه لانه‌زنبوری است که به دلیل ویژگی‌های فوق‌العاده‌ای همچون خنثی بودن شیمیایی، هدایت حرارتی بالا، قابلیت عبور نور و رفتار فوق آب‌گریزی در مقیاس نانومتری، انقلابی در علم نانو ایجاد کرده است. گرافن خواص فیزیکی جالبی از خود نشان می‌دهد که پیش از آن در مقیاس نانو مشاهده نشده است. پایداری گرمایی بالا، هدایت الکتریکی و گرمایی بالا، انعطاف‌پذیری قابل توجه، مساحت سطح ویژه خیلی زیاد و ویژگی‌های کاتالیستی از ویژگی‌های قابل توجه گرافن است. با توجه به خواص منحصر به فردی که ورقه‌های گرافن دارد، دریچه جدیدی را در زمینه ساخت کامپوزیت‌های پایه گرافنی به منظور تولید مواد جدید با قابلیت‌های خاص گشوده است. این کامپوزیت‌های سنتز شده، در زمینه‌های مختلفی از جمله در قطعات اپتوالکترونیک، ذخیره انرژی، پیل‌های سوختی، حسگرها و فوتوکاتالیستی استفاده شده است [۵-۷]. از ویژگی‌های منحصر به فرد ورقه‌های گرافن، تحرک‌پذیری الکترونی

زیاد آنها، داشتن ناحیه سطحی زیاد و توانایی در جدایی حامل‌های بار است. همین امر سبب شده تا کامپوزیت‌های نانوذرات بر پایه گرافن کاربرد بسیار زیادی در حوزه فوتوکاتالیست برای حل مشکلات مربوط به آلودگی محیط زیست پیدا کنند و رشد این نانوذرات روی ورقه‌های گرافن می‌تواند باعث بهبود بهره فوتوکاتالیستی آنها شود [۸-۹]. مگنتیت مشهورترین ماده معدنی مغناطیسی روی زمین است. مگنتیت مغناطیس دایم از خود نشان می‌دهد. این ماده به دلیل گاف نواری نسبتاً کوچک رفتار شبه فلزی از خود نشان می‌دهد [۱۰-۱۱]. اکسید آهن یکی از نیم‌رساناهای بالقوه در زمینه فوتوکاتالیستی است و به نظر می‌رسد که جایگزین مناسبی برای ZnO و TiO_2 باشد. این ماده نانوساختار به دلیل حساسیت نوری بالا، پایداری گاف نواری، هزینه پایین و سازگاری با محیط زیست، واکنش سریع و توانایی بازده بالا در تجزیه آلاینده‌ها و همچنین حذف فلزات سنگین یکی از کاندیداهای نویدبخش برای نانومواد فوتوالکتریک و فوتوکاتالیست است [۱۲-۱۳].

حضور اکسیدگرافن در میان ذرات اکسید آهن، تعداد سایت‌های جذب کننده آلودگی را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر اکسید گرافن در این کامپوزیت پایداری اکسید آهن را افزایش می‌دهد، به طوری که می‌توان از آن در سیستم‌های آب جاری در طولانی مدت استفاده کرد [۱۴]. نقش ابتدایی گرافن علاوه بر جذب سطحی بالای آن، در این سیستم فوتوکاتالیستی نیم‌رسانا، پراکنده کردن الکترون منتقل شده به تراز هدایت، از طریق شبکه پیوندهای π آن است که مانع از فرآیند بازترکیب و در نتیجه بهبود عملکرد فوتوکاتالیستی می‌گردد [۱۵].

نانو ذرات سیلیکا نیز به علت دارا بودن گاف انرژی بزرگ، سطح مقطع مؤثر فوتوکاتالیست و در نتیجه فعالیت فوتوکاتالیستی و بازده آن را افزایش می‌دهد [۱۶].

متیل نارنجی با فرمول شیمیایی $(S_3NaO_3N_{14}H_{14}C)$ دارای جرم مولی ۳۳۳ مول معروف به هلیانتین است. متیل نارنجی (شناساگر اسید و باز) در محیط‌های اسیدی و بازی به ترتیب قرمز و زرد است. این ماده به طور گسترده در صنایع نساجی، کاغذ، پارچه، غذا و دارو به کار می‌رود و با ورود به بدن به وسیله میکروارگانیزم‌های موجود در روده از طریق سوخت‌وساز

می‌دهیم؛ سپس مقدار ۰/۸۱ mg از FeCl₃.6H₂O در حین هم زدن به سوسپانسیون اضافه می‌شود. پس از هم زدن شدید به مدت سی دقیقه تحت جو نیتروژن، ۳۰ mg از FeCl₂.4H₂O به محلول اضافه می‌شود و واکنش ۳۰ دقیقه دیگر زیر جو نیتروژن هم زده می‌شود. سپس ۴ ml محلول غلیظ آمونیاک به وسیله ۲۰ ml آب دیونیزه رقیق شده و قطره قطره به مخلوط اضافه می‌شود. پس از اتمام اضافه کردن آمونیاک به واکنش، محلول در دمای ۸۰ °C تحت جو نیتروژن به مدت دو ساعت حرارت داده می‌شود. در نهایت، مخلوط واکنش به وسیله سانتریفیوژ تا pH خنثی شستشو داده و در دمای ۵۰ °C به مدت ۲۴ ساعت خشک شد.

آزمایش فوتوکاتالیستی

برای انجام این تحقیق مقدار ۰/۰۰۵ گرم نانوکامپوزیت تهیه شده در ۲۵ میلی‌لیتر محلول رنگ (۰/۱ گرم بر لیتر) به مدت ۲۰ دقیقه در حمام فراصوت پراکنده می‌شود. سپس ۲ میلی‌لیتر از این محلول را برای نمونه اولیه برداشته و بقیه محلول زیر لامپ پر فشار جیوه و نور فرابنفش و بر روی همزن قرار می‌گیرد و هر ۳۰ دقیقه ۲ میلی‌لیتر از محلول مورد نظر برداشته می‌شود. نمونه‌برداری تا زمانی ادامه می‌یابد که محلول بی‌رنگ شود. با افزایش زمان رنگ نمونه‌ها کم‌رنگ‌تر می‌شود تا حدی که به‌طور کامل بی‌رنگ می‌شوند. این تغییر رنگ نشان‌دهنده تخریب رنگ به وسیله نانوبلورها است که طیف جذب هم این تخریب را تأیید می‌کند.

روش‌های آنالیز و اندازه‌گیری

مطالعه فاز بلوری و ثابت شبکه به وسیله پراش پرتو ایکس (XRD) انجام شد. اندازه متوسط بلورکها (D) از پهنا در نصف ارتفاع (FWHM) قله X-ray با استفاده از فرمول شرر محاسبه شد.

$$D = \frac{0.94\lambda}{\beta \cos\theta}$$

که در آن λ طول موج تابش پرتوی ایکس، β پهنای شدیدترین پیک در نصف ارتفاع و θ زاویه پراش براگ

به آمین‌های آروماتیک تبدیل و در نهایت منجر به سرطان روده می‌شود. به دلیل میزان بالای این رنگ در محیط فاضلاب‌های مختلف و اثرهای فراوان دوگانه این رنگ و همچنین کاربردهای زیاد آن و امکان سمیت و زیان‌های آن، حذف و جذب سطحی این رنگ یک نیاز اساسی به شمار می‌رود [۱۷].

روش آزمایش

سنتز اکسید گرافن

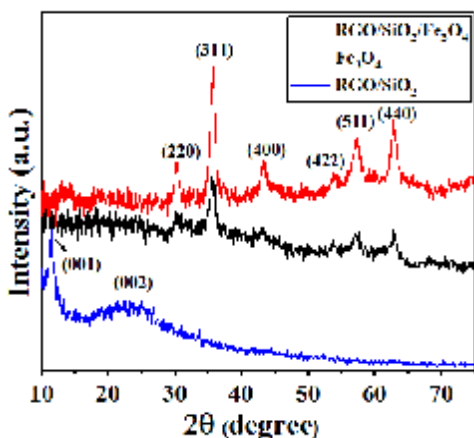
برای تهیه این نانوکامپوزیت ابتدا ۳۶ ml اسید سولفوریک به همراه ۵/۰۳ gr پودر گرافیت در یک حمام یخ با دمای ۵-۰ °C همزده می‌شود. سپس ۱۵/۰۲ gr پرمنگنات پتاسیم به آرامی به آن اضافه می‌شود و به مدت دو ساعت در این دما به هم می‌خورد. سپس مخلوط به حمام روغن با دمای ۴۲ °C منتقل می‌شود و تا دو ساعت به وسیله مگنت به هم می‌خورد. سپس طی چهار مرحله ۴۶ ml آب به مخلوط اضافه می‌شود و یک ساعت و نیم با تکان شدید به هم می‌خورد. در نهایت مقدار ۳۲ ml آب اکسیژنه به آن اضافه می‌شود تا رنگ مخلوط، خردلی روشن شود. محصول به دست آمده با آب و اتانول شستشو داده می‌شود و برای خشک شدن در آون تحت دمای ۶۰ °C قرار می‌گیرد.

سنتز اکسیدگرافن کاهش یافته/اکسیدسیلیکون

ابتدا مقدار ۰/۰۰۸ gr اکسید گرافن در ۱۰ ml اتانول ریخته و تحت امواج فراصوت قرار داده می‌شود؛ سپس مقدار ۰/۱ ml TEOS را در حین هم‌زدن به سوسپانسیون اضافه می‌کنیم و اجازه می‌دهیم تا کاملاً به هم بخورد؛ سپس قطره قطره آمونیاک به محلول اضافه می‌شود تا pH به ۱۰-۱۱ برسد. پس از گذشت ۲۴ ساعت محصول به دست آمده را با آب و اتانول چندین بار شستشو داده و در آون با دمای ۸۰ °C خشک می‌شود.

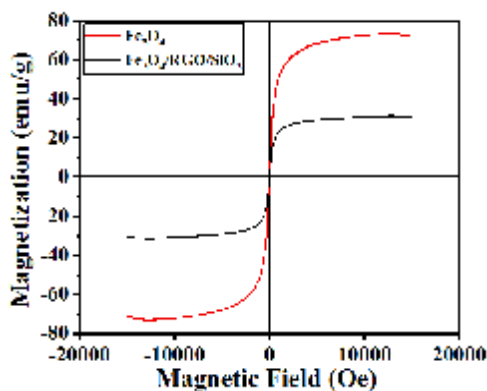
سنتز اکسید آهن/ اکسید گرافن کاهش یافته/ اکسید سیلیکون

در این مرحله مقدار ۰/۰۴ gr محصول به دست آمده از مرحله قبل را در ۳۰ ml آب دیونیزه حل می‌کنیم و به مدت سی دقیقه در معرض ارتعاش آلتراسونیک قرار



شکل ۱. پراش پرتوی ایکس نمونه‌های سنتز شده

شکل (۲) منحنی پسماند نمونه‌ها را در دمای اتاق و در میدان‌های ۱۵۰۰۰ - تا ۱۵۰۰۰ اورستد نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، منحنی مغناطش ذرات از مبدأ عبور می‌کند و در آنها میدان وادارندگی و مغناطش پسمانده مشاهده نمی‌شود؛ بنابراین می‌توان گفت که ذرات سنتز شده همگی در دمای اتاق ابرپارامغناطیس هستند. مقدار مغناطیس اشباع در نمونه‌های Fe_3O_4 و $Fe_3O_4/RGO/SiO_2$ به ترتیب ۷۲ emu/g و ۳۱٫۲ emu/g است. همچنین کاهش مقدار مغناطش اشباع در نمونه $Fe_3O_4/RGO/SiO_2$ نسبت به نمونه Fe_3O_4 به این دلیل است که سطح Fe_3O_4 با مواد غیرمغناطیسی RGO و SiO_2 پوشیده شده است [۱۹].



شکل ۲. منحنی پسماند نمونه‌های سنتز شده

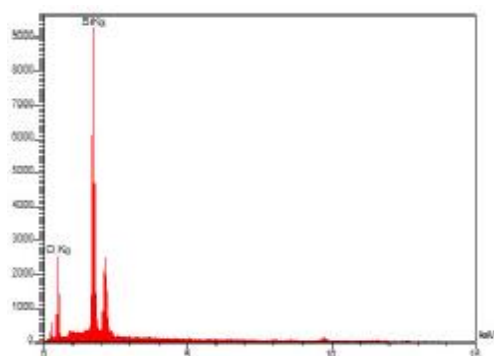
است. برای مطالعه ریخت‌شناسی و شکل ساختاری نمونه‌ها از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده شد. آنالیز عنصری با استفاده از EDS انجام شد. گروه‌های عاملی و پیوندهای تشکیل شده در نمونه‌ها با استفاده از آنالیز FTIR مورد بررسی قرار گرفتند. ویژگی مغناطیسی نانوذرات تولیدی نیز به وسیله دستگاه مغناطیس‌سنج نمونه ارتعاشی (VSM) در میدان مغناطیسی ۱۵- تا ۱۵ کیلو اورستد انجام گرفت.

یافته‌ها

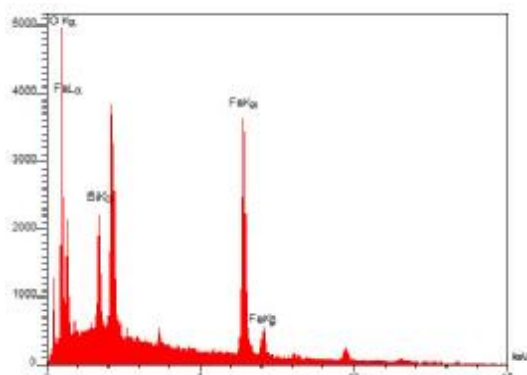
پراش پرتوی ایکس (XRD)

جهت بررسی بلوری بودن و شناسایی ساختار نانوذرات از آنالیز پراش پرتو ایکس استفاده شد. الگوی پراش پرتوی ایکس نمونه‌های تهیه شده، در شکل (۱) قله‌های پراش RGO/SiO_2 را در 11.4° و 26.7° ، که به ترتیب متناظر با پراش از صفحات (۰۰۱) و (۰۰۲) است، نشان می‌دهد. قله پهن در 26.7° نشان دهنده کاهش GO به RGO است. قله 23.7° نشان دهنده حضور SiO_2 در ترکیب است که نسبت به قله اصلی SiO_2 که در 21.8° هست، کمی جابه‌جا شده است که این جابه‌جایی به علت وجود RGO است [۱۸]. برای دو نمونه Fe_3O_4 و $Fe_3O_4/RGO/SiO_2$ الگوی پراش به ترتیب در 35.1° ، 44.7° ، 53.4° ، 62.9° ، 30.27° ، 35.65° ، 43.34° ، 53.84° ، 57.25° ، 62.85° درجه که متناظر با پراش به ترتیب از صفحات (۲۲۰)، (۳۱۱)، (۴۰۰)، (۴۲۲)، (۵۱۱)، (۴۴۰) است. وجود قله‌های مشابه برای دو نمونه Fe_3O_4 و $Fe_3O_4/RGO/SiO_2$ نشان دهنده پایداری فاز بلوری Fe_3O_4 در طول پوشش‌دهی به وسیله سیلیکا و اکسید گرافن کاهش یافته است [۱۹]. همه قله‌های Fe_3O_4 نشان دهنده ساختار اسپینل معکوس و بلوری شدن خوب نمونه‌ها هستند. همچنین الگوی XRD نمونه $Fe_3O_4/RGO/SiO_2$ مشابه الگوی نمونه Fe_3O_4 است زیرا پوشش RGO/SiO_2 ساختار Fe_3O_4 را تغییر نداده است. اندازه نانوذرات با استفاده از فرمول شرر در نمونه‌های RGO/SiO_2 و $Fe_3O_4/RGO/SiO_2$ به ترتیب ۱۰/۴۴ و ۱۱/۱۷ است.

جهت تشخیص نوع و درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده نمونه‌ها از آنالیز EDX استفاده شد. همان طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، حضور مقدار ۱۴٪ کربن، ۳۱٪/۸۰ اکسیژن و ۵۳٪/۴۰ سیلیکون نشان از سنتز موفقیت‌آمیز RGO/SiO₂ دارد. در شکل ۵ نیز مقدار ۱۶٪/۴۴ کربن، ۳۳٪/۲۴ اکسیژن، ۱۳٪/۸۰ سیلیکون، ۳۶٪/۵۱ آهن نشان از حضور آهن در نمونه RGO/SiO₂/Fe₃O₄ دارد.



شکل ۴. تصویر EDS از نمونه RGO/SiO₂



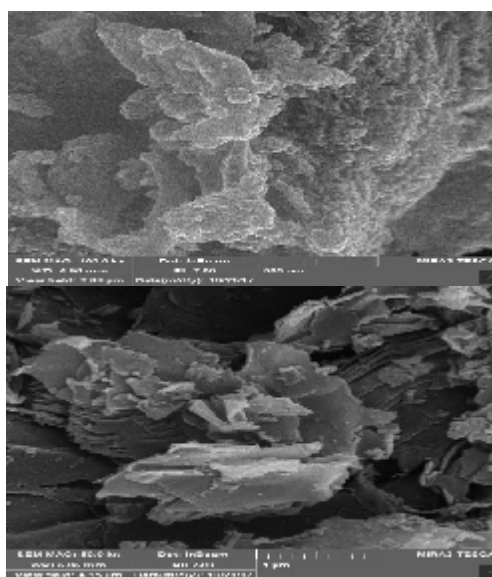
شکل ۵. تصویر EDS از نمونه RGO/SiO₂/Fe₃O₄

به منظور تعیین ساختار مولکولی و شناسایی ترکیبات آلی پیوندهای موجود در نمونه‌ها و همچنین شناسایی گروه‌های عاملی و پیوندهای موجود طیف FTIR نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

بررسی دقیق ریخت‌شناسی نمونه‌های سنتز شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی انجام گرفت. شکل ۳ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از نمونه‌ها را نشان می‌دهد. تصاویر SEM از کامپوزیت ورقه‌های نامنظم و انباشته اکسید گرافن را نشان می‌دهد. نانوذرات کروی SiO₂ بین ورقه‌های GO به صورت تصادفی توزیع شده‌اند. نانوذرات در بین لایه‌های GO از طریق تعامل گروه‌های کربونیل با TEOS و تشکیل پیوند Si-O-C به یکدیگر متصلند.

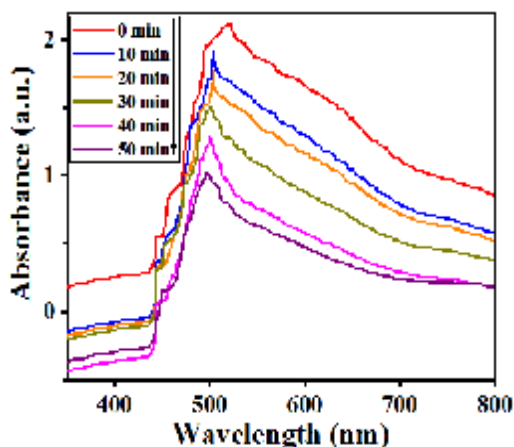
نانوذرات اکسید آهن ساختار شبه کروی و توزیع اندازه یکنواخت دارد. میانگین اندازه نانوذرات در حدود ۲۰ نانومتر است. اندازه متوسط بلورکها که به وسیله XRD از طریق معادله شرر کمتر از ۱۲ نانومتر به دست آمد، نتایج حاصل از FESEM را تأیید می‌کند. در بزرگ‌نمایی بالاتر، تجمع نانوذرات مغناطیسی به وضوح قابل مشاهده است. توزیع نانوذرات آگلومره بر روی صفحات GO همگن است. علاوه بر این، مناطق زیادی از صفحات GO بدون پوشش نانوذرات Fe₃O₄ وجود ندارد.

نانوذرات Fe₃O₄ مشاهده شده روی سطح لایه‌های RGO/SiO₂ نشان دهنده واکنش قوی بین Fe₃O₄ و RGO/SiO₂ است.



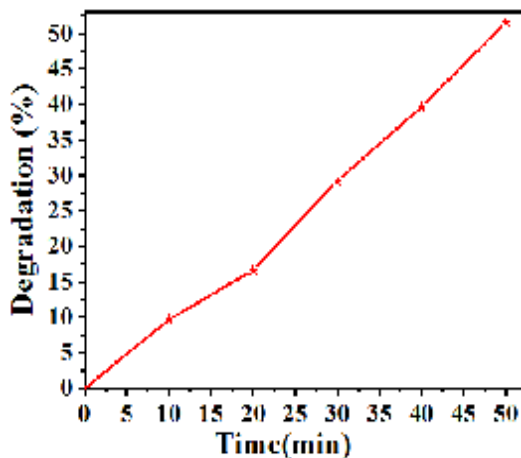
شکل ۳. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نمونه

(a): ترکیب دوتایی RGO/SiO₂; (b): ترکیب سه تایی RGO/SiO₂/Fe₃O₄

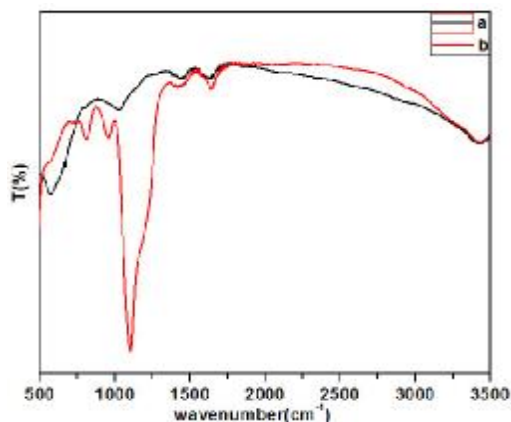


شکل ۷. طیف جذب تخریب متیل نارنجی مربوط به نمونه RGO/SiO₂/Fe₃O₄

به منظور تعیین بازده، نمودارهای C/C₀ و Ln C/C₀ برای تمام زمان‌ها محاسبه شد و شکل ۸ و ۹ نمودارهای C/C₀ و Ln C/C₀ نسبت به مدت زمان تابش نور فرابنفش را نشان می‌دهد.



شکل ۸. نمودار C/C₀ نسبت به مدت زمان تابش نور فرابنفش



شکل ۹. آنالیز FTIR ترکیبات سنتز شده؛ (a): ترکیب سه تایی؛ (b): ترکیب دوتایی

همان‌طور که در طیف FTIR هر دو نمونه مشاهده می‌شود، وجود نوارهای ارتعاشی در $3423/1627/1386$ و 672 cm^{-1} به ترتیب مربوط به ارتعاشات کششی گروه‌های OH روی سطح نانوذرات یا آب جذب شده سطحی [۱۸] و C=O ارتعاشی کششی و Si-O-C است. در نمونه a نوار ارتعاشی کششی در 672 cm^{-1} مربوط به گروه Fe-O است.

در بخش کاربردی عملکرد فوتوکاتالیستی نانوکامپوزیت RGO/SiO₂/Fe₃O₄ بررسی گردید. درصد تخریب متیل نارنجی به عنوان تابعی از فوتوکاتالیست‌های مختلف مورد آزمایش، قرار گرفت. نمونه‌ها در زمان‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفتند.

بیشینه جذب این آلاینده، قله‌ای در حدود ۵۰۰ نانومتر است که به‌عنوان یک پارامتر مهم در طول فرآیند فوتوکاتالیستی مورد استفاده قرار می‌گیرد که با افزایش زمان تابش نور فرابنفش، بیشینه جذب آن کاهش می‌یابد (شکل ۷). نتایج نشان داد که بعد از گذشت زمان‌های مورد نظر تابش نور فرابنفش، تخریب رنگ متیل نارنجی صورت گرفت. همچنین درصد تخریب با توجه به رابطه زیر

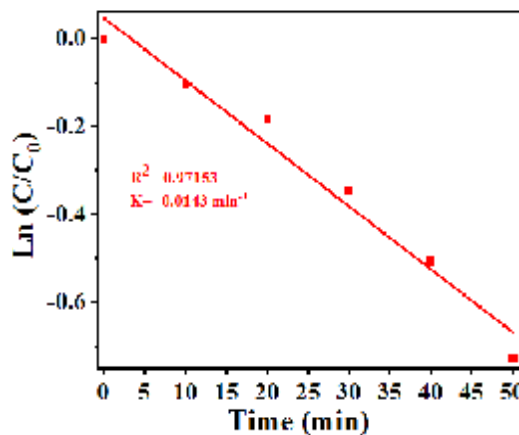
$$\frac{C - C_0}{C_0} \times 100$$

به‌دست آمد [۱۹].

مطابق شکل ۸، درصد جذب متیل نارنجی به وسیله کامپوزیت سه تایی ۵۱/۵۹ درصد است.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه ترکیبات دو تایی RGO/SiO₂ و سه تایی RGO/SiO₂/Fe₃O₄ با موفقیت سنتز شدند. اندازه میانگین بلورکها ۱۰/۴۴ و ۱۱/۱۷ به دست آمد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که ترکیب دوتایی غیرمغناطیسی RGO/SiO₂ با ورود Fe₃O₄ به ساختار، دارای خاصیت مغناطیسی می‌شود. نکته قابل اهمیت این است که نمونه‌ها همانند نانوذرات Fe₃O₄ خاصیت ابرپارامغناطیس نشان می‌دهند. فعالیت فوتوکاتالیستی کامپوزیت RGO/SiO₂/Fe₃O₄ سنتز شده نیز بر پایه میزان تخریب رنگ متیل نارنجی به عنوان مدل آلاینده در مجاورت آن و در حضور امواج فرابنفش بررسی شد. بر اساس نتایج آزمایش بازده فوتوکاتالیستی ۵۱/۵۹ درصد در زمان ۵۰ دقیقه به دست آمد.



شکل ۹. نمودار Ln C/C₀ نسبت به مدت زمان تابش نور فرابنفش

References

- [1] P. Majewski, A. Keegan, Surface properties and water treatment capacity of surface engineered silica coated with 3-(2 aminoethyl) aminopropyltrimethoxysilane, *Appl. Surf. Sci.*, 258 (2012) 2454–2458.
- [2] P. Niu, J. Hao, Physicochemical and Engineering Aspects, *Colloids Surf. A*, 431 (2013) 127.
- [3] G. Crini, Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review, *Bioresour. Technol.*, 97 (2006) 1061–1085.
- [4] H. Sun, C. Linyuan, L. Lehui, Magnetite/reduced graphene oxide nanocomposites: one step solvothermal synthesis and use as a novel platform for removal of dye pollutants, *Nano Res.*, 406 (2011) 550-562.
- [5] F. Zhu, Y. Wang, Y. Zhang and W. Wang, Synthesis of Fe₃O₄ nanorings/amine- functionalized reduced graphene oxide composites as supercapacitor electrode materials in neutral electrolyte, *Int. J. Electrochem. Sci.* 12 (2017) 7197–7204.
- [6] X. Zhang, W. Cai, L. Hao and S. Feng, Q. Lin and W. Jiang, Preparation of Fe₃O₄/reduced graphene oxide nanocomposites with good dispersibility for delivery of paclitaxel, *J. Nanomater.* 2017 (2017) 6702890.
- [7] J. Zhang, M. Liu and Z. Liu, T. Yang, Qi. He, K. Yang and H. Wang, Recent Advances and Applications of Semiconductor Photocatalytic Technology *J. Sol-Gel Sci. Technol.* 81 (2017) 424-431.
- [8] Q. Xiang, J. Yu, Graphene-based photocatalysts for hydrogen generation, *J. Phys. Chem. Lett.*, 4 (2013) 753-759.
- [9] P. Worajittiphon, K. Pingmuang, B. Inceesungvorn, N. Wetchakun, S. Phanchiphant, Enhancing the photocatalytic activity of ZnO nanoparticles for efficient rhodamine B degradation by functionalised graphene nanoplatelets, *Ceram. Int.*, 41 (2015) 1885-1889.
- [10] Y. L. Pang, S. Lim, H. C. Ong, W.T. Chong, Research progress on iron oxide based magnetic materials: Synthesis techniques and photocatalytic applications *Ceram. Int.*, 42 (2016) 9.

- [11] A. S. Teja, P.Y. Koh, Synthesis, properties, and applications of magnetic iron oxide nanoparticles, *Progress In Crystal Growth And Characterization of Materials*, 55, 2009, 22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pcrysgrow.2008.08.003>.
- [12] S. K. Maji, N. Mukherjee, Synthesis, characterization and photocatalytic activity of α -Fe₂O₃ nanoparticles *Polyhedron*, 33, 2012, 145.
- [13] N. A. Roslan, H. O. Lintang, L. Yuliati, Preparation of iron (III) oxide nanoparticles using a mesoporous carbon nitride template for photocatalytic phenol removal, *Mater. Res. Innov.*, 18, 2014, S6.
- [14] P. Knauth, J. Schoonman, Nanocrystalline, metals and oxide, Kluwer Academic Publisher, 2002.
- [15] L. Sun, Y. Wang, F. Raziq, Y. Qu, L. Bai, L. Jing, Enhanced photoelectrochemical activities for water oxidation and phenol degradation on WO₃ nanoplates by transferring electrons and trapping holes, *Sci. Rep.* 7 (2017) 1303-1310.
- [16] S. Balu, K. Uma, G. T. Pan, T. C. K. Yang and S. K. Ramaraj, Degradation of methylene blue dye in the presence of visible light using SiO₂@Fe₂O₃ nanocomposites deposited on SnS₂ Flowers, *Materials* 11 (2018) 1030.
- [17] Z.X Chen, X.y Jin, Z. Chen, M. Megharaj, R. Naidu, Removal of methyl orange from aqueous solution using bentonite-supported nanoscale zero-valent iron, *J. Colloid Interface Sci.*, 363 (2011) 601-607.
- [18] G. Yi, B. Xing, H. Zeng, X. Wang, C. Zhang, J. Cao, and L. Chen, One-step synthesis of hierarchical micro-mesoporous SiO₂/reduced graphene oxide nanocomposites for adsorption of aqueous Cr(VI), *J. Nanomater.* 2017 (2017) 6286549.
- [19] S. Yang, T. Zeng, Y. Li, J. Liu, Q. Chen, J. Zhou, Y. Ye and B. Tang, Preparation of graphene oxide decorated Fe₃O₄@SiO₂ nanocomposites with superior adsorption capacity and SERS detection for organic dyes, *J. Nanomater.*, 2015 (2015) 817924.

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>)