

سنتز نانوکامپوزیت های فوتوکاتالیست زمینه گرافنی ترکیب شده با فریت نیکل و اکسید نیکل به منظور حذف رنگ های سمی اسید سیاه و اسید قهوه ای

کریم خلیل ایراهیم جبوری^۱، امیر هوشنگ رمضانی^{۲*}

*نویسنده مسئول : امیر هوشنگ رمضانی

^۱گروه فیزیک ، واحد علوم و تحقیقات ، دانشگاه آزاد اسلامی ، تهران، ایران

^۲گروه فیزیک ، واحد تهران غرب ، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۳مرکز تحقیقات صنعت و سلامت ، واحد تهران غرب ، دانشگاه آزاد اسلامی تهران ، ایران

*E-mail: ramezani.1972@gmail.com

چکیده

این پژوهش به سنتز نانوکامپوزیت های فوتوکاتالیست زمینه گرافنی ترکیب شده با فریت نیکل و اکسید نیکل به منظور حذف رنگ های سمی اسید سیاه و اسید قهوه ای می پردازد. فرآیند سنتز توسط روش های هامر و ماکروویو صورت گرفته است. مطالعات آنالیزی با استفاده از SEM، XRD، VSM، و UV-Vis انجام شده و خواص مغناطیسی و فوتوکاتالیستی نانوکامپوزیت ها مورد ارزیابی قرار گرفته اند. تست های آنتی باکتریال نیز توسط باکتری کلی فرم اجرا شده است. نتایج نشان می دهند که این نانوکامپوزیت ها اثرات موثری در حذف آلودگی های رنگی و خاصیت های آنتی باکتریال دارند. این پژوهش نه تنها بهبود فرآیند سنتز و خواص نانوکامپوزیت ها را توصیه می کند، بلکه کاربردهای گسترده تری نیز در زمینه های مختلف ارائه می دهد. تهیه گرافن در این پژوهش به منظور افزودن خاصیت مغناطیسی به نانوکامپوزیت های فوتوکاتالیستی انجام شده است. گرافن به دلیل ویژگی های منحصر بفرد خود، از جمله هادی بودن و خاصیت همگنی در افزودن مغناطیس به نانوکامپوزیت ها استفاده می شود. به تعبیر دقیق تر، اضافه کردن لایه گرافن به ساختار نانوکامپوزیت، خاصیت مغناطیسی افزوده می شود و در نتیجه، نمونه نهایی به عنوان یک مواد مغناطیسی قوی معرفی می شود.

کلید واژه: نانوکامپوزیت فوتوکاتالیستی، گرافن، فریت نیکل، اکسید نیکل، آنتی باکتریال.

۱ مقدمه

در چند دهه اخیر، مسئله آلودگی محیط زیست به دلیل استفاده گسترده از مواد شیمیایی سمی در صنایع مختلف به یکی از چالش‌های اساسی جامعه جهانی تبدیل شده است. از جمله آلودگی‌های رایج در محیط زیست، آلودگی ناشی از رنگدانه‌های سمی مورد توجه ویژه‌ای قرار می‌گیرد. رنگدانه‌های سمی مانند اسید سیاه و اسید قهوه‌ای، که در فرآورده‌های صنعتی مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌توانند منبع اصلی آلودگی آب و خطرات بهداشتی برای انسان و محیط زیست باشند. به منظور حل این مسئله، تحقیقات فعال در زمینه توسعه فناوری‌های موثر و پایدار جهت حذف رنگدانه‌های سمی از آب در حال انجام است. یکی از رویکردهای کاربردی برای حذف رنگدانه‌های سمی، استفاده از فوتوکاتالیز است. در فوتوکاتالیز، نانو مواد کاتالیزور به عنوان فعال‌کننده‌های نوری استفاده می‌شوند تا با جذب نور خورشید، فرآورده‌های شیمیایی را آغاز و بهبود بخشند. یکی از مواد کاتالیزوری که در این زمینه توجه بسیاری را به خود جلب کرده است، گرافن است. [۱-۳].

گرافن به عنوان یک نانوماده دو بعدی با خواص الکترونیکی، حرارتی و مکانیکی بسیار منحصر به فرد، توانسته است توجه پژوهشگران را در سراسر جهان به خود جلب کند. فوتوکاتالیز با استفاده از کاتالیزورهای گرافنی، به عنوان روشی مبتنی بر سبز و کارآمد برای حذف رنگدانه‌های سمی از آب، به عنوان یک راهکار واعده مطرح شده است. گرافن به عنوان یک نوع جدیدی از نانومواد کربنی به دلیل ساختار همجوار دو بعدی و خواص الکترونیکی منحصر به فرد خود، توجه زیادی به خود جلب کرده است. در این مقاله، پیشرفت‌های اخیر در کاربردهای نانوکامپوزیت‌های فعال-نوری مبتنی بر گرافن در بهبود محیط زیست و تبدیل انرژی، شامل تجزیه فوتوکاتالیتیک آلاینده‌های آلی، سلول‌های خورشیدی فوتوالکتروشیمیایی و تولید سوخت خورشیدی، مورد بررسی قرار می‌گیرد. در نهایت، چشم‌انداز چالش‌ها و فرصت‌ها در این حوزه نوظهور نیز مورد بحث قرار می‌گیرد.

از طریق فناوری نانو، پیش بینی می‌شود که مواد نانوساختار با استفاده از رویکرد پایین به بالا توسعه داده شوند. مواد و محصولات بیشتری از پایین به بالا، یعنی با ساختن آنها از اتم‌ها، مولکول‌ها و پودرها، الیاف و سایر اجزای ساختاری کوچک ساخته شده از آنها در مقیاس نانو ساخته می‌شوند. این با تمام تولیدات قبلی متفاوت است، که در آن مواد خام ... فشرده، بریده شده، قالب‌گیری می‌شوند و به شکل دیگری به قطعات و محصولات تبدیل می‌شوند [۴]. دانشمندان و مهندسانی که با کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف کار می‌کنند، این رویکرد از پایین به بالا را در فرآوری و ساخت برای دهه‌ها تمرین کرده‌اند. هنگام طراحی یک کامپوزیت، خواص مواد برای عملکرد مطلوب در مقیاس‌های طولی مختلف تنظیم می‌شوند. [۵-۷].

ذرات در مقیاس میکرون معمولاً نور را پراکنده می‌کنند و در غیر این صورت مواد ماتریس شفاف مات به نظر می‌رسند. ناگانوما و کاگوا [۸] در مطالعه خود بر روی کامپوزیت‌های SiO_2 اپوکسی نشان دادند که کاهش اندازه ذرات منجر به بهبود قابل توجهی در عبور نور مرئی می‌شود. سینگ و همکاران [۹] تغییرات چقرمگی شکست رزین پلی‌استر را به دلیل افزودن ذرات آلومینیومی با قطرهای ۲۰، ۳۰، ۵ و ۱۰۰ نانومتر مورد مطالعه قرار داد. [۱۰-۱۵].

پیشرفت‌های اخیر در تولید مواد نانوساختار با خواص مواد جدید، تحقیقات را برای ایجاد مواد مهندسی ماکروسکوپی چند منظوره با طراحی ساختارهایی در مقیاس نانومتر تحریک کرده است. با انگیزه اشتیاق اخیر در فناوری نانو، توسعه نانوکامپوزیت‌ها یکی از حوزه‌های تحقیقاتی کامپوزیت‌ها است که به سرعت در حال توسعه است. نانوتکنولوژی را می‌توان به‌طور کلی این‌گونه تعریف کرد: «ایجاد، پردازش، مشخص‌سازی و استفاده از مواد، دستگاه‌ها و سیستم‌هایی با ابعادی در حدود ۰.۱ تا ۱۰۰ نانومتر، که ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی جدید و به‌طور قابل توجهی افزایش یافته، پدیده‌ها و فرآورده‌ها به دلیل اندازه‌های نانومتری خود را نشان می‌دهند». [۱۶-۲۰].

نانوالیاف کربنی دارای مورفولوژی های گسترده ای هستند [۲۲]. نانوالیاف کربنی معمولاً دارای قطرهایی در حدود ۵۰ تا ۲۰۰ نانومتر هستند. وی و سریواستاوا [۳۱] خواص مکانیکی نانوالیاف کربنی را با مورفولوژی متفاوت با استفاده از تئوری ارتجاعی پیوسته و شبیه سازی های دینامیک مولکولی مدل سازی کرده اند. مورفولوژی گسترده نانوالیاف کربن و خواص مرتبط با آنها منجر به طیف گسترده ای از پراکندگی برای نتایج تجربی در پردازش و خصوصیات کامپوزیت های نانوالیاف می شود. فینگان و همکارانش [۲۳-۲۴] پردازش و خواص نانوکامپوزیت های نانوالیاف کربنی/پلی پروپیلن را بررسی کرده اند.

۲ روش تحقیق

در این بخش، برای سنتز نانوکامپوزیت های فوتوکاتالیست زمینه گرافنی با ترکیب فریت نیکل و اکسید نیکل به منظور حذف رنگ های سمی اسید سیاه و اسید قهوه ای را بررسی خواهیم کرد. به منظور ایجاد یک فرآیند سنتز بهینه و کنترل شده، ما از یک روش تحقیق جامع و سیستماتیک استفاده خواهیم کرد.

در ابتدا، یکی از چالش های اصلی در این تحقیق انتخاب یک روش سنتز مطمئن و کارآمد برای تهیه نانوکامپوزیت های فوتوکاتالیست گرافنی با ترکیب فریت نیکل و اکسید نیکل است. ما به دنبال روشی هستیم که بتواند به طور دقیق نانوذرات گرافنی را با ترکیب این دو ماده تولید کند و خصوصیات فیزیک و شیمیایی مناسبی فراهم آورد.

پس از سنتز موفق نانوکامپوزیت ها، ما قصد داریم ویژگی های ساختاری، مورفولوژیکی و اپتیکی را به صورت دقیق تجزیه و تحلیل کنیم. از تکنیک ها و تجهیزاتی مانند میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، طیف سنجی مرئی-فرا بنفش (UV-Vis) برای این مقاصد استفاده خواهیم کرد.

در ادامه، عملکرد فوتوکاتالیستی نانوکامپوزیت در حذف رنگ های سمی اسید سیاه و اسید قهوه ای به وسیله آزمایش های تجربی و استفاده از منحنی های جذب-اشعه رنگی (UV-Vis) ارزیابی خواهد شد. این بخش از تحقیق، اطلاعاتی در مورد کارایی و کاربرد پتانسیل نانوکامپوزیت فوتوکاتالیست گرافنی با ترکیب فریت نیکل و اکسید نیکل در حذف آلاینده های سمی اسیدی خواهد داد. همه مواد مصرفی از شرکت مرک آلمان خریداری شده است.

۳ روش انجام آزمایش

۳-۱ سنتز گرافن توسط روش هامر

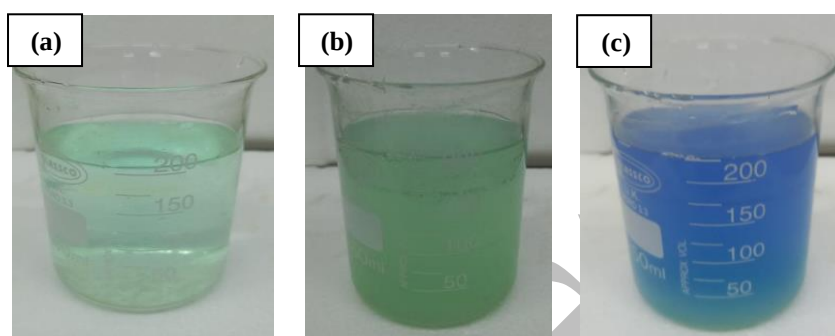
روش سنتز گرافن با استفاده از روش هامر یکی از متداول ترین روش ها برای تولید گرافن است. این روش معمولاً با استفاده از گرافیت به عنوان پیش ماده آغاز می شود. ابتدا، گرافیت به عنوان پیش ماده انتخاب می شود. سپس این گرافیت لایه لایه و یا به شکل پودر تهیه می شود. حمام یخ (دمای صفر درجه) با استفاده از پرمنگنات و پتاسیم نیترات آماده می شود. گرافیت لایه-لایه در حمام یخ قرار می گیرد و با مخلوط حاصل از پرمنگنات و پتاسیم نیترات ترکیب می شود. اکسیداسیون گرافیت با حمام یخ رخ می دهد و به تشکیل گرافن می انجامد. گرافن حاصل شده دارای گروه های اکسیژنه مختلف بر روی ساختار گرافن است. پس از اتمام فرآیند اکسیداسیون، گرافن به دست می آید که می توان آن را به شکل پودر یا مایع داشت. گرما به گرافیتن اعمال می شود تا گروه های اکسیژنه کاهش یابند و به گرافن تبدیل شود. نهایتاً گرافن به شکل کلوخه های سه بعدی تشکیل می شود. در این فرآیند، دما در حمام یخ تا حداکثر ممکن کم نگه داشته می شود تا جلوی اکسیداسیون زیاد گرافیت و افزایش تعداد گروه های اکسیژنه را بگیرد. این گام باعث ایجاد گرافن با خواص مناسب می شود.

۳-۲ سنتز نیکل فریت با استفاده از مایکروویو

یک صدم مول نیکل نیترات ($\text{Ni(NO}_3)_2$) و دوصدم مول آهن نیترات ($\text{Fe(NO}_3)_3$) در یک محیط مناسب ترکیب می‌شوند تا ترکیب همگنی از مواد حاصل شود. مخلوط مواد در یک ظرف مایکروویو قرار می‌گیرد. زمان مایکروویو روی ۲۰ دقیقه با توان ۹۰۰ وات تنظیم می‌شود. توجه به دما و جلوگیری از افزایش غیرمطلوب دما در مراحل ساخت ضروری است.

۳-۳ سنتز نیکل هیدروکسید با استفاده از مایکروویو

نیکل نیترات به میزان مشخص در آب حل می‌شود تا یک محلول نیکل نیترات ایجاد شود. محلول نیکل نیترات به دلیل ویژگی‌های شیمیایی خود سبز رنگ است. آمونیاک به عنوان رسوب گیرنده افزوده می‌شود. رسوب آبی رنگ تشکیل می‌شود که مربوط به نیکل هیدروکسید است. با افزودن سدیم هیدروکسید، رسوب به رنگ سبز تغییر می‌کند (شکل ۱).



شکل ۱: (a) نیکل هیدروکسید اولیه، (b) نیکل هیدروکسید بعد از حل شدن در سدیم هیدروکسید و (c) نیکل هیدروکسید بعد از افزودن آمونیاک.

با استفاده از سود، رسوب به حالتی سبک و کلوییدی تبدیل می‌شود. اجرای سنتز در دستگاه مایکروویو با توان ۹۰۰ وات به مدت ۱۰ دقیقه با روش پالسی (۲۰ ثانیه روشن - ۶۰ ثانیه خاموش). پس از اتمام فرآیند سنتز، محلول سانتریفوژ می‌شود تا رسوب از محلول جدا شود. رسوب به رنگ آبی به صورت سبک و کلوییدی تبدیل می‌شود. سپس، با کلسینه در دما و زمان مشخص (۳۰۰ درجه به مدت ۲ ساعت)، نیکل اکسید سیاه رنگ حاصل می‌شود.

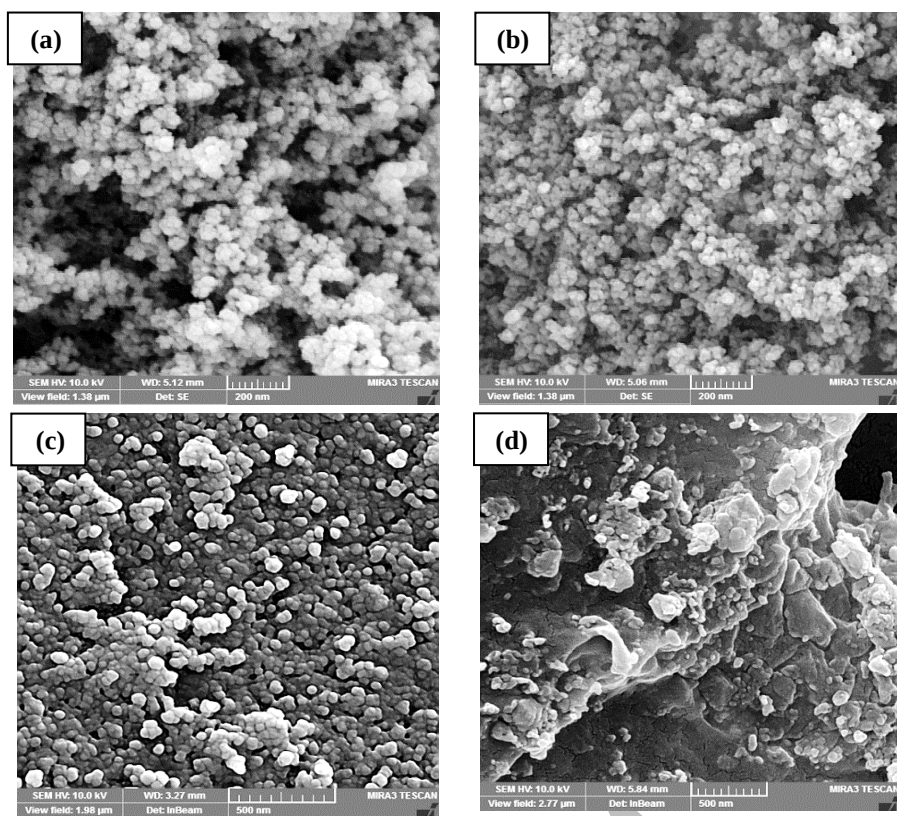
۳-۴ سنتز نانوکامپوزیت گرافن-نیکل فریت-نیکل اکسید با استفاده از مایکروویو

گرافن تهیه شده چندین بار با مواد شوینده شسته می‌شوند تا از ناخالصی‌ها پاک شوند. وزن یک گرم گرافن تهیه شده و به مقدار دیسپرس کننده (مانند دیمتیل فرمامید) افزوده می‌شود. در شرایط مشابه سنتز نیکل فریت (در حضور گرافن)، دیسپرس کرده و همگن می‌شود. به محلول گرافن، مقادیر مشخص نیکل نیترات و آهن نیترات افزوده می‌شود. واکنش فقط در حضور گرافن انجام می‌شود. سنتز با استفاده از مایکروویو با شرایط خاص (۲۰ ثانیه روشن - ۶۰ ثانیه خاموش به مدت ۲۰ دقیقه) انجام می‌شود. پس از اتمام واکنش، کامپوزیت به صورت خودکار، خشک می‌شود. کامپوزیت گرافن-نیکل فریت به محلول ساخت نیکل اکسید پخش می‌شود. این بار نیکل نیترات به تنهایی اضافه و سود سوز آور نیز به محلول افزوده می‌شود. سنتز با مایکروویو با شرایط خاص (۲۰ ثانیه روشن - ۶۰ ثانیه خاموش به مدت ۲۰ دقیقه) انجام می‌شود. پس از سنتز نیکل

اکسید، رسوب به دقت شسته می‌شود تا از ناخالصی‌ها پاک شود. رسوب به صورت دوتایی گرافن-نیکل فریت-نیکل اکسید حاصل را خشک می‌کنیم.

۴ آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی

در این بخش، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه‌های گرافن-نیکل فریت-نیکل اکسید ارائه شده و جزئیات ساختار سطحی نانوکامپوزیت مورد بررسی قرار می‌گیرد. شکل 2a از اکسید نیکل با مقیاس ۲۰۰ نانومتر، گرفته شده است. این مقیاس بیانگر ابعاد کوچک و نانومتری اجزای مورد بررسی است. در تصویر میکروسکوپ الکترون روبشی از فریت نیکل (شکل 2b)، ذرات به خوبی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. مقیاس این تصویر ۲۰۰ نانومتر بوده و فاصله کاری بین نمونه و لنزهای میکروسکوپ ۵,۰۶ میلی‌متر است. اندازه میدان دید حدود ۱,۳۸ میکرومتر و متوسط اندازه ذرات فریت نیکل در این تصویر حدود ۶۰ نانومتر است. این تصویر به وضوح جزئیات نانومتری ذرات فریت نیکل را نشان می‌دهد و برای مطالعه دقیق ساختار و تراکم ذرات مورد استفاده قرار گرفته است. در تصویر میکروسکوپ الکترون روبشی از کامپوزیت دوتایی فریت نیکل-اکسید نیکل (شکل 2c)، ذرات با مقیاس ۵۰۰ نانومتر به وضوح دیده می‌شوند. فاصله کاری بین نمونه و لنزهای میکروسکوپ در این تصویر ۳,۲۷ میلی‌متر و اندازه میدان دید حدود ۱,۹۸ میکرومتر است. متوسط اندازه ذرات در این تصویر حدود ۸۰ نانومتر است. ذرات در این کامپوزیت به طور کاملاً منظم و یکنواخت قرار گرفته‌اند، که این نشان دهنده یکنواختی و ترتیب در ترکیب دوتایی فریت نیکل-اکسید نیکل می‌باشد. تصویر میکروسکوپ الکترون روبشی از کامپوزیت سه تایی گرافن-فریت نیکل-اکسید نیکل با مقیاس ۵۰۰ نانومتر نشان دهنده جزئیات دقیقی از ساختار این کامپوزیت است (شکل 2d). با فاصله کاری ۵,۸۴ میلی‌متر و اندازه میدان دید ۲,۷۷ میکرومتر، تصویر به وضوح ذرات و لایه‌های مختلف این کامپوزیت را نمایش می‌دهد. ذرات گرافنی، ذرات فریت نیکل و لایه اکسید نیکل به نحوی به هم تداخل دارند که آن‌ها به طور کاملاً منظم و یکنواخت در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. این تصویر ارائه اطلاعات مفیدی برای درک ساختار دقیق و ترکیبی این کامپوزیت دارد و می‌تواند به تحلیل خواص و کاربردهای احتمالی این مواد نانوساختار کمک کند.



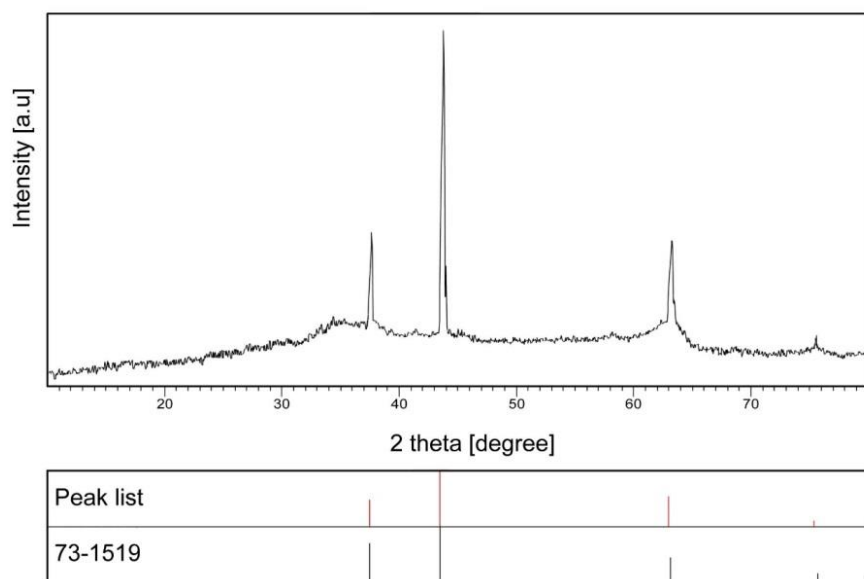
شکل ۲: تصاویر میکروسکوپ الکترون روبشی (a) اکسید نیکل، (b) فریت نیکل، (c) کامپوزیت دوتایی فریت نیکل-اکسید نیکل، (d) کامپوزیت سه تایی گرافن-فریت نیکل-اکسید نیکل.

۵ آنالیز پراش پرتو ایکس

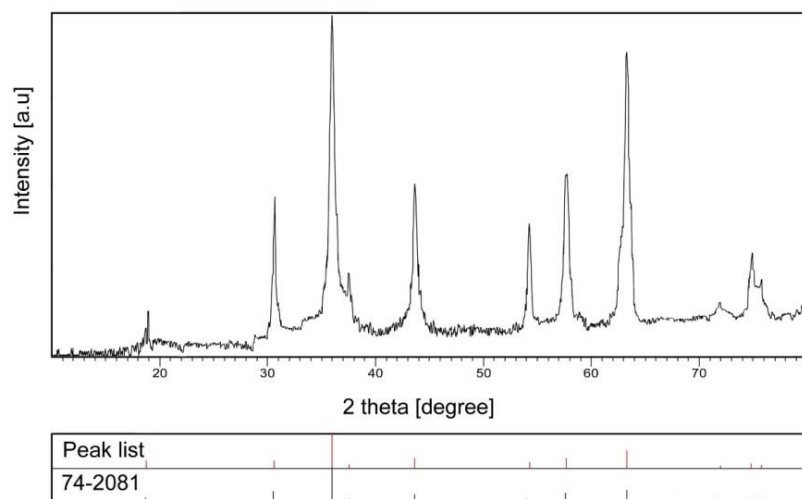
در این بخش، نمودارهای XRD برای نشان دادن شیوه تشکیل فازها و ساختار کریستالی نانوکامپوزیت گرافن-نیکل فریت-نیکل اکسید ارائه می‌شود. شکل 3 آنالیز پراش پرتو ایکس اکسید نیکل را نشان می‌دهد. پیک‌ها در الگوی پراش نانو ذرات اکسید نیکل (JCPDS 47-1049) به وضوح نشان می‌دهند که ترکیب حاصل از این نانوذرات، اکسید نیکل می‌باشد. این پیک‌ها که به ترتیب در زوایای 2θ برابر با 37.94° ، 43.51° و 62.87° درجه ظاهر می‌شوند، به ترتیب به نمایه‌های (۱۱۱)، (۲۰۰) و (۲۲۰) اشاره دارند. با این حال، در الگوی پراش، پیک‌های دیگری مربوط به ناخالصی مشاهده نمی‌شود.

الگوی پیک‌های شکل ۴ از فریت نیکل نشان می‌دهد که پیک‌ها بسیار قوی و تیز هستند، که نشان‌دهنده کریستالیت‌ها خوب نمونه آماده شده است. این پیک‌ها در زوایای 2θ با مقادیر 31.3° ، 45° و 56° درجه قرار دارند که به ترتیب با صفحات بلوری (۳۱۱)، (۲۲۲)، (۴۰۰)، (۵۱۱) و (۴۴۰) در الگوی فریت نیکل مطابقت دارند. این نکته تشکیل فاز اسپینل NFN را تایید می‌کند. هیچ پیک دیگری یافت نشده است که نشان دهنده نمونه سنتز شده از خلوص بالای $i\text{Fe}_2\text{O}_4/\text{N}$ باشد.

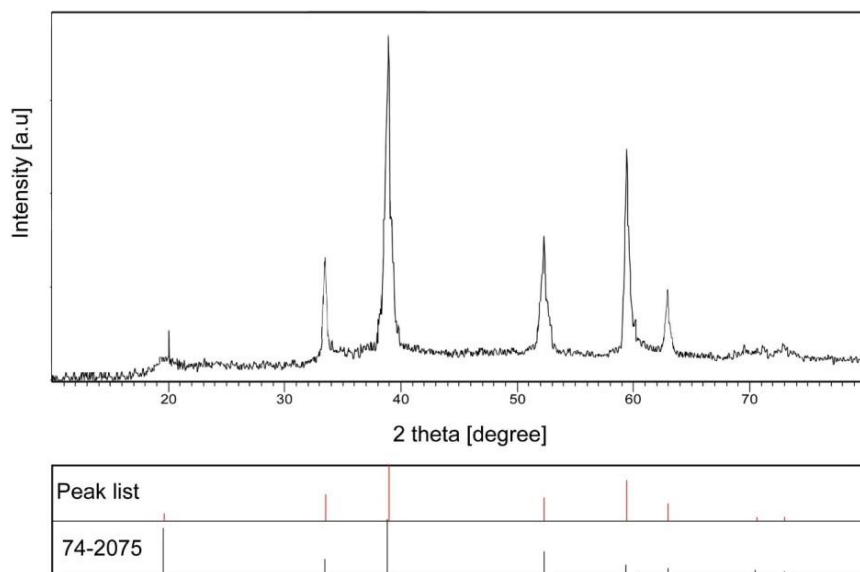
شکل 5 آنالیز پراش پرتو ایکس هیدروکسید نیکل را نشان می‌دهد. این شکل پیک‌های تیز هیدروکسید نیکل را نشان می‌دهد که بیان می‌دارد نمونه دارای نظم کمتری است و دارای مقادیر کمتری از عیوب سطح است.



شکل ۳: آنالیز پراش پرتو ایکس اکسید نیکل.



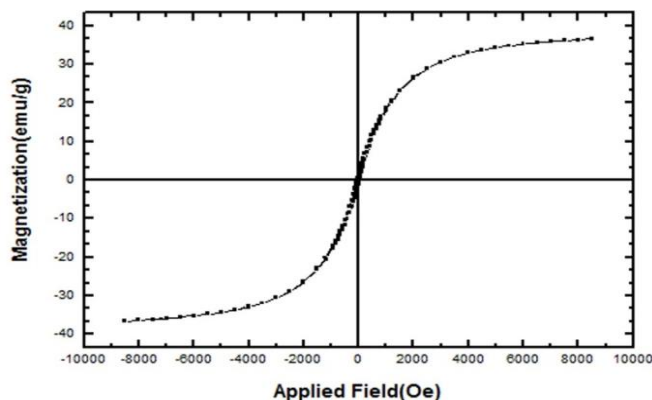
شکل ۴: آنالیز پراش پرتو ایکس فریت نیکل.



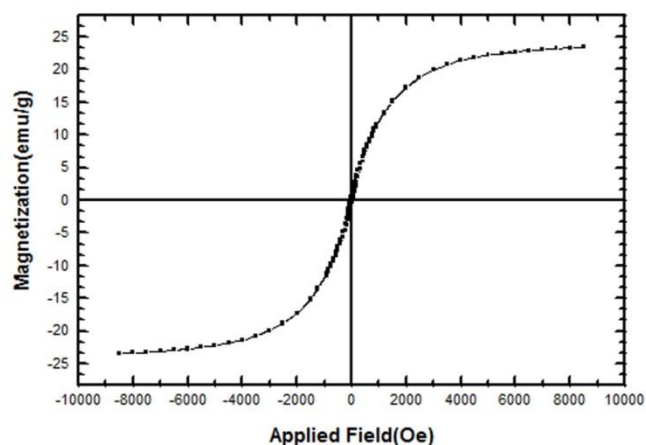
شکل ۵: آنالیز پراش پرتو ایکس هیدروکسید نیکل.

۶ آنالیز مغناطیس سنج نمونه مرتعش

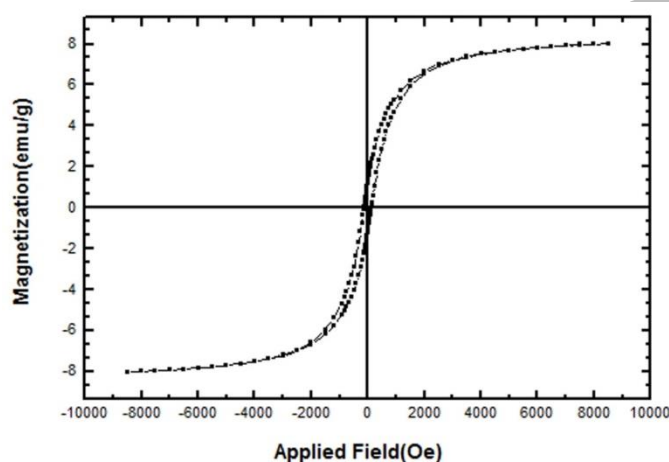
در این قسمت، نتایج آنالیز VSM به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرد تا ویژگی‌های مغناطیسی نانوکامپوزیت مورد بررسی قرار گیرند. خواص مغناطیسی نمونه NiFe_2O_4 توسط دستگاه VSM اندازه‌گیری شد. در منحنی‌های پسماند M-H، رفتار نوع S برای نمونه آماده شده مشاهده شد (شکل ۶). منحنی‌های مغناطیسی NiFe_2O_4 با مواد فرومغناطیسی بسیار نرم هماهنگی دارد. مقدار مغناطیس اشباع برای فریت نیکل (شکل ۷) برابر 37 emu/g ، برای کامپوزیت دوتایی هیدروکسید نیکل-فریت نیکل (شکل ۸) برابر 24 emu/g و برای کامپوزیت سه تایی گرافن-هیدروکسید نیکل-فریت نیکل (شکل ۱۰) برابر 8 emu/g می‌باشد.



شکل ۶: آنالیز مغناطیس سنج نمونه مرتعش فریت نیکل.



شکل ۷: آنالیز مغناطیس سنج نمونه مرتعش کامپوزیت دوتایی هیدروکسید نیکل-فریت نیکل.



شکل ۸: آنالیز مغناطیس سنج نمونه مرتعش کامپوزیت سه تایی گرافن-هیدروکسید نیکل-فریت نیکل.

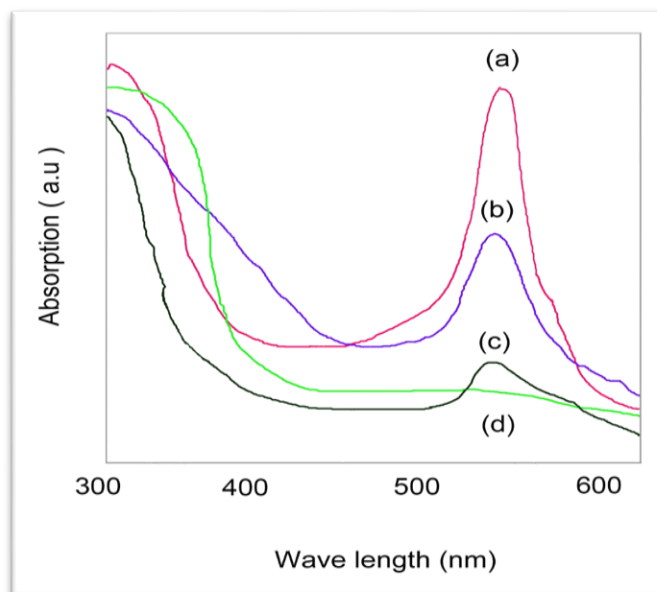
۷ آنالیز جذب مرئی-فرابنفش

نتایج آنالیز UV-Vis برای نمونه‌های گرافن-نیکل فریت-نیکل اکسید ارائه شده و **افتراق** جذب نور در محدوده مرئی-فرابنفش بررسی می‌شود. توضیح آنالیز جذب مرئی-فرابنفش (UV-Vis) بر روی اسید قهوه ای خالص در بازه‌های زمانی مختلف شکل ۹ (۳۰، ۶۰، ۱۲۰ دقیقه) به شرح زیر است.

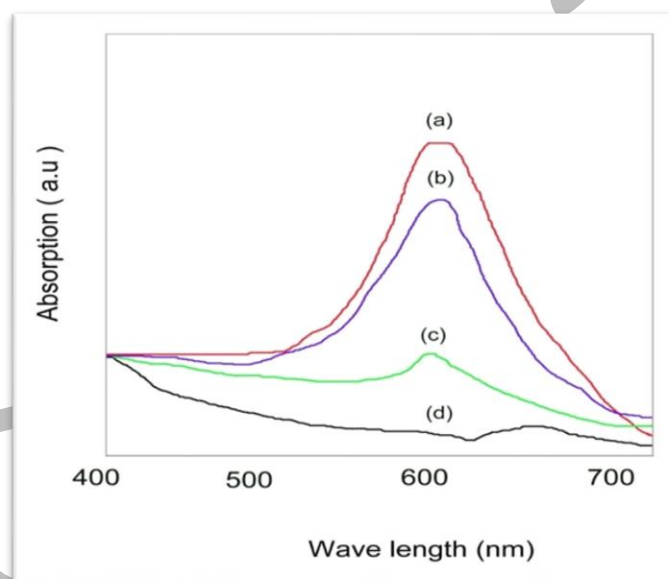
در این زمان، نمونه اسید قهوه ای (خالص در تعامل با امواج مرئی-فرابنفش قرار گرفته و جذب نور در این محدوده اندازه گیری شده است. تغییرات در طیف جذب نور در محدوده مرئی-فرابنفش نشان دهنده ویژگی‌های مولکولی و رنگی نمونه در آن زمان خاص است. با گذشت زمان ۶۰ دقیقه، تغییرات در جذب نور ممکن است بیانگر تحولاتی در مولکول‌های نمونه باشد. افزایش یا کاهش جذب در برخی مواقع طیف نور ممکن است به تغییرات در ساختار یا آماده‌سازی نمونه ارتباط داشته باشد. پس از گذشت زمان ۱۲۰ دقیقه، تغییرات دیگری در طیف جذب ممکن است مشاهده شود. این زمان بیشترین زمان مطالعه و ارزیابی جذب نور می‌باشد و ممکن است اطلاعات بیشتری درباره ویژگی‌های مولکولی و رنگی نمونه ارائه دهد. این تحلیل‌ها به طور کلی به ما کمک می‌کنند تا تغییرات در جذب نور و خصوصیات نمونه را در طول زمان درک کنیم و به نتایجی در مورد ساختار و خصوصیات شیمیایی نمونه دست یابیم. پیک مرتبط با طول موج ۵۵۰ نانومتر در طیف جذب مرئی-فرابنفش (UV-

(Vis) نمونه اسید قهوه ای خالص به رنگ سبز مرتبط است. این مشاهده نشان دهنده جذب نور در محدوده سبز نور در خصوصیت‌های نمونه است. به عبارت دیگر، طول موج ۵۵۰ نانومتر در منطقه سبز قرار دارد و جذب نور در این نقطه ممکن است به خصوصیات مولکولی خاص مرتبط با رنگ سبز اطلاعاتی ارائه دهد. آنالیز جذب مرئی-فرابنفش (UV-Vis) اسید سیاه خالص نشان می‌دهد (شکل ۱۰) که پیک‌های اصلی در محدوده ۶۰۰ نانومتر واقع شده‌اند. در طول زمان، با افزایش مدت زمان آنالیز، تغییرات در این پیک‌ها مشاهده شده است. پیک d، که بلندترین طول موج را داراست، نشان‌دهنده جذب نور در ۶۰۰ نانومتر یا حتی بلندتر از آن است. این جذب نور در محدوده قرار گرفته می‌تواند به چشم به عنوان رنگ قرمز ظاهر شود. به همین دلیل، افزایش طول موج در این پیک نشان دهنده افزایش شدت جذب در محدوده قرمز است. در مقابل، پیک d که کمترین طول موج را داراست، نشان دهنده کاهش جذب نور در محدوده ۶۰۰ نانومتر یا کمتر از آن است. این تغییرات در پیک‌ها ممکن است به دلیل تغییر در ساختار یا خصوصیات مولکولی اسید سیاه در طول زمان باشد. در نتیجه، این تحلیل‌ها می‌توانند به درک بهتر از تغییرات و رفتار اسید سیاه خالص در طول زمان در پژوهش‌های مرتبط کمک کنند. آنالیز جذب مرئی-فرابنفش (UV-Vis) اسید قهوه ای و اسید سیاه، از دو ترکیب مختلف به دلیل متفاوت بودن در ساختار شیمیایی و خواص فیزیکی هر یک، ممکن است تفاوت‌هایی در نمونه‌ها را نشان دهد.

از جمله تفاوت‌های ممکن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. اسید قهوه ای و اسید سیاه دو ترکیب شیمیایی متفاوت هستند که هر کدام از آن‌ها دارای گروه‌های شیمیایی خاص خود هستند. این تفاوت در ساختار مولکولی ممکن است منجر به جذب نور در طول موج‌های خاص و تفاوت‌های در طیف جذب مرئی-فرابنفش شود. طول موج‌های ماکزیمم جذب نور (پیک‌ها) در طیف UV-Vis برای هر یک از اسید قهوه ای و اسید سیاه ممکن است متفاوت باشد. این اختلاف‌ها ممکن است ناشی از تفاوت در ساختار الکترونی و اجزای مولکولی باشد. با توجه به طول موج‌های جذب نور، رنگ ظاهری نمونه‌ها ممکن است متفاوت باشد. به عنوان مثال، اگر طول موج جذب نور در محدوده قرمز باشد، نمونه، قرمز و اگر در محدوده آبی باشد، آبی به نظر خواهد آمد. اگر تغییراتی در ساختار یا خصوصیات نمونه‌ها در طول زمان رخ دهد، ممکن است تفاوت‌هایی در طیف جذب مرئی-فرابنفش مشاهده شود.



شکل ۹: آنالیز جذب مرئی-فرابنفش (a) اسید قهوه ای خالص، (b) ۳۰، (c) ۶۰ و (d) ۱۲۰ دقیقه



شکل ۱۰: آنالیز جذب مرئی-فرابنفش (a) اسید سیاه خالص، (b) ۳۰، (c) ۶۰ و (d) ۱۲۰ دقیقه.

۸ تحلیل نتایج آزمایشات حذف رنگ

نتایج آزمایشات حذف رنگ با استفاده از گرافن-نیکل فریت-نیکل اکسید به تفصیل مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد. پتانسیل تخریب رنگی اسید قهوه ای به وسیله نانوکامپوزیت‌های فوتوکاتالیستی زمینه گرافنی با فریت نیکل و اکسید نیکل به واسطه فرآیندهای فوتوکاتالیستی افزایش می‌یابد. این فرآیندها شامل جذب نور توسط کاتالیست و ایجاد جفت‌های الکترون و حفره است که به تولید رادیکال‌های هیدروکسیل (OH) و دیگر رادیکال‌ها منجر می‌شود. با فعال سازی رنگزای طبیعی موجود در اسید قهوه ای توسط رادیکال‌ها و تعامل آنها با ترکیبات آلی موجود در رنگ اسید قهوه ای، تغییرات شیمیایی در مولکول رنگزا رخ می‌دهد که موجب تحلیل یا تغییرات در ساختار آن می‌شود. این فرآیندها می‌توانند به تخریب رنگ و تغییر آن به

رنگ‌های دیگر، از جمله زرد کمرنگ، منجر شوند. فرض کنید که اسید سیاه، که یک رنگزای سمی است، در حضور نانوکامپوزیت‌های فوتوکاتالیستی زمینه گرافنی با فریت نیکل و اکسید نیکل قرار دارد. در این حالت، نور خورشید یا نور مرئی توسط کاتالیست‌های نانوکامپوزیت جذب می‌شود و الکترون‌ها و حفره‌ها تولید می‌شوند.

این الکترون‌ها می‌توانند به عنوان رادیکال‌های فعال عمل کنند. در فرآیند فوتوکاتالیستی، این رادیکال‌ها با ذرات آلی موجود در اسید سیاه تعامل می‌کنند. این تعاملات ممکن است منجر به جذب اکسیژن و تولید رادیکال‌های هیدروکسیل شوند. رادیکال‌های هیدروکسیل قابلیت اکسایش و از بین بردن ترکیبات آلی را دارند. در صورت تعامل با رنگزای موجود در اسید سیاه، ممکن است به تخریب ساختار آلی رنگزا و به دنبال آن تغییر رنگ به رنگ‌های غیرسمی مانند خاکستری یا دیگر رنگ‌های کمرنگ تر منجر شود (شکل ۱۱).

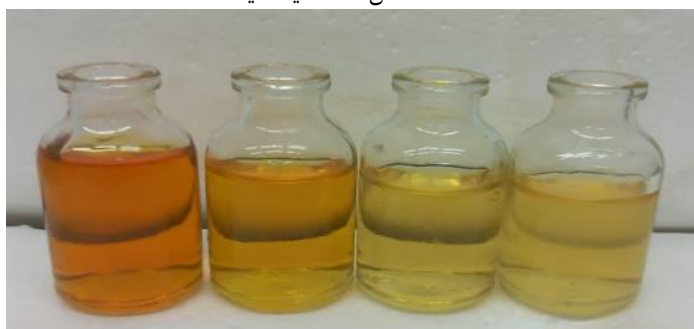
بنابراین، فرآیندهای فوتوکاتالیستی با استفاده از نانوکامپوزیت‌های گرافنی ترکیب شده با فریت نیکل و اکسید نیکل می‌توانند به عنوان یک روش مؤثر برای حذف و تخریب رنگ‌های سمی اسید سیاه باشند.

در نتیجه، توانمندی نانوکامپوزیت‌های فوتوکاتالیستی در حذف و تخریب رنگ‌های سمی، از جمله رنگ اسید قهوه‌ای، توسط فرآیندهای فوتوکاتالیستی و تولید رادیکال‌های فعال، می‌تواند عامل اصلی در این تغییر رنگ باشد. با توجه به توضیحات ارائه شده در مورد تخریب رنگ‌های سمی اسید قهوه‌ای و اسید سیاه توسط نانوکامپوزیت‌های فوتوکاتالیستی زمینه گرافنی با فریت نیکل و اکسید نیکل، می‌توان به نتیجه‌گیری‌های زیر دست یافت.

نانوکامپوزیت‌های گرافنی با فریت نیکل و اکسید نیکل نشان داده‌اند که با جذب نور و تولید رادیکال‌های هیدروکسیل، قادر به تحلیل و تخریب رنگ‌های سمی اسید قهوه‌ای و اسید سیاه هستند. در حضور فرآیندهای فوتوکاتالیستی، رنگ اسید قهوه‌ای از قهوه‌ای به زرد کمرنگ تغییر یافته (شکل ۱۲) و از طریق تخریب ساختار آلی رنگزای اسید سیاه به رنگ‌های غیرسمی تبدیل شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که این نانوکامپوزیت‌ها موجب کاهش میزان رنگزای سمی در اسید سیاه و اسید قهوه‌ای شده و توانایی کارایی در فرآیند حذف و تخریب رنگ‌های سمی را ارائه می‌دهند. با توجه به موارد فوق، می‌توان نتیجه گرفت که نانوکامپوزیت‌های فوتوکاتالیستی گرافنی با فریت نیکل و اکسید نیکل می‌توانند به عنوان کاندیدای موثری در فرآیند حذف و تخریب رنگ‌های سمی مورد استفاده قرار گیرند.



شکل ۱۱: اسید سیاه



شکل ۱۲: اسید قهوه ای

نتیجه گیری

پژوهش حاضر به منظور سنتز نانوکامپوزیت‌های فوتوکاتالیستی بر پایه گرافن و فریت نیکل با اکسید نیکل، به منظور حذف رنگ‌های سمی اسید قهوه ای و اسید سیاه انجام شد. در این پژوهش، ترکیب گرافن، فریت نیکل و اکسید نیکل به منظور ساخت نانوکامپوزیت‌های فوتوکاتالیستی برای حذف رنگ‌های سمی اسید سیاه و اسید قهوه ای صورت گرفت. نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که نانوکامپوزیت‌های حاصل از این پژوهش به طور موثر و با کارایی بالا قادر به حذف رنگ‌های سمی اسید سیاه و اسید قهوه ای می‌باشند. همچنین نتایج بدست آمده نشان دهنده آن است که افزودن گرافن به نانوکامپوزیت باعث بهبود ویژگی‌های مغناطیسی آن شده و نمونه نهایی خود را به عنوان یک ماده مغناطیسی با خصوصیات قوی معرفی می‌کند.

منابع و مأخذ

- [1] R.Gusain, K.Gupta,P. Joshi,O.P.Khatr," Adsorptive removal and photocatalytic degradation of organic pollutants using metal oxides and their composites: a comprehensive review".Adv.ColloidInterfaceSci.272,102009.2019
doi:10.1016/j.cis.2019.102009.c
- [2] K.K.Kefeni,B.B. Mamba, 2020." Photocatalytic application of spinel ferrite nanoparticles and nanocomposites in wastewater treatment: review". Sustain. Mater. Technol. 23, 2020.
doi:10.1016/j.susmat.2019.e00140.

- [3] W.S.Koe, J.W.Lee, W.C.Chong, "An overview of photocatalytic degradation: photocatalysts, mechanisms, and development of photocatalytic membrane", *Colloid Interface Sci. J.* 2019 doi:10.1007/s11356-019-07193-5.
- [4] G. Mamba, G. Gangashe, L. Moss, S. Hariganesh, S. Thakur, S. Vadivel, A.K. Mishra, G.D. Vilakati, V. Muthuraj, 2020. "State of the art on the photocatalytic applications of graphene based nanostructures: from elimination of hazardous pollutants to disinfection and fuel generation", *J. Environ. Chem. Eng.* 8, 103505. 2020 ,doi:10.1016/j.jece.2019.103505.
- [5] Q. Zhang, L. Jiang, J. Wang, Y. Zhu, Pu, "Photocatalytic degradation of tetracycline antibiotics using three-dimensional network structure perylene diimide supramolecular organic photocatalyst under visible-light irradiation" *Appl. Catal. B Environ.* 277, 2020, 119122. doi:10.1016/j.apcatb.2020.119122
- [6] G.S. El-Sayyad, M. Abd Elkodous, A.M. El-Khawaga, M.A. Elsayed, A.I. El-Batal, M. Gobara, "Merits of photocatalytic and antimicrobial applications of gamma irradiated $\text{Co}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$; $x = 0.9$ nanocomposite for pyridine removal and pathogenic bacteria/fungi disinfection: Implication for wastewater treatment", *RSC Adv* 10, 5241–5259, 2020, doi:10.1039/c9ra10505k
- [7] A.A. Inyinbor, F.A. Adekola, G.A. Olatunji, "Kinetics, isotherms and thermodynamic modeling of liquid phase adsorption of Rhodamine B dye onto *Raphia hookeri* fruit epicarp", *Water Resour. Ind.* 15, 14–27, 2016, doi:10.1016/j.wri.2016.06.001
- [8] A.A. Oyekanmi, A. Ahmad, K. Hossain, M. Rafatullah, "Statistical optimization for adsorption of Rhodamine B dye from aqueous solutions". *J. Mol. Liq.* 281, 48–58, 2019. doi:10.1016/j.molliq.2019.02.057.
- [9] B.L. Pangarkar, M.G. Sane, S.B. Parjane, M. Guddad, "Status of membrane distillation for water and wastewater treatment-a review". *Desalin. Water Treat.* 52, 5199– 5218, 2014. doi:10.1080/19443994.2013.808422.
- [10] A. Pérez-González, A.M. Urriaga, R. Ibáñez, I. Ortiz, "State of the art and review on the treatment technologies of water reverse osmosis concentrates", *Water Res* 46, 267–283, 2012, doi:10.1016/j.watres.2011.10.046.
- [11] M.A.C.K. Hansima, M. Makehelwala, K.B.S.N. Jinadasa, Y. Wei, K.G.N. Nanayakkara, A.C. Herath, R. Weerasooriya, "Fouling of ion exchange membranes used in the

electrodialysis reversal advanced water treatment: a review” *Chemosphere* 263, 127951,2021, doi:10.1016/j.chemosphere.2020.127951

- [12] R.Rosal, A. Rodríguez, J.A. Perdigón-Melón,A. Petre, E.García-Calvo, M.J.Gómez, A.Agüera, A.R.Fernández-Alba,” Occurrence of emerging pollutants in urban wastewater and their removal through biological treatment followed by ozonation”. *Water Res* 44, 578–588, 2010,doi:10.1016/j.watres.2009.07.004.
- [13] H.Cui, X.Huang, Z.Yu, P.Chen, X.Cao, ” Application progress of enhanced coagulation in water treatment”. *RSC Adv*, 10,20231–202442020, doi:10.1039/d0ra02979c.
- [14] S.Wu, L.Shen, Y.Lin, K.Yin, C.Yang,” Sulfite-based advanced oxidation and reduction processes for water treatment”, *Chem. Eng. J.* 414, 128872. 2021,doi:10.1016/j.cej.2021.128872
- [15] F.Meng, J.Xu,H. Dai, Y.Yu, D.Lin, “Supporting information even incorporation of nitrogen into Fe⁰ nanoparticles as crystalline Fe₄N for efficient and selective trichloroethylene degradation table of contents”. *Environ. Sci. Technol.* 56 (7), 4489–4497,2022, <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c08671>
- [16] J.Xu,H. Li, G.V.Lowry,” Sulfidized nanoscale zero-valent iron: tuning the properties of this complex material for efficient groundwater remediation”. *Account. Mater. Res*, 2, 420–431,2021, doi:10.1021/accountsmr.1c00037
- [17] R.Gusain, K.Gupta, P.Joshi, O.P.Khatri,” Adsorptive removal and photocatalytic degradation of organic pollutants using metal oxides and their composites: a comprehensive review”, *Adv. Colloid Interface Sci.* 272, 102009,2019 doi:10.1016/j.cis.2019.102009.
- [18] Y.Yuan, R.tang Guo,L. fei Hong, X.yin Ji, Z.sheng Li,Z. dong Lin, guo Pan, W.,” Recent advances and perspectives of MoS₂-based materials for photocatalytic dyes degradation: a review. *Colloid. Surface”, A Physicochem. Eng. Asp.* 611, 125836,2021,doi:10.1016/j.colsurfa.2020.125836.
- [19]P.A. Kumar, P.V.Laxma,E. Kwon, K.Kim, T.Akter, S.Kalagara, “Recent advances in photocatalytic treatment of pollutants in aqueous media”, *Environ. Int.* 91, 94–103,2016,doi:10.1016/j.envint.2016.02.012.
- [20] ET.Thostenson,TW. Chou, “On the elastic properties of carbon nanotube-based composites: modeling and characterization”, *J Phys D*,36(5):573–82,2003,

• DOI:10.1088/0022-3727/36/5/323

- [21] T.Naganuma, Y. Kagawa, "Effect of particle size on the optically transparent nano meter-order glass particle-dispersed epoxy matrix composites". *Compos Sci Technol*;62(9): 1187–9,2002, [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(02\)00059-3](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(02)00059-3)
- [22] S.Shaheen, Z.Saeed, A.Ahmad, M.Pervaiz, U. Younas, R.R.M.Khan, S.Rajendran, "Green synthesis of graphene-based metal nanocomposite for electro and photocatalytic activity; recent advancement and future prospective", *Chemosphere*, 136982,2022, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136982>
- [23] R. Giovannetti, E. Rommozzi, M.Zannotti, & C.A.D'Amato, "Recent advances in graphene based TiO₂ nanocomposites (GTiO₂Ns) for photocatalytic degradation of synthetic dyes". *Catalysts*, 7(10), 305,2022, <https://doi.org/10.3390/catal7100305>
- [24] X.Meng, D.Geng, J.Liu, R.Li, R., & X.Sun, "Controllable synthesis of graphene-based titanium dioxide nanocomposites by atomic layer deposition". *Nanotechnology*, 22(16), 165602,2011, DOI:10.1088/0957-4484/22/16/165602

Synthesis of graphene-based photocatalyst nanocomposites combined with nickel ferrite and nickel oxide in order to remove the toxic dyes of acid black and acid brown.

K.KH.Ebrahim Jburi¹, A.H.Ramezani^{*2,3}

¹Department of physics, Science And Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

²Associate professor of the Physics Department, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

³ Industry and Health Research Center, WT.C., Islamic Azad University, Tehran-Iran

Abstract

The synthesis of graphene-based photocatalytic nanocomposites incorporating nickel ferrite (NiFe₂O₄) and nickel oxide (NiO) for the efficient removal of toxic acidic black and acidic brown dyes have been investigated. The synthesis process was meticulously executed using hammer, microwave, and macro-waves methods to enhance the nanocomposite's structure and properties. Comprehensive analytical studies employing scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD), vibrating sample magnetometry (VSM), and UV-Vis spectroscopy were conducted to assess the magnetic and photocatalytic characteristics of the synthesized nanocomposites. Additionally, antibacterial tests were performed using *Klebsiella*

bacteria to evaluate the potential antimicrobial properties. The results of the study illustrate the significant impact of the synthesized nanocomposites in removing color pollutants, emphasizing their potential as effective photocatalysts. Furthermore, the nanocomposites exhibit notable antibacterial properties, showcasing their multifunctional applications. The research not only recommends further refinement of the synthesis process and optimization of nanocomposite properties but also suggests broader applications in diverse fields, considering the multifaceted nature of the developed materials.

Key Words: Photocatalytic nanocomposite, Graphene, Nickel ferrite, Nickel oxide, Toxic