

# مقایسه خواص فیزیکی نانوکامپوزیت‌های $\text{CaFe}_2\text{O}_4/\text{PVA}$ و $\text{CdFe}_2\text{O}_4/\text{PVA}$

احسان نادری | محمود ناصری \*

گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ملایر، ملایر، استان همدان

► mahmoud.nasari55@gmail.com

## چکیده:

در این پژوهش نانوکامپوزیت فریت کلسیم-پلی‌ونیل‌الکل و کادمیم-پلی‌ونیل‌الکل با استفاده از روش عملیات گرمایی سنتز و خواص فیزیکی آنها باهم مقایسه شدند. مشخصات ساختاری نمونه‌ها توسط پراش پرتو ایکس (XRD) تعیین گردید و با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) اندازه نانوکامپوزیت‌های فریت کلسیم و کادمیم به ترتیب ۱۹ الی ۱۱۸ و ۴۷ الی ۱۳۸ نانومتر بدست آمد. طیف‌سنج مادون قرمز (FT-IR) وجود گروه عاملی فلز-اکسید را در هر دو ماده تأیید کرد. خواص مغناطیسی نانوکامپوزیت مانند مغناطش اشباع ( $M_s$ ) و وادارندگی مغناطیسی ( $H_c$ ) توسط دستگاه مغناطیس‌سنج نمونه ارتعاشی (VSM) در دمای اتاق بررسی شد که این بررسی نشان داد، نانوکامپوزیت کادمیم و نانوکامپوزیت کلسیم، هر دو رفتار فرومغناطیس داشتند. برای نانوکامپوزیت کلسیم هنگامی که دمای کلسینه به ۹۲۳ درجه کلون افزایش یافت یک گذار فاز از ساختار مکعبی به اورتورومبیک رخ داد. اثر دما بر روی گاف انرژی توسط طیف سنجی مرئی-فرابنفش UV-VIS مورد مطالعه قرار گرفت که مشخص شد با افزایش دمای کلسینه، گاف انرژی در هر دو نانوکامپوزیت کاهش می‌یابد.

**واژگان کلیدی:** پلی‌ونیل‌الکل، فرومغناطیس، وادارندگی مغناطیسی، مغناطش اشباع

## ۱ مقدمه

درجه حرارت بالایی است در نتیجه تشکیل نانوذراتی در دمای پایین یک مزیت بسیار مهم برای سنتز این نانوذرات است. بازپخت در دمای بالا، اندازه‌ی نانوذرات را افزایش می‌دهد این در حالی است که بدست آوردن ذراتی با اندازه کوچک برای ما، بسیار مهم است. روش‌های مختلفی برای سنتز نانوذرات با اندازه و شکل یکسان وجود دارد اما بیشتر این روش‌ها گران قیمت، پیچیده، نیازمند دمای بالا و زمان واکنش طولانی می‌باشند. در این پژوهش ما از روش گرمایی برای تهیه‌ی این نانوکامپوزیت‌ها استفاده کردیم. روش عملیات گرمایی، یک روش ساده، راحت، کم هزینه و بسیار سازگار با محیط زیست است که در آن از مواد سمی استفاده نکرده و همچنین مواد سمی هم تولید نمی‌کند [۲-۴]. در این پژوهش خواص ساختاری، مغناطیسی و اپتیکی نانوکامپوزیت-

فریت‌ها به آن دسته از مواد مغناطیسی اطلاق می‌شود که جزء اصلی تشکیل‌دهنده آن‌ها اکسید آهن است و پارامترهای مغناطیسی مطلوبی نظیر ضریب نفوذپذیری مغناطیسی، اندوکسیون اشباع و مقاومت ویژه الکتریکی بالای دارند. بدین جهت فریت‌ها کاربردهای بسیار وسیعی در زمینه‌های صنایع برق، الکترونیک، مخابرات و کامپیوتر به خود اختصاص داده‌اند. عوامل متعددی بر سنتز نانوذرات مغناطیسی اثر می‌گذارد که تغییر در هر یک از این پارامترها رفتار این نانوذرات را تغییر می‌دهد [۱]. تمامی روش‌های سنتز این دسته از نانوذرات، نیازمند دو مرحله است ابتدا مخلوط کردن مواد اولیه به صورت مکانیکی و یا شیمیایی و سپس عملیات حرارتی روی ترکیب به دست آمده که این عملیات حرارتی نیازمند

حاصل به منظور کلسینه‌شدن و شکل‌گیری نانوبلور به طور جداگانه در دماهای مختلفی (۶۷۳، ۷۲۳، ۸۲۳ و ۹۲۳ درجه کلون) برای سه ساعت در کوره قرار گرفت.

### ۳ نتایج و بحث

استفاده از الگوی پراش پرتو ایکس اطلاعاتی راجع به فازهای بلوری، اندازه‌ی بلورها، تعیین پارامترهای شبکه بلوری، اندازه‌ی متوسط ذرات، وجود ناخالصی در نمونه را در اختیارمان قرار می‌دهد. قله‌های بدست آمده از شکل (۱) مربوط به الگوی پراش پرتو ایکس نانوکامپوزیت فریت کلسیم می‌باشد همانطور که در شکل (۱) مشهود است، قبل از عملیات گرمایی الگوی پراش پیش ماده فاقد هرگونه قله‌ای بوده و نمودار پهن شده، بی‌شکل و تقریباً خطی است (شکل ۱a). زمانیکه نمونه‌ها از دمای ۷۲۳ تا ۸۲۳ درجه کلون تحت عملیات گرمایی قرار گرفتند، فازهای بلوری تشکیل شده و نانو ساختار اسپینل  $\text{CaFe}_2\text{O}_4/\text{PVA}$  با تقارن مکعبی شکل گرفت (شکل ۱b-۱c). شکل ۱e حضور فاز  $\text{CaFe}_3\text{O}_5$  و  $\text{CaFe}_2\text{O}_4$  را نشان می‌دهد. خطوط پراش این ساختار با (ICDD: 72-1199,  $\text{Pnam}(62)$ : orthorhombic) مطابقت داشت. هنگامی که دمای کلسینه به ۹۲۳ درجه کلون افزایش یافت، قله‌های جدیدی ظاهر شد، که حضور فاز  $\text{CaFe}_3\text{O}_5$  را تأیید کرد که نشان می‌دهد در این دما گذار فاز رخ داده است [۵]. تحقیقات صورت گرفته با روش سل-ژل این گذار فاز را که در دمای ۹۷۳ درجه کلون برای این نانوذرات رخ می‌دهد را تأیید می‌کند. علاوه بر این، مطالعات صورت گرفته یک تغییر و تحول را در اطراف ۶۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد در نانوذرات فریت کلسیم نشان می‌دهد [۶]. شکل (۲) مربوط به الگوی پراش پرتو ایکس نانو کامپوزیت  $\text{CdFe}_2\text{O}_4/\text{PVA}$  در دماهای مختلف کلسینه می‌باشد که با الگوی (ICDD: 001-1087,  $\text{Cubic } a=0.8552070$ ) مطابقت دارد. فازهای ناخالص  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  و  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  در  $\text{CdO}$  نانوکامپوزیت فریت کادمیم مشهود است. همانطور که مشاهده می‌شود شدت ناخالصی‌ها با افزایش دمای کلسینه رو به افزایش است. وجود فاز ناخالصی  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  در

های  $\text{CaFe}_2\text{O}_4/\text{PVA}$  و  $\text{CdFe}_2\text{O}_4/\text{PVA}$  تحت پارامتر تغییر دمای کلسینه باهم مقایسه شدند.

### ۲ بخش تجربی

#### مواد و تجهیزات

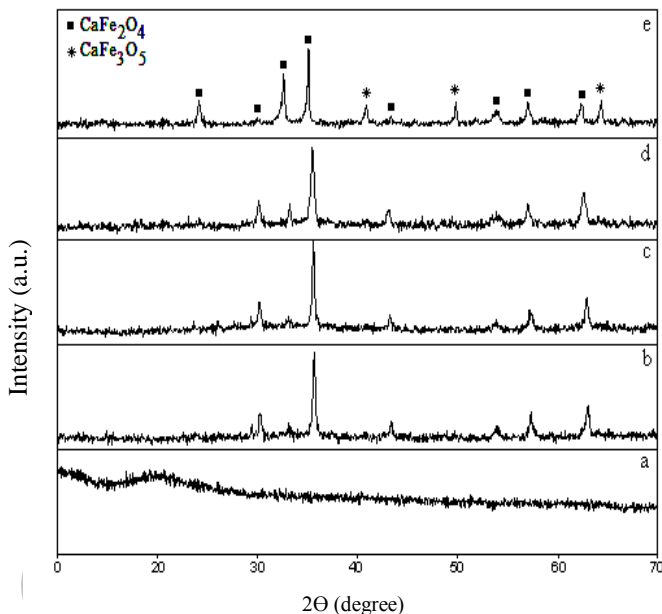
در این پژوهش از آب مقطر به عنوان حلال و از پلی‌ونیل الکل (PVA) به عنوان ماده‌ای جهت جلوگیری از کلوخه-شدن ذرات و عاملی برای پایداری این نانوذرات استفاده شد. نیترات آهن  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ، نیترات کلسیم  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  و نیترات کادمیم  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  با درصد خلوص بالای ۹۹ درصد از شرکت Sigma Aldrich خریداری و مورد استفاده قرار گرفت. ساختار نانوکامپوزیت فریت کلسیم و کادمیم با استفاده از پراش اشعه ایکس با طول موج  $\lambda=1/54$  آنکستروم مورد بررسی قرار گرفت. ویژگی‌های مغناطیسی نمونه‌ها توسط دستگاه مغناطیس‌سنج نمونه ارتعاشی با مدل Lake Shore 4700 در دمای اتاق و با ماکزیمم میدان مغناطیسی ۱۲۰۰ KA/m اندازه‌گیری شد. طیف FT-IR این دو نانوکامپوزیت با استفاده از دستگاهی با مدل (Perkin Elmer model 1650) ثبت شد. ساختار ریز این نانوکامپوزیت با استفاده از تصاویر FESEM با مدل JEOL JSM-6701F مورد بررسی قرار گرفت. همچنین گاف انرژی با استفاده از طیف سنج جذب UV (UV-1650PC SHIMADZU) مشخص شد.

#### روش آزمایش

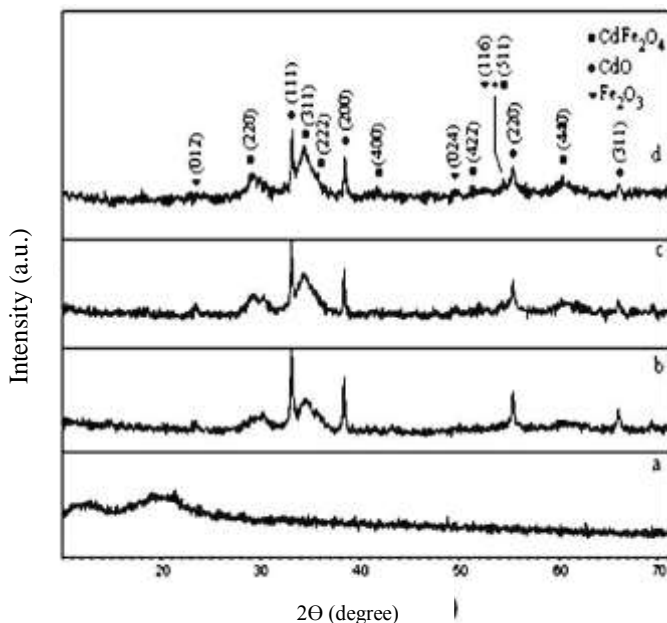
ابتدا یک محلول آبی با حل ۳/۵ گرم PVA در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر در دمای ۳۶۳ درجه کلون روی همزن مغناطیسی قرار گرفت. با گذشت زمان ۰/۲ میلی‌مول نیترات آهن و ۰/۱ میلی‌مول نیترات فلز (Fe: Ca=۲:۱) و (Fe: Cd=۲:۱) به محلول آبی اضافه شد و به مدت ۲ ساعت روی همزن مغناطیسی قرار گرفت. محلول حاصل در یک ظرف شیشه‌ای ریخته شد و سپس در آن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۵۳ درجه کلون به منظور خشک شدن قرار گرفت. سپس نمونه‌ها را به صورت پودر درآورده شد و پودر

شکل (۳) طیف مادون قرمز (FT-IR) نانوکامپوزیت فریت کلسیم را در دماهای کلسینه مختلف به منظور شناسای گروه‌های عاملی و مدهای ارتعاشی موجود در محدوده‌ی عدد موجی ۲۰۰ تا  $1400\text{cm}^{-1}$  نشان می‌دهد. قله وارون جذبی در  $1096\text{cm}^{-1}$  مربوط به C-O-C و همچنین قله وارون جذبی در  $1674$ ،  $3346$  و  $1423\text{cm}^{-1}$  مربوط مد ارتعاشی O-H، C=O و H-C-H و نهایتاً قله وارون جذبی  $1423\text{cm}^{-1}$  را می‌توان به پیوند H-C در گروه متیلن نسبت داد [۳]. حضور قله وارون جذبی در  $1500-1000\text{cm}^{-1}$  در نمونه‌ها نشان از وجود C-O ترکیبات آلی دارد. قله وارون جذبی موجود در  $1408\text{cm}^{-1}$  و  $1488$  و  $3342-3359\text{cm}^{-1}$  مربوط به پیوند H-C-H و O-H است [۱۰، ۱۱]. با افزایش دمای کلسینه و رسیدن به دمای  $773$  درجه کلین رفته رفته قله وارون جذبی O-H حذف می‌شود. قله وارون جذبی  $878-876\text{cm}^{-1}$  مربوط به Ca-Fe در دماهای  $723$  تا  $823$  درجه کلین می‌باشد [۹]. قله وارون جذبی  $527\text{cm}^{-1}$  تا  $510$  در همه دماها و در محدوده  $510$  تا  $527\text{cm}^{-1}$  ( $M_{\text{tetra}} \leftrightarrow O$ ) اتفاق افتاد در حالیکه جذب ( $M_{\text{octa}} \leftrightarrow O$ ) فقط در دمای  $773$  درجه کلین ( $348\text{cm}^{-1}$ ) رخ داد. شکل (۴) مربوط به نانوکامپوزیت فریت کادمیم در دماهای کلسینه مختلف می‌باشد. قله‌های وارون جذبی مربوط به مد ارتعاشی پیوند Fe-O و Cd-O در محدوده  $300$  تا  $600\text{cm}^{-1}$  دیده می‌شود همچنین قله وارون جذبی در  $1491\text{cm}^{-1}$  مربوط به  $\text{CH}_2$ ، قله وارون جذبی  $1600$  تا  $1700\text{cm}^{-1}$  مربوط مد ارتعاشی C=O، قله وارون جذبی مربوط به مد ارتعاشی O-H در محدوده  $3300$  تا  $3400\text{cm}^{-1}$  و قله وارون جذبی  $1244\text{cm}^{-1}$  مربوط به پیوند C-H می‌باشد [۷]. با افزایش دمای کلسینه و رسیدن به دمای  $773$  درجه کلین رفته رفته قله وارون جذبی O-H حذف می‌شود [۸]. در تمامی این ساختارها دو جذب اصلی  $U_1$  و  $U_2$  در محدوده  $280$  تا  $600\text{cm}^{-1}$  دیده می‌شود که مربوط به مدهای ارتعاشی  $M_{\text{tetra}} \leftrightarrow O$  و  $M_{\text{octa}} \leftrightarrow O$  می‌باشند. اختلاف موجود میان مقادیر  $U_1$  و  $U_2$  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 [۱۲].

همه‌ی دماها حاکی از آن است که یون  $\text{Fe}^{3+}$  از جایگاه B به جایگاه A انتقال داده شده است. همچنین در دماهای بالاتر، بعثت تغییر مقدار اکسیژن موجود در ماده، اکسیدهای ناخالص CdO تشکیل می‌شود. با استفاده از این تفسیر می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش دمای کلسینه، شدت فاز CdO در ساختار شبکه نیز افزایش پیدا می‌کند [۷].

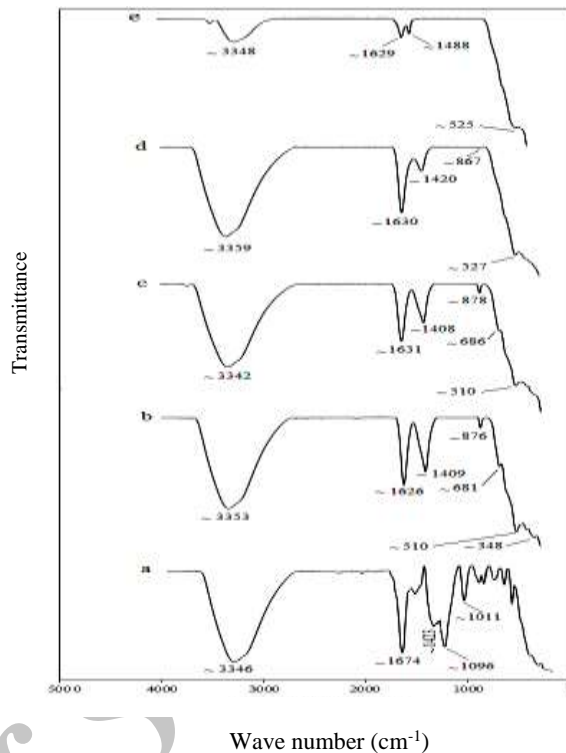


شکل (۱): پراش پرتو ایکس برای نانوکامپوزیت کلسیم در دماهای (a) در غیاب دمای کلسینه، (b)  $773$ ، (c)  $823$ ، (d)  $873$ ، (e)  $923$

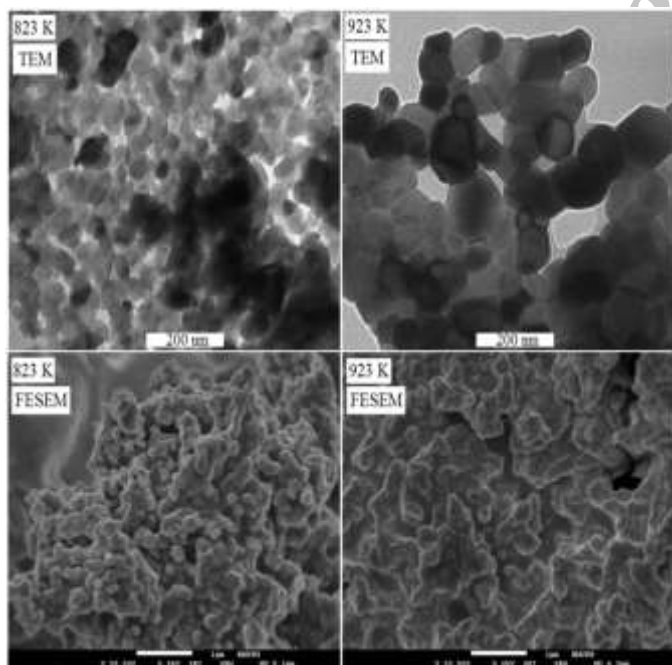


شکل (۲): پراش پرتو ایکس برای نانوکامپوزیت فریت کادمیم (a) در غیاب دمای کلسینه، (b)  $673$ ، (c)  $773$ ، (d)  $773$

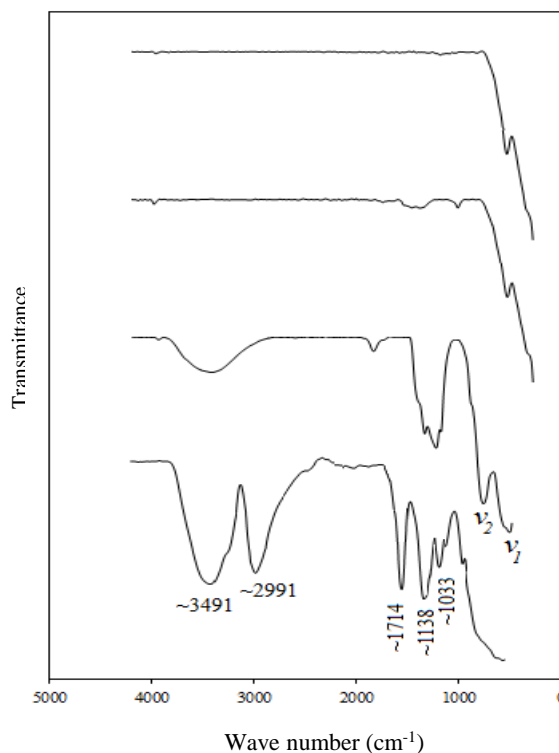
تصاویر شکل (۵) ریخت‌شناسی مواد کلسینه شده در دمای ۸۲۳ و ۹۲۳ درجه کلون را برای  $\text{CaFe}_2\text{O}_4/\text{PVA}$  نشان می‌دهد. اندازه متوسط ذرات از ۱۹ تا ۱۱۸ نانومتر تغییر می‌کند. همان طور که در شکل دیده می‌شود نانوکامپوزیت‌ها در دمای ۹۲۳ درجه کلون به صورت غیر یکنواختی توزیع شده و دارای تراکم گسترده است، در حالی که نانوکامپوزیت کلسینه در دمای ۸۲۳ درجه کلون یک توزیع یکنواخت از شکل‌ها را دارند. تصاویر شکل (۶) مربوط به  $\text{CdFe}_2\text{O}_4/\text{PVA}$  می‌باشد با توجه به این تصاویر، با افزایش دمای کلسینه ذرات بهم می‌چسبند و اصطلاحاً کلوخه می‌شوند. با افزایش دما برای این دو نانوکامپوزیت، انرژی ذرات بیشتر شده و ذرات ناپایدار می‌شوند. در نتیجه برای اینکه سطح انرژی ذرات کاهش یابد، ذرات تمایل بیشتری برای بهم چسبیدن دارند؛ بنابراین، برخی از تراکم نانوذرات در دماهای بالاتر به نظر اجتناب ناپذیر است. همچنین این افزایش اندازه ذرات ممکن است ناشی از برهم کنش طبیعی بین نانوذرات مغناطیسی نیز باشد [۱۶-۱۴]. اندازه این نانوکامپوزیت‌ها در جدول (۱) باهم مقایسه شده اند



شکل (۳): طیف FT-IR برای نانوذرات فریت کلسیم (b) ۸۲۳، (c) ۷۷۳، (d) ۸۲۳، (e) ۹۲۳

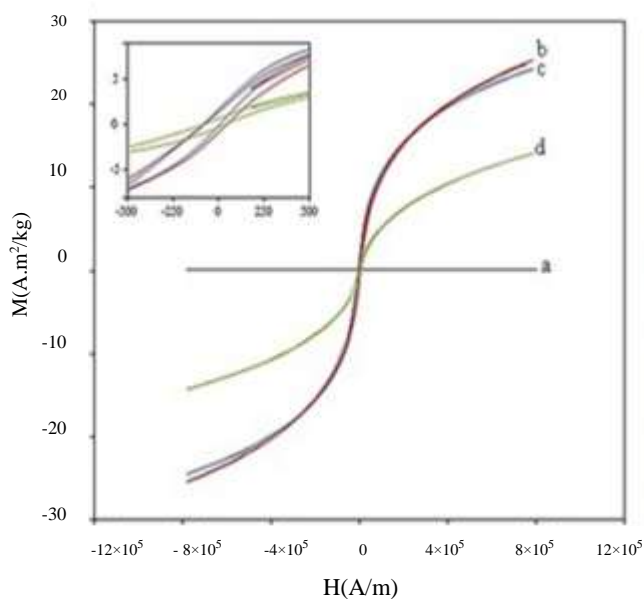


(۵) تصاویر نانوکامپوزیت فریت کلسیم در دو دمای مختلف

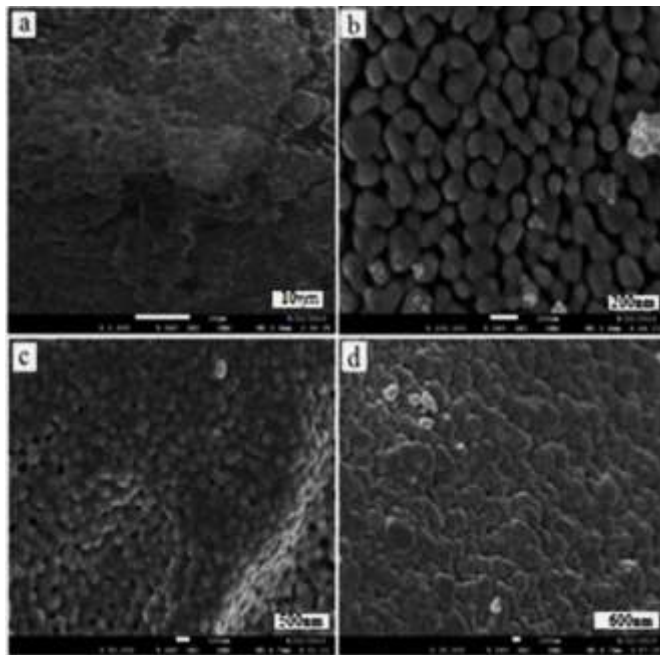


شکل (۴): طیف FT-IR برای نانوذرات فریت کادمیم (a) در غیاب دمای کلسینه، (b) ۶۷۳، (c) ۷۷۳، (d) ۷۷۳

رفتار فرومغناطیس از خود نشان دادند. همانطور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، مقادیر وادارندگی مغناطیسی ( $H_c$ ) در این دماها به ترتیب ۱۲۲۴۰، ۱۱۲۸۰ و  $10880 \text{ A/m}$  می‌باشد. مقادیر وادارندگی مغناطیسی ( $H_c$ ) به ساختار حوزه‌ها، اندازه بحرانی و نیز ناهمسانگردی بلور بستگی دارد [۱۶]. مقادیر مغناطش اشباع با افزایش دما از ۶۷۳ به ۷۲۳ درجه کلونین از  $23/34$  به  $12/15 \text{ A.m}^2/\text{kg}$  کاهش می‌یابد. توزیع مجدد کاتیون‌ها یکی از مهمترین پارامترهایی است که می‌تواند ویژگی‌های مغناطیسی را نسبت به حالت توده‌ای تغییر دهد. در حالت توده‌ای فریت کادمیم، یک ساختار اسپینل عادی دارد که در آن  $\text{Cd}^{2+}$  در جایگاه A و  $\text{Fe}^{3+}$  در جایگاه B قرار دارد [۱۷، ۱۴]. توزیع مجدد کاتیون‌ها که ناشی از عملیات گرمایی است، سبب تغییر ساختار فریت کادمیم از اسپینل عادی به اسپینل ترکیبی می‌شود. این توزیع مجدد کاتیون‌ها باعث می‌شود که برهم‌کنش گشتاورهای یون‌های قرار گرفته در جایگاه‌های مختلف شبکه تغییر کند [۷].

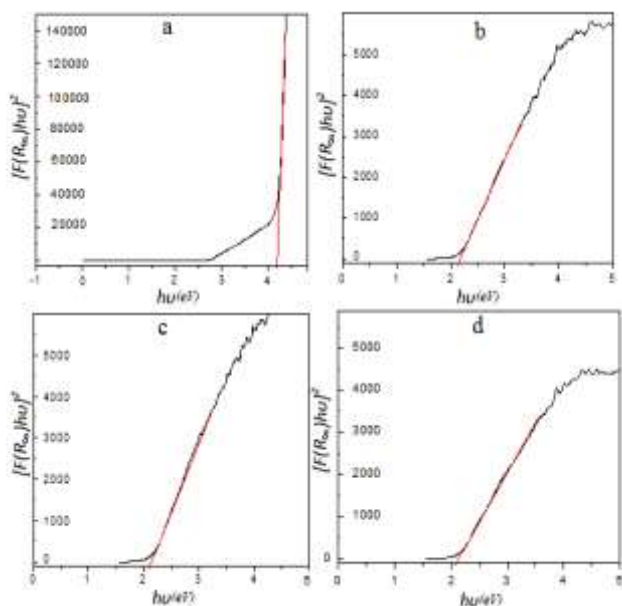


شکل (۷): حلقه پسماند نانوکامپوزیت کادمیم در (a) در غیاب دمای کلسینه  $673^\circ\text{C}$  (b)،  $723^\circ\text{C}$  (c) و  $773^\circ\text{C}$  (d)



۶) تصاویر نانوکامپوزیت فریت کادمیم در دماهای (b)  $673^\circ\text{C}$  (c)  $723^\circ\text{C}$  (d)  $773^\circ\text{C}$

شکل (۷) حلقه پسماند نانوکامپوزیت فریت کلسیم سنتز شده در دماهای مختلف را نشان می‌دهد. همه‌ی نمونه‌های کلسینه شده در دماهای مختلف، رفتار فرومغناطیس از خود نشان دادند. زمانی که دمای کلسینه از  $723^\circ\text{C}$  به  $823^\circ\text{C}$  درجه کلونین افزایش یافت، مقدار مغناطش اشباع نیز از  $32/38$  به  $923 \text{ A.m}^2/\text{kg}$  افزایش یافت، اما هنگامی که دما به  $923^\circ\text{C}$  درجه کلونین افزایش یافت، مغناطش اشباع کاهش یافت که این کاهش ناشی از انتقال فاز از ساختار اسپینل مکعبی به ارتورومبیک می‌باشد [۶]. نتایج ما توافق خوبی با نتایج دیگر محققان مبنی بر کاهش مغناطش اشباع با تغییر فاز در اطراف دمای  $973^\circ\text{C}$  درجه کلونین داشت [۱۹]. مقدار میدان وادارندگی ( $H_c$ ) برای نمونه‌های کلسینه شده در دماهای  $723^\circ\text{C}$  و  $773^\circ\text{C}$   $823^\circ\text{C}$  درجه کلونین به ترتیب برابر  $15280$ ،  $13520$  و  $13840 \text{ A/m}$  شد. کاهش مقدار میدان وادارندگی به  $6480 \text{ A/m}$  در دمای  $973^\circ\text{C}$  درجه کلونین که در اثر تغییر فاز رخ داد می‌تواند بر ساختار حوزه‌ها و تغییر اندازه‌ی بحرانی در این نانوفریت اثر داشته باشد [۱۷، ۱۸]. در شکل (۸) نمودار حلقه پسماند نانوکامپوزیت فریت کادمیم در دماهای مختلف، نشان داده شده است. نانوکامپوزیت سنتز شده به روش عملیات گرمایی در دماهای  $673^\circ\text{C}$ ،  $723^\circ\text{C}$  و  $773^\circ\text{C}$  درجه کلونین

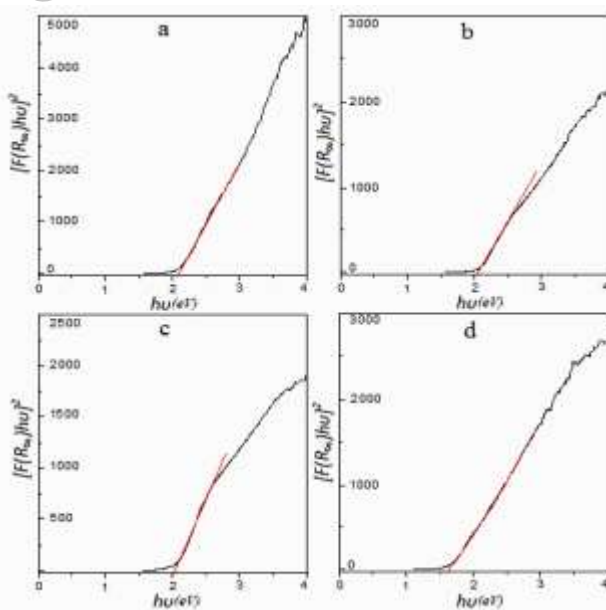


شکل ۱۰) گاف انرژی نانوکامپوزیت کادمیم در دماهای (a) ۷۲۳، (b) ۷۷۳، (c) ۸۲۳، (d) ۹۲۳

جدول (۱) مقایسه مقادیر نانوکامپوزیت فریت کلسیم و کادمیم

نمونه	دما (K)	میانگین اندازه ذره FESEM (nm)	$M_s$ (A.m <sup>2</sup> /kg)	$H_c$ (A/m)	Band gap (ev)
CaFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /PVA	۷۲۳	۱۹	۳۲/۳۸	۱۵۲۸۰	۲/۰۷۴
CaFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /PVA	۷۷۳	۲۸	۳۷/۲۹	۱۳۵۲۰	۲/۰۲۷
CaFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /PVA	۸۲۳	۴۲	۴۴/۸۲	۱۳۸۴۰	۲/۰۱۸
CdFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /PVA	۹۲۳	۱۱۸	۸/۰۹	۶۴۸۰	۱/۶۰۲
CdFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /PVA	۶۷۳	۴۷	۲۳/۳۴	۱۲۲۴۰	۲/۰۶۱۴
CdFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /PVA	۷۲۳	۶۸	۲۲/۲۹	۱۱۲۸۰	۲/۰۴۱۳
CdFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /PVA	۷۷۳	۱۳۸	۱۲/۱۵	۱۰۸۸۰	۲/۰۲۱۵

شکل (۹) تابع اصلاح شده Kubelka–Munk مربوط به نانوکامپوزیت کلسیم را نشان می‌دهد. شکل (۹) نشان می‌دهد که وقتی دمای کلسینه از ۷۲۳ به ۸۲۳ درجه کلون افزایش می‌یابد، مقدار گاف انرژی از ۲/۰۷۴ به ۲/۰۱۸ eV کاهش می‌یابد (جدول (۱)). هنگامی که دما به ۹۲۳ درجه کلون افزایش یافت گاف انرژی تا ۱/۶۰۲ الکترون ولت کاهش می‌یابد. شکل (۱۰) نیز نشان می‌دهد که با افزایش دمای کلسینه برای نانوکامپوزیت کادمیم از ۶۷۳ به ۷۷۳ درجه کلون گاف انرژی از ۲/۰۶۱۴ به ۲/۰۲۱۵ الکترون ولت کاهش می‌یابد. گاف انرژی این نانوکامپوزیت سنتز شده با روش عملیات گرمایی بسیار بزرگتر از مقدار تئوری آن (۴۱/۲۳) است؛ به این ترتیب این نانوذرات گزینه مناسبی برای فتوکاتالیست‌ها هستند. کاهش ناگهانی انرژی گاف برای این نانوکامپوزیت‌ها بدین علت است که با افزایش دما، فضای بین اتمی و در نتیجه دامنه ارتعاشات اتمی افزایش می‌یابد. افزایش فاصله بین اتمی، پتانسیل الکترون‌ها در ماده را کاهش می‌دهد و در نتیجه اندازه گاف انرژی برای آنها کاهش می‌یابد [۷].



شکل ۹) گاف انرژی نانوکامپوزیت فریت کلسیم در دماهای (a) ۷۲۳، (b) ۷۷۳، (c) ۸۲۳، (d) ۹۲۳

[4] M.G. Naseri, E.B. Saion, H.A. Ahangar, A.H. Shaari, Fabrication, "characterization and magnetic properties of copper ferrite nano particles prepared by a simple, thermal-treatment method" *Materials Research Bulletin*, vol.48,1439–1446,2014.

[5] 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" *J Chem Technol Biot*, vol.91,367–374,2014.

[6] A. Samariya, S. N. Dolia, A. S. Prasad, P.K. Sharma, S.P. Pareek, M.S. Dhawan, Sudhish Kumar, "Size dependent structural and magnetic behaviour of  $\text{CaFe}_2\text{O}_4$ " *Curr Appl Phys*, vol 13, 830–835, 2013.

[7] M.Naseri, "Optical and magnetic properties of monophasic cadmium ferrite ( $\text{CdFe}_2\text{O}_4$ ) nano structure prepared by thermal treatment method", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol.392,107–113,2014

[8] A.Sutka, G.Mezinskis, D.Jakovlevs, V.Korsak, "Sol-gel combustion synthesis of  $\text{CdFe}_2\text{O}_4$  ferrite by using various reducing agents", *J. Aust. Ceram.Soc.*, vol.49,10880–140,2013.

[9] L. Khanna, & N. K. Verma, "PEG/ $\text{CaFe}_2\text{O}_4$  nanocomposite: Structural, morphological, magnetic and thermal analyses". *Physica B: Cond. Matt*, vol. 68,427–438,2013

[10] M.G. Naseri, E.B.Saion, H.A.Ahangar, M.Hashim, A.H.Shaari, "Simple preparation and characterization of nickel ferrite nanocrystals by a thermal treatment method", *Powder Technology*, vol.212,80–88,2013.

[11] M.G.Naseri, H .M. Kamari, A.Dehzangi, A. Kamalianfar, E. B. Saion, "Fabrication of an oval chromium iron oxide ( $\text{Cr}_2\text{Fe}_6\text{O}_{12}$ ) nano particles by thermal-treatment method", *J. Magn. Mater.*, vol.389,113–119,161200.

[12] M.G.Naseri, E.B.Saion, M.Hashim, A.H.Shaari, H.A.Ahangar, "Synthesis and characteriz-

## ۴ نتیجه گیری

در این پژوهش نانوکامپوزیت  $\text{CaFe}_2\text{O}_4$  و  $\text{CdFe}_2\text{O}_4$  با استفاده از روش عملیات گرمایی در حضور PVA سنتز شدند. با استفاده از الگوی پراش پرتو ایکس، تشکیل فازهای بلوری تأیید شد. با استفاده از تصاویر FESEM اندازه نانوکامپوزیت برای  $\text{CaFe}_2\text{O}_4$  ۱۹ تا ۱۱۸ و برای  $\text{CdFe}_2\text{O}_4$  از ۴۷ تا ۱۳۸ نانومتر بدست آمدند. همچنین طیف FT-IR وجود گروه عاملی فلز اکسید را در همه دماها تأیید کرد، همچنین با افزایش دما به ۷۷۳K گروه عاملی مواد آلی رفته رفته از ساختار حذف شدند. نتایج دستگاه مغناطیس سنج نمونه ارتعاشی (VSM) نشان داد که نانوکامپوزیت  $\text{CaFe}_2\text{O}_4$  و  $\text{CdFe}_2\text{O}_4$  رفتار فرومغناطیس داشتند. برای نانوکامپوزیت فریت کلسیم با افزایش دمای کلسینه و رسیدن به دمای ۹۲۳ درجه کلوین، قله پراش‌های جدیدی ظاهر شد، که مربوط به فاز  $\text{CaFe}_3\text{O}_5$  بود و در این دما تغییر فاز رخ داد. برای نانوکامپوزیت فریت کادمیم توزیع مجدد کاتیون‌ها، سبب شد که ساختار این فریت به سمت ترکیبی شدن برود به طوریکه ساختار آن از اسپینل عادی به اسپینل ترکیبی تغییر کند. اثر دما بر روی گاف انرژی توسط طیف جذب UV-vis مورد مطالعه قرار گرفت که مشخص شد با افزایش دمای کلسینه، گاف انرژی کاهش می‌یابد.

## مراجع

[1] A.Goldman, Modern Ferrite Technology 2006.

[2] M.G.Naseri, E.B.Saion, S.Setayeshi, "The effect and roles of PVP on the phase composition, morphology and magnetic properties of cobalt ferrite nano-particles prepared by thermal treatment method", *Fibers Polym.*, vol.13,831–836,2012.

[3] محمود ناصری، احسان نادری، مروری بر نانوذرات فریت‌های سنتز شده به روش عملیات گرمایی، نشریه نانو مقیاس، سال سوم، شماره اول، بهار ۱۳۹۵

[20] A. Sutka, G. Mezinskis, D. Jakovlevs, V. Korsaks, "Sol-gel combustion synthesis of CdFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ferrite by using various reducing agents" *J Aus Ceram Soc*, Vol.49,136-140.2013.

ation of zinc ferrite nanoparticles by a thermal treatment method", *Solid State Commun.*, vol. 151,1031–1035,2011.

[13] J.Z. Msomi, "Structural and magnetic changes induced by highenergy ball milling of CdFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>", *Magn. Mater.*, vol.336, 61–65,2013

[14] M.G.Naseri, E.B.Saion, H.A.Ahangar, A.H. Shaari, M.Hashim, "Simple synthesis and characterization of cobalt ferrite nanoparticles by a thermal treatment method", *Journal of Nano materials.*, vol.2010,2010.

[15] 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.*, vol.323, 1745–1749, 2011

[16] Y.Ichyanagi, M.Kubota, S.Moritake, Y. Kanazawa, T.Yamada, T.Uehashi, "Magnetic properties of Mg-ferrite nanoparticles", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials.*, vol.310, 2378–2380,2007.

[17] 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 nano crystalline synthesized by a thermal treatment method", *J. Phys. Chem. Solids.*, vol. 6000, 315–327, 2007.

[18] M.G. Naseri, R.Ghasemi, "Structure and physical properties of Fe<sub>6</sub> O<sub>8</sub>/ba Fe<sub>6</sub> O<sub>11</sub> nano structure", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials.*, vol.406, 200–206,2016.

[19] L. Khanna, N. K. Verma. "Size-dependent magnetic properties of calcium ferrite nanoparticles" *J Magn Mater*, vol. 336, 1-7.2013.