

## سنتر و شناسایی نانومیله‌های کبالت فریت دوپ شده با مس و بررسی عملکرد فوتوکاتالیزگری آن برای حذف رنگ‌های آبی متیلن و نارنجی متیل از آب

فاطمه گنجعلی و محبوبه ربانی\*

دانشکده شیمی، دانشگاه علم و صنعت ایران، کد پستی ۱۳۱۱۴-۱۶۸۴۶، تهران، ایران

تاریخ ثبت اولیه: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۴۰۰/۰۶/۳۱، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۴۰۰/۰۷/۱۶

### چکیده

در این پژوهش، برای اولین بار نانومیله‌های  $\text{Cu}/\text{CoFe}_2\text{O}_4$  با نسبت  $\text{Cu}:\text{Co}$  ۰/۲:۰/۸ به روش ساده هم‌رسوبی در حضور پلی‌وینیل الکل سنتز شد و خواص مختلف آن مانند مورفولوژی، ساختار، خواص مغناطیسی، خواص نوری، فعالیت‌های جذب و فوتوکاتالیزگری برای حذف رنگ‌های آبی متیلن و نارنجی متیل از آب و فعالیت ضدباکتریایی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از تکنیک‌های مختلفی نظیر طیف‌بینی مادون قرمز تبدیل فوریه، پراش پرتو ایکس، میکروسکوپ الکترون روبشی، طیف‌بینی پراکندگی انرژی، طیف‌بینی بازتابی نفوذی پرتو فرابنفش، طیف‌بینی مرئی-فرابنفش و مغناطیس‌سنج نمونه ارتعاشی استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان داد که روش ساده هم‌رسوبی منجر به تشکیل مورفولوژی نانومیله‌ای  $\text{Cu}/\text{CoFe}_2\text{O}_4$  با اشباع مغناطیسی مناسب شده است. نتایج حاکی از آن بود که نانومیله‌های مغناطیسی راندمان فوتوتخریب بالاتری را برای آبی متیلن نسبت به نارنجی متیل نشان می‌دهد. میزان جذب برای آبی متیلن: ۲۸/۳۶٪ و میزان تخریب تحت نور لامپ LED: ۷۵/۱۴٪ بود. به منظور بررسی خاصیت ضدباکتریایی تماسی نانوذرات پوشش‌دهی شده روی کاغذ صافی در برابر باکتری *E. coli* از روش اصلاح شده Kirby-Bauer استفاده شد. نتایج تست ضدباکتریایی پس از ۲۴ ساعت انکوباسیون برای نانومیله‌ها منطقه مهار حدود ۹ mm را نشان می‌دهد. با توجه به روش سنتز آسان هم‌رسوبی برای تولید نانومیله‌های  $\text{Cu}/\text{CoFe}_2\text{O}_4$  این روش می‌تواند نماینده مناسبی برای تولید نانومواد مغناطیسی برای حذف آلاینده‌های آلی از آب باشد.

**واژه‌های کلیدی:** فریت، مورفولوژی، خواص نوری، فعالیت ضدباکتریایی، فعالیت فوتوکاتالیزگری.

### ۱- مقدمه

حسگرها، فوتوکاتالیزگری و موارد دیگر متمرکز شده‌اند [۱].

با توجه به ترکیب و خواص فیزیکی و زیستی می‌توان نانوذرات مغناطیسی را طبقه‌بندی کرد. معمولاً بیشترین نانوذرات مغناطیسی که در کاربردهای زیست پزشکی و

در سال‌های اخیر دانشمندان روی کاربردهای مختلفی از فریت‌های اسپینل از تحویل دارو تا سوپرپارامغناطیس،

\* عهده‌دار مکاتبات: محبوبه ربانی

نشانی: دانشکده شیمی، دانشگاه علم و صنعت ایران، کد پستی ۱۳۱۱۴-۱۶۸۴۶، تهران، ایران

تلفن: ۰۲۱-۷۷۲۴۰۲۹۰، دورنگار: ۰۲۱-۷۷۴۹۱۲۰۴، پست الکترونیکی: m\_rabani@iust.ac.ir

مساحت سطح بیشتر و کارایی جفت الکترون-حفره بیشتری نسبت به توده دارد [۱۶].

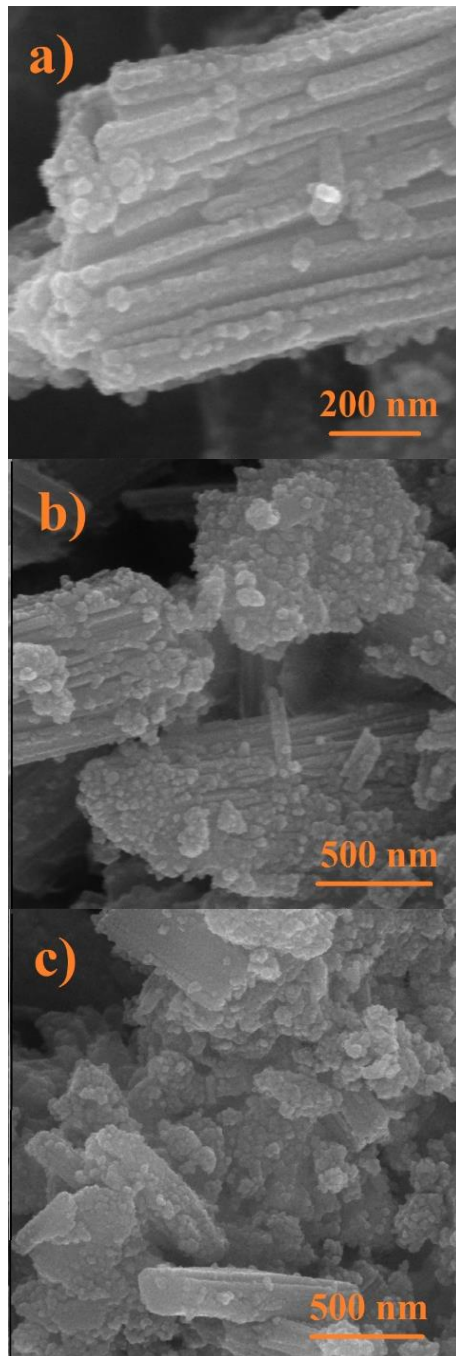
در این مطالعه، برای اولین بار سنتز نانومیله  $\text{Cu/CoFe}_2\text{O}_4$  با نسبت  $\text{Cu: Co}$  ۰/۲:۰/۸ از طریق روش هم‌رسوبی در حضور پلی وینیل الکل (PVA) صورت گرفته است. روند انجام واکنش و تولید فرآورده‌ها توسط آنالیزهای مختلف مورد شناسایی و بررسی قرار گرفته شد. ویژگی‌های نمونه‌های سنتز شده توسط داده‌های طیف‌بینی مادون قرمز (FT-IR)، پراش پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی (FE-SEM)، طیف‌سنجی پراکندگی انرژی (EDX)، طیف‌سنجی بازتابی نفوذی پرتو فرابنفش (UV-Vis DRS)، طیف‌سنجی مرئی-فرابنفش (UV-Vis) و مغناطیس‌سنج نمونه ارتعاشی (VSM) مورد شناسایی و بررسی قرار گرفت. برای بررسی اثر مورفولوژی نانومیله بر فعالیت فوتوکاتالیزگری، جذب و تخریب آبی متیلان و نارنجی متیل انجام گرفت. همچنین مقایسه بهره فوتوکاتالیزگری این پژوهش از بهره پژوهش‌های قبلی بالاتر بوده که نتایج آن در جدول ۱ بررسی شده است.

## ۲- فعالیت‌های تجربی

مس (II) استات بی‌آب  $(\text{Cu}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2)$ ، کبالت (II) استات بی‌آب  $(\text{Co}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2)$ ، پلی وینیل الکل (PVA)، اگزالیک اسید دو آبه  $(\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ ، آهن (II) سولفات بی‌آب  $(\text{FeSO}_4)$ ، آب یون‌زدایی شده.

میکروسکوپ الکترونی روبشی انتشار میدانی (FE-SEM)، TESCAN (MIRA 3) مورفولوژی نمونه را نشان داد. الگوهای پراش پرتو X (XRD)، توسط پراش‌سنج پرتو ایکس Philips (PW-1730) با تابش مس  $\text{K}\alpha$  ( $1/54 \text{ \AA}$ ) ارائه شد. مطالعات FT-IR روی طیف‌سنج FT-IR Shimadzu (8400S) با استفاده از قرص KBr در دمای اتاق ثبت شد. طیف بازتابی نفوذی پرتو فرابنفش (UV-Vis DRS) توسط طیف‌سنج Shimadzu (MPC-2200) با استفاده از  $\text{BaSO}_4$  به عنوان ماده مرجع ضبط شده است. طیف DRS در ناحیه وسیعی از ۹۰۰-۱۹۰ nm ثبت شد. مغناطیس‌سنج نمونه

کاتالیزگری بکار می‌روند، نانو بلورهای مگنتیت ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) و مگمیت ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) است.  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  اسپینلی از طریق آلابیدن با عناصر فلزی جدید ( $\text{MFe}_2\text{O}_4$ ) با خواص مغناطیسی فعال ایجاد می‌کند که M می‌تواند یون‌های دو ظرفیتی و چهار ظرفیتی مانند  $\text{Co}^{2+}$ ،  $\text{Mg}^{2+}$ ،  $\text{Zn}^{2+}$ ،  $\text{Sn}^{2+}$ ،  $\text{Ti}^{4+}$  و  $\text{Zr}^{4+}$  یون‌های سه ظرفیتی نظیر  $\text{Al}^{3+}$  و  $\text{Cr}^{3+}$  باشد. میزان اثر مستقیم این یون‌ها بر ویژگی‌های فریت‌ها در پژوهش‌های متعدد گزارش شده است [۲]. برای سنتز مورفولوژی‌های مختلف فریت‌ها، روش‌های مختلفی همچون هم‌رسوبی [۳]، سل-ژل [۴]، سولوترومال [۵]، هیدروترومال [۶]، مکانیکی [۷]، سونوشیمیایی [۸]، احتراقی [۹] و ... بکار برده شده است، که در این پژوهش روش هم‌رسوبی به علت سادگی روش به کار برده شد. همچنین چندین روش برای سنتز مورفولوژی‌های مختلف فریت اسپینل مانند کرومی، مکعبی، میله‌ای، گل مانند، دایره‌ای، مربعی، مثلثی، بیضی شکل، ستاره‌ای و مستطیلی در طی دهه‌های گذشته اختصاص یافته است [۱۰-۱۲]. تا به امروز، نانومواد مختلف با خواص مطلوب فیزیکوشیمیایی با روش‌های مختلف سنتز شده‌اند که منجر به ترکیب و ساختار مناسب استوکیومتری می‌شود، که امری شایان توجه می‌باشد [۱۳]. روش‌های متنوعی برای سنتز به کار گرفته شده است. برای مثال، لاوراتو و همکارانش اثر روش سنتز را بر ساختار نانوذرات  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  با اندازه ذرات بین ۷ تا ۱۰ nm بررسی کردند [۱۴].  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  با انرژی شکاف نوار باریک در حدود (۱/۹۰ eV) فعالیت فوتوکاتالیزگری بالایی را برای تخریب آلاینده‌های آلی مانند رنگ‌های کاتیونی و آنیونی نشان می‌دهد [۱۵].  $\text{Cu/CoFe}_2\text{O}_4$  که در این پژوهش سنتز شده است، خاصیت مغناطیسی بیشتری نسبت به  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  دارد، که به جداسازی آسان‌تر و بازیافت بهتر آن منجر می‌شود. انرژی شکاف نوار نوری  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  حدود (۲/۶۵ eV) می‌باشد و یک فوتوکاتالیزگر فعال برای تخریب سریع رنگ‌ها است [۵]. مورفولوژی و اندازه ذرات اثر بزرگی بر عملکرد فوتوکاتالیزگری دارد زیرا فوتوکاتالیزگرهای نانو اندازه



شکل ۱: تصاویر SEM نانومیله‌های  $\text{Cu/CoFe}_2\text{O}_4$  سنتز شده با بزرگنمایی‌های مختلف.

عامل ایجاد مورفولوژی میله‌ای می‌باشد [۱۷]. نمودار هیستوگرام تصویر SEM برای نمایش توزیع اندازه نانوذرات در شکل ۲ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که نانومیله‌ها توزیع تقریباً یکنواختی دارند.

ارتعاشی (VSM)، مدل (Lake shore 7400) در دمای اتاق خواص مغناطیسی نمونه را تعیین کرد. طیف‌سنجی پرتو فرابنفش-مرئی توسط طیف‌سنج Shimadzu (2550,220V) انجام شد. همچنین، فعالیت ضدباکتریایی نانوذرات سنتز شده به شکل تعلیق کلوئیدی مورد بررسی قرار گرفت. نانوذرات سنتز شده (با نسبت ۰/۰۱۶ گرم در ۰/۵ میلی‌لیتر آب) درون صفحات آگار حاوی E.coli قرار گرفتند به طوری که پس از ۲۴ ساعت رشد، قطر منطقه مهار (IZD) به میلی‌متر (mm) اندازه‌گیری شد تا دریابیم که مورفولوژی نانومیله‌ای ذرات چه میزان منطقه مهارکنندگی را در برابر باکتری E.coli نشان می‌دهد.

در این کار برای اولین بار از دوپنت Cu در Co فریت استفاده شد و کلیه مقادیر بر حسب نسبت مولی  $\text{Co:Cu} = 0.2:0.8$  بکار برده شده است. ابتدا ۴۰ mL از آب مقطر  $70^\circ\text{C}$ ، به آرامی به ۰/۲۵ g از PVA و ۱۵ mmol اگزالیک اسید تحت هم زدن اضافه شد (محلول ۱). ۴ mmol کبالت (II) استات بی‌آب، ۱ mmol مس (II) استات بی‌آب و ۱۰ mmol آهن (II) سولفات بی‌آب به ۱۰ mL آب دیونیزه (محلول ۲) اضافه شد. سپس محلول B با دمای  $30^\circ\text{C}$  به تدریج به محلول A اضافه شد. محلول نارنجی-قرمز حاصل به مدت ۲ h کنار گذاشته شد. رسوب جامد به دست آمده فیلتر شده و چندین بار با آب دیونیزه شسته شد. سپس به مدت ۸ ساعت در دمای  $100^\circ\text{C}$  در خلاء خشک شد. سرانجام، ماده به مدت ۲ h در کوره در دمای  $400^\circ\text{C}$  (میزان حرارت‌دهی:  $1^\circ\text{C/min}$ ) کلسینه شد.

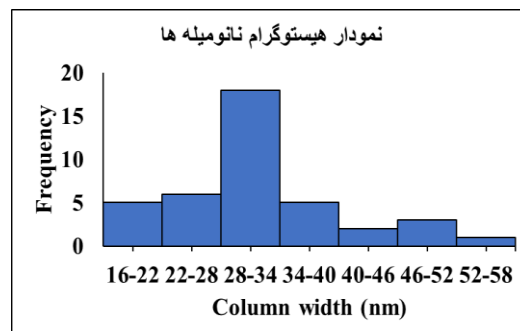
### ۳- نتایج و بحث

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نانومیله‌های  $\text{Cu/CoFe}_2\text{O}_4$  در شکل ۱ نمایش داده شده است. نانومیله‌ها در بعضی از قسمت‌ها بصورت تجمع یافته هستند. قطر میانگین نانومیله‌ها در حدود  $31/5655\text{ nm}$  و میانگین طول آن‌ها در حدود  $107/0674\text{ nm}$  بود. پلی‌وینیل‌الکل (PVA)

در شکل ۵ نشان داده شده است. پیک‌های پهن در  $3100-3500 \text{ cm}^{-1}$  به ارتعاشات کششی گروه‌های هیدروکسیل و پیوندهای هیدروژنی در مولکول‌های آب مربوط می‌شود. پیک موجود در  $1630 \text{ cm}^{-1}$  در نانومیله‌های  $\text{Cu/CoFe}_2\text{O}_4$  به مد ارتعاشی کششی  $\text{C=O}$  در گروه استات نسبت داده می‌شود. حضور پیک‌ها در  $614$  و  $870 \text{ cm}^{-1}$  به ترتیب مربوط به مد ارتعاشی  $\text{Cu-O}$  و  $\text{Fe-O}$  هستند [۱۸]. که گروه‌های اصلی برای توصیف شکل‌گیری فاز اسپینل هستند. طبق نتایج VSM در شکل ۶، خاصیت مغناطیسی نانومیله‌ها گزارش شده است. هر چه تبلور نانوذرات کمتر باشد، در میدان مغناطیسی Ms پائین‌تری خواهد داشت. در این نمونه اشباع مغناطیسی حدود  $15 \text{ emu/g}$  است. همچنین، در شکل مشخص است که نمونه فریت سنتز شده از نوع نرم مغناطیس است [۱۹]. انرژی شکاف نوار ( $E_g$ ) نانوذرات سنتز شده توسط مطالعه بازتابی نفوذی فرابنفش-مرئی (DRS) طبق شکل ۷a مشخصه‌یابی شد. با استفاده از رابطه Kubelka-Munk (K-M)  $F(R) = \alpha(1-R)^2/2R$  ارزیابی می‌شود. اصطلاح "R" ضریب بازتاب و جذب نوری است [۲۰]. این رابطه به معادله Kubelka-Munk مطابق زیر تبدیل می‌شود:

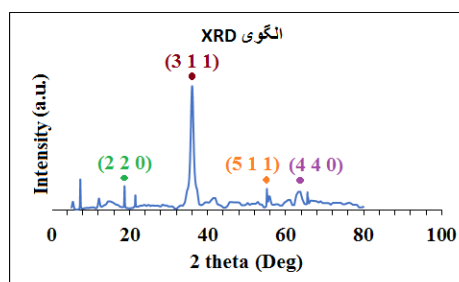
$$[F(R) hv]^n = A(hv - E_g)^n \quad (1)$$

که "A" ثابتی است که به احتمال انتقال بستگی دارد. اصطلاح "n" شاخص قدرت در فرآیند جذب نوری است. سرانجام، یک خط صاف  $[F(R)Hv]^n=0$  برای برخورد با محور X ( $h\nu$ ) برای به دست آوردن مقادیر انرژی شکاف نوار ( $E_g$ ) برون‌یابی شد. همان‌طور که مطالعات قبلی بررسی کرده‌اند، انرژی شکاف نوار مستقیم  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  خالص برابر با  $2.7 \text{ eV}$  است [۲۱]. نانومیله‌های کبات فریت دوپ شده با مس در شکل ۷b، انرژی شکاف نوار  $1.63 \text{ eV}$  را نشان می‌دهد. بنابراین، حضور دوپنت منجر به کاهش انرژی شکاف نوار نانوذرات در مقایسه با  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  خالص شد. این کاهش ممکن است به اندازه بلور مربوط باشد.



شکل ۲: نمودار هیستوگرام نانومیله‌های  $\text{Cu/CoFe}_2\text{O}_4$  سنتز شده.

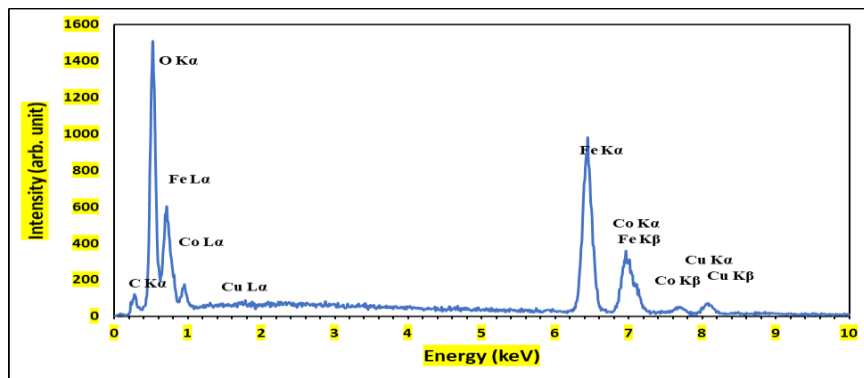
الگوی XRD نانوذرات سنتز شده، ساختار کریستالی و خلوص فاز را تعیین می‌کند. شکل ۳ سیستم کریستالی مکعبی کبات فریت را نشان می‌دهد که با شماره کارت (JCPDS file No. 00-001-1121) مطابقت دارد، که در آن پیک‌های پراش در مقادیر  $2\theta = 35.744^\circ$ ،  $62.728^\circ$ ،  $57.168^\circ$  و  $30.273^\circ$  به ترتیب به بازتاب از صفحات (۳۱۱)، (۴۴۰)، (۵۱۱) و (۲۲۰)  $\text{Cu/CoFe}_2\text{O}_4$  مربوط می‌شود. اندازه بلورک نانومیله‌ها از معادله دبای شرر  $5/05 \text{ nm}$  می‌باشد.



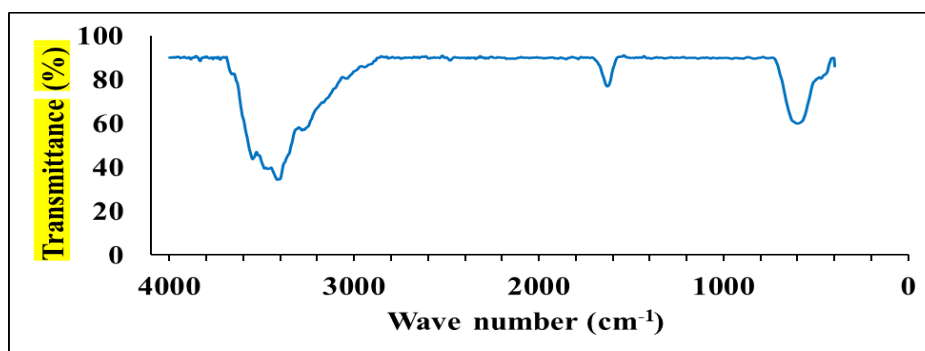
شکل ۳: الگوی XRD نانومیله‌های  $\text{Cu/CoFe}_2\text{O}_4$  سنتز شده.

ترکیب شیمیایی نانوذرات کبات فریت دوپ شده با مس توسط EDX مشخص شد و نتایج آن در شکل ۴ ارائه شد. حضور مس در نانوذرات  $\text{Cu/CoFe}_2\text{O}_4$  با کمک تکنیک EDX تایید شد. طیف EDX نشان داد که نانوذرات سنتز شده از عناصر  $\text{Cu}$ ،  $\text{Co}$ ،  $\text{Fe}$  و  $\text{O}$  تشکیل شده است. پیک‌های ضعیف کربن به مقادیر جزئی حلال‌های آلی باقیمانده یا افزودنی‌ها مثل PVA در نانوذرات میله‌ای شکل نسبت داده می‌شوند که توسط نتایج FT-IR تایید می‌شوند [۱۷].

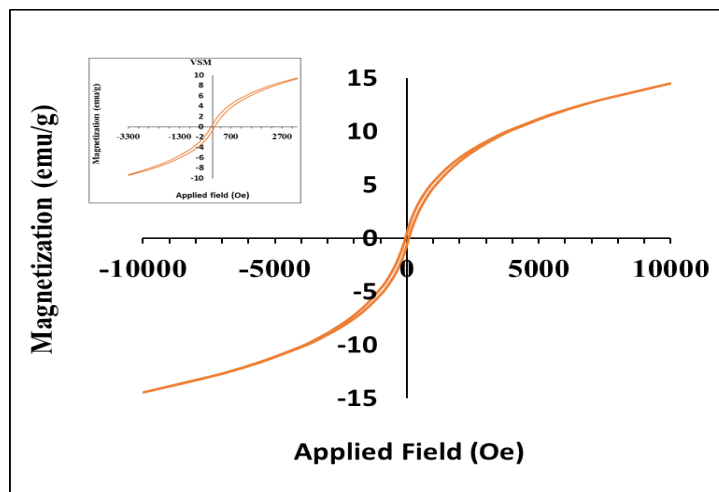
طیف FT-IR مورفولوژی نانومیله سنتز شده  $\text{Cu/CoFe}_2\text{O}_4$



شکل ۴: طیف EDX نانومپله‌های  $\text{Cu/CoFe}_2\text{O}_4$  سنتز شده.



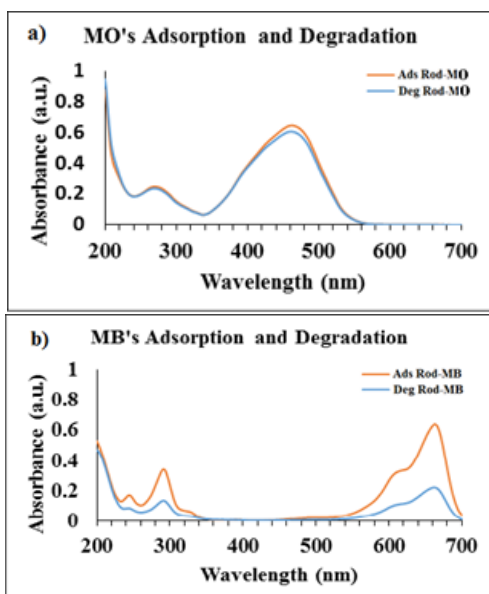
شکل ۵: طیف FT-IR نانومپله‌های  $\text{Cu/CoFe}_2\text{O}_4$  سنتز شده.



شکل ۶: نمودار VSM نانومپله‌های  $\text{Cu/CoFe}_2\text{O}_4$  سنتز شده.

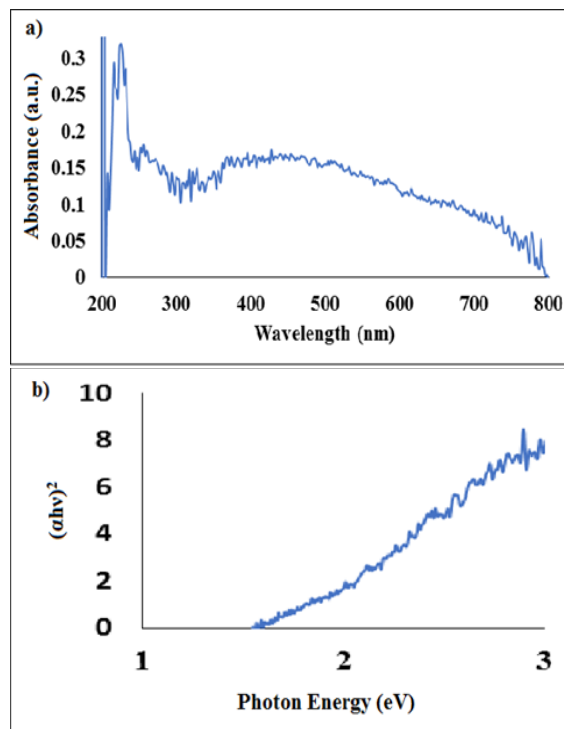
$$(۲) \quad 100 * (C_0 - C_t) / C_0 = \text{درصد جذب یا تخریب}$$

که  $C_0$  نماینده غلظت اولیه رنگ و  $C_t$  نماینده غلظت رنگ در زمان  $t$  می‌باشد. درصد جذب و تخریب MO و MB در حضور نانوذرات سنتز شده، در شکل ۸a,b نشان داده شده است. طبق نتایج واضح است که چون اندازه مورفولوژی میله‌ای  $\text{Cu/CoFe}_2\text{O}_4$  سنتز شده در محدوده نانو است، رفتار جذب و تخریب بهتر برای MB نسبت به MO نشان می‌دهد که این می‌تواند به اندازه بزرگ مولکول MO نسبت به MB باشد. با مقایسه بهره فوتوکاتالیزگری این پژوهش با نمونه‌های قبلی در جدول ۱، بهره فوتوکاتالیزگری بالای این پژوهش مشاهده می‌گردد.



شکل ۸: (a) طیف UV-Vis نانومیله‌های  $\text{Cu/CoFe}_2\text{O}_4$  سنتز شده برای جذب و تخریب رنگ MO، (b) طیف UV-Vis نانومیله‌های  $\text{Cu/CoFe}_2\text{O}_4$  سنتز شده برای جذب و تخریب رنگ MB.

مقدار  $0.16 \text{ g}$  از نامیله‌های  $\text{Cu/CoFe}_2\text{O}_4$  نانومیله به ازای  $0.5 \text{ mL}$  آب بر روی کاغذهای فیلتر به روش اصلاح شده Kirby-Bauer برای بررسی خاصیت ضدباکتریایی نانوذرات پوشش‌دهی شدند [۲۸]. در این روش از آگار Mueller-Hinton استفاده شد. دیسک حاوی باکتری‌ها روی آگار قرار داده شده و رشد داده شد.



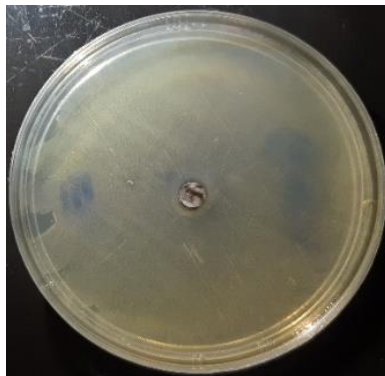
شکل ۹: (a) طیف بازتابی نفوذی فرابنفش-مرئی (DRS) نانومیله‌های  $\text{Cu/CoFe}_2\text{O}_4$  سنتز شده و (b) انرژی شکاف نوار نانومیله‌های  $\text{Cu/CoFe}_2\text{O}_4$  سنتز شده.

در اینجا فعالیت جذب و تخریب رنگ‌های MO و MB را نشان دادیم تا رفتار انتخابی مورفولوژی میله‌ای  $\text{Cu/CoFe}_2\text{O}_4$  سنتز شده را نشان دهیم. در فرآیند جذب و تخریب فوتوکاتالیزگری، ابتدا محلول  $10 \text{ mL}$  MO و  $10 \text{ mL}$  محلول MB با غلظت بهینه ( $10 \text{ mg/L}$ ) تهیه شد. پس از آن، محلول به ترتیب به ۴ بشر حاوی  $0.1 \text{ g}$   $\text{Cu/CoFe}_2\text{O}_4$  میله‌ای شکل تحت هم زدن اضافه شد (۲ بشر برای اندازه‌گیری تخریب فوتوکاتالیزگری به مدت  $60 \text{ min}$  تحت تابش لامپ LED  $10$  وات قرار گرفتند. به صورت هم زمان، ۲ بشر دیگر برای اندازه‌گیری جذب به مدت  $60 \text{ min}$  در محیط تاریک قرار داده شدند). نمونه‌ها با  $5000$  دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند تا رسوب جدا گردد. جذب غلظت‌های مختلف محلول‌های MO و MB در محلول رویی به ترتیب با استفاده از اسپکتروفوتومتر UV-Vis در  $461 \text{ nm}$  و  $664 \text{ nm}$  بررسی شد. درصد جذب و تخریب فوتوکاتالیزگری با استفاده از معادله زیر محاسبه شد:

جدول ۱: مقایسه عملکرد فوتوکاتالیزگری نانومیله‌های Cu/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> با نمونه‌های دیگر.

نمونه	نور	رنگ	زمان تابش (min)	دوز کاتالیزگر (g/L)	غلظت آلاینده (ppm)	بهره تخریب (%)	مرجع
CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	نور مرئی	MB	۱۸۰	۰/۵	۱۰ mg/L	۳۸	[۲۲]
CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> -rGO	نور مرئی	MB	۱۸۰	۰/۵	۱۰ mg/L	۵۸	[۲۲]
Ag-Ag <sub>8</sub> W <sub>4</sub> O <sub>16</sub>	نور UV-Vis	MB	۶۰	۲/۵	۱۰ mg/L	۷۰	[۲۳]
ZnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> @rGO-H <sub>2</sub> O(NaOH)-1	نور خورشید	MB	۶۰	۰/۲۵	۱۰ mg/L	۶۴/۷	[۲۴]
MnCo-Ferrite	نور UV-Vis	MB	۱۸۰	۰/۵	۱۴ mg/L	۲۰	[۲۵]
CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	نور UV-Vis	MB	۳۶۰	۴	۵ mg/L	۲۱	[۲۶]
TiO <sub>2</sub> (Degussa)	نور UV-Vis	MB	۲۰۰	۰/۴	۲۰ mg/L	۵۷	[۲۷]
Cu/CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	LED ۱۰ W	MB	۶۰	۰/۰۱	۱۰ mg/L	۷۵/۱۴	پژوهش حاضر

و اکسیژن‌های واکنشی تشکیل دهند، که می‌تواند باعث برهمکنش‌های الکترواستاتیک نانوذرات با دیواره سلولی شود [۲۹].



Nanorods

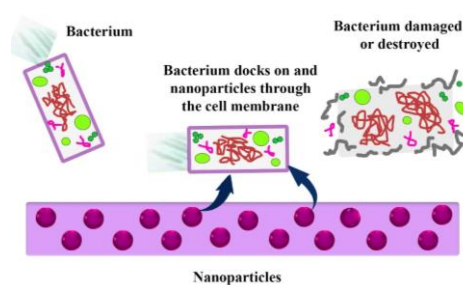
شکل ۹: ZID پس از ۲۴ ساعت انکوباسیون برای نانومیله‌های Cu/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> سنتز شده.

آنتی‌بیوتیک از دیسک در آگار پخش می‌شود و در صورت حساس بودن باکتری‌ها نسبت به آنتی‌بیوتیک، یک منطقه شفاف که به آن IZD (قطر ناحیه مهار) گفته می‌شود، ایجاد می‌گردد. روش انتشار دیسک برای بررسی فعالیت ضدباکتری نانوذرات فریت حاوی Cu و Co سنتز شده در برابر باکتری‌های E.coli که مقاوم به چند دارو هستند در شرایط آزمایشگاهی استفاده می‌شود. شکل ۹، IZD را پس از ۲۴ ساعت انکوباسیون برای نانومیله‌ها نشان می‌دهد. این منطقه مهار از یک لبه ناحیه شفاف تا لبه دیگر منطقه شفاف در طرف مقابل دیسک اندازه‌گیری می‌شود. منطقه مهار برای نانومیله‌ها حدود ۹ mm است.

مکانیسم‌های مختلفی ممکن است مسئول فعالیت ضدباکتریایی فریت‌های کبالت دوپ شده با مس باشند. به عنوان مثال، نانوذرات Cu/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ممکن است تجزیه شوند

- [2] G. Raju, N. Murali, M. Prasad, B. Suresh, D.A. Babu, M.G. Kiran, A. Ramakrishna, M.T. Wegayehu, B.K. Babu, *Materials Science for Energy Technologies*, **2**, 2019, 78.
- [3] C. Stein, M. Bezerra, G. Holanda, J. Andre-Filho, P. Morais, *AIP Advances*, **8**, 2018, 056303.
- [4] J. Venturini, A.M. Tonelli, T.B. Wermuth, R.Y.S. Zampiva, S. Arcaro, A.D.C. Viegas, C.P. Bergmann, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **482**, 2019, 1.
- [5] A. Kalam, A.G. Al-Sehemi, M. Assiri, G. Du, T. Ahmad, I. Ahmad, M. Pannipara, *Results in Physics*, **8**, 2018, 1046.
- [6] K.V. Sankar, S. Shanmugapriya, S. Surendran, S.C. Jun, R.K. Selvan, *Journal of colloid and interface science*, **513**, 2018, 480.
- [7] V. Mahdikhah, A. Ataie, A. Babaei, S. Sheibani, C.W. Owyang, S.K. Abkenar, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, **134**, 2019, 286.
- [8] R.S. Yadav, I. Kuritka, J. Vilcakova, J. Havlica, L. Kalina, P. Urbánek, M. Machovsky, D. Skoda, M. Masar, M. Holec, *Ultrasonics Sonochemistry*, **40**, 2018, 773.
- [9] A. Mazrouei, A. Saidi, *Materials Chemistry and Physics*, **209**, 2018, 152.
- [10] A. Zhang, Z. Nan, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **139**, 2020, 217.
- [11] A. Anupama, V. Kumaran, B. Sahoo, *Soft Matter*, **14**, 2018, 5407.
- [12] F. Yuan, X. Cheng, M. Wang, Y. Ni, *Electrochimica Acta*, **324**, 2019, 134883.
- [13] H. Huang, L. Chen, S. Wang, P. Kang, X. Chen, Z. Guo, X.-J. Huang, *Trends in Analytical Chemistry*, **119**, 2019, 115636.
- [14] G. Lavorato, M. Alzamora, C. Contreras, G. Burlandy, F.J. Litterst, E. Baggio-Saitovitch, *Particle & Particle Systems Characterization*, **36**, 2019, 1900061.
- [15] A. Arimi, L. Megatif, L.I. Granone, R. Dillert, D.W. Bahnemann, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, **366**, 2018, 118.
- [16] M. Malakootian, A. Nasiri, M. Amiri Gharaghani, *Chemical Engineering Communications*, **207**, 2020, 56.
- [17] S. Mallakpour, F. Motirasoul, *Progress in Organic Coatings*, **103**, 2017, 135.
- [18] A. Abou Hammad, M. Abd El-Aziz, M. Hasanin, S. Kamel, *Carbohydrate Polymers*, **216**, 2019, 54.
- [19] J.C. Farinas, R. Moreno, A. Perez, M. García, M. García-Hernández, M. Salvador, A. Borrell, *Journal of the European Ceramic Society*, **38**, 2018, 2360.
- [20] P. Makula, M. Pacia, W. Macyk, ACS Publications, 2018.
- [21] D.D. Andhare, S.R. Patade, J.S. Kounsalye, K. Jadhav, *Physica B: Condensed Matter*, **583**, 2020, 412051.
- [22] F. Jelokhani, S. Sheibani, A. Ataie, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, **403**, 2020, 112867.
- [23] M. Selvamani, G. Krishnamoorthy, M. Ramadoss, P.K. Sivakumar, M. Settu, S. Ranganathan, N. Vengidusamy, *Materials Science and Engineering: C*, **60**, 2016, 109.
- [24] M.L. Baynosa, A.H. Mady, D.R. Kumar, M.S. Sayed, D. Tuma, J.J. Shim, *Journal of Colloid and Interface Science*, **561**, 2020, 459.
- [25] S. Yousefi-Mohammadi, M. Movahedi, H. Salavati, *Surfaces and Interfaces*, **11**, 2018, 91.
- [26] C. Haw, W. Chiu, S.A. Rahman, P. Khiew, S. Radiman, R.A. Shukor, M.A.A. Hamid, N. Ghazali, *New Journal of Chemistry*, **40**, 2016, 1124.
- [27] M.A. Kudhier, R.S. Sabry, Y.K. Al-Haidarie, *Materials Science in Semiconductor Processing*, **73**, 2018, 35.
- [28] E. Zachanowicz, J. Piglowski, A. Ziecina, K. Rogacki, B. Poźniak, M. Tikhomirov, M. Marędziak, K. Marycz, J. Kisala, *Materials Chemistry and Physics*, **217**, 2018, 553.
- [29] M.M. Naik, H.B. Naik, G. Nagaraju, M. Vinuth, K. Vinu, R. Viswanath, *Nano-Structures & Nano-Objects*, **19**, 2019, 100322.
- [30] M.S. Majoumou, M.B. Tincho, M. Mbekou, F.F. Boyom, *International Journal of Nanomedicine*, **14**, 2019, 9031.

از طرف دیگر، غلظت مس با چسبیدن این نانوذرات به دیواره سلولی و نفوذ از طریق آن، روی تخریب غشای سلولی باکتری‌ها تاثیر می‌گذارد. نانوذرات مس نیز می‌توانند از دیواره‌های سلولی ضخیم عبور کنند در نتیجه سیتوپلاسم تخریب یا ناپدید می‌شود. در این حالت، مرگ سلولی همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، رخ می‌دهد. نانوذرات نسبت سطح به حجم بیشتری از ذرات دارای اندازه بزرگتر دارند، بنابراین اعتقاد بر این است که این ذرات می‌توانند از جمله عوامل ضدباکتریایی موثر باشند [۳۰].



شکل ۱۰: مکانیسم فعالیت ضدباکتریایی نانومیله‌های  $\text{Cu/CoFe}_2\text{O}_4$  سنتز شده.

#### ۴- نتیجه‌گیری

نانومیله‌های  $\text{Cu/CoFe}_2\text{O}_4$  سنتز شده بهترین فعالیت فوتوکاتالیزگری را ارائه دادند. این مورفولوژی نه تنها خاصیت مغناطیسی خوب و خلوص مطلوبی را نشان می‌دهد که به ترتیب با VSM و XRD مطابقت دارند، بلکه با یک روش هم‌رسوبی آسان سنتز می‌شود. این نانومیله‌ها همچنین می‌توانند به عنوان یک بستر فوتوکاتالیزگری مناسب برای اهداف حذف آلاینده‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

#### سپاسگزاری

نویسندگان از حمایت‌های معاونت پژوهشی دانشکده شیمی دانشگاه علم و صنعت ایران تشکر می‌نمایند.

#### مراجع

- [1] S.B. Kale, S.B. Somvanshi, M. Sarnaik, S. More, S. Shukla, K. Jadhav, *AIP Conference Proceedings*, AIP Publishing LLC, 2018, 030193.