

Synthesis of $\text{La}_2\text{CoFe}_2\text{O}_7$ Nanocomposite and its Photocatalytic Application to Remove Organic Dyes

Somaye Khammarnia^{*1}, Jilla Saffari², Mehri-Saddat Ekrami-Kakhki³

1- Chemistry Department, Payame Noor University, P.O. Box: 19395-4697, Tehran, Iran

2- Department of Chemistry, Zahedan Branch, Islamic Azad University, P.O. Box: 98135-978, Zahedan, Iran

3- Esfarayen University of Technology, P.O. Code: 9661998195, Esfarayen, North Khorasan, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 26-05-2023

Accepted: 23-10-2023

Available online: 29-11-2023

Print ISSN: 1735-8779

Online ISSN: 2383-2169

DOR: 20.1001.1.17358779.1402.17.3.5.8

Keywords:

Magnetite nanoparticles

Co-precipitation

Photocatalyst

Methyl violet

Malachite green oxalate

Eriochrome Black T

ABSTRACT

Wastewater from textile factories is one of the most important sources of environmental pollution, so it is necessary to treat these wastewater. Therefore, the decomposition of colors using photocatalysts, which is one of the advanced oxidation processes, has been studied. The present work introduces the synthesis of the magnetic mixed metal oxide $\text{La}_2\text{CoFe}_2\text{O}_7$ (LCoFO) nanocomposite as an effective photocatalyst by co-precipitation method. The synthesized metal oxide was characterized by infrared spectroscopy (FT-IR), X-ray diffraction pattern (XRD) and transmission electron microscopy (TEM). The alternating force gradient magnetometer (AGFM) shows the magnetic behavior of the LCoFO nanocomposite. In this research, the photocatalytic properties of LCoFO nanocomposites using photolysis of methyl violet (MV), malachite green oxalate (MG), and eriochrome black T (EBT) were investigated under ultraviolet light irradiation in different parameters such as temperature, solution pH, dye concentration, catalyst amount, and UV radiation time. The results showed that these nanocomposites have good photocatalytic performance.

*Corresponding author: * somayekhammarnia@pnu.ac.ir





سنتر نانوکامپوزیت $La_2CoFe_2O_7$ و کاربرد کاتالیزوری نوری آن برای حذف رنگ‌های آلی

سمیه خمرنیا^{۱*}، ژیلا صفاری^۲، مهری السادات اکرامی کاخکی^۳

۱- استادیار، گروه شیمی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۶۹۷-۱۹۳۹۵

۲- دانشیار، گروه شیمی، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران، صندوق پستی: ۹۸۱۳۵-۹۷۸

۳- دانشیار، آزمایشگاه مرکزی، مجتمع آموزش عالی فنی و مهندسی اسفراین، اسفراین، خراسان شمالی، ایران، کد پستی: ۹۶۶۱۹۹۸۱۹۵

چکیده

پساب کارخانه‌های نساجی یکی از مهم‌ترین منابع آلودگی محیط‌زیست می‌باشد، بنابراین تصفیه این پساب‌ها ضروری است. از این رو تجزیه مواد رنگ‌زا با استفاده از کاتالیزورهای نوری که یکی از فرآیندهای اکسایش پیشرفته می‌باشد، مورد مطالعه قرار گرفته است. کار حاضر سنتر نانوکامپوزیت اکسید فلزات مختلط مغناطیسی $La_2CoFe_2O_7$ (LCoFO) به عنوان کاتالیزور نوری موثر را با روش هم‌رسوبی معرفی می‌کند. اکسید فلزی سنتر شده با طیف‌سنجی زیر قرمز (FT-IR)، الگوی پراش پرتو ایکس (XRD) و میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) شناسایی شد. دستگاه مغناطیس‌سنج گرادیان نیروی متناوب (AGFM) رفتار مغناطیسی نانوکامپوزیت LCoFO را نشان می‌دهد. در این تحقیق، خواص کاتالیزوری نوری نانوکامپوزیت‌های LCoFO با استفاده از تجزیه نوری متیل ویولت (MV)، مالاشریت گرین اگزالات (MG) و اریوکروم بلک تی (EBT) تحت تابش پرتو نور فرابنفش و عوامل مختلف از قبیل دما، pH محلول، غلظت رنگ‌زا، مقدار کاتالیزور و زمان تابش نور UV بررسی شد. نتایج نشان داد که این نانو کامپوزیت‌ها عملکرد کاتالیزوری نوری خوبی دارند.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۱

در دسترس به صورت الکترونیکی: ۱۴۰۲/۹/۸

شاپا چاپی: ۱۷۳۵-۸۷۷۹

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۲۱۶۹

DOR: 20.1001.1.17358779.1402.17.3.5.8

واژه‌های کلیدی:

نانوذرات مغناطیسی

هم‌رسوبی

فوتوکاتالیست

متیل ویولت

مالاشریت گرین اگزالات

اریوکروم بلک تی



۱- مقدمه

فناوری نانو یکی از رایج‌ترین حوزه‌ها برای تحقیقات فعلی و در حال رشد در همه زمینه‌های مطالعاتی است (۱-۳). نانوکامپوزیت‌ها جامدات چندفازی هستند که حداقل یکی از فازها بین 10^{-9} تا 10^{-6} متر (در محدوده نانومتر) یا ساختارهای دارای فواصل تکراری نانو مقیاس بین فازهای مختلف تشکیل‌دهنده مواد هستند. مواد نانوکامپوزیتی به عنوان یک جایگزین مناسب برای غلبه بر محدودیت میکروکامپوزیت‌ها ظاهر می‌شوند، در حالی که نشان‌دهنده چالش‌های آماده‌سازی مربوط به کنترل ترکیب عناصر و استوکیومتری در سطح نانو خوشه هستند. آنها به عنوان مواد قرن بیست و یکم در نظر گرفته می‌شوند و ترکیبات مخصوص و منحصر به فردی هستند که در کامپوزیت‌های معمولی یافت نمی‌شوند (۴). از اکسیدهای فلزی برای تجزیه آلاینده‌های آلی در داخل آب و برای کاهش مواد معدنی خطرناک استفاده شده است (۵).

در چند سال گذشته، نانو ذرات مغناطیسی به دلیل خواص مغناطیسی منحصر به فرد خود بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. آنها به طور گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف مانند دستگاه ذخیره‌سازی مغناطیسی، کاتالیز و سیستم تبرید مغناطیسی، کاربرد انتقال حرارت در سیستم دارورسانی، تصویربرداری رزونانس مغناطیسی (MRI)، درمان سرطان و جداسازی سلول‌های مغزی استفاده می‌شوند (۶-۱۰). با صنعتی شدن، کارخانه‌های نساجی، زباله و صنایع کاغذ پساب آلوده خود را درون آب‌های جاری تخلیه می‌کنند و منجر به آلودگی شدید آب می‌شوند. آلاینده‌های آلی در هوا و آب به دلیل سرطان‌زایی و سمیت توجه گسترده‌ای را به خود جلب نموده‌اند (۱۱). با وجود ۲۶۰۰۰ نوع رنگ‌زا در دنیا، صنعت نساجی از صنایع پرمصرف است. در این صنایع، پساب به وجود آمده دارای پساب‌های رنگی زیادی می‌باشد. ترکیبات سمی مانند رنگ‌زاهای آزو موجود در این پساب‌ها باعث ایجاد مشکلات بهداشتی و خطراتی برای محیط‌زیست می‌شوند. رنگ‌زاهای آلی، حتی در غلظت‌های پایین، تهدیدی برای انسان و محیط هستند؛ بنابراین پساب این صنایع باید تصفیه شود. روش‌های گوناگونی برای حذف رنگ‌زاها از پساب این صنایع وجود دارد (۱۲، ۱۱). به‌کاربردن فناوری نانو روشی جدید برای حذف رنگ‌زاها از پساب این صنایع می‌باشد. این فناوری به دلیل بالا بودن نسبت سطح بر حجم نانوکاتالیزور، کارایی بالایی در حذف ترکیبات آلی دارد و در این فناوری کاتالیزور کمتری استفاده می‌شود (۱۴، ۱۳). توسعه فناوری‌های بدون آلودگی برای مقابله با هزینه‌های زیست‌محیطی و تأمین انرژی پاک جایگزین، ضروری هستند (۱۵). از نظر زیست محیطی، حذف رنگ‌زاهای آلی از محیط زیست یکی از نگرانی‌های بزرگ است. از میان روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلف، فرآیند جذب یکی از مؤثرترین روش‌هایی است که با موفقیت برای از بین بردن مواد رنگ‌زا از

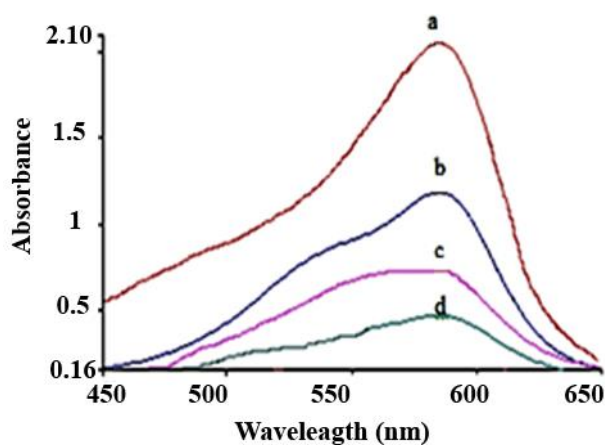
پساب استفاده شده است (۱۶). واضح‌ترین نشانه آلودگی زباله‌ها، رنگ زباله است و قبل از ورود آنها در محیط زیست باید کاهش یابد. حضور مقادیر ناچیز رنگ ($> 1 \text{ ppm}$) به‌وضوح مشهود است و به‌طور قابل توجهی بر محیط و آب تأثیر می‌گذارد. حذف رنگ از زباله اغلب مهم‌تر از سایر مواد آلی بی‌رنگ است. در واقع، روش معمول تصفیه پساب نه تنها مخرب است بلکه سبب انتقال آلودگی از یک فاز به دیگری می‌شود. امروزه آخرین فناوری‌های تصفیه پساب که منجر به کانی‌سازی کامل آلاینده‌های آلی می‌شود به‌عنوان مناسب‌ترین راه‌حل مسئله مرتبط با نیازهای بیشتر و شدیدتر در مورد سطح آلودگی در آب و پساب در نظر گرفته شده است. به‌تازگی، فرآیندهای به‌اصطلاح پیشرفته اکسایش (AOP) به عنوان روش‌های جایگزین برای تصفیه آب توصیه می‌شود. فرآیندهای کاتالیزوری نوری دسته‌ای از فرآیندهای اکسایش پیشرفته می‌باشند. تخریب کاتالیزوری نوری رنگ‌زاها یا سایر آلودگی‌های آلی در پساب یکی از روش‌های حذف این آلاینده‌ها از پساب است. این روش دارای مزایای متعددی از جمله حذف کامل آلودگی، سازگاری با محیط زیست، فناوری درمان پایدار برای حفاظت از محیط‌زیست است (۱۸، ۱۷). تجزیه کاتالیزوری نوری رنگ‌زاها در سراسر جهان بدون توجه به سطح علم در بسیاری از کشورها مورد بررسی قرار گرفته است (۱۹). یک سری از کاتالیزورها زمانی که در معرض تابش نور قرار می‌گیرند، فعالیت خوبی را نشان می‌دهند. به این کاتالیزورها، کاتالیزورهای نوری گفته می‌شود که دارای دو روش هم‌زمان با عملکرد متفاوت هستند. ۱. فوتوشیمی که در این مورد انرژی لازم از طریق تابش تأمین می‌شود، ۲. کاتالیز کردن که در آن سرعت واکنش تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۲۰).

کاتالیزور نوری ناهمگن یکی از روش‌های مدرن است که به‌طور گسترده‌ای برای تخریب یا سفید کردن رنگ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۹). در فرآیند تجزیه رنگ‌زا، مولکول‌های بزرگ رنگ‌زاها به اکسیدشدن‌های کوچک‌تر از جمله آب، دی‌اکسید کربن و سایر مواد معدنی تبدیل می‌شوند (۲۱). متغیرهای نرمال در نظر گرفته شده شامل غلظت گونه‌های اکسیدکننده، غلظت رنگ‌زا مورد استفاده، کاتالیزور استفاده شده و شدت و منبع فوتون‌های مورد استفاده برای مطالعات تخریب است (۲۲)؛ بنابراین، طبق تحقیقات اخیر، تخریب کاتالیزوری نوری می‌تواند نقش مهمی در فناوری تصفیه آب و پساب ایفا کند (۲۳). در فرآیند فوتوکاتالیز نانو ذرات مغناطیسی در مقایسه با سایر جاذب‌های دیگر مؤثرتر و کارآمدتر می‌باشند. همچنین نانوذرات اکسیدهای فلزی دارای خاصیت انتخاب‌پذیری مناسب برای جذب ترکیبات سمی و فلزات سنگین هستند. نانو جاذب‌ها از جمله نانوذرات فلزی (نقره، آهن و روی)، نانو ذرات اکسید فلزی (اکسید تیتانیوم، اکسید روی و اکسید آهن)، نانو لوله‌های کربنی و نانو کامپوزیت‌ها در تصفیه آب و پساب توسعه یافته‌اند و برای حذف فلزات

هرگونه باقی‌مانده آلی، رسوب سفید به‌دست آمده در دمای ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد برای ۲ ساعت خالص‌سازی و کلسینه شد.

۳-۲- آزمون کاتالیزوری نوری

در این مطالعه، ۲۰ میلی‌گرم نانوکامپوزیت LCoFO (بهینه شده در فرآیند آزمایش) به ۱۰ میلی‌لیتر محلول آبی 10^{-3} مولار MV، MG و EBT اضافه شد و به‌صورت جداگانه پراکنده شدند. قبل از تابش، سوسپانسیون به مدت ۳۰ دقیقه به‌طور مغناطیسی در تاریکی برای ایجاد تعادل جذب-وا جذب بین سطح کاتالیزوری و رنگ‌زا هم زده شد. سپس مخلوط واکنش با استفاده از دو لامپ UV (۳۶۶ nm و ۳۲ w) برای یک ساعت، تحت نور فرابنفش قرار گرفت. منابع نور در اطراف سطح خارجی مخلوط واکنش قرار گرفتند. در طول تابش نور، اثر تعدادی از پارامترها مانند دما، pH محلول، غلظت رنگ‌زا، کاتالیزورهای نوری و زمان تابش مطالعه و بهینه‌سازی شده و واکنش تحت شرایط آزمایشگاهی بهینه انجام شد. در نهایت، مخلوط واکنش سانتریفیوژ و صاف شد و غلظت‌های باقی‌مانده MV، MG و EBT به‌وسیله طیف‌سنج UV-Vis اندازه‌گیری شد. شکل ۱ جذب باقی‌مانده (طیف جذبی) MV، MG و EBT توسط نانوکامپوزیت LCoFO را در زمان‌های مختلف تابش نشان می‌دهد.



شکل ۱: طیف جذبی UV-Vis، MV با نانوذرات LCoFO پس از (a) ۰، (b) ۲۰، (c) ۳۰ و (d) ۶۰ دقیقه تابش نور UV.

Figure 1: UV-Vis absorption spectra of MV with LCoFO nanoparticles after a. 0.0, b. 20, c. 30, and d. 60 min UV light irradiation.

سنگین و آلاینده‌های آلی و زیستی از آب به کار می‌روند. این نانو جاذب‌ها دارای بازده بالایی در کاهش آلاینده‌ها هستند و مقدار مورد نیاز نانو جاذب برای جذب ترکیبات آلاینده بسیار کم است. تلاش‌های تحقیقاتی متعددی منجر به پیشرفت قابل‌توجهی برای کانی‌سازی کامل آلاینده‌های آلی با استفاده از مواد مختلف نانو تحت نور شده است. نانوکامپوزیت‌های FeLaO_3 و FeNdO_3 از طریق روش هم‌رسوبی سنتز شدند و فعالیت کاتالیزوری نوری آنها در تخریب رنگ‌زاهای صنعتی (MV و MG) مطالعه شده است. هر دو نانوکامپوزیت به‌عنوان کاتالیزور نوری مؤثر برای تجزیه رنگ‌زاهای MV و MG تأیید شده‌اند (۲۴). کاتالیزور نوری NiFe_2O_4 با استفاده از روش هم‌رسوبی به کمک فراصوت سنتز شده است. عملکرد کاتالیزوری نوری آن برای تخریب مولکول تیتان زرد مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این پژوهش نیز نشان‌دهنده مناسب بودن این کاتالیزور نوری مغناطیسی در کاربردهای تصفیه پساب است (۲۵). بهینه‌سازی فعالیت کاتالیزوری نوری نانولوله‌های کربنی به همراه نانوذرات اکسید روی برای حذف آلاینده متیلن آبی بررسی گردید. نتایج نشان داد عواملی مانند زمان تابش و pH از عوامل تأثیرگذار بر تجزیه نوری آلاینده هستند (۲۶).

در این مقاله، نانوکامپوزیت $\text{La}_2\text{CoFe}_2\text{O}_7$ (LCoFO) با موفقیت با استفاده از روش هم‌رسوبی و با کمک اولتراسونیک سنتز می‌شود. نانوکامپوزیت‌های تهیه شده توسط XRD، TEM، FTIR و AGFM شناسایی شدند. سپس نانوکامپوزیت‌های سنتز شده به‌عنوان کاتالیزور نوری در نور UV استفاده گردید.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

نیتрат آهن $(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O})$ ، هیدروکسید سدیم (NaOH)، کلرید لانتانید $(\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O})$ ، نیترات کبالت $(\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ و اسید اکتانویک از شرکت Merck خریداری شده است. تمام مواد شیمیایی بدون تغییر استفاده شدند.

۲-۲- سنتز نانوکامپوزیت $\text{La}_2\text{CoFe}_2\text{O}_7$

محلول‌ها با حل کردن نمک‌های 0.0111 mol (1.542 g)، 0.011 mol (4.484 g) $\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ، 0.055 mol (0.890 g) $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ با نسبت‌های به ترتیب ۲:۲:۱ میلی‌مول در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به‌صورت جداگانه تهیه شدند. سپس سه محلول با هم مخلوط شده و ۲ میلی‌لیتر اسید اکتانویک به‌عنوان ماده فعال سطحی به‌آرامی به مخلوط اضافه شد. سپس محلول به‌شدت هم زده شد و با اضافه شدن تدریجی NaOH (5M)، pH محلول به ۸-۹ رسید. پس از رسوب‌دهی کامل، محلول تحت تابش امواج فراصوت قرار گرفت. در این مرحله، خالص‌ترین نانوذرات به دست آمد. پس از اعمال فراصوت، برای از بین بردن

۴-۲- دستگاه‌ها

دستگاه مغناطیس سنج گرادیان نیروی متناوب (AGFM) ساخته شده توسط شرکت «مغناطیس دقیق کویر (کاشان، ایران)» برای بررسی خواص مغناطیسی دمای اتاق در یک میدان مغناطیسی اعمال شده بین ± 10000 Oe استفاده شد. دستگاه فراصوت به صورت ژنراتور فراصوت چندگانه (خط باند 73 MS) با مبدل و نوسانگر تیتانیوم با ۲۰ کیلو هرتز و حداکثر توان خروجی ۱۵۰ وات برای سنتز مواد استفاده شد. دستگاه ترازوی مدل ساخت شرکت با دقت برای توزین مواد شیمیایی به کار گرفته شد. تصاویر TEM با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (EM10C - 100 KV Zeiss) ثبت شدند. از لامپ کم‌مصرف فلورسنت ۴۰ وات Tuv Rheinland به‌عنوان منبع تابش استفاده شد. طیف‌های UV-VIS با استفاده از LAMBDA45 Perkin-Elmer ثبت شدند. طیف‌های XRD توسط دستگاه Philips X-ray diffractometer Ni-filtered $\text{CuK}\alpha$ با تابش ثبت شدند. طیف‌های FTIR توسط دستگاه FTIR (WQF-510A) Rayleigh spectrophotometer ثبت شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- شناسایی نانوکامپوزیت LCoFO

روش‌های FTIR، XRD و TEM برای شناسایی نانوکامپوزیت LCoFO استفاده شدند. گروه عاملی موجود در محصولات با طیف FTIR مشخص گردید. فاز و اندازه بلور محصولات توسط XRD تعریف شد. اندازه دقیق ذرات و ساختار سطح محصولات توسط میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) تعیین شدند. سیستم AGFM برای محاسبه خواص مغناطیسی دمای اتاق نمونه‌ها استفاده شد. رفتار مغناطیسی آن‌ها در دمای اتاق با حلقه هیستریزس نانوذرات نشان داده شد.

۳-۲- تفسیر طیف FTIR نانوکامپوزیت‌های LCoFO

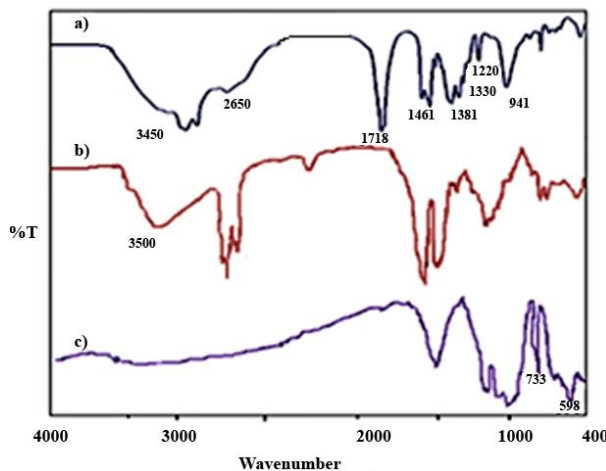
طیف FT-IR اسید اکتانویک، نانوکامپوزیت‌های LCoFO قبل از کلسینه شدن و نانوکامپوزیت‌های LCoFO بعد از کلسینه شدن به ترتیب در شکل ۲ در محدوده عدد موجی از 4000 تا 400 cm^{-1} نشان داده می‌شوند. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، باندهای عرضی 3450 - 2650 cm^{-1} به ارتعاش کششی O-H اسید اکتانویک مربوط می‌شود؛ درحالی‌که پیک معمول گروه کربونیل در 1718 cm^{-1} قابل مشاهده است. پیک‌های 1461 و 1381 cm^{-1} به ترتیب به ارتعاش خمشی گروه‌های CH_3 و CH_2 تعلق دارند. دو نوار تشخیصی در 1220 تا 941 cm^{-1} به ترتیب به کشش C-O و خمش خارج از صفحه‌ای گروه O-H اشاره دارد. پیک‌های جذبی در ناحیه 733 و 598 cm^{-1} دیگری در حدود 598 cm^{-1} ظاهر

می‌شود که به ترتیب به ارتعاش کششی پیوند M-O و به ارتعاشات خمشی O-M-O مربوط است. نتایج نشان می‌دهد که طیف FTIR سه نمونه باهم بسیار مشابه بوده و موقعیت آن‌ها در توافق قابل قبولی با موارد گزارش شده در منابع می‌باشد (۲۷).

۳-۳- تجزیه و تحلیل XRD نانوکامپوزیت LCoFO

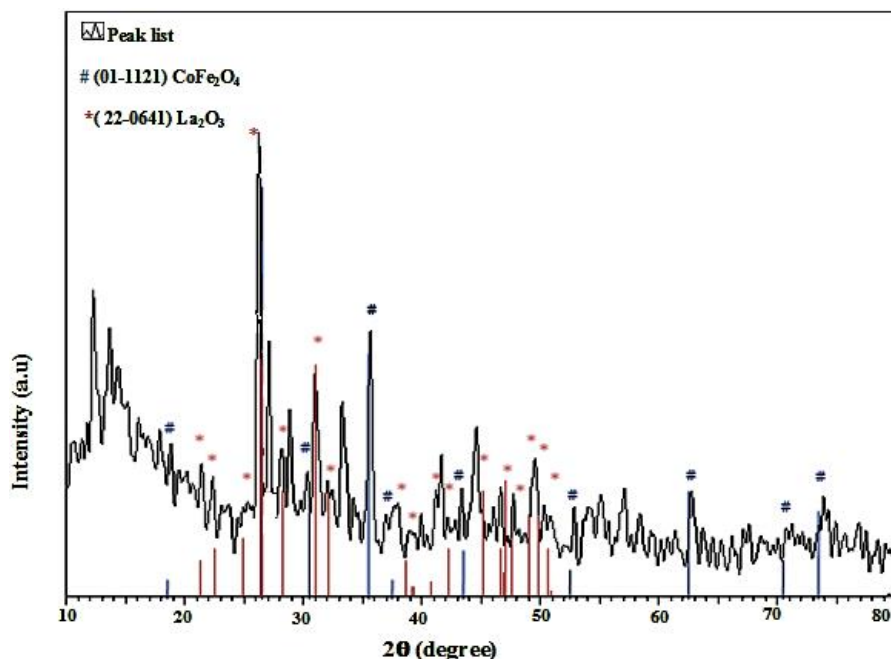
الگوی XRD محصول کلسینه شده در 800°C در شکل ۳ نشان داده می‌شود که با ترکیب CoFe_2O_4 و استاندارد (01-1211) با تقارن مکعبی و مشخصه‌های شبکه $a = 3,88500 \text{ \AA}$ و $b = 3,88500 \text{ \AA}$ و $c = 3,88500 \text{ \AA}$ مطابقت دارد و با ترکیب La_2O_3 و استاندارد (22-064) با تقارن مونوکلینیک و مشخصه‌های شبکه $a = 14,6000 \text{ \AA}$ و $b = 3,7170 \text{ \AA}$ و $c = 9,2780 \text{ \AA}$ کاملاً مطابقت دارد. میانگین اندازه بلور $21,3$ نانومتر به دست آمد. میانگین اندازه بلور توسط فرمول ویلیامسون حال تعیین شد. رابطه ویلیامسون حال در معادله ۱ نشان داده می‌شود که در آن D_{W-H} اندازه دانه است که از نمودار Williamson-Hall تعیین می‌شود. متغیر K ، نشان‌دهنده فاکتور شکل است و مقدار تقریبی آن، $0,9$ می‌باشد. λ طول موج منبع پرتو ایکس است و در XRD $0,154$ نانومتر تنظیم شده است. با مقایسه این رابطه با رابطه استاندارد برای یک خط مستقیم، $(y = mx+c)$ ، مشاهده می‌شود که با ترسیم $\beta_{\text{total}} \cos \theta$ در مقابل $\sin \theta$ ، مؤلفه کرنش از شیب (Cε) و مؤلفه اندازه از رابطه $K\lambda/D_{W-H}$ به دست می‌آید (۲۸).

$$\beta_{\text{total}} \cos \theta = C_{\epsilon} W-H \sin \theta + \frac{K\lambda}{D_{W-H}} \quad (1)$$



شکل ۲: طیف FI-IR (الف) اسید اکتانویک، (ب) نانو ذرات کلسینه نشده LCoFO و (ج) نانو ذرات کلسینه شده LCoFO.

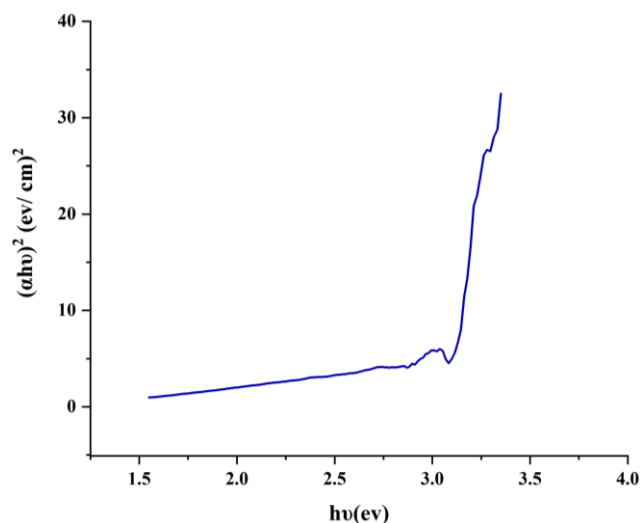
Figure 2: FT-IR spectra of (a) octanoic acid, (b) uncalcined LCoFO, and (c) calcined LCoFO nanoparticles.



شکل ۳: الگوی XRD نانوذرات LCoFO.

Figure 3: XRD pattern of LCoFO nanoparticles.

برای یک میزبانی کامل برای یون‌های مهمان، برای درک واکنش سطحی وابسته به منطقه و برای عمل به‌عنوان غربال مولکولی داشته باشد (۳۱).

شکل ۴: نمودار $(\alpha hv)^2$ در مقابل hv به‌دست آمده از طیف UV-Vis DRS کامپوزیت خالص LCoFO.Figure 4: the $(\alpha hv)^2$ versus hv plot derived from the UV-Vis DRS spectrum of pure LCoFO composite.

۳-۴ تجزیه و تحلیل طیف DRS نانوکامپوزیت LCoFO

شکل ۴ نمودار $(\alpha hv)^2$ در مقابل hv به دست آمده از طیف UV-Vis DRS نانوکامپوزیت LCoFO را نشان می‌دهد. انرژی شکاف باند مربوطه را می‌توان با رابطه ۲ تعیین نمود.

$$\alpha hv = A(hv - E_g)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

برای انتقال مستقیم الکترون که در آن A ، عدد ثابت و انرژی شکاف باند مستقیم و انرژی فوتون فرودی به ترتیب $h\nu$ و E_g می‌باشند، انرژی باند شکاف از نمودار $(\alpha hv)^2$ در مقابل $h\nu$ با برون‌یابی بخش خطی $(\alpha hv)^2$ به صفر برآورد شد. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده می‌شود، شکاف باند نوری LCoFO حدود ۲٫۸ eV است که با آنچه در مقالات گزارش شده، مطابقت دارد (۲۹، ۳۰).

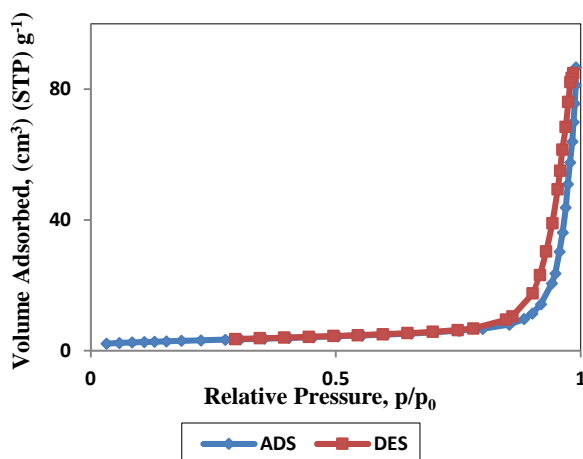
۳-۵ تجزیه و تحلیل تصاویر TEM نانوکامپوزیت‌های LCoFO

توزیع اندازه ذره یا بلوری بودن و ریخت‌شناسی با استفاده از مطالعه تصاویر TEM تعیین گردید. تصاویر TEM نانوکامپوزیت LCoFO در شکل ۵ نشان داده می‌شوند. نانوذرات سنتز شده، کروی شکل و با اندازه‌های دانه‌ای حدود ۳۰ نانومتر می‌باشد که در توافق خوبی با نتایج XRD است. از میکروگرافی‌ها مشخص گردید که نانوذرات دارای ساختار متخلخل هستند. این نانو ذرات موقعیت‌های فعال بسیاری را بر روی سطح تشکیل می‌دهند. با توجه به منطقه بسیار خاص در سطح ذرات، این نوع ریخت ممکن است احتمال بیشتری

می‌گذارند. اثرات این عوامل در شکل‌های ۸ تا ۱۲ نشان داده می‌شوند. بدیهی است که نانوکامپوزیت‌های سنتز شده به‌عنوان کاتالیزور نوری مؤثر برای تخریب MG، MV و EBT تأیید می‌شوند.

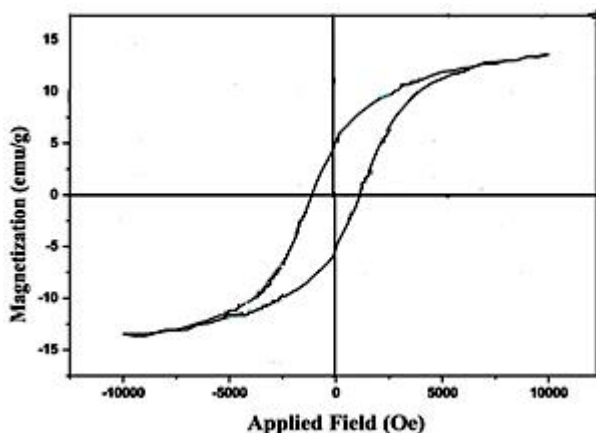
۳-۸-۲- اثر دما

یکی از مواردی که به طور قابل‌ملاحظه بر روی فرآیند تجزیه نوری اثر می‌گذارد، دما است. شکل ۸ نشان می‌دهد که درجه حرارت تأثیر زیادی بر تخریب نوری MG، MV و EBT دارد. اثرات کاتالیزوری نوری را می‌توان با افزایش دما از ۲۵ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد بهبود بخشید. بهبود تجزیه نوری رنگ‌های MG، MV و EBT با افزایش دما نشان می‌دهد که تحریک یون‌های رنگی افزایش یافته و از سوی دیگر نفوذ یون‌های MG، MV و EBT و تعداد محل جذب توسط التهاب ساختار داخلی نیز افزایش یافته است (۳۵).



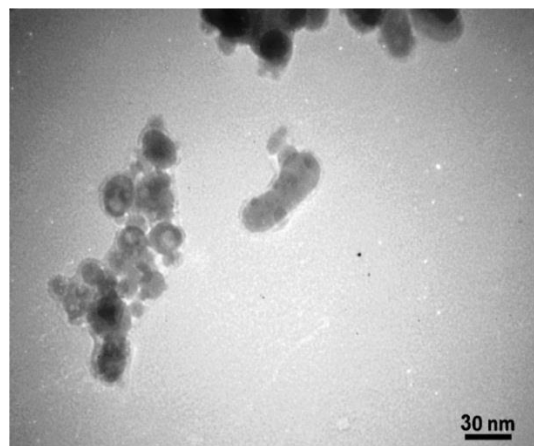
شکل ۶: نمودار ایزوترم جذب-دفع نیتروژن نانوکامپوزیت LCoFO.

Figure 6: The isotherm plot of nitrogen adsorption-desorption of LCoFO nanocomposite.



شکل ۷: منحنی هیستریزس دمای اتاق نانوذرات LCoFO.

Figure 7: Room temperature hysteresis loop of LCoFO nanoparticles.



شکل ۵: تصویر TEM نانوذرات LCoFO.

Figure 5: TEM image of LCoFO nanoparticles.

۳-۶- تجزیه و تحلیل BET نانوکامپوزیت‌های LCoFO

ایزوترم‌های جذب-واجذب N_2 با استفاده از دستگاه II, BEL Japan BET (Belsorp mini Ins.) در دمای نیتروژن مایع اندازه‌گیری شد. مساحت سطح ویژه با استفاده از مدل Brunauer-Emmett-Teller (BET) محاسبه شد (۳۲) و توزیع اندازه منافذ با روش BJH (Barett-Joyner-Halenda) تعیین گردید (۳۳). شکل ۶ ایزوترم جذب-واجذب N_2 و توزیع اندازه منافذ نانوذرات LCoFO را نشان می‌دهد. مساحت سطح BET، حجم منافذ کل و قطر منافذ LCoFO محاسبه شده از شاخه دفع ایزوترم با استفاده از روش BJH به ترتیب $10,542 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ ، $0,0303 \text{ cm}^3\text{g}^{-1}$ و $22,08 \text{ nm}$ بود.

۳-۷- رفتار مغناطیسی نانوکامپوزیت‌های LCoFO

سیستم AGFM برای بررسی خواص مغناطیسی دمای اتاق نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۷ حلقه هیستریزس مغناطیسی اکسید مختلط نانوکامپوزیت LCoFO را نشان می‌دهد. وادارندگی و مغناطیس باقی‌مانده این نمونه حدود 200 oe و $2,2 \text{ emu/g}$ است. نانوذرات سنتز شده، رفتار فرومغناطیس را نشان می‌دهند (۳۴).

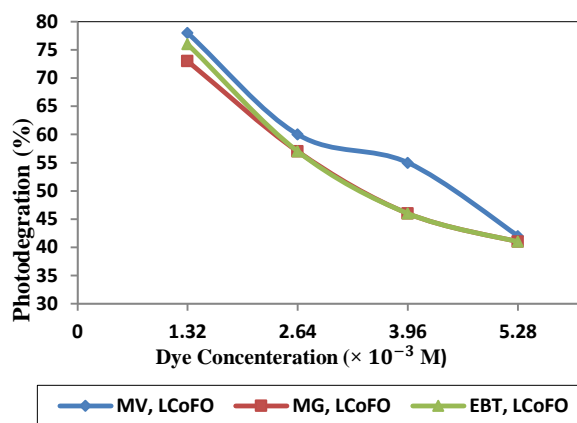
۳-۸- مطالعه خواص کاتالیزوری نوری نانوکامپوزیت‌های سنتز شده

۳-۸-۱- فرآیندهای تجزیه نوری رنگ‌زاهای متیل و یولت،

اریوکروم بلک تی و مالاویت گرین اگزالات

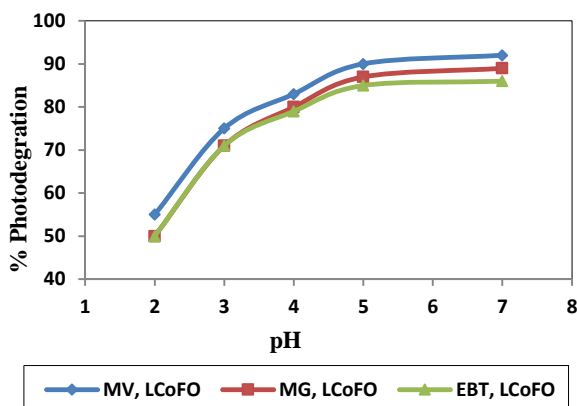
در این مطالعه، رفتار کاتالیزوری نوری نانوکامپوزیت LCoFO نسبت به تجزیه نوری رنگ‌زاهای متیل و یولت، مالاویت گرین اگزالات و اریوکروم بلک تی بررسی شد. عواملی مانند دمای واکنش، pH محلول، غلظت رنگ‌زا، مقدار کاتالیزور و زمان تابش بر تجزیه نوری متیل و یولت و مالاویت گرین اگزالات و اریوکروم بلک تی تأثیر

نانوذرات LCoFO در شکل ۱۱ نشان داده می‌شود. با افزایش زمان تابش تا ۶۰ دقیقه، سرعت تجزیه نوری بر روی نانوذرات افزایش می‌یابد. بیشترین میزان جذب در ۶۰ دقیقه رخ داده و پس از آن افزایش بیشتر در زمان، اثر قابل ملاحظه‌ای بر روی تجزیه نوری ندارد و این به خاطر برخی عوامل اولیه است. تعداد زیادی از مناطق سطح خالی برای مولکول‌های رنگ‌زا در کل مراحل اولیه از جذب موجود هستند، اما مناطق اشغال شده شروع به دفع مولکول‌های جذب شونده در فاز محلول می‌کنند و در مورد مولکول‌ها جذب شونده نیروی تحریک شده موجود برای رسیدن به مناطق سطح خالی ضعیف هستند، بنابراین جذب سطحی کاهش می‌یابد (۳۸).



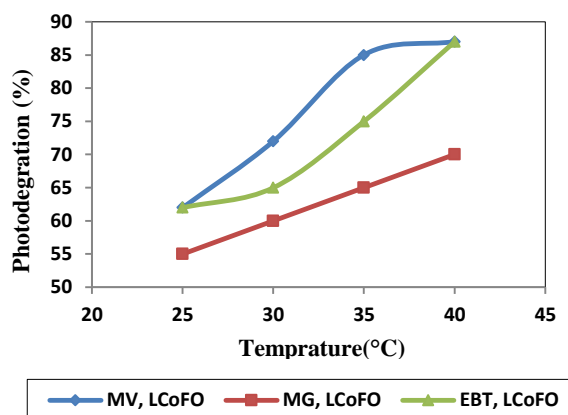
شکل ۹: بررسی اثر غلظت رنگ‌زا بر تجزیه نوری MV، MG و EBT با استفاده از نانوذرات LCoFO.

Figure 9: Investigating the effect of dye concentration on photodegradation of MV, MG and EBT by LCoFO nanoparticles.



شکل ۱۰: بررسی اثر pH بر تجزیه نوری MV، MG و EBT به وسیله نانوذرات LCoFO.

Figure 10: Investigating the effect of pH on photodegradation of MV, MG and EBT by LCoFO nanoparticles.



شکل ۸: بررسی اثر دما بر تجزیه نوری MV، MG و EBT به وسیله نانوذرات LCoFO.

Figure 8: Investigating the effect of temperature on photodegradation of MV, MG and EBT by LCoFO nanoparticles.

۳-۸-۳ اثر غلظت رنگ‌زاهای MV، MG و EBT

اثر غلظت اولیه رنگ‌زاهای MV، MG و EBT بر تجزیه نوری با استفاده از نانوذرات LCoFO به‌عنوان جاذب در شکل ۹ نشان داده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود با افزایش غلظت اولیه MV، MG و EBT از ۱،۳۲ به ۵،۲۸ میلی‌گرم بر لیتر، درصد تجزیه نوری برای MV از ۷۸ به ۴۲ درصد و برای MG و EBT به ترتیب از ۷۳ به ۴۱ درصد و از ۷۶ به ۴۱ درصد در حضور نانو ذرات LCoFO کاهش می‌یابد. کاهش صورت گرفته به دلیل افزایش تعداد مولکول‌های رنگ‌زا است. نسبت تعداد سایت‌های خالی روی سطح کاتالیزورها به مولکول‌های رنگ‌زا کاهش می‌یابد و کل مولکول‌های MV، MG و EBT با سایت‌های قابل دسترس بر روی سطح نانوذره در غلظت‌های کم، در دسترس می‌باشد. از این رو، مناطق فعال از سطوح جاذب با افزایش غلظت اولیه رنگ‌زا اشباع می‌شود بنابراین درصد تجزیه نوری کاهش می‌یابد (۳۶، ۳۷).

۳-۸-۴ اثر pH

تجزیه نوری LCoFO تحت شرایط pH مختلف (۲ تا ۷) با استفاده از NaOH و HCl در مقدار ثابت ۴۰ میلی‌گرم کاتالیزور در ۲۰ ml از سطوح رنگ‌زا مورد آزمایش قرار گرفت. شکل ۱۰ نشان می‌دهد که درصد تجزیه نوری MV، MG و EBT با افزایش pH، افزایش می‌یابد. با افزایش pH، گروه‌های عاملی بر روی سطح جاذب جدا می‌شوند و جاذبه الکتروستاتیک بین گروه‌های عاملی از رنگ‌زاهای و بار منفی سطح منجر به افزایش تجزیه نوری رنگ‌زا می‌شود (۳۷).

۳-۸-۵ اثر زمان تابش

اثر زمان تابش بر تجزیه نوری MV، MG و EBT به‌وسیله جاذب‌های

جدول ۱: مقایسه بازده تخریب رنگ توسط کاتالیزورهای نوری مختلف.

Table 1: Comparison of dye degradation efficiency by various photocatalysts.

No	PhotoCatalyst	Dye	Irradiation (nm)	Performance	Ref
1	Ni-Cr/TiO ₂	methylene B	Sunlight	95.6 % (90 min)	(41)
2	Ce-B/TiO ₂	malachite G	UV	90 % (120 min)	(42)
3	CoCr ₂ O ₄ nanoparticles	Eriochrome black-T	Visible	90 % (90 min)	(43)
4	ZnO (Merck)	Eriochrome black-T	UV	62 % (90 min)	(44)
5	CoFe ₂ O ₄	Congo Red	UV	91 % (90 min)	(45)
6	ZnO	methyl viole	UV	99 % (75 min)	(46)
7	B-La/TiO ₂	methyl O	Sunlight	98 % (90 min)	(47)
8	La ₂ CoFe ₂ O ₇	methyl violet, malachite G and Eriochrome black-T	UV	98 % MV (60 min), 94 % MG(60 min) EBT 92 % (60min)	This work

۳-۸-۶- اثر کاتالیزور LCoFO

اثر کاتالیزور بر تجزیه رنگ‌ها در شکل ۱۲ نشان داده می‌شود. مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار نانوکامپوزیت از ۲ تا ۸ گرم بر لیتر، درصد تخریب نوری MV، MG و EBT بهبود می‌یابد. سطح بالای نانوکامپوزیت به علت افزایش مقدار کاتالیزور افزایش می‌یابد. نانوکامپوزیت LCoFO جذب فوتون بیشتری را در سطح خود انجام می‌دهد، بنابراین جذب مولکول‌های رنگ‌ها بر روی سطح کاتالیزور نوری افزایش یافته و تجزیه نوری MV، MG و EBT افزایش می‌یابد (۴۰، ۳۹، ۲۴). جدول ۱ عملکرد چندین کاتالیزور نوری سنتز شده را با داده‌های تجربی نشان می‌دهد (۴۷-۴۱).

۴- نتیجه‌گیری

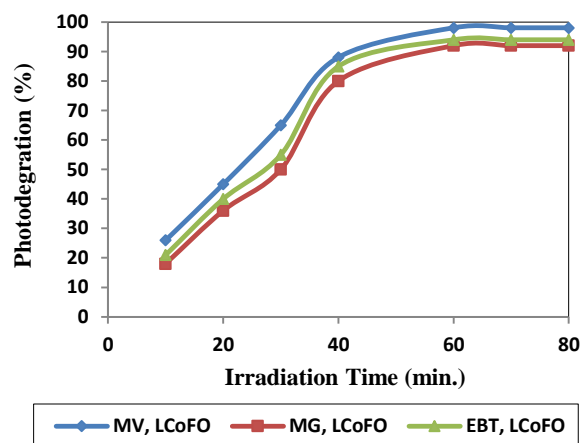
کاتالیزور نوری بر پایه نانوکامپوزیت‌های اکسید فلزی رویکرد مهمی در تخریب کاتالیزوری نوری رنگ‌ها است. تلاش‌های زیاد پژوهشی منجر به پیشرفت قابل ملاحظه‌ای برای کانی‌سازی کامل آلاینده‌های آبی با استفاده از مواد مختلف نانو تحت نور شده است. در این مطالعه، نانوکامپوزیت‌های LCoFO با استفاده از روش هم‌رسوبی سنتز شدند و فعالیت کاتالیزوری نوری آنها در تخریب رنگ‌های صنعتی (MV، MG و EBT) تحت شرایط بهینه‌سازی دما (۳۰ درجه سانتی‌گراد)، غلظت رنگ‌ها (1.5×10^{-3} ، pH ۷)، زمان تابش (۶۰ دقیقه) و مقدار کاتالیزور (۲g/l) مورد مطالعه قرار گرفت.

تشکر و قدردانی

پشتیبانی فنی و مالی این کار توسط دانشگاه پیام نور، دانشگاه آزاد اسلامی زاهدان و مجتمع آموزش عالی فنی و مهندسی اسفراین انجام شده است.

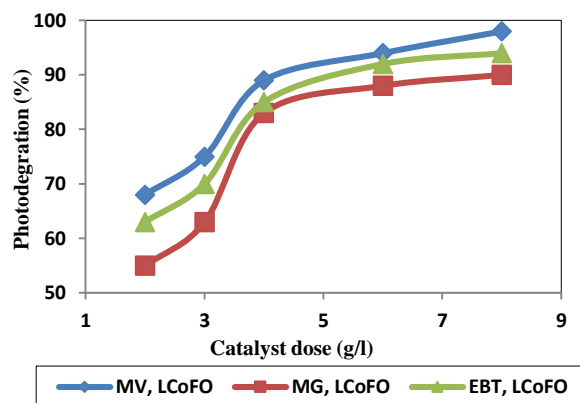
تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.



شکل ۱۱: بررسی اثر زمان تابش نور UV بر تجزیه نوری MV، MG و EBT به وسیله نانوذرات LCoFO.

Figure 11: Investigating the effect of UV light irradiation time on photodegradation of MV, MG and EBT by LCoFO nanoparticles.



شکل ۱۲: بررسی اثر مقدار کاتالیزور بر تجزیه نوری MV، MG و EBT به وسیله نانوذرات LCoFO.

Figure 12: Investigating the effect of catalyst amount on photodegradation of MV, MG and EBT by LCoFO nanoparticles.

۵- مراجع

1. Mark JE, Jiang CY, Tang MY. simultaneous curing and filling of elastomers. *Macromol.* 1984;17: 2613-2616. <https://doi.org/10.1021/ma00142a026>
2. Abniki M, Moghimi A. Removal and measurement of bromocresol purple dye in aqueous samples by β -cyclodextrin-modified magnetic carbon nanotube with dispersive solid-phase extraction technique. *J Color Sci Tech.* 2022;15(4):301-315. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.17358779.1400.15.4.4.5> [In Persian].
3. Wen J, Wilkes GL. Organic/inorganic hybrid network materials by the sol-gel approach. *Chem Mater.* 1996; 8: 1667-1681. <https://doi.org/10.1021/cm9601143>.
4. Camargo PH, Satyanarayana CKG, Wypych F. Nanocomposites: synthesis, structure, properties and new application opportunities. *Mater Res.* 2009; 12: 1-39. <https://doi.org/10.1590/S1516-14392009000100002>.
5. Ancy K, Bindhu MR, Bai JS, Gatasheh M K, Hatamleh A A, Ilavenil S. Photocatalytic degradation of organic synthetic dyes and textile dyeing waste water by Al and F co-doped TiO_2 nanoparticles. *Environ Res.* 2022; 206: 112492-112500. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112492>.
6. Zar M, Adibian E, Ghasemi E, Ashour F. Synthesis, Characterization, and Adsorptive Properties of Polyaniline@ MFe_2O_4 (M: Mg, Mn, Ni) Magnetic Nanocomposites. *J Color Sci Tech.* 2023; 17(2):93-110. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.17358779.1402.17.2.1.2> [In Persian].
7. Sharma Y, Srivastava V. Separation of Ni(II) Ions from Aqueous Solutions by Magnetic Nanoparticles. *J. Chem. Eng. Data.* 2009; 55: 1441-1442. <https://doi.org/10.1021/je900619d>
8. Chang YC, Chen DH. Adsorption Kinetics and Thermodynamics of Acid Dyes on a Carboxymethylated Chitosan-Conjugated Magnetic Nano-Adsorbent. *Macro Bios.* 2005; 5: 254-261. <https://doi.org/10.1002/mabi.200400153>
9. Teja AS, Koh PY. Synthesis, properties, and applications of magnetic iron oxide nanoparticles. *Prog. Cryst. Growth. Ch.* 2009; 55: 22-45. <https://doi.org/10.1016/j.pcrysgrow.2008.08.003>
10. Zhou J, Wu W, Caruntu D, Yu M, Martin A, Chen J, et al. Synthesis of Porous Magnetic Hollow Silica Nanospheres for Nanomedicine Application. *J. Phys. Chem. C.* 2007; 111: 17473-17477. <https://doi.org/10.1021/jp074123i>.
11. Barekat A, Shirkavand Hadavand B, Rayatzadeh A, Badri R. Modified calix[4]resorcinarenes oligomer as adsorbent in dye adsorption: investigation of optimal adsorption conditions. *J Color Sci Tech.* 2023;16(4):293-303. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.17358779.1401.16.4.2.0> [In Persian].
12. Zohra B, Aicha K., Fatima S, Nourredine B, Zoubir D. Adsorption of Direct Red 2 on bentonite modified by cetyltrimethylammonium bromide. *Chem Eng J.* 2008; 136: 295-305. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.03.086>.
13. Shu HY, Chang M C, Chen C C, Chen P E. Using resin supported nano zero-valent iron particles for decoloration of Acid Blue 113 azo dye solution. *J Haz Mat.* 2010; 184: 499-505. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.08.064>.
14. Joshi K M, Shrivastava V S. Removal of hazardous textile dyes from aqueous solution by using commercial activated carbon with TiO_2 and ZnO as photocatalyst. *Interl. J Chemtech Res.* 2010; 2: 427-435.
15. Luo X, Wang C, Luo S, Dong R, Tu X, Zeng G. Adsorption of As (III) and As (V) from water using magnetite Fe_3O_4 -reduced graphite oxide- MnO_2 nanocomposites. *Chem Eng J.* 2012; 187: 45-52. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.01.073>.
16. Barka N, Abdennouri M, Makhfouk ME. Removal of Methylene Blue and Eriochrome Black T from aqueous solutions by biosorption on *Scolymus hispanicus* L.: Kinetics, equilibrium and thermodynamics. *J Taiwan Inst Chem E* 2011; 42: 320-326. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2010.07.004>
17. Ayodhya D, Veerabhadram G. A review on recent advances in photodegradation of dyes using doped and heterojunction based semiconductor metal sulfide nanostructures for environmental. *Mater Tod Ener.* 2018; 9: 83-113. <https://doi.org/10.1016/j.mtener.2018.05.007>.
18. Odling G., Robertson N. SILAR BiOI-Sensitized TiO_2 Films for Visible-Light Photocatalytic Degradation of Rhodamine B and 4-Chlorophenol. *Chem Phys Chem.* 2017; 18: 728-735. <https://doi.org/10.1002/cphc.201601417>.
19. Pandit VK., Arbuji SS, Pandit YB, Naik SD, Rane SB, Mulik UP, et al. Solar light driven dye degradation using novel organo-inorganic (6,13-pentacenequinone/ TiO_2) Nanocomposite. *RSC Adv.* 2015;5:10326-10331. <https://doi.org/10.1039/C4RA11920G>.
20. Jamal A, gholapoor A, tabardarzi S. Investigating the application of photocatalysts and nano photocatalysts in removing environmental pollutants and their mechanism of action The first specialized conference on environmental engineering, Tehran University. 2006. <https://civilica.com/doc/11915/>.
21. Viswanathan B. Photocatalytic degradation of dyes: an overview. *Curr. Catal.* 2018; 7: 1-25. <https://doi.org/10.2174/2211544707666171219161846>.
22. Reza KM, Kurney AS W, Gulshan F. Parameters affecting the photocatalytic degradation of dyes using TiO_2 : a review. *Appl Water Sci.* 2017; 7: 1569-1578. <https://doi.org/10.1007/s13201-015-0367-y>.
23. Grzechulska J, Morawski A W. Photocatalytic decomposition of azo-dye acid black 1 in water over modified titanium dioxide. *Appl. Catal. B Environ.* 2002; 36: 45-51. [https://doi.org/10.1016/S0926-3373\(01\)00275-2](https://doi.org/10.1016/S0926-3373(01)00275-2).
24. Khammarnia S, Akbari A, Ekrami-Kakhki MS, Saffari J. Synthesis of FeLaO_3 and FeNdO_3 Magnetic Nanocomposites as Photocatalyst for Organic Dye Removal. *J Clust Sci.* 2019; 30:1383-1391. <https://doi.org/10.1007/s10876-019-01580-1>.
25. Bamer I, Saffari J, Baniyaghoob S, Ekrami-Kakhki MS. Synthesis of magnetic nano- NiFe_2O_4 with the assistance of ultrasound and its application for photocatalytic degradation of Titan Yellow: Kinetic and isotherm studies. *Colloids Interface Sci. Commun.* 2022; 48: 100610. <https://doi.org/10.1016/j.colcom.2022.100610>
26. abbasi S, Hasanpour M, Ekrami-Kakhki MS. Removal efficiency optimization of organic pollutant (methylene blue) with modified multi-walled carbon nanotubes using design of experiments (DOE). *J. Mater. Sci: Mater. Electron.* 2017; 28: 9900-9910. <https://doi.org/10.1007/s10854-016-5660-5>
27. Gosavi PV, Biniwale R B. Pure phase LaFeO_3 perovskite with improved surface area synthesized using different routes and its characterization. *Mater Chem Phys* 2010; 119: 324-329. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2009.09.005> Get rights and content.
28. <http://pd.chem.ucl.ac.uk/pdnn/peaks/sizedet.htm>.
29. Ma P, Jiang W, Wang F, Li F, Shen P, Chen M, et al. Synthesis and photocatalytic property of Fe_3O_4 @ TiO_2 core/shell nanoparticles supported by reduced graphene oxide sheets. *J Alloy Compd.* 2013;578:501-506. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.07.026>.

30. Zhou Q, Fang Z, Li J, Wang M. Applications of TiO_2 nanotube arrays in environmental and energy fields: a review. *Micropor Mesopor Mater.* 2015; 202: 22–35. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2014.09.040>.
31. Rahmani A, Saffari J. Preparation, structure and selected catalytic properties of La_2CuO_4 nano mixed metal oxides. *J Nanostruct.* 2016; 6: 301-306. <https://doi.org/10.22052/jns.2016.34270>.
32. Brunauer S, Emmett PH, Teller E. Adsorption of gases in multimolecular layers. *J Am Chem Soc.* 1938; 60: 309–19. <https://doi.org/10.1021/ja01269a023>.
33. Barrett EP, Joyner LG, Halenda PP. *J Am Chem Soc* 73 (1951) 373–80. <https://doi.org/10.1021/ja01145a126>.
34. Lee WY, Yun HJ, Yoon JW. Characterization and magnetic properties of LaFeO_3 nanofibers synthesized by electrospinning. *J. Alloys Compd.* 2014; 583: 320-324. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.08.191>.
35. Ho YS, Chiang TH, Hsueh YM. Removal of basic dye from aqueous solution using tree fern as a biosorbent. *Process. Biochem.* 2005;40:119-124. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2003.11.035>.
36. Namasivayam C, Thamaraiselvi K, Yamuna RT. Removal of paraquat by adsorption on 'waste' Fe (III)/ Cr (III) hydroxide: adsorption rates and equilibrium studies. *Pest. Sci.* 1994; 41: 7-12. <https://doi.org/10.1002/ps.2780410103>.
37. Subbareddy Y, Jeseentharani V, Jayakumar C, Nagaraja KS, Jeyaraj B. Adsorptive removal of Malachite Green (oxalate) by low cost adsorbent. *J Environ Res. Develop.* 2012;7:275-284.
38. Ahmad R. Studies on adsorption of crystal violet dye from aqueous solution onto coniferous pinus bark powder (CPBP). *Hazard Mater.* 2009; 171: 767-773. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.06.060>
39. Kumar A, Pandey G. Synthesis of La:Co:TiO_2 Nanocomposite and Photocatalytic Degradation of Tartaric Acid in Water at Various Parameters. *Am Nano Res Appl.* 2017; 5: 40-48. <https://doi.org/10.11648/j.nano.20170504.11>.
40. Ono Y, Rachi T, Okuda T, Yokouchi M, Kamimot Y, Nakajima A, et.al. Kinetics study for photodegradation of methylene blue dye by titanium dioxide powder prepared by selective leaching method. *J Phys Chem Solids.* 2012; 73: 343-349. <https://doi.org/10.1016/j.jpss.2011.10.012>.
41. Saeed M, Muneer M, Haq A, Akram N. Photocatalysis: An effective tool for photodegradation of dyes-A review. *Environ Sci Pollut Res.* 2022; 29: 293–311. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c05092>.
42. Gita S, Shukla SP, Deshmukhe G, Choudhury TG, Saharan N., Singh AK. Toxicity Evaluation of Six Textile Dyes on Growth, Metabolism and Elemental Composition (C, H, N, S) of Microalgae *Spirulina platensis*: The Environmental Consequences. *Bull Environ Contam Toxicol.* 2021;106: 302–309. <https://doi.org/10.1007/s00128-020-03074-7>.
43. Fardood ST, Forootan R, Moradnia F, Afshari Z, Ramazani A. Green synthesis, characterization, and photocatalytic activity of cobalt chromite spinel nanoparticles. *Mater Res Express* 2020;7(1):015086.<https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab6c8d>.
44. Kansal SK, Sood S, Umar A, Mehta S. K. Photocatalytic degradation of Eriochrome Black T dye using well-crystalline anatase TiO_2 nanoparticles. *J. Alloys Compd.* 2013; 581: 392-397. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.07.069>.
45. Ali N, Said A, Ali F, Razig F, Ali Z., Bilal M, et.al. Photocatalytic degradation of Congo red dye from aqueous environment using cobalt ferrite nanostructure: Development, characterization, and photocatalytic performance. *Water Air Soil Pollution.* 2020; 231:1-16. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-4410-8>.
46. Sun JH, Dong SY, Wang YK, Sun SP. Preparation and photocatalytic property of a novel dumbbell-shaped ZnO microcrystal photocatalyst. *J Hazard Mater.* 2009; 172: 1520–1526. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.08.022>.
47. Köktürk M, Altındağ F, Ozhan G, Çalimli MH, Nas MS. Textile dyes Maxilon blue 5G and Reactive blue 203 induce acute toxicity and DNA damage during embryonic development of *Danio rerio*. *Comp Biochem Physiol Part C Toxicol Pharmacol.* 2021;242:108947.<https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2020.108947>.

How to cite this article:

Khammarnia S, Saffari J, Ekrami-Kakhki MS. Synthesis of $\text{La}_2\text{CoFe}_2\text{O}_7$ Nanocomposite and its Photocatalytic Application to Remove Organic Dyes. *J Color Sci Tech.* 2023;17(3):245-255. <https://doi.org/10.1001.1.17358779.1402.17.3.5.8>[In Persian]