فصلنامه‌ی علمی پژوهشی

علم و مهندسی سرامیک

دوره‌ی ۹، شماره‌ی ۳، پاییز ۱۳۹۹

سنتز و بررسی خواص ساختاری، مغناطیسی و خاصیت آنتی باکتریال نانو ذرات فریت کلسیم–منیزیم به روش عملیات گرمایی

نوع مقاله: علمی پژوهشی

سیده اعظم هاشمی[۱]، مرضیه هدایتی[۱]، محمود ناصری[۱*]، سعیده قیاسوند[۲]

[۱] دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک، دانشگاه ملایر، [۲] دانشکده علوم پایه، گروه زیست، دانشگاه ملایر

* mahmoud.naseri55@gmail.com

اطلاعات مقاله:

دریافت: ۲۸ مهر ۱۳۹۸

پذیرش: ۱۴ اردیبهشت ۱۳۹۹

کلید واژه:

عملیات گرمایی؛ مغناطش اشباع؛ گاف انرژی؛ خواص آنتی‌باکتریال.

چکیده:

در این پژوهش خواص نوری، مغناطیسی و ضد باکتریایی نانوساختارهای کلسیم منیزیم مورد بررسی قرار گرفت. این نانو ساختارها در دمای کلسیناسیون ۵۰۰ k با روش ساده‌ایی بنام عملیات گرمایی سنتز شد. تأثیر دمای کلسیناسیون بر میزان فاز بلوری، و مورفلوژی (ساختار ریز)، توسط تکنیک‌های مختلف، مانند پراش پرتو X (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (FESEM). و طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FT-IR) مورد بررسی قرار گرفت.گاف انرژی توسط طیف جذب (UV-vis) مورد مطالعه قرار گرفت. خصوصیات مغناطیسی نانو مواد از جمله مغناطش اشباع (Ms) و القای مغناطیسی (Hc) توسط دستگاه مغناطیس سنج نمونه لرزش (VSM) دردمای اتاق بررسی شد نتایج نشان داد نانوذرات کلسیم–منیزیم رفتار ابرپارامغناطیس دارند. خواص آنتی باکتریایی نمونه‌ها توسط باکتری‌های استافیلوکوکوس اورئوس (S aureus) و باسیلوس (Bacilli) به عنوان باکتری‌های گرم مثبت و اشرشیا ایکلای (E. coli) به عنوان یک باکتری گرم منفی با روش کشت چمنی مورد بررسی قرار گرفت.

۱- مقدمه

در بین نانومواد، نانو فریت‌ها دسته مهمی از نانو مواد هستند. فریت‌ها به مواد مغناطیسی فوق‌العاده مفید برای طیف گسترده از برنامه‌های کاربردی مانند سیستم‌های الکترونیکی، سیستم جرقه‌زنی، پنراتور، ایمپلنت‌های پزشکی، ساعت‌های مچی، هسته سیم‌پیچ‌ها، حسگرهای مغناطیسی و تجهیزات ضبط، ارتباطات از راه دور، نانوسیال‌های مغناطیسی،جاذب‌های ریزموجی و کاربردهای دیگر در بسامد بالا تبدیل شده‌اند [۱و۲]. فریت، ساختار اسپینلی، دارای فرمول کلی $M_8Fe_{16}O_{32}$ است. یون‌های اکسیژن چارچوب اسپینلی را می‌سازند. در این ساختار یون‌های اکسیژن یک شبکه FCC به وجود می‌آورد و کاتیون‌های M و Fe به صورت بین نشینی در دو زیر شبکه چهاروجهی (جایگاه A) و هشت وجهی (جایگاه B) می‌نشینند. تعداد کل این جایگاه ۹۶ می‌باشد که ۶۴ عدد از آن‌ها جایگاه‌های تتراهدرال (A) هستند که در آن‌ها یک کاتیون به‌وسیله‌ی ۴ یون اکسیژن احاطه شده است. ۳۲ عدد از آن‌ها جایگاه‌های

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-11]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1399.9.3.7.9]

اکتاهدرال (B) هستند که در آن‌ها یک کاتیون به‌وسیله‌ی ۶ یون اکسیژن احاطه شده است. چنانچه تمام این جایگاه‌ها با کاتیون‌های ۲ یا ۳ ظرفیتی پر شوند، بار مثبت شبکه بیشتر از بار منفی ناشی از آنیون‌های اکسیژن ۲ ظرفیتی خواهد شد و شبکه ازلحاظ الکتریکی دچار عدم توازن خواهد شد. بنابراین از جایگاه تتراهدرال تنها ۸ عدد و از جایگاه اکتاهدرال تنها ۱۶عدد پر می‌شوند تا توازن میان بارهای مثبت و منفی برقرارشده و اصل خنثی بودن بار در شبکه برقرار گردد. در صورتی‌که جایگاه‌های A با کاتیون‌های دو ظرفیتی و جایگاه‌های B با کاتیون‌های سه ظرفیتی اشغال شوند، فریت ساختار اسپینلی دارد، اگر جایگاه‌های A با کاتیون‌های سه ظرفیتی و جایگاه‌های B با کاتیون‌های دو ظرفیتی اشغال شوند، فریت ساختار اسپینلی وارون دارد. اگر این جایگاه‌ها با مخلوطی از کاتیون‌های دو و سه ظرفیتی اشغال شوند، فریت اسپینل مخلوط داریم. ویژگی‌های مغناطیسی و الکتریکی فریت‌ها به شدت به نحوه توزیع کاتیون‌ها در جایگاه‌های چهار و هشت وجهی وابسته است.این توزیع با انتخاب نوع روش ساخت و عملیات حرارتی تغییر می‌کند [۳]. فریت کلسیم- منیزیم فریت مخلوط است و به شدت به پیش ماده و شیوه ساخت وابسته است که این موضوع به‌خوبی در این پژوهش نشان داده شده است. تا کنون مطالعات زیادی بر روی فریت‌های اسپینل حاوی فلزات واسطه مانند آهن، نیکل، کبالت، منگنز و روی انجام شده است. اما پژوهش‌های محدودی در مورد فریت اسپینل حاوی فلزات قلیایی خاکی مانند فریت کلسیم و منیزیم انجام شده است. از آنجایی که بسیاری از کاتیون‌های فلزی مانند کبالت، نیکل و منگنز بصورت ذاتی دارای سمیت برای محیط زیست هستند. از آن طرف فریت کلسیم و منیزیم می‌تواند در کاربردهای بیولوژیکی نقش موثری را ایفا کند [۴ و ۵]. نانوذرات ابرپارامغناطیس فریت منیزیم به‌دلیل ویژگی‌های منحصر بفرد مغناطیسی و ارتباط فراوان آن با فن‌آوری‌های جدید از جمله تشدید مغناطیسی داروهای حاجب در تصویربرداری مغناطیسی (طول عمر داده‌ها در ذخیره سازی اطلاعات با MRI) چگالی بالا، فن‌آوری سیالات فرومغناطیسی و سردسازی مورد استفاده قرار گرفته است [۶ و ۷]. در چند دهه ی اخیر به دلیل اهمیت و کاربرد چشمگیر نانو فریت‌ها، این مواد به روش‌های گوناگون از جمله سل-ژل، سونوشیمی، روش شیمیایی، و مایکروویو [۸]، سنتز شده‌اند. اما استفاده از آن در یک مقیاس بزرگ دشوار است زیرا روش‌های ذکر شده به دلیل پرهزینه بودن، دمای واکنش بالا، زمان واکنش طولانی، فرواورده‌های سمی تولید شده و آسیب‌های جبران ناپذیر به محیط زیست در این پژوهش برای سنتز نانو فریت‌ها از یک روش نوین و ساده کم هزینه و سازگار با محیط زیست بنام روش عملیات گرمایی استفاده شده است این روش علاوه بر مقرون به صرفه بودن توانسته خواص و ویژگی‌های کاربردی متفاوتی در صنعت و پزشکی نسبت به سایر روش‌ها برای نانو فریت ایجاد کند[۹-۱۱].

۲- فعالیت‌های تجربی

۲-۱- مواد و تجهیزات

در این پژوهش از آب مقطر به عنوان حلال و از پلی وینیل پیرولیدون (PVP) برای جلوگیری از کلوخه‌شدن ذرات و

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-11]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1399.9.3.7.9]

عـاملی بـرای پایدارسـازی ایـن نـانوذرات اسـتفاده شـد. نیتـــرات‌کلـــسیم $Ca(NO_3)_2.6H_2O$، نیتـــرات آهـــن $Fe(NO_3)_3.9H_2O$ و نیترات منیزیم $Mg(NO_3)_2.9H_2O$ با درصد خلوص بالای ۹۹ درصد از شرکت Aldrich Sigma خریداری و مورد استفاده قرار گرفت. ساختار نانوذرات فریت، کلسیم–منیزیم با استفاده از پراش اشعه ایکس با طول مـوج λ=۱/۵۴ آنگستروم مورد بررسی قرار گرفـت. بـرای بررسـی ریخت‌شناسـی و انـدازه‌میـانگین نـانوذرات از میکروسـکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) اسـتفاده شـد. از طیـف‌سـنج تبـدیل فوریـه (FT-IR) بـرای تعیـین سـاختار مولکـــولی و شناســـایی گـــروه‌هـــای عـــاملی و دســـتگاه مغناطیس‌سـنج نمونـه لـرزان (VSM) جهـت انـدازه‌گیـری خواص مغناطیسی، مواد مغناطیسی به کـار گرفتـه شـد و از طیف‌سنج فرابنفش–مرئی (UV-visible) برای تعیین گاف انرژی استفاده شد. با استفاد از روش کـشت چمنـی خـواص آنتی باکتریال این نانو ترکیب بررسی شد.

۲-۲- روش انجام آزمایش

سـنتز نـانوذرات فریـت ($Ca_{1-x}Mg_xFe_2O_4$) بـا اسـتفاده از روش عملیات گرمایی در مراحـل مختلـف: مخلـوط کـردن پیش ماده‌ها (mixing)، ژل‌شدن (gelation)، خشک‌کردن (drying)، آسیاب‌کـردن (comminute)، کلـسینه کـردن (calcination) انجام شد در ابتدا یک محلول آبـی بـا حـل ۳/۵ گرم PVP در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطـر در دمـای ۳۶۳ کلـوین روی همـزن مغناطیـسی قـرار گرفـت و سـپس نیترات‌های کلسیم، آهن و منیزیم با مقـدارهای متفـاوتی در فاصله اندکی از هم به محلول مورد نظر اضافه شد. محلـول حاصل به مدت ۲۴ ساعت داخل آون با دمـای ۳۷۳ کلـوین قرار داده شد تا مرحله اول خشک سازی صورت پذیرد. ماده خشک شده در ادامه به مدت ۲۰ دقیقه آسیاب شد تا پودری صاف و یک دست بدست آیـد. در نهایـت پـودر حاصـل بـه منظور کلسینه شدن و شـکل‌گیـری نـانوبلور در دمـای ۷۷۳ کلوین برای به مدت نه ساعت در کوره قرارگرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی نتایج طیـف‌سـنجی پـراش پرتوایکس

الگوهای پراش اشعه‌ی ایکس با اسـتفاده از دسـتگاه پـراش اشـعه‌ی X مـدل Philips و PW1730 و بـا طـول‌مـوج λ=۱/۵۴ آنگستروم مورد بررسی قرار گرفت. کـه اطلاعـاتی راجع به آنالیز فازی، تعیین پارامترهای شبکه بلوری، اندازه‌ی متوسط دانه‌های بلـوری، وجـود ناخالـصی در نمونـه و... در اختیارمان قرار می‌دهد. با توجه به تفسیر الگوهای پراش X، نمونه‌های کلسینه شـده در صـفحات بـراگ (۴۰۰)، (۵۱۱)، (۳۱۱)، (۲۲۰)، (۴۴۰) در همه ی نمونه‌ها دیده مـی‌شـود. در این صفحات تشکیل ساختار ارتورومبیک برای فریت کلسیم و مکعبی برای همه‌ی نمونه‌های فریت کلسیم–منیزیم تأیید شـده اسـت.کـه بـه ترتیـب بـا الگـوی اسـتاندارد (گـروه فـــضایی Pnma, 1744-047-00- ICDD:00;4=Z) و (Orthorhmic, Cubic, گـروه فـضایی Fd^3m، Z=8; ICDD:00-036-039) مطابقـت داشـتند[۱۰]. فازهـای ناخالص α-Fe_2O_3 و MgO در نانوذرات فریـت منیـزیم، α-Fe_2O_3 و $CaFe_3O_5$ و $CaFe_2O_3$ در نـــانوذرات فریـــت کلسیم و نانوذرات فریت ترکیبـی کلـسیم–منیـزیم مـشهود است. وجود فـاز ناخالـصی α-Fe_2O_3 در همـه‌ی غلظـت‌هـا

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-11]

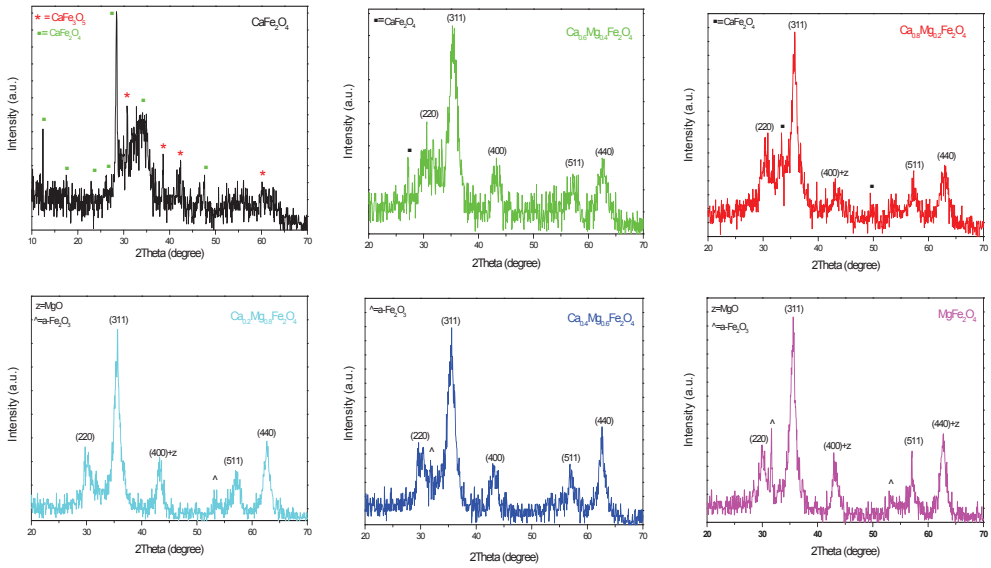
[DOR: 20.1001.1.23222352.1399.9.3.7.9]

حاکی از آن است که یون Fe^{+3} از جایگاه B به جایگاه A انتقال داده‌شده است[۸،۱۲-۱۴]. همچنین شرایط گرما و افزایش غلظت کاتیون‌ها باعث می‌شود که بعضی از یون‌های Fe^{+3} از جایگاه B به جایگاه A و همچنین تعداد مشابه‌ای از یون‌های Mg^{+2} و Ca^{+2} از جایگاه A به جایگاه B انتقال یابند به‌این‌ترتیب یون‌های Fe^{+3} در جایگاه A و یون‌های Mg^{+2} و Ca^{+2} در جایگاه B انباشته می‌شوند که باعث ایجاد یک حالت ترکیبی جدید در آن می‌شود. به‌این‌ترتیب برهم‌کنش گشتاور یون‌ها در جایگاه مختلف A-B بیشتر از A-A و B-B می‌شود همچنین در بعضی از غلظت‌ها، به علّت تغییر مقدار اکسیژن موجود در ماده، اکسیدهای ناخالص MO که M شامل پیوند یون‌های Mg^{+2} و Ca^{+2} با اکسیژن (MgO، CaO) است تشکیل می‌شود. با استفاده از این تفسیر می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش غلظت Mg و Ca، شدت فاز MO در ساختار شبکه نیز افزایش پیدا می‌کند در شکل (۱) نمودارهای پراش پرتو ایکس در شش غلظت مجزا نشان داده شده است. و نمودار تمامی اشکال به طور خلاصه و برای مقایسه بهتر در شکل (۲) تجمیع شده است [۱۳ و ۱۴]. با استفاده از پراش پرتوایکس پارامتر ثابت شبکه (a) برحسب انگستروم با استفاده از رابطه (۱) از ۸/۸۴ تا ۸/۲۷ به دست آمد. در رابطه (۱) d فاصله صفحات براگ a پارامتر ثابت شبکه h، k و l اندیس‌های میلر است. اندازه بلورک‌ها با استفاده از رابطه شرر (۲) محاسبه گردید.

$$\alpha = d\sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \qquad (۱$$

$$d = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \qquad (۲$$

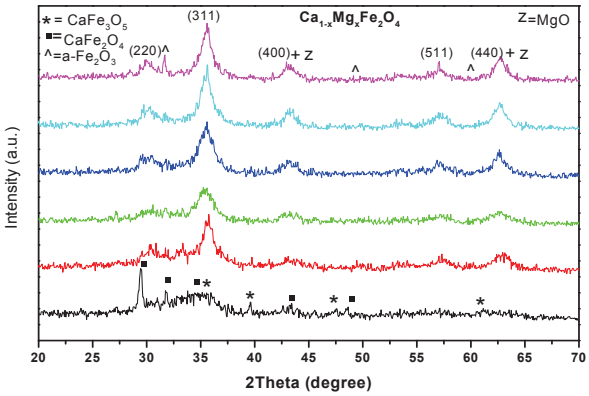
در رابطه (۲) d اندازه دانه کریستالی λ طول‌موج اشعه ایکس و β پهنای پیک ماکزیمم در نصف ارتفاع بیشینه (FWHM) برحسب رادیان است و θ زاویه پراش می‌باشد. مقادیر به دست آمده از غلظت‌های مختلف نمونه‌ها در جدول (۱) درج گردیده است.



شکل ۱- نمودار پراش پرتو ایکس در شش غلظت به صورت مجزا

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-11]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1399.9.3.7.9]



شکل ۲- نمودار پراش پرتو ایکس نانو ذرات ترکیبی $Ca_{1-x}Mg_xFe_2O_4$ به صورت تجمیع

جدول ۱- نتایج حاصل از پراش پرتوایکس برای $Ca_{1-x}Mg_xFe_2O_4$

نمونه	a(A^0)	Cristal Size(nm)
x=۰	۸/۸۴	۵۹/۲
x=۰/۲	۸/۶۵	۴۹/۵
x=۰/۴	۸/۵۴	۵۱/۱
x=۰/۶	۸/۴۸	۶۴/۶
x=۰/۸	۸/۳۸	۷۳/۶
x=۱	۸/۲۷	۴۱/۶

۳-۲- بررسی نتایج طیف‌سنج مادون‌قرمز (FT-IR)

برای شناسایی گروه‌های عاملی موجود در نانو ساختارهای تهیه شده، نانوذرات فریت کلسیم- منیزیم، با طیف‌سنج مادون قرمز در محدوده‌ی عدد موجی $400\ cm^{-1}$ تا $4000cm^{-1}$ مورد مطالعه قرار گرفت. شکل (۳) طیف مادون‌قرمز (FT-IR) این نانو ذرات، به‌منظور شناسایی گروه‌های عاملی و مدهای ارتعاشی در محدوده‌ی عدد موجی $400cm^{-1}$ تا $4000cm^{-1}$ را نشان می‌دهد. قله وارون جذبی در $1089/75cm^{-1}$ مربوط به C-O-C و همچنین قله وارون جذبی $3438cm^{-1}$، $1636cm^{-1}$ و $1457cm^{-1}$ به ترتیب مربوط به مدهای ارتعاشی O-H, C=O, H-O-H و در نهایت قله‌ی وارون جذبی $1457cm^{-1}$را می‌توان به پیوند C-H نسبت داد[۱۵]. حضور قله وارون جذبی $1000–1500cm^{-1}$ در نمونه‌ها نشان از وجود C-O در ترکیبات دارد. قله وارون جذبی موجود در $1400cm^{-1}$ تا 1500 و $3438–3771cm^{-1}$ مربوط به پیوند H-O-H, O-H بوده [۸]. و قله وارون جذبی $852cm^{-1}$ مربوط به پیوندهای Ca-Fe می‌باشد[۱۶]. قله‌های وارون جذبی $1600–1700cm^{-1}$ مربوط به مد ارتعاشی C=O و قله وارون جذبی $2925cm^{-1}$ تا 3438 و قله وارون جذبی

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-11]

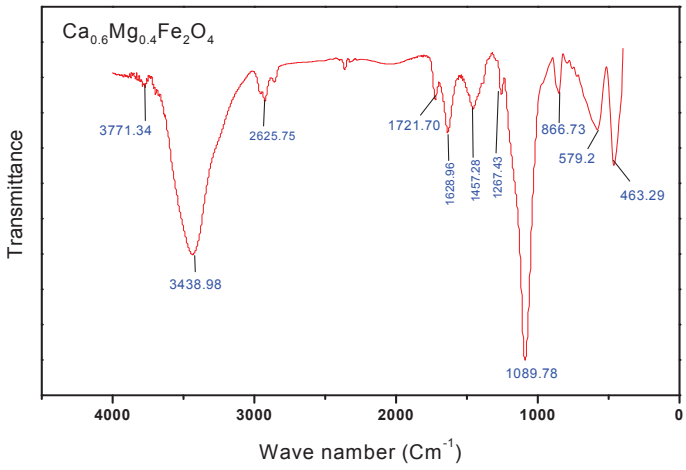
[DOR: 20.1001.1.23222352.1399.9.3.7.9]

$1256cm^{-1}$ مربوط به پیوند C-H می‌باشد. در تمامی این ساختارها دو جذب اصلی در محدوده‌ی $400-600cm^{-1}$ وجود دارد که به مدهای ارتعاشی (ν_1 و ν_2) یعنی پیوند کاتیون با اکسیژن در جایگاه تتراهدرال و اکتاهدرال $M_{Octa}\leftrightarrow O$، $M_{Tetra}\leftrightarrow O$، مربوط می‌شود. اختلاف این دو مد ارتعاشی مربوط به ارتعاشات فلز اکسیژن بوده و اختلاف موجود میان مقادیر ν_1 و ν_2 ناشی از کوتاه‌تر بودن طول پیوند یون فلز با اکسیژن در جایگاه اکتاهدرال نسبت به طول پیوند یون فلز با اکسیژن در جایگاه تتراهدرال می‌باشد. شکل (۳) نمودار FT-IR را برای یک نمونه با غلظت ۰/۴ را نشان می‌دهد [۱۷].

۳-۳- بررسی خواص مغناطیسی

در این بخش خواص مغناطیسی نانوذرات با استفاده از دستگاه مغناطیس سنج نمونه لرزان (VSM) مورد بررسی قرار گرفته است. حلقه‌های پسماند نانوذرات مغناطیسی شش نمونه در دمای ۷۷۳ کلوین در شکل‌های ۴ و ۵ به صورت مجزا و در یک صفحه نشان داده شده‌اند. نتایج حاصل از نمودار نشان می‌دهد که همه‌ی نمونه‌های نانوذرات فریت کلسیم-منیزیم کلسینه شده، رفتار سوپر پارامغناطیس را از خود نشان دادند.

بررسی‌ها نشان داد که با افزایش غلظت منیزیم، مغناطش اشباع و پسماند در برخی غلظت‌ها افزایش و در برخی غلظت‌ها کاهش‌یافته است که این افزایش و کاهش، می‌تواند ناشی از توزیع مجدد کاتیون‌ها در جایگاه‌های A و B باشد. این توزیع مجدد کاتیون‌ها می‌تواند ناشی از روش عملیات گرمایی و نوع سنتز مواد باشد [۱۸-۲۰]. شرایط گرمایی باعث می‌شود که بعضی از یون‌های Fe^{+3} از جایگاه B به جایگاه A و همچنین تعداد مشابه‌ای از یون‌های Mg^{+2} و Ca^{+2} از جایگاه A به جایگاه B انتقال یابند. به‌این‌ترتیب یون‌های Fe^{+3}در جایگاه A و یون‌های Mg^{+2} و Ca^{+2} در جایگاه B انباشته می‌شوند که باعث ایجاد یک حالت ترکیبی جدید در آن می‌شود. به‌این‌ترتیب برهم‌کنش گشتاور یون‌ها ناشی از A با B بیشتر از A با A و B با B می‌باشد و این می‌تواند باعث افزایش مغناطش اشباع در این نانو ذرات شود [۸،۲۱،۲۲]. بررسی‌ها نشان داد که مقادیر مغناطش اشباع Ms با افزایش اندازه نانو ذرات، در برخی غلظت‌ها افزایش‌یافته است. به نظر می‌رسد که سطح خارجی این نانو ذرات از گشتاورهای بی‌نظمی تشکیل‌شده که مانع از هم‌جهت شدن گشتاورهای



شکل ۳- طیف FT-IR نمونه $(Ca_{0.6}Mg_{0.4}Fe_2O_4)$

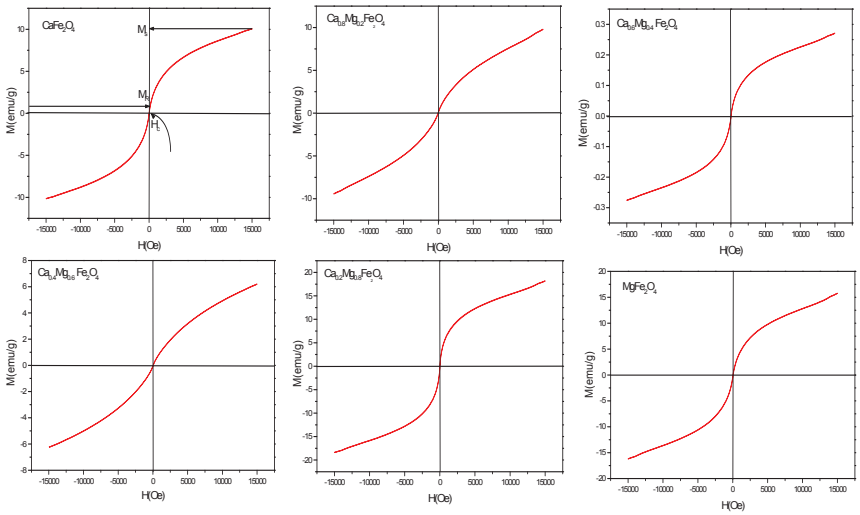
[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-11]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1399.9.3.7.9]

داخلی این نانو ذرات با جهت میدان اعمالی می‌شود. در نتیجه مغناطش اشباع برای ذراتی با اندازه‌ی بزرگ‌تر، در برخی غلظت‌ها افزایش و در برخی غلظت‌ها کاهش می‌یابد. کوچک‌ترین مغناطش اشباع نانو ذرات فریت کلسیم–منیزیم در x=0.4 ($0.138A.m^2/kg$) بود و بزرگ‌ترین مغناطش اشباع در x=0.6 ($18.268A.m^2/kg$) است تمامی مقادیر اندازه‌گیری شده از آزمایش VSM در جدول (۲) درج شده است.

۳-۴- بررسی ریخت‌شناسی و اندازه نانوذرات

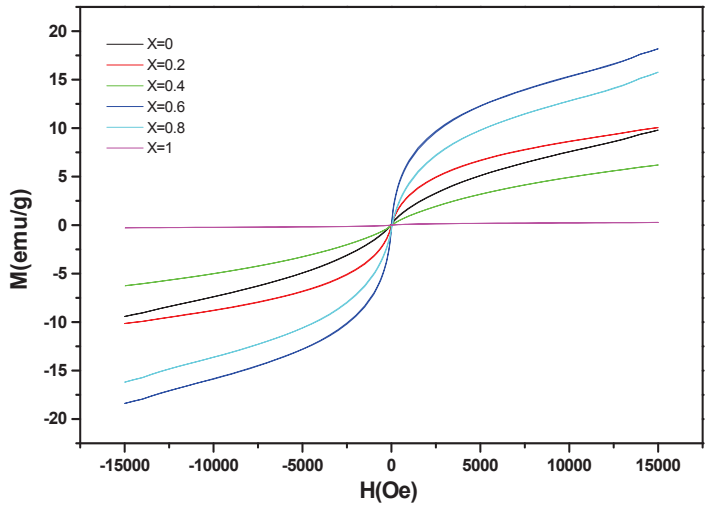
شکل (۶) تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) برای نانوذرات فریت کلسیم–منیزیم را نشان می‌دهد تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی مربوط به نمونه‌ایی با x=۰/۴ می‌باشد. با توجه به تصاویر، نانوذرات کاملاً ابعاد نانومتر را دارا بوده و به‌صورت مجزا از یکدیگر با توزیع و اندازه یکنواختی تشکیل‌شده‌اند، که اندازه میانگین این ذرات به‌وسیله، نرم‌افزار (Digimizer) مورد بررسی قرارگرفته و محاسبه شد. که نتایج حاصل از آن، اندازه‌گیری میانگین نانوذرات بعد از کلسینه شدن را برای نمونه‌ای با x=۰/۴ (۶۴/۵۳) نانومتر تخمین زد. که توافق خوبی با نتایج حاصل از XRD و محاسبه حاصل از رابطه شرر دارد. این ذرات دارای ساختار مکعبی بوده و نوع اسپینل آن‌یک اسپینل ترکیبی است. با توجه به تصاویر، تجمع ذرات در برخی از نواحی می‌تواند به دلیل مغناطش بالای نمونه‌ها و برهمکنش‌های دوقطبی مغناطیسی ذرات پخت داده‌شده باشد [۲۲-۲۴]. عامل دیگری که می‌تواند در حجم ذرات درروش عملیات گرمایی نقش داشته باشد این است که با بالا رفتن دما ذرات کوچک‌تر در یکدیگر ذوب‌شده و تبدیل به ذرات بزرگ‌تری می‌شود. علاوه بر همه‌ی این‌موارد عامل دیگری که می‌تواند در تجمع ذرات در یک نقطه مؤثر باشد نامتقارن بودن فضای داخل کوره‌ی الکتریکی است، چون دما به‌طور یکنواخت به تمام نقاط ماده موردنظر نمی‌رسد [۲۳]. شکل (۶) تصاویر حاصل از میکرسکوپ الکترونی مربوط به نانوذرات کلسیم–منیزیم می‌باشد.



شکل ۴- نمودار حلقه پسماند نانوذرات $Ca_{1-x}MgxFe_2O_4$ به صورت مجزا

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-11]

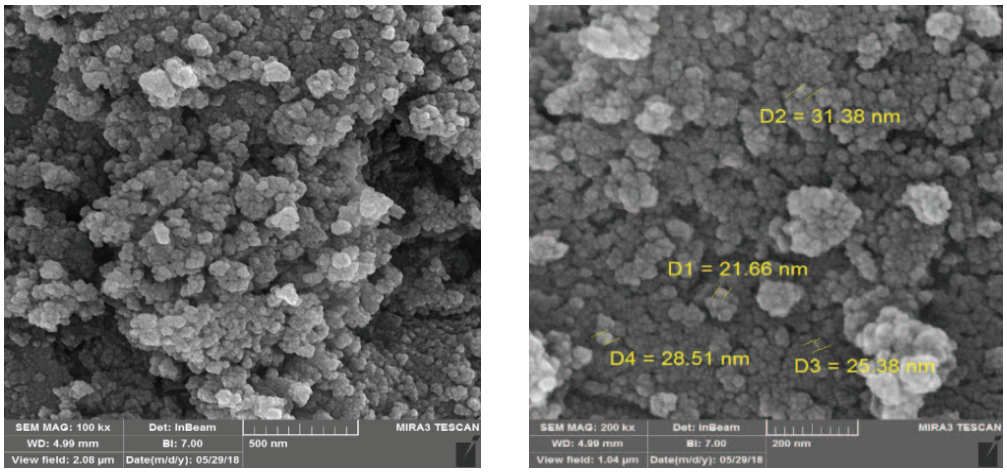
[DOR: 20.1001.1.23222352.1399.9.3.7.9]



شکل ۵- نمودار حلقه پسماند نانوذرات $Ca_{1-x}Mg_xFe_2O_4$ به صورت تجمیع

جدول ۲- پارامترهای مغناطیسی و گاف انرژی نانو ترکیب $Ca_{1-x}Mg_xFe_2O_4$

نمونه	M_s(emu/g)	H_c(Oe)	M_r (emu/g)	$R=^{Mr}/_{Ms}$	E_g
x=۰	۱۰/۱۸	۲۹/۸۶	۰/۸۲۵	۰/۰۸۱	۲/۰۱۸
x=۰/۲	۹/۸۳۱	۸/۵۳	۰/۳۸۸	۰/۰۳۹	۲/۰۲۴
x=۰/۴	۰/۲۷۰	۲۶/۰۲	۰/۰۴۷	۰/۱۷۴	۲/۰۱۶
x=۰/۶	۶/۲۴۶	۵۹/۷۲	۰/۳۴۵	۰/۰۵۵	۲/۰۱۳
x=۰/۸	۱۸/۲۱۱	۲۰/۰۵	۳/۱۵	۰/۱۷۲	۲/۰۰۲
x=۱	۱۵/۷۶۶	۵۹/۷۲	۱/۶۶۴	۰/۱۰۵	۱/۹۸۳



شکل ۶- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی مربوط به نانو ذرات $Ca_{0.6}Mg_{0.4}Fe_2O_4$

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-11]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1399.9.3.7.9]

۳-۵- بررسی خواص اپتیکی

یکی از مهم‌ترین ویژگی مواد، گاف نوری انرژی است که گزینه مناسبی برای کاربردهای اپتو الکترونیکی می‌باشند. مقادیر انرژی متناسب با گاف انرژی (E_g) نوار ظرفیت و رسانش با استفاده از رابطه‌ی زیر که به رابطه تاک مشهور است به دست می‌آید [۲۴].

$$\alpha h\nu = \alpha_0 (E \quad E_g)^n \qquad (۳$$

در رابطه بالا، α_0 یک مقدار ثابت بوده که شعاع بور نام دارد. $E=h\nu$ انرژی فوتون ورودی و α نیز ضریب خطی جذب است. توان (n) پارامتری است که وابسته به نوع انتقال بین نوارها است بدین ترتیب که: $n=۱/۲$ و $n=۳/۲$ برای گذارهای مجاز و ممنوع مستقیم بین نوارها در نظر گرفته می‌شود. $n=۲$ و $n=۳$ به ترتیب برای گذارهای بین نواری غیرمستقیم مجاز و ممنوع در نظر گرفته می‌شود [۲۵]. شکل (۷) نمودار $[ah\nu]^۲$ برحسب گاف انرژی برای غلظت‌های متفاوت نانوذرات فریت کلسیم—منیزیم را نشان می‌دهد.

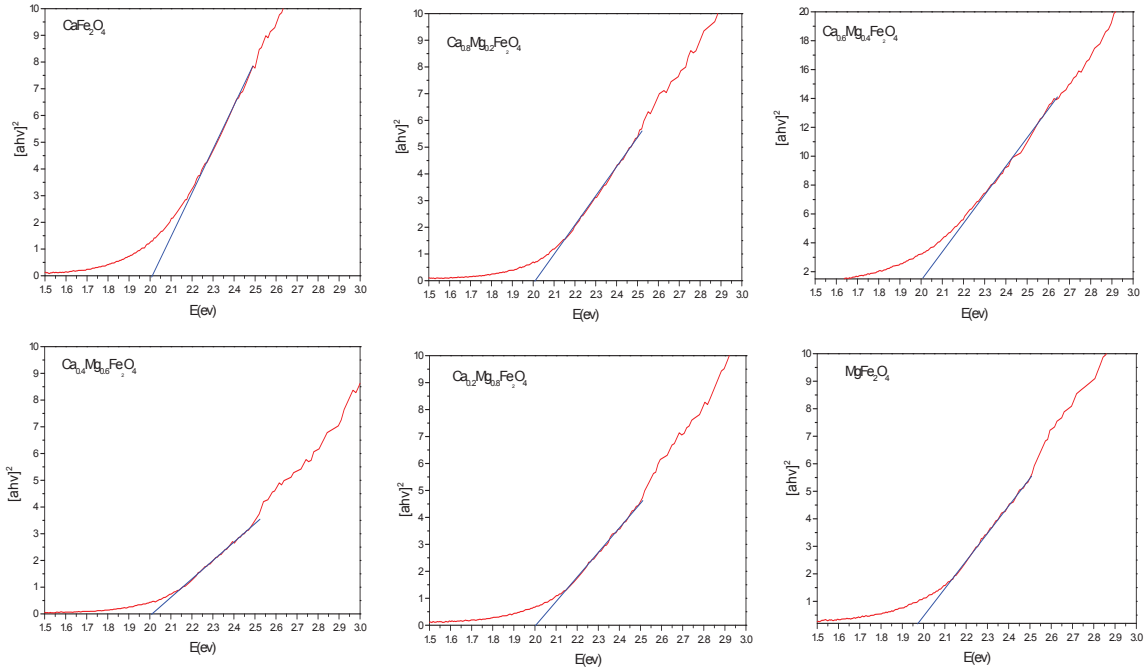
با استقاده از رابطه (۳) مقادیرگاف انرژی به دست می‌آید نتایج حاصل حاکی از آن است که با افزایش غلظت منیزیم در نانو ترکیب کلسیم—منیزیم گاف انرژی کاهش‌یافته است. این مقادیر در جدول (۲) نشان داده شده است. یکی از دلایل کاهش گاف انرژی، این‌است که با افزایش غلظت منیزیم اندازه ذرات افزایش پیداکرده است که نتایج حاصل از رابطه شرر ادعای ما را ثابت می‌کند. با افزایش اندازه ذرات فضای بین‌اتمی و ارتعاشات شبکه افزایش پیدا کرده و سبب می‌شود که فاصله بین‌اتمی و پتانسیل الکترون‌ها در ماده کاهش یابد، در نتیجه گاف انرژی کاهش می‌یابد.

۳-۶- روش بررسی خواص آنتی باکتریال

پس از استریل کردن محیط کار با شعله، با استفاده از سواپ یا فالکون از سه محیط کشت مایعی که قبلا در هر یک از آن‌ها یکی از سه باکتری گرم منفی و گرم مثبت (E.coli Stahyloccus, و Bacil)کشت داده شده بود، نمونه برداشته شد و به سه لوله آزمایش حاوی محیط کشت مایع باکتری اضافه شد و پس از نامگذاری، این سه لوله آن‌ها به مدت ۱۸ ساعت درون انکوباکتور قرار داده شد تا فرصت لازم را برای تکثیر داشته باشند. پس از ۱۸ ساعت نمونه‌ها از انکوباتور خارج و مشاهده شد که محیط شفاف کشت کدر شده است که نشان دهنده رشد باکتری می‌باشد مجددا در مجاورت شعله درب محیط کشت برداشته شد سواپ را در محلول باکتری فرو برده و پس از اطمینان از آغشته شدن آن به روش کشت چمنی روی محیط کشت جامد نوترینت آگار باکتری‌ها کشت داده شداند برای هر باکتری به طور مجزا محیط کشت جامد آماده شد. سپس اثر آنتی‌باکتریال ترکیبات نانو ذرات کلسیم منیزیم را روی سه باکتری بررسی شد با آغشته کردن کاغذهای صافی پانچ شده با مخلوط نانو ترکیبات کلسیم-منیزیم و آب اتوکلاو شده دیسک آنتی بیوتیکی تهییه شد. از هر ترکیب سه دیسک تهییه شد و هر کدام روی سه باکتری با فاصله ۲ سانتی‌متر از دیواره پلیت به حالت عقربه ساعت قرار داده شد. پس از مدت زمان معیین مشاهده شد که با افزایش غلظت کلسیم در این نانوترکیب قطر عدم هاله رشد باکتری افزایش یافته است. مشاهدات در جدول (۳) گزارش شده است.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-11]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1399.9.3.7.9]



شکل ۷- نمودار مربوط به گاف انژی نانوذرات فریت $Ca_{1-x}Mg_xFe_2O_4$

جدول ۳- نتایج بررسی خواص آنتی باکتریال نانو ترکیب کلسیم منیزیم

نام نانو ترکیب	E.coli		Stahyloccus		Bacil	
	جوابدهی	قطر هاله (mm)	جوابدهی	قطر هاله (mm)	جوابدهی	قطر هاله (mm)
$MgFe_2O_4$	–	۰	–	۰	+	ناچیز
$Ca_{0.8}Mg_{0.2}Fe_2O_4$	+	۱۳	+	۱۱	+	۱۴
$Ca_{0.6}Mg_{0.4}Fe_2O_4$	+	۱۱	+	۱۰	+	۱۰
دیسک کنترل سفالکسین	+	۱۸	+	۳۴	+	۱۶ باکلنی

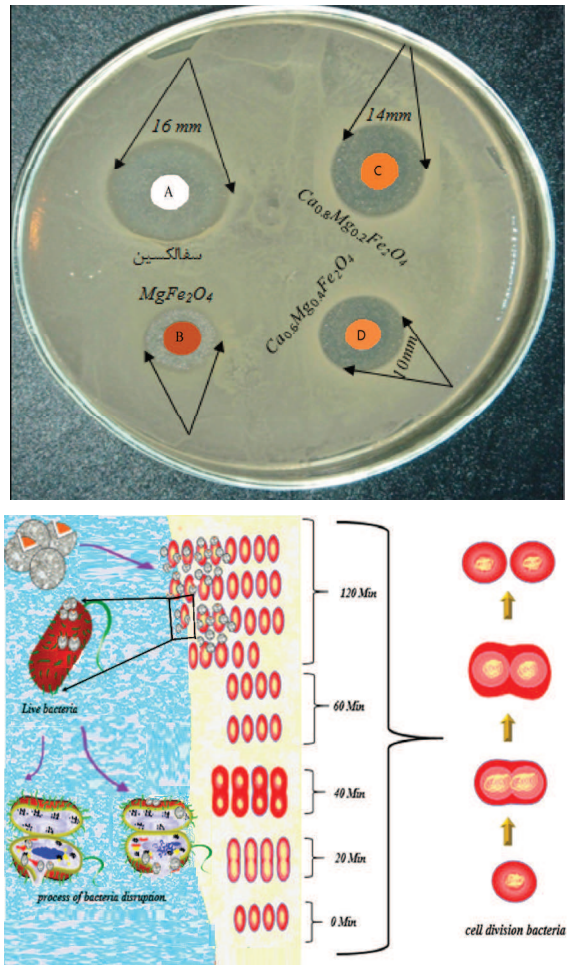
۳-۶-۱- نتایج به دست آمده از اثرات بررسی خواص آنتی باکتریال

از آن جایی که در عصر حاضر مقاومت باکتری‌های مختلف به آنتی بیوتیک‌ها در حال افزایش است، بسیاری از پژوهشگران در پی یافتن روشی هستند که میزان آنتی بیوتیک مصرفی را کاهش داده و همزمان اثر بهتر و موثرتری در روند حذف سلول‌های باکتریایی داشته باشد [۲۶-۲۸]. نانوتکنولوژی با ذراتی با ابعاد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر سر و کار دارد. نانوذرات انواع مختلفی دارند که در این میان نانوذرات فلزی با اثرات ضدمیکروبی گسترده، توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده‌اند. از میان نانوذرات فلزی نیز نانوذرات فلزات قلیایی ویژگی‌های ضدمیکروبی گسترده دارند به دلیل میل ترکیبی پایین با سایر عناصر، مقاومت بالا در برابر اکسید شدن و ویژگی‌های نوری و...

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-11]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1399.9.3.7.9]

کاربردهای بسیاری را در زمینه‌های دارویی و پزشکی به خود اختصاص داده‌اند. اندازه کوچک این ذرات و نسبت سطح به حجم بالا سبب می‌شود به سلول هدف خود بهتر متصل شوند از این رو خاصیت ضدباکتریایی قابل توجهی را از خود بروز می‌دهند [۲۸،۲۷]. این ذرات می‌توانند با نیروی الکترواستاتیک به سطح باکتری هدف متصل شده [۲۵] و با تخریب دیواره سلولی سبب نشت محتوای درون سلولی باکتری به بیرون شوند و با تخریب شیب پروتونی از سنتز ATP ممانعت می‌کنند همچنین با اتصال به آنزیم‌های زنجیره تنفسی و آنزیم‌های سطح سلول، آن‌ها را غیرفعال نمایند. پس از ورود نانوذره به درون سلول باکتری، به ملکول‌های DNA و RNA متصل شده و از نسخه برداری و همانندسازی جلوگیری می‌کنند و یا با اتصال به زیر واحدهای ریبوزوم و مولکول‌های tRNA عمل ترجمه و پروتئین سازی را متوقف می‌نمایند [۳۰]. در نتیجه تمامی این اتفاقات، سلول‌های باکتریایی دیگر نمی‌توانند تقسیم شوند و جمعیت باکتریایی رفته رفته کاهش می‌یابند [۳۱]. نتایج حاصل این ادعا را تایید می‌کند. در شکل ۸ تصویر شماتیک این فرآیند برای باکتری Bacil ا نشان داده شده است.



شکل ۸- تصویر شماتیک نحوه اثر گذاری نانو ذرات بر روی باکتری

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-11]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1399.9.3.7.9]

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش تولید نـانوذرات فریـت کلـسیم–منیـزیم بـه روش عملیات گرمایی صورت گرفت. در ایـن تحقیـق تـأثیر عوامل مختلفی از جمله افزایش غلظـت کلـسیم بـر فریـت منیزیم برای بررسی‌های ریخت‌شناسی، خواص مغناطیـسی، اپتیکی و آنتی‌باکتریال بررسی گردید. مشخص شد در سـنتز نانوذرات فریت کلسیم–منیزیم تغییر جایگـاه کـاتیون‌هـا در خواص مغناطیسی و شکل این نانوذرات اهمیت شایانی دارد. بـرای شناسـایی و تعیـین خـواص نـانوذرات تولیـد شـده از آنالیزهای VSM, UV-visible, XRD, FESEM و FT-IR استفاده شد. الگوی پراش پرتو ایکس اطلاعاتی راجع به فازهای بلوری، اندازه‌ی بلورک‌ها، نوع شبکه بلوری ماده، و... در اختیارمان قرار داد. تصویر میکروسکوپ الکترونی تشکیل نانوذرات با میانگین کمتر از ۷۰ نـانو متـر را تاییـد کـرد. در نهایت با بررسی نـانوذرات توسـط مغناطیـسی سـنج نمونـه لرزان مشخص شد که مقادیر مغناطش اشباع Ms با افزایش اندازه نـانوذرات، در برخـی غلظـت‌هـا افـزایش‌یافتـه اسـت. همچنین با افزایش غلظت منیزیم در این نـانو ترکیـب و بـا بررسی طیف سنجی فرابنفش–مرئـی گـاف انـرژی کـاهش یافته است. با اسـتفاده از روش کـشت چمنـی اثـرات آنتـی باکتریال این نانو ترکیـب بررسـی شـد. نتـایج نـشان داد بـا افـزایش غلظـت کلـسیم در نـانو ترکیـب میـزان کـشندگی باکتری‌هـا افـزایش یافتـه اسـت. مهمتـرین هـدف در ایـن پژوهش دستیابی به نـانو ترکیبـی بـا فعالیـت مغناطیـسی و بیولوژیکی مناسب بود کـه بـا اثـر ضـد باکتریـایی ارزیـابی گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که نانو ترکیب کلسیم–منیزیم تهیه شده بـا یـک روش نـوین، اولاً بـسیار ایمـن و مقرون به صرفه از نظر اقتصادی بوده و کنترل شرایط تولید، اندازه آن‌ها در ابعاد کوچک‌تر مخصوصاً کنتـرل شـکل نـانو ذرات سنتز شده بسیار دقیـق و ارزان‌تـر از سـایر روش‌هـای معمول می‌باشد. ثانیاً نانو ترکیب ساخته شـده در ایـن روش، دارای بلورک‌های کروی شکل بوده و با عنایت به چگـونگی اثر واکنش آن‌ها با مکانسیم‌های که توضیح داده شد، هنگام بکار بردن آن‌ها به عنوان یک ماده آنتی باکتریال با افزایش غلظـت کلـسیم موجـب تقویـت قـدرت آنتـی باکتریـال آن می‌گردد. لازم به ذکر است این هم افزایی مثبت میان سـایر نانو ترکیبات با باکترهای مختلف نیز می‌تواند مـورد ارزیـابی قرار گیرد.

مراجع

[1] E. C. Snelling., "Soft Ferrites: Properties and Applications", second ed., Butterworth Publishing, London 1989.

[2] B. Reddy., R. Sivasankar, T. Sivakumar, M. V. S. Moholkar, "Physical facets of ultrasonic cavitational synthesis of zinc ferrite particles", Ultrasonics Sono-chemistry 17, pp. 416–426, 2010.

[3] M. Naseri., E. Naderi, & A. R. Sadrolhosseini, "Effect of phase transformation on physical and biological properties of PVA/$CaFe_2O_4$ nano-composite. Fibers and Polymers", vol.17, PP(10), 1667-1674, 2016.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-11]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1399.9.3.7.9]

[4] Kheradmand., O. Vahidi, and S. M. Masoudpanah, "Magnetic, hyperthermic and structural properties of zn substituted $CaFe_2O_4$ powders," Applied Physics A, vol. 124, pp. 255, 2018.

[5] L. Khanna., N. K. Verma, "Synthesis, characterization and in vitro cytotoxicity study of calcium ferrite nanoparticles," Materials Science in Semiconductor Processing, vol. 16, pp. 1842-1848, 2013.

[6] N. Mongia., A. K. Srivastava, D. Bansal, "Effect of pH on Magnetic and Structural Properties of Low Temperature Synthesized $MgFe_2O_4$ Nanoparticles"; International Conference on Advancad Nanomaterial and nanotechnology(ICANN- 2009), Conference Proceedings vol. 1276, pp. 394, 2010.

[7] M. G, Naseri., M. H. Majles Ara, B.E. Saion, A. H. Shaari, "Superparamagnetic magnesium ferrite nanoparticles fabricated by a simple, thermal-treatment method"; Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol. 350, pp.141 – 147, 2014.

[۸] ن، محمود.، ن، احسان، س، الیاس، "مطالعه خواص نـانو ذرات فریـت سـنتز شـده بـه روش عملیـات گرمـایی"، (۱۳۹۵) نانومقیـاس، شـماره یـک بهـار ۱۳۹۵.

[9] M. G Naseri., E. B., Saion, , H. A Ahangar. M., Hashim, , & Shaari, A. H. (2011). Simple preparation and characterization of nickel ferrite nanocrystals by a thermal treatment method. Powder Technology, 212(1), 80-88.

[10] L Gharibshahi, E. Saion, E., Gharibshahi, A. H, Shaari., & K. A, Matori (2017). Structural and optical properties of Ag nanoparticles synthesized by thermal treatment method. Materials, 10(4), 402.

[11] M. G Naseri, E. B., Saion, M., Hashim, A. H ,Shaari., H. A. & Ahangar, Synthesis and characterization of zinc ferrite nanoparticles by a thermal treatment method. Solid State Communications, (2011). 151(14-15), 1031-1035.

[12] W. Shi, Q. Li, S. An, T. Zhang, & L. Zhang, "Magnetic nanosized calcium ferrite particles for efficient degradation of crystal violet using a microwave-induced catalytic method" insight into the degradation pathway. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 91, pp, 2- 367-374. 2016.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-11]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1399.9.3.7.9]

[13] Y., Ichiyanagi, M. Kubota, S. Moritake, Y. Kanazawa, T. Yamada, & T.Uehashi, "Magnetic properties of Mg-ferrite nanoparticles". Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 310, pp. 2-2378-2380. 2007.

[14] Y Ichiyanagi, M,. Kubota, S, Moritake,. Y. Kanazawa, T. Yamada, & Uehashi, T. (2007). Magnetic properties of Mg-ferrite nanoparticles. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 310(2), 2378-2380.

[15] A.,Samariya, S. N. Dolia, A. S. Prasad, P. K. Sharma, S. P. Pareek, M. S. Dhawan, & S.Kumar, Size dependent structural and magnetic behaviour of CaFe2O4. Current Applied Physics, 13, pp. 5-830-835. 2013.

[16] L., Khanna, & N. K. Verma, "PEG/ $CaFe_2O_4$ nanocomposite Structural, morphological, magnetic and thermal analyses Physica B" Condensed Matter, 427, 68-752013.

[17] M. G Naseri, Optical and magnetic properties of monophasic cadmium ferrite ($CdFe_2O_4$) nanostructure prepared by thermal treatment method. Journal of magnetism and magnetic materials, (2015). 392, 107-113.

[18] M. G., Naseri, & R.Ghasemi, "Structure and physical properties of Fe6O8/ba/Fe6O11 nanostructure". Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 406, 200-206. 2016.

[19] M. G., Naseri, M. K. Halimah, A. Dehzangi, A. Kamalianfar, E. B. Saion, & B. Y. Majlis, "A comprehensive overview on the structure and comparison of magnetic properties of nanocrystalline synthesized by a thermal treatment method". Journal of Physics and Chemistry of Solids, 75(3), 315-327. 2014.

[20] M. G., Naseri, E. B. Saion, H. A. Ahangar, M. Hashim, & A. H. Shaari, "Synthesis and characterization of manganese ferrite nanoparticles by thermal treatment method". Journal of Magnetism and magnetic Materials, 323(13), 1745-1749. 2011.

[21] Y., Ichiyanagi, M. Kubota, S.Moritake, Y.Kanazawa, T.Yamada, & T. Uehashi, "Magnetic properties of Mg-ferrite nanoparticles". Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 310(2), 2378-2380., 2007.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-11]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1399.9.3.7.9]

[22] M. G., Naseri, M. H. M. Ara, E. B.Saion, & A. H.Shaari, "Superparamagnetic magnesium ferrite nanoparticles fabricated by a simple, thermal-treatment method" Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 350, 141-147. (2014).

[23] H. M. Hashemi "The effect of increasing zinc concentration on the structural and magnetic properties of Zinc- Iron ferrite nanoparticles " Requirements for The Degree of Master of Science (M.Sc.) Malayer, Iran, 1397.

[24] M. G., Naseri, H. M. Kamari, A. Dehzangi, A. Kamalianfar, & E. B. Saion, "Fabrication of a novel chromium-iron oxide (Cr2Fe6O12) nanoparticles by thermal treatment method". Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 389, 113-119. 2015.

[25] M. G., Naseri, E. B. Saion, H. A.Ahangar, & A. H. Shaari, Fabrication, characterization, and magnetic properties of copper ferrite nanoparticles prepared by a simple, thermal-treatment method. Materials Research Bulletin, 48(4), 1439-1446. 2013.

[26] D. Bhattacharya., B. Saha, A. Mukherjee, C. R. Santra, & P. Karmakar "Gold nanoparticles conjugated antibiotics: stability and functional evaluation". Nanosci. Nanotechnol, 2 pp. (2). 2012.

[27] V. D., Badwaik, L. M.Vangala, D. S.Pender, C. B Willis, Z. P.Aguilar, M. S Gonzalez, & Dakshinamurthy, "Size-dependent antimicrobial properties of sugarencapsulated gold nanoparticles synthesized by a green method". Nanoscale research letters, 7,pp.(1), 1-11. 2012.

[28] J.,Díaz-Visurraga, C. Gutiérrez, C. Von Plessing, & A. García, "Metal nanostructures as antibacterial agents. Science And Technology Against Microbial Pathogens" Research, Development and Evaluation. Badajoz Formatex, 210-218, 2011.

[29] Y., Zhou, Y. Kong, S.Kundu, J. D.Cirillo, & H. Liang, "Antibacterial activities of gold and silver nanoparticles against Escherichia coli and bacillus Calmette-Guérin". Journal of nanobiotechnology, 10, pp. (19), 1-9. 2012.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-11]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1399.9.3.7.9]

[30] V. A Black., & G. Njewel, Search for the next “silver bullet”: a review of literature. Journal of the Arkansas Academy of Science, 64, 50. 2010.

[31] C., Marambio-Jones, &, E. M. Hoek. “A review of the antibacterial effects of silver nanomaterials and potential implications for human health and the environment” Journal of Nanoparticle Research, 12(5), 1531-1551. 2010.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-11]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1399.9.3.7.9]