

ISSN: 2821-157X		https://www.jasd.khadu.ir	
	Journal of Aerospace Defense Volume 3, Issue 4 Winter2024 P.P. 57-71		
Research Paper; 			
Investigation of the Effect of Magnesium on the Photocatalytic Activity of Cobalt Ferrite Nanoparticles in Military and Aerospace Applications Omid goodarzi¹, Nader Ghobadi^{2*} , hamed bahiraei ² 1- PhD Student, Department of Physics, Faculty of Science, University of Malayer 2-Department of Physics, Associate Professor, Malayer University, Malayer, Iran			
Article Information		Abstract	
Accepted: 2024/09/20 Receieved: 2024/11/16 Keywords:	Cobalt ferrite with a spinel structure is recognized as one of the key magnetic materials in military and aerospace industries. These materials exhibit unique electrical and magnetic properties, demonstrating high thermal and chemical stability under harsh environmental conditions. In this study, the ferrite composition $CO_{1-x}Mg_xFe_2O_4$ was synthesized using the sol-gel combustion method with varying amounts of x equal to 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, and 0.8. The crystal structure of the synthesized samples was investigated using X-ray diffraction (XRD), and the results indicated that the produced powders have a spinel crystalline structure with no impurities observed. The morphology of the particles was examined using scanning electron microscopy (SEM). The magnetic properties of the samples were analyzed using a vibrating sample magnetometer (VSM), and the results showed that with an increase in magnesium content, the magnetic nature of the samples transitions from hard ferromagnetism to soft ferromagnetism, which can be highly beneficial for sensing and energy storage applications in military and aerospace industries. Additionally, the photocatalytic activity of the synthesized nanostructures in degrading organic pollutants was investigated using UV-Vis spectroscopy, and the results indicated that these materials are capable of degrading organic dyes in the presence of visible light. This feature could be applied in water purification technologies and environmental pollution reduction in space and military missions. This research will contribute to the development of new materials with high magnetic and photocatalytic properties for use in advanced defense and aerospace systems.		
Cobalt ferrite, Mantative properties, Photocatalyst properties, Sol-gel method			
Corresponding Author: Nader Ghobadi Email: nader.ghobadi@gmail.com			
HOW TO CITE Omid goodarzi, Nader Ghobadi , hamed bahiraei ,Investigation of the Effect of Magnesium on the Photocatalytic Activity of Cobalt Ferrite Nanoparticles in Military and Aerospace Applications, Journal of Aerospace Defense Vol. 3, No. 4, 2025			



فصلنامه علمی دفاع هوافضایی

دوره ۳، شماره ۴

زمستان

صفحات ۷۱-۵۷



مقاله پژوهش

بررسی تأثیر منیزیم بر فعالیت فوتوکاتالیستی نانو پودرهای فریت کبالت در کاربردهای نظامی و هوافضا

امید گودرزی^۱، نادر قبادی^{۲*}، حامد بحیرایی^۲

۱- دانشجوی دکتری، گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه ملایر

۲. دانشیار گروه فیزیک، دانشیار، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

فریت کبالت با ساختار اسپینلی به عنوان یکی از مواد مغناطیسی کلیدی در صنایع نظامی و هوافضا شناخته می‌شود. این مواد دارای خواص الکتریکی و مغناطیسی منحصر به فردی هستند که در شرایط سخت محیطی، پایداری حرارتی و شیمیایی بالایی را از خود نشان می‌دهند. در این پژوهش ترکیب فریتی $\text{CO}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ با مقادیر متفاوت از x برابر با مقادیر ۰/۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ با روش سل-ژل احتراقی تهیه شد. ساختار بلوری نمونه‌های تهیه شده با استفاده از دستگاه پراش پرتو X (XRD) مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج نشان داد که پودرهای تولید شده دارای ساختار بلوری اسپینلی هستند و هیچ گونه ناخالصی در آن‌ها مشاهده نمی‌شود. ریخت‌شناسی ذرات با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد بررسی قرار گرفت. ویژگی مغناطیسی نمونه‌ها توسط دستگاه مغناطیس‌سنج نمونه مرتعش (VSM) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار منیزیم، ماهیت مغناطیسی نمونه‌ها از فرومغناطیس سخت به نرم تغییر می‌یابد، که این ویژگی می‌تواند در کاربردهای حسگری و ذخیره‌سازی انرژی در صنایع نظامی و فضایی بسیار مفید باشد. همچنین، فعالیت فوتوکاتالیستی نانو ساختارهای تهیه شده در تخریب آلودگی‌های آلی با استفاده از طیف‌سنج فرابنفش-مرئی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که این مواد قادر به تخریب رنگ‌های آلی در حضور نور مرئی هستند. این ویژگی می‌تواند در فناوری‌های تصفیه آب و کاهش آلودگی محیط زیست در مأموریت‌های فضایی و نظامی کاربرد داشته باشد. این تحقیق به توسعه مواد جدید با خواص مغناطیسی و فوتوکاتالیستی بالا برای استفاده در سیستم‌های پیشرفته دفاعی و هوافضا کمک خواهد کرد.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۶/۳۰

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۱۲/۱۶

کلیدواژه‌ها:

فریت کبالت، خواص
مغناطیسی، خواص
فوتوکاتالیست، روش سل-ژل

نویسنده مسئول:

نادر قبادی

ایمیل:

nader.ghobadi@gmail.com

استناد: امید گودرزی، نادر قبادی، حامد بحیرایی، بررسی تأثیر منیزیم بر فعالیت فوتوکاتالیستی نانو پودرهای فریت کبالت در کاربردهای نظامی و هوافضا مجله علمی پژوهشی دفاع هوافضایی دوره ۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳.

۱- مقدمه

سنتز نانو ذرات مغناطیسی به دلیل خصوصیات ویژه و گسترده‌ای که دارند، از جمله در ضبط مغناطیسی مانند نوارهای صوتی و تصویری و دیسک‌های ضبط دیجیتال با ظرفیت بالا، به عنوان ابزاری کلیدی در صنایع مختلف مورد توجه دانشمندان قرار گرفته است [۱]. فریت کبالت نیز به دلیل خواص مغناطیسی و الکتریکی بالایی خود، کاربردهای وسیعی در تجهیزات الکتریکی و مغناطیسی دارد. این ترکیب به دلیل ثبات فیزیکی و شیمیایی بالا در حوزه‌های مختلف، از جمله حامل‌های دارو و فوتوکاتالیستی، مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است [۲].

امروزه استفاده از فوتوکاتالیست‌های نیمه‌رسانا به عنوان یکی از روش‌های نوین برای از بین بردن آلاینده‌ها به طور گسترده‌ای در حال گسترش است. آلودگی‌های محیط زیستی، به ویژه در حوزه‌هایی مانند نظامی و هوافضا، یکی از چالش‌های مهم به شمار می‌رود. فرآیند فوتوکاتالیستی به عنوان یک راهکار مؤثر برای کاهش این آلودگی‌ها شناخته می‌شود. فوتوکاتالیست‌های نانو ساختار با خواص آبدوستی و قدرت کاتالیستی بالا، به عنوان فناوری‌های کلیدی در کنترل آلودگی زیست‌محیطی، می‌توانند نقش مهمی در بهبود شرایط محیطی در مأموریت‌های نظامی و فضایی ایفا کنند [۳].

رنگ‌های آزو که بزرگترین گروه مواد رنگ‌کننده در صنعت نساجی هستند، با آزاد شدن در محیط، منبع اصلی آلودگی به شمار می‌آیند. بنابراین، توسعه فناوری‌هایی که بتوانند این آلاینده‌ها را به طور مؤثر از بین ببرند، از اهمیت بالایی برخوردار است [۴].

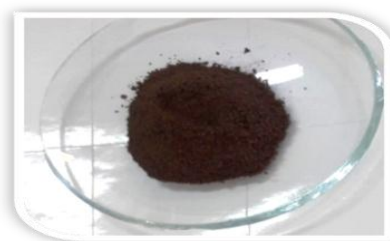
در این پژوهش، با استفاده از روش سل-ژل خود احتراقی، تأثیر آلایش عنصر منیزیم بر روی ویژگی‌های ساختاری، میکروساختاری و فوتوکاتالیستی نانو ساختارهای فریت منیزیم-کبالت مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی ساختار بلوری پودرها با استفاده از دستگاه XRD، اندازه و مورفولوژی نمونه‌ها با SEM و تعیین خواص مغناطیسی استاتیک با دستگاه VSM انجام شده است. نتایج این تحقیق می‌تواند به توسعه مواد جدید و کارآمد برای کاربردهای نظامی و فضایی کمک کند، جایی که نیاز به مواد با خواص مغناطیسی و توانایی پاک‌سازی آلودگی‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

۲- مراحل آزمایش

۲-۱- تهیه نانو ذرات فریت کبالت

در این تحقیق، نانو ذرات فریت کبالت را به روش سنتز سل-ژل به شرح زیر تهیه شد. ابتدا مقدار ۸/۰۸ گرم از ماده اولیه ی نیترات آهن با جرم مولی 404 g/mol داخل بشر ریخته شد و با

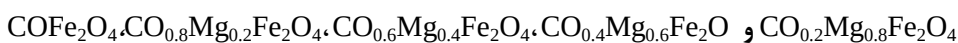
مقداری اندکی آب دو بار تقطیر توسط همزن مغناطیسی همگن شد. به همین روش مقدار ۲/۹۱ گرم نیترات کبالت سیتریک اسید همگن سازی شد. به ترتیب محلول نیترات کبالت و سیتریک اسید به محلول اولیه نیترات آهن افزوده شد و هر یک به مدت ۲۰ دقیقه توسط همزن مغناطیسی همگن شد. در مرحله‌ی بعد محلول هیدروکسید آمونیوم را قطره، قطره به آن اضافه شد تا pH برابر ۷ شد. سپس گرمادهی شد تا دمایی حدود ۷۰-۸۰ سانتی گراد و به مرحله تبخیر رسید. در نهایت ژل غلیظی حاصل شد که با افزایش دما به صورت پودر مغناطیسی درآمد. در انتها پودر مغناطیسی موجود داخل کوره با دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲ ساعت قرار داده شد.



شکل ۱- پودر فریت کبالت نهایی حاصل شده

۲-۲ - تهیه‌ی نانو ذرات فریت کبالت/ منیزیم به روش سل-ژل:

ترکیب شیمیایی نمونه‌های تهیه شده فریت کبالت/ منیزیم به صورت $\text{CO}_1\text{-XMg}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ در نظر گرفته شد که در آن x برابر ۰/۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ است. بنابراین پنج نمونه با ترکیب شیمیایی متفاوت به دست آمد؛ که عبارتند از:



مواد اولیه برای این واکنش، نیترات فلزی به عنوان اکسند و سیتریک اسید به عنوان سوخت و احیاکننده هستند. جدول ۱ مواد اولیه مورد استفاده جهت تهیه نمونه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات شیمیایی مواد اولیه واکنش احتراقی

ماده	فرمول شیمیایی	جرم مولی (gr)
منیزیم نیترات	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	۲۵۶/۴۱
روی نیترات	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	۲۶۱/۴۴
کبالت نیترات	$\text{Co}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	۲۹۱/۰۴
آهن نیترات	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	۴۰۳/۹۵
سیتریک اسید	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$	۲۱۰/۱۴

پس از محاسبه مقادیر استوکیومتری نیترات‌های فلزی، آن‌ها به همراه آب مقطر به وسیله

همزن مغناطیسی حل شدند. پس از ۳۰ دقیقه به محلول سیتریک اسید اضافه شد. نسبت سیتریک اسید به نیترات‌ها برابر ۱ انتخاب شد. پس از گذشت ۶۰ دقیقه محلول به دست آمده روی هیتز قرار داده شد تا مقداری غلیظ شود. سپس به تدریج آمونیاک اضافه می‌شود تا به PH محلول برابر ۷ شود. بعد از این که آب موجود در ترکیب تا حد زیادی تبخیر شد، ژل به شدت شروع به سوختن کرد. مرحله‌ی سوختن با آزاد سازی مقدار زیادی گاز و گرما همراه بود. سوختن تا جایی ادامه یافت که تمام ژل به پودری بسیار متخلخل و نرم با رنگ مشکی تبدیل شد. پودرهای بدست آمده توسط هاون دستی ساییده شدند. مواد پودر شده را در ظروف چینی ریخته و در داخل کوره قرار داده شد تا طی یک فرایند سه مرحله‌ای عمل کلسینه کردن در مدت ۴ ساعت صورت گیرد.



شکل ۲- تهیه نانوذرات فریت کبالت / منیزیم به روش سل-ژل

۳- نتایج و بحث

در این پروژه ویژگی‌های پودرهای فریت منیزیم/کبالت با ترکیب شیمیایی $\text{CO}_1\text{-X}\text{Mg}\text{xFe}_2\text{O}_4$ که با استفاده از روش سل-ژل احتراقی تهیه شده‌اند، مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. در این راستا از دستگاه‌های XRD، SEM، VSM برای تعیین ویژگی‌های ساختاری، میکروساختاری و مغناطیسی پودرهای تهیه شده استفاده شده است. همچنین میزان ویژگی فوتوکاتالیستی پودرهای ذکر شده، در تخریب رنگ قرمز کنگو توسط دستگاه UV-Vis اندازه‌گیری شد.

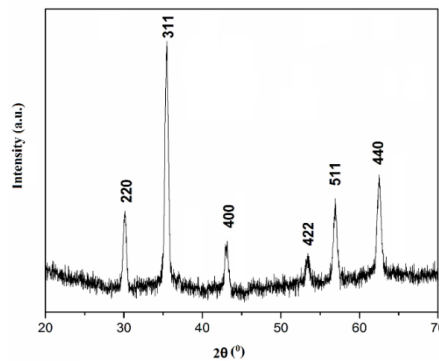
۳-۱- بررسی الگوی پراش پرتو X پودرهای ترکیب $\text{CO}_1\text{-X}\text{Mg}\text{xFe}_2\text{O}_4$

شکل‌های ۱ و ۲ الگوی پراش پرتو X نمونه‌های فریت منیزیم-کبالت را که به کمک نرم افزار رسم X-Pert رسم شده‌اند، نشان می‌دهد. به منظور مقایسه، اندازه‌ی ریز بلورک‌ها (d) با استفاده از رابطه دیبای- شرر محاسبه شد [۵].

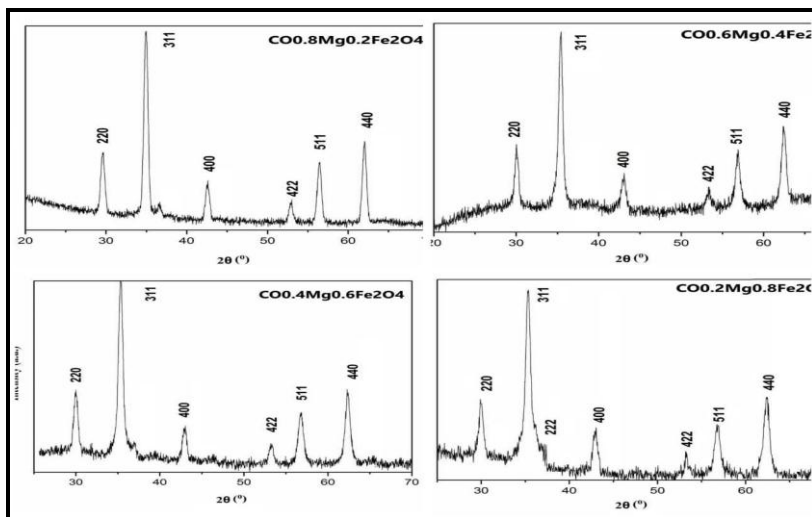
$$d = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

در این رابطه d اندازه ی ریزبلورکها، λ طول موج پرتو x و β پهنای قله ماکزیمم در نصف ارتفاع آن (FWHM) و K عددی ثابت در حدود 0.9 است.

الگوی پراش پرتو x ترکیب $CO_{1-x}Mg_xFe_2O_4$ با $x = 0.00$ در شکل ۳ نشان داده شده است. قله های تیز الگوی پراش حاکی از ایجاد ساختار بلوری اسپینلی با تبلور بالا می باشند که با کارت استاندارد با شماره ی JCPDS#361451 مطابقت دارند [۶]. همچنین هیچ قله ناخالصی در الگوی پراش دیده نمی شود. این طیف پراش، رشد بلوری ذرات را در جهت های مختلف بلوری نشان می دهد. با استفاده از معادله ی شرر متوسط اندازه ی بلورکها بر حسب نانومتر در بین 44 تا 53 نانومتر به دست آمد [۷]. الگوی پراش نمونه ها با x برابر با 0.20 ، 0.40 ، 0.60 و 0.80 شکل ۴ نشان داده شده است. این شکل شبیه شکل ۳ ساختار اسپینلی و تک فاز را نشان داده است.



شکل ۳- الگوی پراش پرتو x نمونه $CO_2Fe_2O_4$



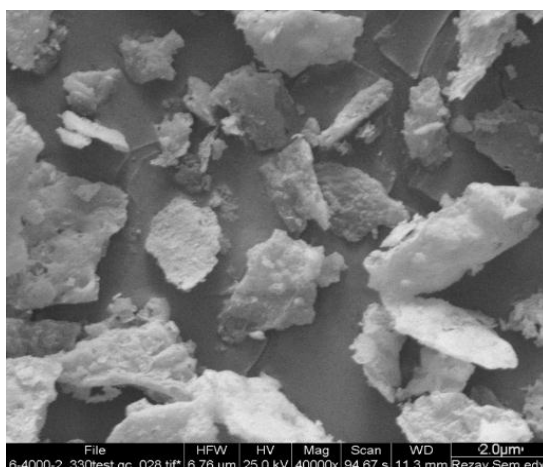
شکل ۴- الگوی پراش پرتو x نمونه ها

۳-۲ - بررسی ریخت‌شناسی نمونه‌های تهیه شده با استفاده از دستگاه (FE-SEM)

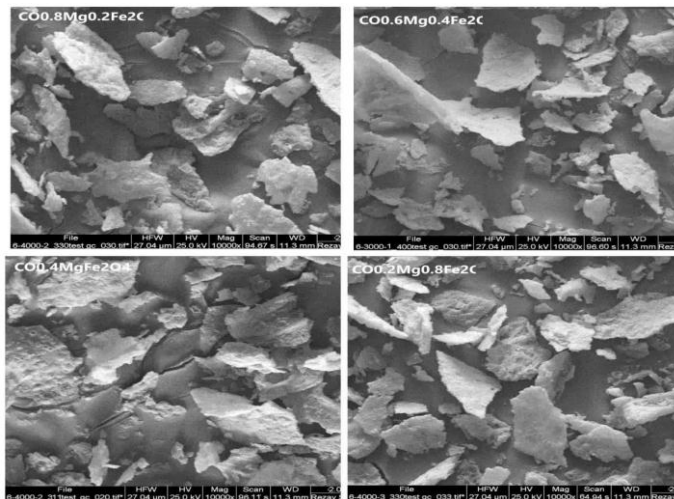
به منظور مطالعه‌ی سطح و بررسی ریخت‌شناسی و همچنین اندازه‌گیری اندازه‌ی ذرات تولید شده از دستگاه FE-SEM استفاده گردید. در شکل‌های زیر با استفاده از این تصاویر اندازه‌ی ذرات و ریخت‌شناسی نمونه‌های تهیه شده فریت منیزیم/کبالت مورد بررسی قرار گرفت. تصاویر نشان می‌دهند که ذرات تشکیل دهنده نمونه‌ها به صورت صفحاتی با ابعاد چند میکرومتر و ضخامت‌های نانومتری می‌باشند.

بزرگنمایی تصاویر ارائه شده یکسان می‌باشد. همچنین برای اندازه‌گیری سایز ذرات از نرم افزار Measurement استفاده شده است.

شکل‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهند که ذرات تشکیل دهنده نمونه‌ها به صورت صفحاتی با ابعاد چند میکرومتر و ضخامت‌های نانومتری می‌باشند.



شکل ۵ - تصویر SEM نانوساختار نمونه‌ی COFe₂O₄

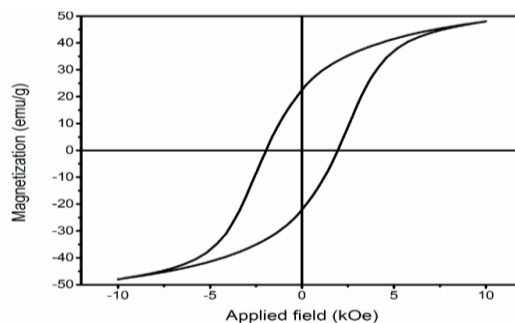


شکل ۶- تصویر SEM نانوساختار نمونه‌ها

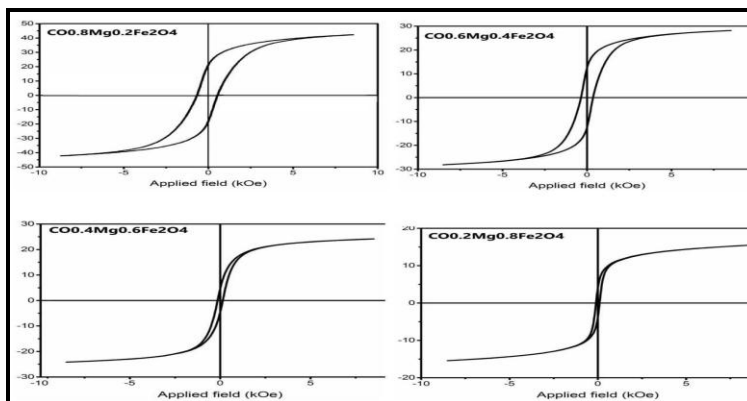
۳-۳- بررسی ویژگی‌های مغناطیسی نانوذرات با استفاده از دستگاه VSM

خواص مغناطیسی نانوساختارهای ترکیب‌های $\text{CO}_1\text{-XMgxFe}_2\text{O}_4$ با استفاده از دستگاه مغناطیس‌سنج نمونه مرتعش مورد بررسی قرار گرفت. در توجیه تغییر حلقه‌های پسماند شکل‌های ۷ و ۸ می‌توان از مدل خطی نیل که عنوان می‌کند مغناطش اشباع در فری مغناطیس‌ها در نتیجه‌ی اختلاف بین گشتاور مغناطیسی جایگاه‌های چهار وجهی و هشت وجهی است، بهره گرفت [۹]. حلقه پسماند نمونه‌های مختلف در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده‌اند.

شکل ۷ حلقه پسماند نمونه‌ی COFe_2O_4 را نشان می‌دهد. همانطور که از این منحنی مشاهده می‌شود، این نمونه در دمای اتاق رفتار فرومغناطیس دارد؛ بطوریکه در میدان 10 KOe مغناطش اشباع آن به $47/9 \text{ emu/g}$ می‌رسد. همچنین وادارندگی H_c آن برابر 2 KOe است. این مقدار وادارندگی سبب می‌شود که فریت کبالت از نظر مغناطیسی یک ماده مغناطیسی سخت باشد.



شکل ۷- منحنی مغناطش نانوساختار نمونه‌ی COFe_2O_4



شکل ۸- منحنی مغناطش نانوساختار نمونه‌ها

با توجه به چگونگی تغییر مغناطش اشباع نمونه‌ها نسبت به آرایش منیزیم که در جدول ۲ رسم شده است دیده می‌شود که مغناطش روند کاهشی دارد.

جدول ۲- ریز بلورکها (d)، مغناطش اشباع (M_s) و وادارندگی (H_c) نانو ساختارهای تهیه شده

۰/۸	۰/۶	۰/۴	۰/۲	۰/۰	X
۴۵	۴۷	۴۹	۵۳	۴۴	d(nm)
۱۵/۳۰	۲۴/۸۰	۲۷/۹۰	۳۹/۳۰	۴۷/۹۰	M_s (emu/gr)
۳۹	۱۰۳	۳۶۰	۳۷۰	۲۰۰۰	H_c (Oe)

در جدول مشخص است که مغناطش اشباع با افزایش مقدار منیزیم کاهش می‌یابد. مقادیر وادارندگی نمونه‌ها در جدول ۲ ثبت شده است. این مقادیر نشان می‌دهند که با افزایش میزان آرایش منیزیم وادارندگی نمونه‌ها روندی نزولی دارند. از آنجا که فریت کبالت ثابت ناهمسانگردی بلوری بالایی نسبت به سایر فریت‌های نرم دارد، با افزایش مقدار کبالت در ترکیب نمونه‌ها مقدار وادارندگی روند افزایشی دارد. منحنی‌های بسیار باریک پسماند نشان می‌دهند که وادارندگی نمونه‌های ۰/۶، ۰/۸ بسیار کم می‌باشد در نتیجه این نمونه‌ها را می‌توان در زمره‌ی مواد مغناطیسی بسیار نرم در نظر گرفت [۱۰-۱۳].

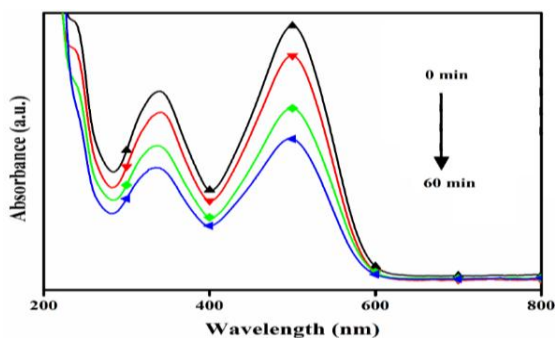
۳-۴- بررسی فعالیت فوتوکاتالیستی با استفاده از طیف سنج فرابنفش مرئی UV-Vis

در این بخش نتایج مربوط به تجزیه‌ی فوتوکاتالیستی محلول رنگ قرمز کنگو در حضور نمونه‌های تهیه شده ارائه خواهد شد. برای این کار طیف‌های جذبی دستگاه UV-Vis پس از انجام فرایند

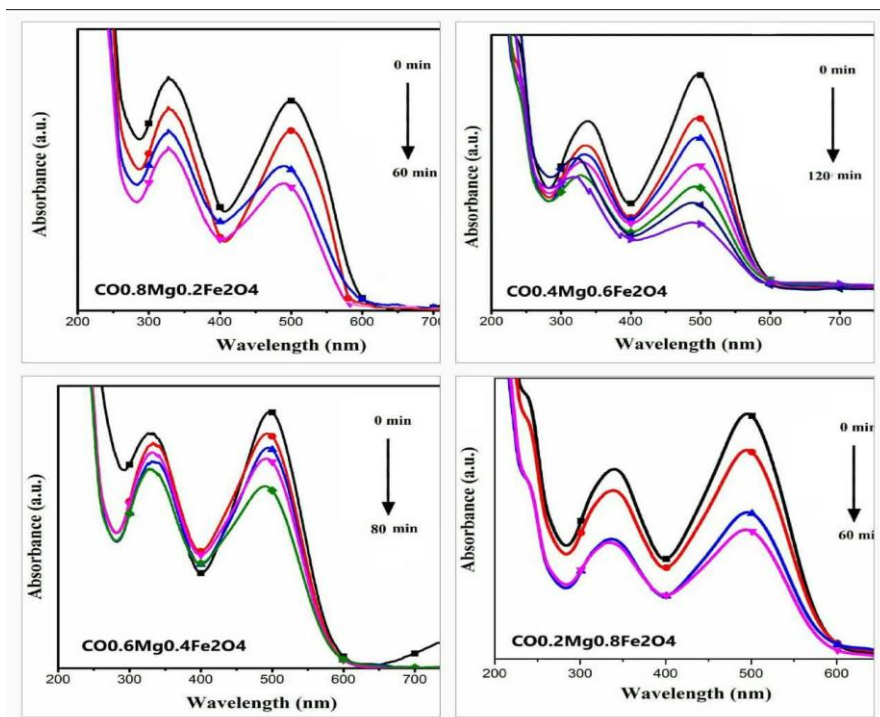
فوتوکاتالیستی نشان خواهند داد که تحت تابش پرتو نور مرئی تخریب رنگ در حضور نمونه‌ها به چه اندازه بوده است. در این بخش، تخریب آلاینده‌های رنگی، با استفاده از طیف سنجی فرابنفش مرئی مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی میزان تخریب رنگ مقدار ۰/۰۵ گرم از نمونه‌ی تهیه شده در ۵۰CC آب ریخته و مقدار ۰/۰۰۱ گرم رنگ کنگورد به محلول اضافه شد. محلول اولیه به مدت ۱۵ دقیقه توسط همزن بهم زده شد. بعد از اتمام این مرحله از محلول در بازه‌های زمانی ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه از تابش لامپ‌های با نور مرئی (۴۰۰) وات نمونه‌هایی جمع‌آوری شد. سپس نانو ذرات نمونه‌ها به کمک دستگاه سانتریفیوژ جمع‌آوری شد و از محلول‌ها طیف جذبی گرفته شد. از آنجا که قله‌ی جذب یک محلول با میزان غلظت آن برابر است می‌توان میزان تخریب را محاسبه نمود. درصد تخریب رنگ قرمز کنگو با استفاده از فرمول $\frac{C_0 - C}{C_0} \times 100$ محاسبه می‌شود که C و C به ترتیب غلظت اولیه و غلظت نهایی محلول رنگی قرمز کنگو می‌باشند [۱۴].

۳-۵- بررسی تخریب رنگ قرمز کنگو توسط نمونه‌ی نانوساختارهای فریت‌های تهیه شده

شکل ۹ طیف جذبی فرابنفش-مرئی رنگ قرمز کنگو در نمونه‌ی نانوکامپوزیت نمونه‌ی COFe_2O_4 را نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که در مدت زمان ۶۰ دقیقه تابش نور مرئی ارتفاع قله جذب کاهش قابل ملاحظه‌ای یافته است. درصد تخریب رنگ در این نمونه برابر ۵۶ می‌باشد.



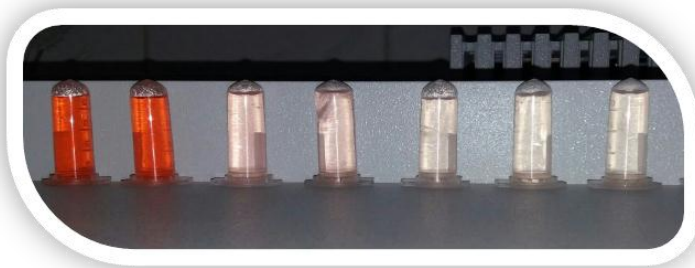
شکل ۹- نمودار تخریب رنگ قرمز کنگو در حضور نور مرئی توسط نمونه‌ی COFe_2O_4



شکل ۱۰- نمودار تخریب رنگ قرمز کنگو در حضور نور مرئی توسط نمونه‌ها

طیف جذبی نانوساختار $C_{0.8}Mg_{0.2}Fe_2O_4$ را در بازه‌ی زمانی ۶۰ دقیقه از تابش نور مرئی نشان می‌دهد. شکل نشان می‌دهد که پس از گذشت مدت زمان ۶۰ دقیقه حدود ۴۰ درصد رنگ تخریب شده است و طیف جذبی نانوساختار $C_{0.6}Mg_{0.4}Fe_2O_4$ در بازه‌ی زمانی صفر تا ۸۰ دقیقه‌ای را نشان می‌دهد. با توجه به شکل دیده می‌شود که تحت تابش نور مرئی با گذشت زمان غلظت محلول رنگی قرمز کنگو کاهش می‌یابد. میزان تخریب این نمونه حدود ۲۹ درصد می‌باشد و روند تجزیه‌ی رنگ قرمز کنگو در حضور نانوساختار $C_{0.4}Mg_{0.6}Fe_2O_4$ را در مدت زمان ۱۲۰ دقیقه تحت نور مرئی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل دیده می‌شود که مرئی با گذشت زمان غلظت محلول رنگی قرمز کنگو تا حدود زیادی کاهش یافته است [۱۵]. میزان تخریب پس از ۱۲۰ دقیقه ۸۱ درصد و پس از ۶۰ دقیقه ۴۰ درصد می‌باشد و برای طیف جذبی نانوساختار $C_{0.2}Mg_{0.8}Fe_2O_4$ را در بازه‌ی زمانی ۶۰ دقیقه‌ای نشان داده شده است شکل نشان می‌دهد که کاهش ۵۲ درصدی در غلظت رنگ صورت گرفته است. مشاهده‌ی مستقیم تغییر رنگ محلول رنگی روش مکملی برای تجزیه‌ی رنگ‌ها می‌باشد. این تصاویر نشان می‌دهد که خاصیت فوتوکاتالیستی یک نمونه تحت تابش نور مرئی چقدر می‌باشد [۱۶-۱۸]. شکل ۱۱ مربوط به نمونه‌ی $C_{0.2}Mg_{0.8}Fe_2O_4$ می‌باشد. در این شکل دیده می‌شود که تحت تابش نور و با گذشت زمان مقدار زیادی از محلول رنگی تخریب شده است؛ به طوری-

که در نهایت محلول کم رنگ حاصل می شود.



شکل ۱۱ - نمایش تخریب رنگ با استفاده از نانوساختار $C_{0.8}Mg_{0.2}Fe_2O_4$ در برابر نور مرئی

۴-قدردانی

با تشکر دکتر نادر قبادی که در تحلیل نمودارهای این مقاله زحمت های زیادی کشیدند.

۵-تعارض منافع

نویسنده(گان) اعلام می دارند که در مورد انتشار این مقاله تضاد منافع وجود ندارد. علاوه بر این، موضوعات اخلاقی شامل سرقت ادبی، رضایت آگاهانه، سوء رفتار، جعل داده ها، انتشار و ارسال مجدد و مکرر توسط نویسندگان رعایت شده است.

۶-دسترسی آزاد

این نشریه دارای دسترسی باز است و اجازه اشتراک (تکثیر و بازآرایی محتوا به هر شکل) و انطباق (بازترکیب، تغییر شکل و بازسازی بر اساس محتوا) را می دهد.

۸-بحث و نتیجه گیری

نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان دهنده ی پتانسیل بالای نانوذرات فریت منیزیم/کبالت در حوزه های نظامی و هوافضا هستند.

۱. ویژگی های ساختاری:

نتایج XRD نشان داد که نانوذرات فریت منیزیم/کبالت بدون هیچ گونه ناخالصی در فاز اسپینلی و با تبلور بالا شکل گرفته اند. این ویژگی ساختاری به معنای پایداری و قابلیت اطمینان بالای این مواد در شرایط سخت محیطی است که در عملیات های نظامی و فضایی اهمیت دارد.

۲. میکروساختار:

نتایج SEM میکروسکوپ الکترونی نشان داد که ذرات تشکیل شده به صورت صفحاتی با ابعاد

چند میکرومتری و ضخامت نانومتری هستند. این نوع ساختار می‌تواند به بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی مواد کمک کند، از جمله افزایش سطح تماس برای واکنش‌های شیمیایی و جذب آلاینده‌ها، که در کاربردهای نظامی برای پاک‌سازی محیط‌های آلوده بسیار حائز اهمیت است.

۳. خواص مغناطیسی:

نتایج VSM نشان داد که همه نمونه‌ها در دمای اتاق رفتاری فرومغناطیس دارند. از آنجا که فریت کبالت (CoFe_2O_4) به عنوان یک ماده‌ی سخت مغناطیسی شناخته می‌شود، می‌تواند در حسگرها و سیستم‌های کنترل حرکت در فناوری‌های نظامی و فضایی مورد استفاده قرار گیرد. با افزایش مقدار منیزیم، وادارندگی نمونه‌ها کاهش یافته و نمونه $\text{Co}_{0.2}\text{Mg}_{0.8}\text{Fe}_2\text{O}_4$ به دسته‌ی فرومغناطیس‌های نرم منتقل می‌شود، که این ویژگی می‌تواند به طراحی مواد با خواص مغناطیسی خاص برای کاربردهای خاص کمک کند.

۴. فعالیت فوتوکاتالیستی:

فعالیت فوتوکاتالیستی نمونه‌ها در تخریب رنگ قرمز کنگو نشان‌دهنده‌ی توانایی آن‌ها در حذف آلاینده‌ها است. به عنوان مثال، نمونه $\text{Co}_{0.4}\text{Mg}_{0.6}\text{Fe}_2\text{O}_4$ در مدت ۱۲۰ دقیقه توانست ۸۱ درصد از رنگ را تخریب کند. این ویژگی می‌تواند در شرایط نظامی و فضایی، جایی که نیاز به حذف سریع آلاینده‌ها و مواد شیمیایی مضر وجود دارد، بسیار ارزشمند باشد. به‌ویژه در مواقعی که تجهیزات نظامی یا فضایی در معرض آلودگی‌های شیمیایی قرار می‌گیرند، استفاده از مواد با خواص فوتوکاتالیستی می‌تواند به حفظ سلامت محیط زیست و ایمنی پرسنل کمک کند.

فعالیت فوتوکاتالیستی نمونه‌های تهیه شده در تخریب رنگ قرمز کنگو که بعنوان یک آلاینده مورد استفاده قرار گرفت بدین شرح است: نمونه اول CoFe_2O_4 در مدت ۶۰ دقیقه تابش نور مرئی، در حدود ۵۶ درصد رنگ را تخریب کرده است. نمونه دوم $\text{Co}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{Fe}_2\text{O}_4$ در مدت ۶۰ دقیقه به میزان ۴۰ درصد تخریب داشته است. نمونه $\text{Co}_{0.6}\text{Mg}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$ در مدت ۸۰ دقیقه رنگ را به میزان ۲۹ درصد تخریب کرده است. نمونه $\text{Co}_{0.4}\text{Mg}_{0.6}\text{Fe}_2\text{O}_4$ در مدت ۱۲۰ دقیقه به میزان ۸۱ درصد و در نمونه $\text{Co}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{Fe}_2\text{O}_4$ در مدت ۶۰ دقیقه به میزان ۵۲ درصد رنگ قرمز کنگو را تخریب نموده است. در مجموع، نانوذرات فریت منیزیم/کبالت با ویژگی‌های منحصر به فرد خود، نه تنها در زمینه‌های صنعتی بلکه در حوزه‌های نظامی و هوافضا نیز می‌توانند کاربردهای گسترده‌ای داشته باشند. این مواد می‌توانند به عنوان گزینه‌ای مناسب برای توسعه فناوری‌های جدید در زمینه حسگرها، سیستم‌های کنترل حرکتی و پاک‌سازی محیط مورد استفاده قرار گیرند.

۸-منابع

- [1] A.Gabriel, M. Silva, Introduction to Nanotechnology and Its Applications to Medicine. Elsevier Inc (2004).
Nanomaterials for Energy and Environmental Applications
- [۲] فتح الله کریم زاده، احسان قاسم علی، سامان سالمی زاده، "نانومواد؛ خواص، تولید و کاربرد"، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، ۱۳۸۴.
- [3] D. A. Skoog, D. M. West, F. J. Holler, S. R. Crouch, "*Fundamentals of Analytical Chemistry*", 8th Edition, USA, Thomson Learning, 2004.
Magnesium-doped Cobalt Ferrite Nanoparticles: Synthesis, Characterization, and Photocatalytic Activity
- [4] L.E. Brus, Appl. Phys. A. 53 (1991) 465. Nanostructured Magnetic Materials for Photocatalytic Applications
- [5] M. Kranjčec, I.P. Studenyak, M.V. Kurik, On the Urbach rule in non-crystalline solids, J. Non-Cryst. Solids, 355 (2009) 54-57.
<https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2008.03.051>
Photocatalytic Properties of Cobalt Ferrite Nanoparticles: A Review
- [6] K. Tanaka, Minimal Urbach energy in non-crystalline materials, J. Non-Cryst. Solids, 389 (2014) 35-37. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2014.02.004>
Role of Magnesium in Enhancing the Properties of Ferrite Nanoparticles for Environmental Applications
- [7] P.P. Hankare, P.A. Chate, S.D. Delekar, M.R. Asabe, I.S. Mulla, Journal of Physics and Chemistry of Solids, 67 (2006) 2310-2315.
Effects of Doping on the Structural and Photocatalytic Properties of Cobalt Ferrite Nanoparticles
- [8] C.D. Lokhande, P.M. Gondkar, R.S. Mane, V.R. Shinde, S.-H. Han, Journal of Alloys and Compounds, 475 (2009) 304-311.
Synthesis and Characterization of Magnesium-Doped Cobalt Ferrite for Photocatalytic Degradation of Organic Pollutants
- [9] A.K. Dutta, S.K. Maji, D.N. Srivastava, A. Mondal, P. Biswas, P. Paul, B. Adhikary, ACS Applied Materials & Interfaces, 4 (2012) 1919-1927.
Recent Advances in Photocatalytic Applications of Ferrite Nanomaterials
- [10] S.H. Mohamed, Journal of Physics D: Applied Physics, 43 (2010) 035406.
Magnesium-Enhanced Photocatalytic Activity of Cobalt Ferrite for Water Purification
- [11] Y. Chen, G.-F. Huang, W.-Q. Huang, L.-L. Wang, Y. Tian, Z.-L. Ma, Z.-M. Yang, Materials Letters, 75 (2012) 221-224.
- [12] G. Poongodi, P. Anandan, R.M. Kumar, R. Jayavel, Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 148 (2015) 237-243.
- [13] A.K. Dutta, S.K. Maji, D.N. Srivastava, A. Mondal, P. Biswas, P. Paul, B. Adhikary, ACS Applied Materials & Interfaces, 4 (2012) 1919-1927.
Cobalt Ferrite Nanoparticles: Synthesis, Characterization, and Applications in Environmental Remediation
- [14] A.R. Patil, V.N. Patil, P.N. Bhosale, L.P. Deshmukh, Materials Chemistry and Physics, 65 (2000) 266-274.

Nanostructured Materials: Properties and Applications

- [15] N. Ghobadi. Derivation of ineffective thickness method for investigation of the exact behavior of the optical transitions in nanostructured thin films. *J Mater Sci: Mater Electron*. (2015), DOI 10.1007/s10854-016-4925-3

Photocatalytic Materials: Synthesis, Characterization, and Applications

- [16] N. Ghobadi, M. Ganji, C. Luna, A. Arman, A. Ahmadpourian, Effects of substrate temperature on the properties of sputtered TiN thin films, *J. Mater. Sci.: Mater. Electron*. 27, 2800–2808 (2016). *Advanced Nanomaterials for Environmental Remediation*
- [17] Moradi, S. A. H., Ghobadi, N., & Zahrabi, F. (2022). Highly conductive supercapacitor based on laser-induced graphene and silver nanowires. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 33(23), 18356-18363.
- [18] Naeini, A. H., Moradi, S. A. H., & Mahmoodi, N. M. (2024). Binary metal–organic framework composites as environmentally friendly photocatalysts: Green synthesis and visible light-assisted pollutant degradation. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 457, 115916.