

## سنتز و مشخصه‌یابی ساختاری، مغناطیسی و الکترومغناطیسی کامپوزیت‌های فریت کبالت / اکسیدگرافن احیاشده

نادر قبادی، سید علی حسینی مرادی\* و مجید امیرزاده

گروه فیزیک دانشکده علوم پایه، دانشگاه ملایر، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۷/۴ - دریافت نسخه نهایی: ۱۴۰۰/۱۲/۸)

**چکیده-** در این پژوهش پودر فریت کبالت ( $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ) و نیز کامپوزیت فریت کبالت / اکسیدگرافن احیاشده ( $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{RGO}$ ) با پیش‌ماده‌های کلریدی به روش هم-رسوبی سنتز شد و ساختار فازی، ریخت، ویژگی‌های مغناطیسی و جذب امواج ماکروویو آن در نوار ایکس بررسی شد. آزمون پراش پرتو ایکس نشان‌دهنده تشکیل تک فاز  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  و همه قله‌های اصلی به فاز اسپینل مربوط می‌شود. طبق تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی گسیل میدانی، مورفولوژی بیشتر ذرات در  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  و کامپوزیت  $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{RGO}$  تقریباً کروی است. نتایج آزمون مغناطش‌سنج نمونه ارتعاشی نشان می‌دهد که مغناطش اشباع  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  و کامپوزیت‌های دارای ۵ و ۱۰ درصد اکسیدگرافن احیاشده برابر با ۷۱/۶، ۵۶ و ۳۷ است. در آخر نتایج حاصل از تحلیل گر شبکه‌برداری نشان داد که بیشینه تلفات در نوار ایکس فریت کبالت برابر با ۳/۵ dB- بوده که با افزودن ۱۰ درصد اکسیدگرافن احیاشده به مقدار ۲۱/۵ dB- رسید. همچنین میزان جذب موج تابیده شده نیز از ۴۱ درصد برای نمونه فریتی به ۹۹/۵ درصد برای نمونه با ۱۰ درصد اکسیدگرافن احیاشده رسید.

واژه‌های کلیدی: کامپوزیت فریت کبالت، اکسیدگرافن احیاشده، هم رسوبی، تلفات انعکاسی، نانوذرات.

### ۱- مقدمه

می‌کنند؛ اما در بسامدهای بالا این فریت‌ها عموماً جذب کمتری از خود نشان می‌دهند، زیرا میدان درونی ناهمسانگردی مغناطوبلوری برای فریت‌های اسپینلی در محدوده چند اورستد است [۲]. در نتیجه پدیده تشدید فرومغناطیس برای اسپینل‌ها در بسامدهای زیر ۴ GHz رخ می‌دهد. از آنجایی که بسامد رادارهای عادی در محدوده ۱۸-۲ گیگاهرتز است و معمولاً امکان وقوع جذب بالا در بسامدهای پایین به‌ویژه در بسامد ۴-۲ گیگاهرتز با مشکل مواجه می‌شود، بنابراین فریت‌های

در سال‌های اخیر استفاده از امواج الکترومغناطیس<sup>۱</sup> (EM) در بسیاری از کاربردها نظیر وسایل ارتباطی بی‌سیم، ارتباطات ماهواره‌ای، شبکه‌های منطقه‌ای، رادار هواپیماها و ... به‌طور فزاینده‌ای توجه شده است. به این ترتیب محیط زندگی مدرن تحت تسلط امواج الکترومغناطیس قرار گرفته است [۱-۳]. فریت‌های اسپینلی از جمله موادی هستند که به میزان زیادی انرژی الکترومغناطیس را در بسامدهای ماکروویو جذب

\* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: physiclplasma2011@gmail.com

از نانوصفحات گرافنی- فریت کبالت / اکسید گرافن احیاشده / استر سیانات را ارزیابی کردند. بیشترین تلفات انعکاسی در ضخامت ۱/۲۵ میلی-متر و در بسامد ۱۱/۸ GHz به ۲۱/۸ dB- رسید. بهبود خواص جذب امواج الکترومغناطیس مربوط به انطباق امپدانس بهتر بود. در پژوهش دیگری که توسط لی و همکارانش [۷] صورت گرفت، ساختار کامپوزیتی فریت کبالت با اکسید گرافن احیاشده به روش پلی-ال با استفاده از پیش-ماده‌های کلریدی تشکیل شد و خواص جذب امواج الکترومغناطیسی آن بررسی شد. در راستای بررسی خواص جذب امواج الکترومغناطیس ۷۰ درصد وزنی از پودرهای فرآوری شده برای ساخت نمونه‌های جذبی به کار گرفته شد که به ترکیب شیمیایی بستر آن اشاره‌ای صورت نگرفته بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد گذردهی الکتریکی مختلط کامپوزیت فریت کبالت با اکسید گرافن احیاشده به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای در مقایسه با نانوبلورهای فریت کبالت خالص افزایش پیدا کرد که منجر به بهبود عملکرد جذب امواج الکترومغناطیس شد. بیشترین تلفات انعکاسی این کامپوزیت در بسامد ۱۲/۸ GHz و ضخامت ۲/۵ میلی-متر به مقدار ۳۶/۴ dB- رسید.

## ۲- مواد و روش‌ها

در این پژوهش از کلرید آهن و کلرید کبالت به‌عنوان پیش‌سازهای یون‌های آهن و کبالت و هیدروکسید سدیم به‌عنوان عامل رسوب‌دهنده (احیاکننده) استفاده شد. همچنین به‌منظور سنتز کامپوزیت فریت کبالت با اکسید گرافن احیاشده، از اکسید گرافن استفاده شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی مواد اولیه مورد استفاده در جدول (۱) ارائه شده است. در این پژوهش سه نمونه S1 (فریت کبالت)، S2 (فریت کبالت با ۵ درصد اکسید گرافن) و S3 (فریت کبالت با ۱۰ درصد اکسید گرافن) بررسی شده است.

### ۲-۱- ساخت پودر فریت کبالت به روش هم‌رسوبی

نانوذرات فریت کبالت به روش هم‌رسوبی در دمای ۸۰ درجه

اسپینلی می‌تواند انتخاب خوبی برای این محدوده بسامد باشد [۳]. اما با توجه به چگالی زیاد و همچنین درصد پراکنندگی موردنیاز بالا، به‌تنهایی گزینه مناسبی برای کاربردهای عملی نیستند. از طرف دیگر، پارامترهای گذردهی الکتریکی و تراوایی مغناطیسی به‌عنوان خواص الکترومغناطیسی ذاتی یک ماده به‌طور مستقیم روی خاصیت جذب امواج اثر می‌گذارد. در این چهارچوب، فریت کبالت دارای مغناطش اشباع متوسط و حد سنوک بالا دارای تراوایی مغناطیسی بزرگ بوده که به‌عنوان ماده جاذب رادار در فرکانس‌های بالا شناخته می‌شود [۴]. به‌طور کلی در ماده جاذب دستیابی به ضخامت کم، چگالی پایین، پهنای باند و میزان جذب بالا در اولویت قرار دارد. همچنین از دو مسئله مهم در مورد مواد مغناطیسی نمی‌توان چشم‌پوشی کرد: اول اینکه نفوذپذیری مغناطیسی به‌طور شدیدی در محدوده گیگاهرتز کاهش می‌یابد. زیرا به‌دلیل مقاومت پایین این مواد، اتلاف ناشی از جریان گردابی که توسط امواج ماکروویو القا شده است به‌صورت سریعی افزایش می‌یابد. همچنین، به‌دلیل نفوذپذیری الکتریکی بالای این مواد دستیابی به تطابق امپدانس الکترومغناطیسی مناسب در این شرایط مشکل است [۱]. از این‌رو، به‌منظور دست یافتن به تطابق امپدانس هر چه بهتر و در نتیجه جذب و پهنای باند بالا در یک ماده جاذب با نانوذرات مغناطیسی به‌تنهایی دشوار است. به همین دلیل مطالعات در راستای جاذب‌های نانوساختار، روی مواد کامپوزیتی متمرکز می‌شود. تحقیقات انجام شده در این زمینه نشان‌دهنده آن است که گرافن و مشتقات آن می‌توانند در ترکیب با فریت‌های اسپینلی، خاصیت جذب امواج بالاتری از خود نشان داده و می‌تواند به‌عنوان پوشش سبک استفاده شود [۱ و ۵].

در پژوهش انجام شده توسط رن و همکارانش [۶]، کامپوزیت فریت کبالت با اکسید گرافن احیاشده با استفاده از پیش‌ماده‌های نیتراتی به روش هیدروترمال سنتز شد. همچنین به‌منظور بررسی خواص جذب امواج ماکروویو در نوار ایکس (۸/۲-۱۲/۴ GHz) از بستر رزین استر سیانات استفاده شد. بدین صورت که کامپوزیتی

جدول ۱- مشخصات مواد اولیه به کار برده شده در این پژوهش

ماده مصرفی	ترکیب شیمیایی	جرم مولکولی (g/mol)	خلوص (درصد)	شرکت سازنده
کلرید آهن	FeCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O	۲۷۰٫۳	۹۹	Merck
کلرید کبالت	CoCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	۲۳۷٫۹	۹۸	Merck
هیدروکسید سدیم	NaOH	۴۰	۹۸	Merck
اکسید گرافن	GO	-	۹۹	شرکت پیشگامان نانومواد ایرانیان

گرافن به همراه ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر مخلوط شد و به منظور پخش شدن بهتر در آب، به مدت ۳۰ دقیقه در حمام تحت امواج فراصوت قرار گرفت. سپس سایر پیش ماده‌ها به ترتیب، مطابق با مراحل گفته شده در سنتز فریت کبالت، به ترکیب حاصل از اکسید گرافن و آب مقطر اضافه شد. لازم به ذکر است که برای احیای اکسید گرافن از هیدرازین استفاده شد. به این صورت که قبل از اضافه کردن پیش ماده‌های فریتی، ۱۰ میلی لیتر هیدرازین به محلول اضافه شد. سپس سایر مراحل مشابه با توضیحات مذکور انجام گرفت. تنها تفاوت با مراحل قبلی، استفاده از محیط اتمسفر گاز آرگون برای جلوگیری از تبدیل اکسید گرافن به دی‌اکسیدکربن و مونوکسید، بود. کلیه مراحل سنتز کامپوزیت‌ها مشابه مراحل سنتز فریت کبالت خالص انجام گرفت. تنها تفاوت اصلی در محیط پخت بود که برای کامپوزیت‌ها از محیط گاز آرگون برای جلوگیری از سوختن صفحات اکسید گرافن احیا شده انجام گرفت.

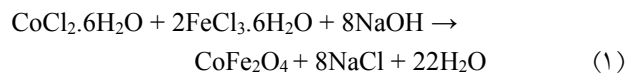
### ۲-۳- آماده سازی نمونه‌های جاذب

جهت ساخت نمونه‌های جاذب، پودرهای تهیه شده به میزان ۵ درصد وزنی همراه با پارافین ذوب شده به مدت ۱۵ دقیقه کاملاً مخلوط و در قالب‌های تهیه شده از جنس پلکسی گلس مطابق با ابعاد استاندارد (۲۲٫۸۸ × ۱۰٫۱۶ × ۵ میلی متر) نوار ایکس ریخته شدند.

### ۲-۴- تجهیزات مورد استفاده برای مشخصه یابی نمونه‌ها

بررسی فازی پودرهای سنتز شده با استفاده از دستگاه پراش

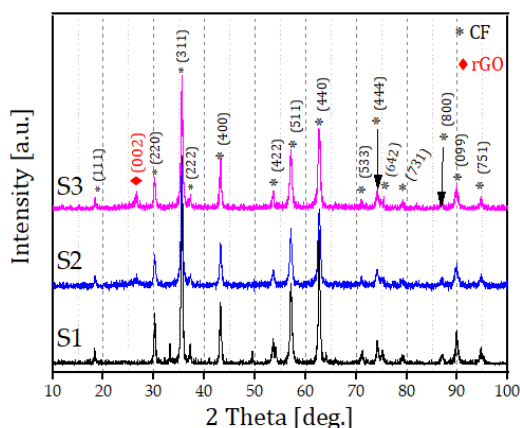
سانتی گراد تحت شرایط مختلف سنتز شدند که مراحل کار به شرح زیر است. در شروع سنتز، ابتدا کلرید کبالت و سپس کلرید آهن مطابق با نسبت مولی استوکیومتری (۱:۲)، CoCl<sub>2</sub> / FeCl<sub>3</sub> طبق رابطه (۱) در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر یون زدوده با استفاده از همزن مغناطیسی حل شدند. سپس دمای محلول تا ۸۰ درجه سانتی گراد افزایش پیدا کرد. هیدروکسید سدیم با نسبت مولی -OH/Cl برابر ۲، به صورت قطره قطره به محلول حاصل تا رسیدن به pH در حدود ۱۲ برای انجام عملیات رسوب دهی به محلول اولیه اضافه شد. بعد از ۹۰ دقیقه، به منظور جداسازی رسوبات به دست آمده، محلول با استفاده کاغذ صافی از رسوبات جدا شده و این رسوبات در مرحله بعدی توسط آب مقطر و سپس اتانول به منظور حذف ناخالصی کلرید سدیم (NaCl) شسته شدند. رسوبات شسته شده به منظور خشک شدن در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد به مدت سه ساعت در آن قرار داده شد. در نهایت به منظور کلسینه کردن محصولات، نمونه‌ها در دمای ۷۰۰ درجه سانتی گراد به مدت یک ساعت در کوره مقاومی در محیط هوا قرار گرفته شدند.



### ۲-۲- سنتز کامپوزیت فریت کبالت حاوی اکسید گرافن احیا

شده به روش هم رسوبی

کامپوزیت فریت کبالت حاوی اکسید گرافن احیا شده نیز مانند نانوذرات فریت کبالت به صورت ذکر شده در بخش قبل، سنتز شد؛ شایان ذکر است، ابتدا ۵ و ۱۰ درصد وزنی پودر اکسید



شکل ۱- الگوهای پراش پرتو ایکس نمونه‌های S1، S2 و S3

کامل با ساختار اسپینل معکوس فریت کبالت با کارت شماره ۱۱۲۱-۰۰۱-۰۰۰ از ICDD<sup>3</sup> است. با توجه به الگوها با کامپوزیت کردن فریت کبالت و اکسید گرافن، در موقعیت ۲۶٫۶° قله‌ای با شدت خیلی کم پدیدار شده که مربوط به صفحه (۰۰۲) در گرافیت است. این پیک در اصل نشان‌دهنده اکسید گرافن احیا شده است که ساختاری مشابه گرافیت دارد [۸]. این قله با افزایش درصد اکسید گرافن از ۵ به ۱۰ درصد تیزتر شده که به دلیل افزایش درصد وزنی اکسید گرافن در ساختار است. لازم به ذکر است که در الگوی پراش پرتو ایکس فریت کبالت خالص قله کوچک ناخالصی وجود دارد. قله مورد نظر واقع در ۳۲٫۲ درجه به احتمال زیاد ناشی از نمک‌های فلزی پیش‌ماده است. نزدیک ترین قله فاز هماتیت (۱۰۴) واقع در ۳۳٫۳ درجه، وجود هماتیت در ساختار محتمل نیست. با این حال، قله ناخالصی مورد نظر در نمونه‌های کامپوزیتی وجود ندارد که دلیلی بر خالص بودن این کامپوزیت‌ها است. متوسط اندازه بلورک‌ها نیز با استفاده از رابطه دبای شرر محاسبه شد. اندازه بلورک برای نمونه S1 برابر با ۱۵٫۵ نانومتر، برای نمونه S2 برابر با ۱۳ نانومتر و برای نمونه S3 برابر با ۱۱٫۵ نانومتر به‌دست آمد.

### ۳-۲- بررسی ریخت

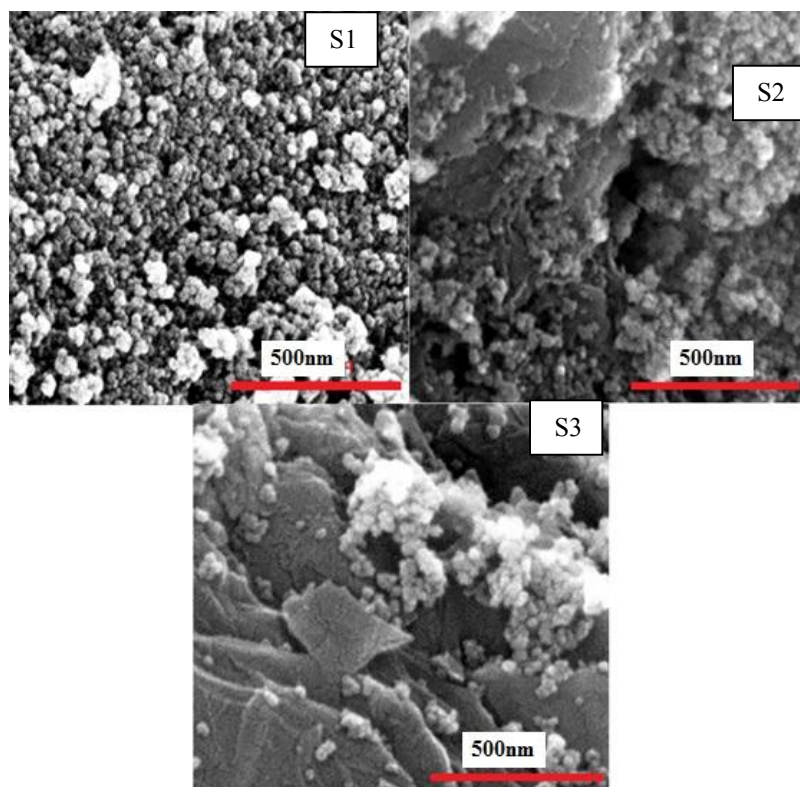
شکل (۲) تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی گسیل میدانی

اشعه ایکس (XRD<sup>2</sup>, Philips PW-3170) در محدوده ۱۰-۱۰۰ درجه با استفاده از تابش CuKα با طول‌موج ۱٫۵۴ آنگستروم صورت گرفت. برای محاسبه متوسط اندازه‌های بلورک‌ها از معادله دبای-شرر ( $D = (K \times \lambda) / (\beta \times \cos \theta)$ ) استفاده شد. در این معادله d برابر با اندازه بلورک، λ طول موج Kα۱ مربوط به جنس آند، K فاکتور شکل (معمولاً عددی نزدیک به یک مثل ۰٫۹ در فرمول قرار داده می‌شود) و β پهنای پیک در نیمه ارتفاع بر حسب رادیان است. برای بررسی پیوندهای موجود بر سطح محصولات سنتز از طیف‌سنج مادون قرمز با تبدیل فوریه مدل TENSOR27 ساخت شرکت بروکر در آزمایشگاه بیم‌گستر تابان استفاده شد. طیف‌سنجی با مخلوطی از پودر نمونه‌ها و پودر پتاسیم برمید در محدوده ۴۰۰۰ تا ۵۰۰ cm<sup>-1</sup> بررسی شد. به‌منظور بررسی خواص مغناطیسی نمونه‌ها از مغناطش‌سنج نمونه ارتعاشی شرکت مغناطیس دقیق کویر کاشان تحت میدان اعمالی بیشینه ۱۰ kOe و در دمای اتاق استفاده شد و چرخه پسماند نمونه، توسط نرم‌افزار دستگاه به‌دست آمد. برای انجام آزمون رامان از دستگاه FIRSTGUARD- RIGAKU واقع در آزمایشگاه شرکت بیم‌گستر تابان استفاده شد. جهت بررسی ریزساختار، اندازه و مورفولوژی ذرات پودرهای تهیه شده از میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی مدل Hitachi S4160 مجهز به تجزیه شیمیایی عنصری از نوع طیف‌سنجی تفکیک انرژی استفاده شد. به‌منظور بررسی میزان جذب امواج مایکروویو در محدوده باند ایکس (۸-۱۲٫۴ GHz)، از دستگاه Agilent 8510C Vector Network Analyzer (VNA) دانشگاه امام حسین (ع) استفاده شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- بررسی فازی (XRD)

شکل (۱) الگوهای پراش پرتو ایکس نمونه‌های S1، S2 و S3 را نشان می‌دهد. الگوی نمونه S1 نشان می‌دهد که فریت کبالت تک‌فاز به‌طور کامل و بدون هیچ‌گونه ناخالصی تشکیل شده است. پیک‌های این الگو (مشخص شده در شکل ۱) در تطابق



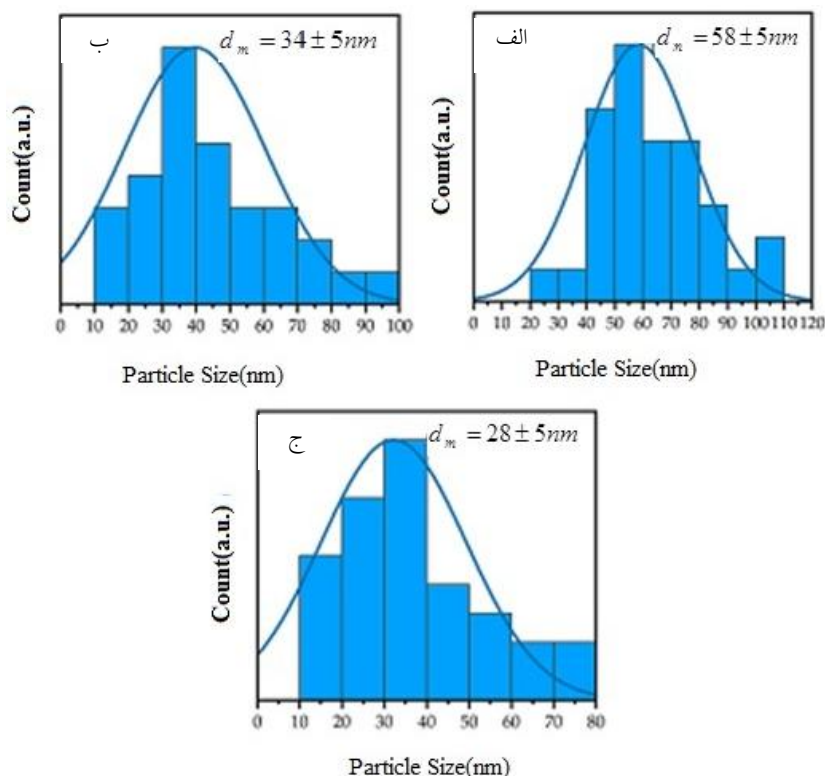
شکل ۲- تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی گسیل میدانی نمونه‌های S1، S2 و S3

جوانه‌زنی و رشد نانوذرات فریت کبالت روی گروه‌های عاملی روی سطح اکسید گرافن اتفاق می‌افتد، این ذرات از توزیع نسبتاً یکنواختی روی صفحات اکسید گرافن احیا شده برخوردار هستند.

نمودار توزیع ذرات نمونه‌ها برگرفته از تصاویر میکروسکوپی (شکل ۳) نشان دهنده این موضوع است که با افزایش مقدار درصد وزنی گرافن، اندازه میانگین ذرات (dm) از ۵۸ نانومتر برای نمونه خالص به ۳۴ نانومتر برای نمونه S2 و ۲۸ نانومتر برای نمونه S3 کاهش یافته است، که با توجه مطالب ارائه شده در بالا می‌توان توجیه کرد.

به منظور بررسی بیشتر، تجزیه شیمیایی نقطه‌ای پراش انرژی پرتو ایکس مربوط به دو نقطه از این نمونه S3 در جدول (۲) و همچنین نقشه عنصری یک ناحیه مشخص از آن در شکل (۴) نمایش داده شده است. آنالیز عنصری - نقطه‌ای برای هر دو نقطه تنها وجود عناصر کبالت، آهن، اکسیژن و کربن را نشان

نمونه‌های S1، S2 و S3 را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود نمونه S1 از کلوخه‌هایی تشکیل شده که از به هم پیوستن و جوش خوردن ذراتی با اندازه‌های نانومتری به وجود آمده‌اند. از آنجایی فریت کبالت ماده‌ای سرامیکی و مغناطیسی است، برهم‌کنش قطبی - قطبی (نیروی واندروالسی) این ذرات مغناطیسی و همچنین انرژی آزاد بالای سطح که ناشی از ریز شدن ذرات تا حد نانو به دلیل ماهیت ترد بودن فاز فریت کبالت است، سبب تشدید کلوخه‌ای شدن این ذرات شده است [۹]. ریخت ذرات، کروی مانند است که در مورد فریت کبالت قبلاً نیز گزارش شده است. همچنین میانگین اندازه ذرات ۵۰ نانومتر به دست آمد. با توجه به تصاویر نمونه S2 و S3، ذرات فریت کبالت روی صفحات اکسید گرافن احیا شده توزیع شده‌اند. چنین توزیعی از ذرات ریز و کروی شکل، ناشی از وجود صفحات گرافن است چرا که این صفحات مانع از رشد بیش از حد نانوذرات فریت کبالت می‌شوند. از طرفی به علت اینکه



شکل ۳- نمودار توزیع اندازه ذرات برای: الف) نمونه S1، ب) نمونه S2 و ج) S3

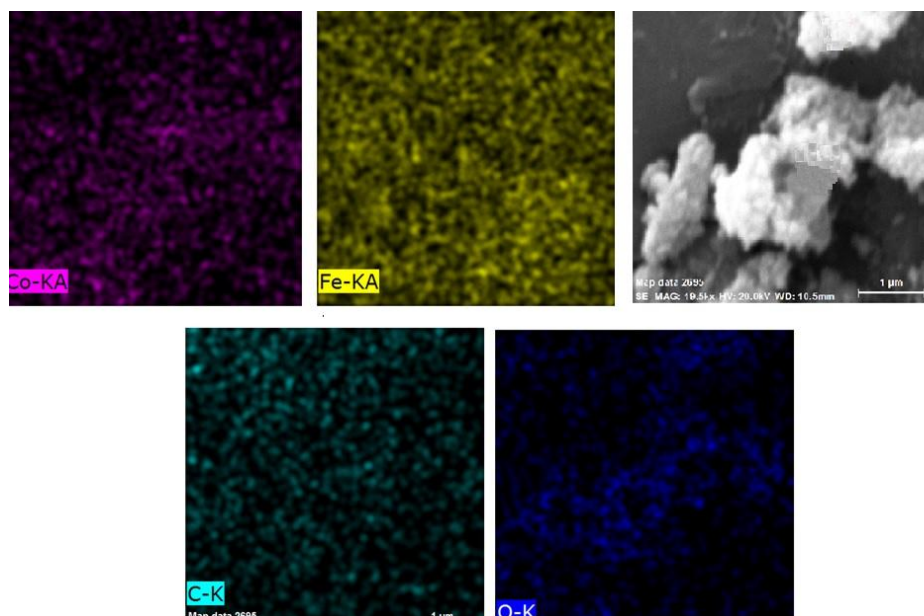
جدول ۲- درصد اتمی عناصر موجود در نمونه S3 که توسط آزمون عنصری- نقطه‌ای نمونه به دست آمده است. همچنین به منظور مقایسه،

درصد عناصر با توجه به ترکیب شیمیایی فریت کبالت محاسبه شده است

عنصر	درصد اتمی عناصر موجود در کامپوزیت	
	نقطه ۱	نقطه ۲
کبالت	۱۳٫۵	۱۲٫۹
آهن	۲۶٫۵	۲۱٫۶
اکسیژن	۳۶٫۵	۳۷٫۲
کربن	۲۳٫۶	۲۸٫۳
		ترکیب شیمیایی نظری فریت کبالت
		۱۴٫۳
		۲۸٫۶
		۵۷٫۱
		-

بدین صورت نباشد. همچنین آزمون پراش انرژی پرتو ایکس برای شناسایی عناصر سبکی مانند اکسیژن و کربن با خطای زیادی همراه است و نمی‌تواند مبنا قرار گیرد. از طرفی همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود توزیع یکنواختی از همه عناصر موجود در فریت کبالت و به علاوه کربن در محل انتخاب شده وجود دارد.

داده که حاکی از خالص بودن محصول نهایی است. همچنین مشاهده می‌شود که درصد اتمی عناصر به دست آمده از آزمون پراش انرژی پرتو ایکس عنصری- نقطه‌ای نسبت به ترکیب شیمیایی فریت کبالت مقداری اختلاف دارد. این تفاوت ناشی از حضور گرافن در ساختار است. البته باید دقت داشت که ترکیبات پیش‌بینی شده تنها برای همین نقطه‌ها که آزمون انجام شده صادق بوده و ممکن است برای نقاط مجاور آن، ترکیب

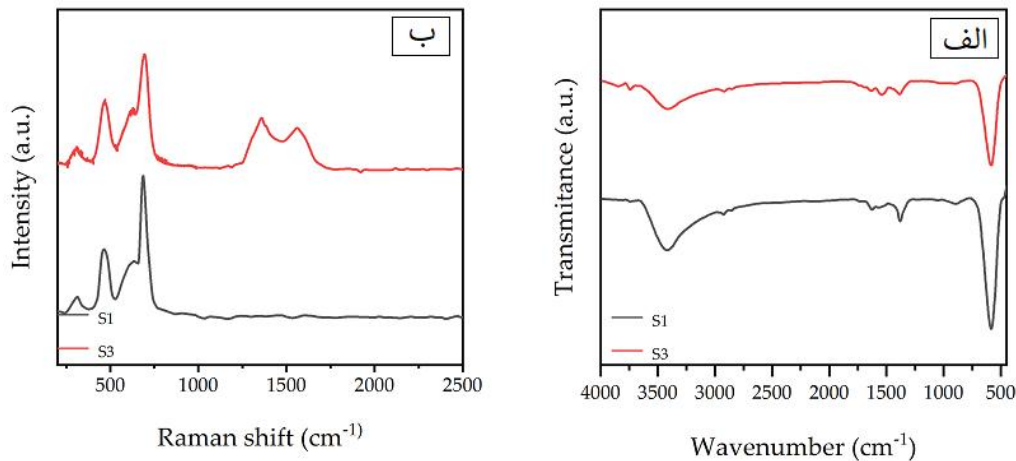


شکل ۴- تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی و نگاشت عنصری - نقطه‌ای نمونه S3 در دو نقطه که نمایش دهنده وجود عناصر کبالت، آهن، اکسیژن و کربن است و حاکی از خالص بودن محصول نهایی است

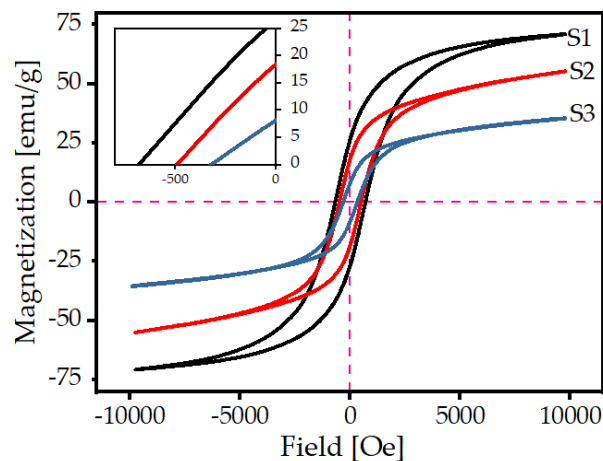
### ۳-۳- بررسی پیوندها و عامل های سطحی

طیف‌های فروسرخ با تبدیل فوریه و رامان در شکل (۵) نشان داده شده است. با توجه به قسمت الف شکل (۵)، در طیف نانوذرات  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  یک گروه جذبی در  $587 \text{ cm}^{-1}$  مشاهده می‌شود که قله مشخصه فریت است. در طیف مادون قرمز همه ساختارهای اسپینلی و به‌طور مشخص در فریت‌ها، دو پیوند اصلی ارتعاش فلز-آنیون دیده می‌شود. گروه با عدد موجی بزرگتر در بازه  $500$  تا  $600 \text{ cm}^{-1}$  قرار دارد و متعلق به ارتعاش کششی ذاتی ترکیبات فلز-اکسیژن در مکان‌های چهاروجهی ( $M_{\text{th}}\text{-O}$ ) است و نوار با عدد موجی کمتر در بازه  $400$  تا  $450 \text{ cm}^{-1}$  مرتبط با ارتعاش کششی فلز-اکسیژن در مکان‌های هشت وجهی ( $M_{\text{oh}}\text{-O}$ ) است که در این پژوهش به دلیل محدودیت دستگاه، عدد موجی پایین‌تر از  $500 \text{ cm}^{-1}$  قابل ثبت نبوده و نوار با عدد موجی کمتر قابل رؤیت نیست. قله پهنی در  $3050 \text{ cm}^{-1}$  مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده ارتعاشات کششی پیوند O-H مربوط به گروه هیدروکسیل در ملکول‌های آب جذب شده در ماده است. نوار جذبی ظاهر شده در  $1630 \text{ cm}^{-1}$  نیز به پیوند O-H ارتباط دارد. در نمونه S2 تمام قله‌های

مشخصه فریت کبالت حفظ شده‌اند. عدم وجود گروه‌های عاملی اکسیژن‌دار در نمونه کامپوزیتی حاکی از احیای شیمیایی صفحات اکسید گرافن در طول فرآیند هم‌رسوبی است. تنها یک قله در محدوده  $1380 \text{ cm}^{-1}$  در نمونه‌های کامپوزیتی دیده می‌شود که به احتمال زیاد مربوط به پیوند O-H در گروه عاملی کربوکسیل است. همچنین پیوند جذبی  $1550 \text{ cm}^{-1}$  می‌تواند ناشی از ارتعاشات ساختاری صفحات اکسید گرافن احیا شده باشد [۱۰]. همچنین پیوند جذبی ظاهر شده در  $1638 \text{ cm}^{-1}$  نیز در نمونه S2، به پیوند O-H تعلق دارد. طیف رامان نمونه‌های S1 و S2 در شکل (۵-ب) آورده شده است. با توجه به طیف، نمونه S1 دارای چهار قله اصلی در محدوده  $300$ ،  $470$ ،  $605$  و  $690 \text{ cm}^{-1}$  است که به ترتیب مربوط به حالت‌های رامان  $E_g$ ،  $T_{2g}(2)$ ،  $A_{1g}(2)$  و  $A_{1g}(1)$  است. لازم به ذکر است حضور این حالت‌ها در طیف رامان نشان‌دهنده ساختار اسپینلی محصولات سنتر است [۱۱]. در طیف رامان مربوط به نمونه S2 نیز علاوه بر حضور گروه‌های قبلی، دو گروه در محدوده  $1353$  و  $1592 \text{ cm}^{-1}$  ظاهر شدند که با توجه به منابع مربوط به حضور عامل کربنی و باندهای مستحکم C-C هستند [۱۱]. با



شکل ۵- الف) طیف فرسرخ با تبدیل فوریه و ب) طیف رامان نمونه‌های S1 و S2.



شکل ۶- حلقه‌های پسماند مغناطیسی نمونه‌ها

دارای ساختار اسپینل معکوس است به طوری که اتم‌های اکسیژن یک شبکه مکعبی وجه مرکزدار را به وجود می‌آورند که نصف یون‌های  $Fe^{3+}$  مکان‌های چهاروجهی را اشغال کرده و نصف دیگر به همراه یون‌های  $Co^{2+}$  در مکان‌های هشت‌وجهی قرار می‌گیرند. گشتاور مغناطیسی خالص، از توزیع یون‌های فلزی در این مکان‌ها محاسبه می‌شود که در ذرات خیلی ریز به دلیل نسبت سطح به حجم بالا کاهش می‌یابد. زیرا تقارن، تعداد، نوع و فاصله همسایگان اتم در سطح می‌تواند با حالت حجم متفاوت باشد. به علاوه مکان‌های اشغال کاتیون‌ها در فریت کبالت در مقیاس نانومتری می‌تواند با بالک متفاوت باشد. از طرفی پدیده‌هایی مانند بی‌نظمی و چرخش اسپین‌ها باعث

توجه به ظهور این دو گروه اصلی همراه با گروه‌های مشخصه اسپینلی، می‌توان به این نتیجه رسید که نمونه خالص و نمونه کامپوزیتی با موفقیت سنتز شده‌اند.

### ۳-۴- بررسی ویژگی‌های مغناطیسی و جذب امواج الکترومغناطیسی محصولات

حلقه‌های پسماند مغناطیسی و همچنین خواص مغناطیسی نمونه‌ها به ترتیب در شکل (۶) و جدول (۳) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مغناطش اشباع برای نمونه S1 معادل با  $71 \text{ emu/g}$  و کمتر از مغناطش اشباع فریت کبالت در حالت حجم (حدود  $80 \text{ emu/g}$ ) است [۹]. فریت کبالت

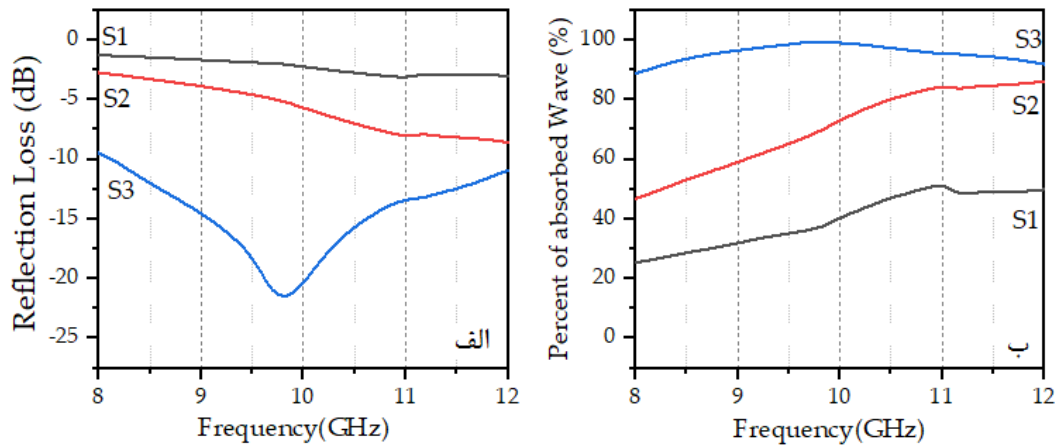


جدول ۳- خواص مغناطیسی نمونه‌ها

نمونه	$H_c$ (Oe)	$M_s$ (emu/g)	$M_r$ (emu/g)
S1	۶۸۹	۷۱	۲۸
S2	۵۰۰	۵۶	۱۸
S3	۳۲۷	۳۷	۸

می‌شود که رفتار نانو ذرات کاملاً متفاوت با حالت حجیم باشد. نیروی وادارندگی مغناطیسی برای نمونه S1 ۶۸۹ اورستد محاسبه شد. با توجه به شکل (۶) و جدول (۳)، خواص مغناطیسی نمونه‌ها با افزودن اکسید گرافن به ساختار کاهش یافته است. با توجه به میزان مغناطش اشباع به دست آمده برای نمونه S2 (۵۶ emu/g)، نسبت به نمونه S1 (۳۷ emu/g)، کاهش بیش از حد مقدار مغناطش اشباع در نمونه‌های کامپوزیتی به خاطر حضور گرافن به عنوان یک فاز غیرمغناطیسی که باعث افت مغناطش اشباع می‌شود، مربوط است. این نتیجه با تحقیقاتی که در زمینه خواص مغناطیسی گرافن و GO صورت گرفته است به خوبی مطابقت دارد [۱۲-۱۳]. با توجه به منابع، اضافه کردن گرافن و یا ترکیبات آن به مواد مغناطیسی، باعث توزیع مجدد کاتیون‌ها، تغییر مورفولوژی، افزایش شدید زبری سطح و همچنین کاهش اندازه کریستالیت نمونه‌ها است. از لحاظ تئوری با توجه به غیر مغناطیسی بودن گرافن، مغناطش فریت کبالت باید به تناسب با مقدار درصد وزنی گرافن افزوده شده، کاهش یابد. در این صورت مقدار مغناطش در نمونه S2 در حدود ۱۰ درصد باید کاهش می‌یافت (در حدود ۷ emu/g) در صورتی که با توجه به هیستریز مغناطیسی، این کاهش در حدود ۴۲ درصد است. با توجه به مطالب گفته شده این کاهش بیش از حد به پارامترهای غیر دخیل در رابطه درصد وزنی مربوط می‌شود. لازم به ذکر است که این قبیل کاهش بیش از حد انتظار در منابع دیده می‌شود. [۱۴]. در مورد رفتار وارندگی نمونه‌ها، با توجه به کلوخه‌ای بودن ذرات نمونه فریتی و کامپوزیتی، متأسفانه با توجه به تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی نمی‌توان به توزیع دقیق اندازه ذرات دست یافت. با این حال با توجه به تصاویر و کمک گرفتن از نرم‌افزارهای

مربوطه میانگین اندازه ذرات برای نمونه فریت کبالت در حدود ۵۸ نانومتر و برای نمونه S1 در حدود ۳۴ نانومتر و برای نمونه S2 در حدود ۲۸ نانومتر می‌توان تخمین زد [۱۵]. با توجه به مقالات مرتبط، رفتار وارندگی فریت‌های مغناطیسی در تناسب با اندازه ذرات به صورت سهمی معکوس است. بدین صورت که با کاهش اندازه ذرات، وارندگی فریت افزایش یافته (محدوده چند دامنه) و با رسیدن اندازه ذرات به اندازه بحرانی ( $D_{critical}$ ) این افزایش متوقف شده و با کاهش بیشتر اندازه دانه (محدوده تک‌دامنه)، پارامتر وارندگی نیز کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، اندازه ذره بحرانی برای فریت کبالت خالص در حدود ۴۰ نانومتر است [۱۶] با توجه به تفاسیر ذکر شده، احتمالاً نمونه فریت کبالت ابتدا در ناحیه تک‌دامنه بوده (۵۰ نانومتر) است و با افزودن اکسید گرافن، اندازه ذرات فریت کبالت به ۳۵ نانومتر کاهش یافته است. گرافن به محدوده تک دامنه رسیده و وارندگی کاهش پیدا کرده است. شکل (۷) تلفات انعکاسی برحسب بسامد را برای نمونه‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان تلفات انعکاسی نمونه S1 در بهترین حالت در پایان نوار ایکس (۱۲ GHz) به ۳/۵ dB- رسید. طبق رابطه (۲) [۱۷]، در این شرایط ۴۹ درصد از موج در نمونه جذب و ۵۱ درصد از سطح آن منعکس شده است. با افزودن گرافن به نانوذرات فریت کبالت و ایجاد ساختار کامپوزیتی، میزان تلفات انعکاسی افزایش یافته که این امر منجر به بهبود جذب امواج می‌شود. با توجه به نتایج به دست آمده میزان تلفات انعکاسی برای نمونه S2 در بسامد ۱۲ GHz به بیشترین مقدار خود یعنی ۸/۵ dB- رسیده است. در این حالت میزان جذب موج ورودی به ۸۵ درصد افزایش می‌یابد. با افزایش درصد وزنی گرافن به ۱۰ درصد در ساختار،



شکل ۷- الف) تلفات بازتابی بر حسب بسامد و ب) درصد موج درآشامیده بر حسب بسامد برای نمونه‌ها

تبدیل شدن به گرما مصرف قرار می‌شود [۶].

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش پودر فریت کبالت (CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) و نیز کامپوزیت فریت کبالت / اکسید گرافن احیاشده (CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/RGO) با استفاده از پیش ماده‌های کلریدی به روش هم‌رسوبی ساخته شد و ساختار فازی، ریخت، خواص مغناطیسی و جذب امواج ماکروویو آن بررسی شد. مهم‌ترین یافته‌های این پژوهش به‌صورت زیر است:

۱. طبق نتایج حاصل از الگوهای پراش پرتو ایکس، فریت کبالت به‌صورت کامل و بدون ناخالصی به‌دست آمد و در نمونه‌های کامپوزیتی با توجه به پیک اکسید گرافن احیاشده، کامپوزیت به‌طور موفقیت‌آمیز سنتز شده است.
۲. تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی نشر میدانی نشان می‌دهند که فریت کبالت از کلوخه‌هایی تشکیل شده که از به هم پیوستن و جوش خوردن بلورک‌هایی با اندازه‌های نانومتری (۵۰ نانومتر) به وجود آمده‌اند. برای نمونه‌های کامپوزیتی هم، ذرات فریت کبالت روی صفحات اکسید گرافن احیاشده توزیع شده‌اند چنین توزیعی از ذرات ریز و کروی شکل، ناشی از وجود صفحات گرافن است.
۳. نتایج آزمون مغناطش‌سنج نمونه ارتعاشی میزان مغناطش اشباع CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> و کامپوزیت حاوی ۵ و ۱۰ درصد اکسید

میزان تلفات انعکاسی در بسامد ۹٫۸ GHz به ۲۱٫۵ dB- رسیده (میزان جذب موج ورودی = ۹۹٫۵ درصد) که نشان‌دهنده تأثیر شگرف گرافن بر روی خواص جذب است.

$$\text{Absorption\%} = 1 - 10^{\left(\frac{-|RL|}{10}\right)} \quad (2)$$

نمونه‌های S2 و S3 به‌دلیل میرایی امواج الکترومغناطیس و انطباق امپدانس بین کامپوزیت و هوا، که نقش کلیدی را در این بین ایفا می‌کنند، عملکرد بهتری نسبت به نمونه S1 در جذب امواج ماکروویو دارد. از طرفی ساختار لایه-لایه، نقص‌ها و گروه‌های عاملی باقی‌مانده به‌عنوان منابعی برای پلاریزاسیون و پراکندگی امواج در نمونه‌های کامپوزیتی می‌تواند منجر به انعکاس‌های چندگانه<sup>۴</sup> شود که خود دلیل دیگری بر افزایش توانایی جذب امواج ماکروویو در نمونه کامپوزیتی است. همچنین با ورود موج الکترومغناطیس به داخل کامپوزیت رزونانس طبیعی در ماده رخ می‌دهد؛ به‌طوری که این پدیده سازوکار اصلی تلفات مغناطیسی در بسامدهای بالا است و می‌تواند ناشی از اثر ریز بودن ذرات و حضور صفحات اکسید گرافن احیا شده باشد [۵]. از طرف دیگر زمانی که موج الکترومغناطیس وارد کامپوزیت می‌شود، حرکت جهت‌دار حامل‌های بار در اکسید گرافن احیا شده یک جریان پراکنده تشکیل می‌دهد که منجر به رهایش دی‌الکتریک و پلاریزاسیون در فصل مشترک می‌شود؛ بنابراین انرژی الکترومغناطیسی در اثر

جذب موج ورودی امواج نیز از ۴۱ درصد برای نمونه فریتی به ۹۹/۵ درصد برای نمونه حاوی ۱۰ درصد اکسید گرافن احیاشده رسیده است.

### تشکر و قدردانی

با تشکر از خانم دکتر مهشید چیره که در تمامی مراحل با نویسنده این مقاله، آقای سید علی حسینی مرادی همکاری کردند.

گرافن احیاشده را به ترتیب  $71/6 \text{ emu/g}$ ، ۵۶ و ۳۷ نشان داد. این کاهش خواص را می توان به حضور گرافن به عنوان یک فاز غیرمغناطیسی که باعث افت مغناطش اشباع می شود، مربوط است.

۴. نتایج حاصل از تحلیل گر شبکه برداری نشان داد که حداکثر تلفات انعکاسی در نوار ایکس در اثر برخورد امواج ماکروویو به فریت کبالت ۳/۵ dB- بوده که با افزودن ۱۰ درصد اکسید گرافن احیاشده به مقدار ۲۱/۵ dB- رسیده همچنین میزان

### واژه نامه

1. electromagnetic waves
2. Oven International Center for Diffraction Data
3. X ray diffraction pattern,
4. International Center for Diffraction Data
5. multiples reflections

### مراجع

1. Shin, J. Y., & Oh, J. H., "The Microwave Absorbing Phenomena of Ferrite Microwave Absorbers," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 29, no. 6, pp. 3437-3439, 1993.
2. Goldman, A. Modern ferrite technology. *Springer Science and Business Media*. 2006
3. Pardavi-Horvath, "Microwave Applications of Soft Ferrites," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 215, pp. 171-183, 2000.
4. Amiri, S., and Shokrollahi, H., "The role of Cobalt Ferrite Magnetic Nanoparticles in Medical science," *Materials Science and Engineering: C*, vol. 33, no. 1, pp. 1-8, 2013.
5. Meng, F., Wang, H., Huang, F., Guo, Y., Wang, Z., Hui, D., & Zhou, Z., "Graphene-based Microwave Absorbing Composites: A review and prospective," *Composites Part B: Engineering*, vol. 137, pp. 260-277, 2018.
6. Ren, F., Zhu, G., Ren, P., Wang, K., Cui, X., and Yan, X., "Cyanate ester Resin filled with Graphene nanosheets and  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ -reduced Graphene oxide nanohybrids as a Microwave Absorber," *Applied Surface Science*, vol. 351, pp. 40-47, 2015.
7. Li, X., Feng, J., Zhu, H., Qu, C., Bai, J., and Zheng, X., "Sandwich-like Graphene Nanosheets decorated with Superparamagnetic  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanocrystals and their application as an enhanced Electromagnetic Wave absorber," *RSC advances*, vol. 4, no. 63, pp. 33619-33625, 2014.
8. Fu, Y., Chen, Q., He, M., Wan, Y., Sun, X., Xia, H., and Wang, X., "Copper Ferrite-Graphene hybrid: a Multifunctional Heteroarchitecture for Photocatalysis and Energy storage," *Industrial and engineering chemistry research*, vol. 51, no. 36, pp. 11700-11709, 2012.
9. Rashidi, S., and Ataie, A., "One-step Synthesis of  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  Nano-particles by Mechanical alloying," *Advanced Materials Research*, vol. 829: Trans Tech Publ, pp. 747-751, 2014.
10. Hutamaningtyas, E., A. T. Wijayanta, and B. Purnama. "FTIR and structural properties of co-precipitated cobalt ferrite nano particles." *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 776, no. 1, p. 012023. IOP Publishing, 2016.
11. Sumalatha, M., S. Shravan kumar Reddy, M. Sreenath Reddy, Suresh Sripada, M. Manivel Raja, Ch Gopal Reddy, P. Yadagiri Reddy, and V. Raghavendra Reddy. "Raman and in-field 57Fe Mössbauer study of cation distribution in Ga substituted cobalt ferrite ( $\text{CoFe}_{2-x}\text{Ga}_x\text{O}_4$ )." *Journal of Alloys and Compounds* vol. 837, pp. 1-8, 2020.
12. Han, W., McCreary, K. M., Pi, K., Wang, W. H., Li, Y., Wen, H., & Kawakami, R. K. "Spin Transport and Relaxation in Graphene," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 324, no. 4, pp. 369-381, 2012.
13. Hong, J., Bekyarova, E., de Heer, W. A., Haddon, R. C., & Khizroev, S., "Chemically Engineered Graphene-based 2D Organic Molecular Magnet," *ACS nano*, vol. 7, no. 11, pp. 10011-10022, 2013.
14. Ateia, Ebtesam E., M. K. Abdelamksoud, M. M. Arman, Rania Ramadan, and Amira S. Shafaay. "Optimizing the physical properties of cobalt/graphene nanocomposites for technological

- applications." *Applied Physics A*, vol. 125, no. 8. Pp. 1-8, 2019.
15. B Aslibeiki G Hassanzadeh, "Study of the effect of particle size on the specific absorption rate of cobalt ferrite nanoparticles in a radio frequency magnetic field." *Iranian Journal of Physics Research*, vol 19, no 2, pp. 303-317, 2019.
16. Liu, B. H., and J. Ding. "Strain-induced high coercivity in  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  powders." *Applied physics letters*, vol. 88, no. 66. pp, 1-4, 2006
17. Sun, X., He, J., Li, G., Tang, J., Wang, T., Guo, Y., & Xue, H., "Laminated Magnetic Graphene with enhanced Electromagnetic wave Absorption properties," *Journal of Materials Chemistry C*, vol. 1, no. 4, pp. 765-777, 2013.

# SYNTHESIS AND STRUCTURAL, MAGNETIC, AND ELECTROMAGNETIC CHARACTERIZATION OF COBALT FERRITE / REDUCED GRAPHENE OXIDE COMPOSITE

N. Ghobadi, S. A. Hosseini Moradi\* and M. Amirzade

Department of Physics, Malayer University, Malayer, Iran

(Received: 26 September 2021; Accepted: 27 February 2022)

## ABSTRACT

In this research, cobalt ferrite powders ( $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ) and cobalt ferrite/reduced graphene oxide composite ( $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{RGO}$ ) were synthesized by the co-precipitation method. The phase structure, morphology, magnetic properties, and microwave absorption properties of the produced samples were investigated through various techniques. X-ray diffraction test indicated the successful formation of pure  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  and its composites with RGO. According to the Scanning electron microscopy (SEM) images, most pure and composite samples' particles were formed in a semi-spherical shape. The VNA test results showed the saturation magnetization of  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  and the composite containing 5 wt.% and 10 wt.% of RGO, 71.6, 56, and 37 emu/g, respectively. Also, the network analyzer results demonstrated the maximum reflective losses in the X-band range due to the impact of microwaves on  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  te was -5.5 db. This amount reached 21.5 dB with the addition of 10 wt.% RGO. Also, the wave input increased from 41% for the pure  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  to 99.5% for the sample containing 10 wt.% RGO.

**Keywords:** Cobalt ferrite, Reduced graphene oxide, Composite, Reflective losses

## 1- INTRODUCTION

To date, the expeditious enhancement of the technology has been led to the extensively utilizing of electronic communication devices. Even though the considerable advantages had brought by technology facilities, it also hampers human life and takes severe tolls and their health, to some extent, difficulties like electromagnetic (EM) radiations pollution [1-3]. A great deal of study has been done in order to overcome these problems. In this framework, producing the materials with EM waves' absorbing properties seems a great strategy. On the other hand, Graphene and its related materials, having unique properties, show higher wave absorption properties combined with magnetic spinel ferrites besides the low cost and light-weighting [4,5]. In a study by Wren et al. [6], cobalt ferrite composite was synthesized with RGO using nitrate precursors by hydrothermal method. They also used a cyanate ester resin substrate to investigate the microwave absorption properties in the X band (8-2.12-2.4 GHz). The highest reflective

losses in thickness of 1.25 mm and the frequency of 11.8 GHz reached -21.8 dB. In another study by Lee et al. [7], the composite structure of cobalt ferrite with RGO was formed by polyol method using chloride precursors and its electromagnetic wave absorption properties were investigated. In this study, the results showed that the maximum reflective losses in the X band due to the impact of microwaves on cobalt ferrite was -5.5 dB. This amount reached -21.5 dB with addition of 10 wt.% reached graphene oxide. The wave input also increased from 41% for the ferrite sample to 99.5% for the sample containing 10 wt.% regenerated graphene oxide

## 2- MATERIALS AND METHODS

In this study, iron chloride and cobalt chloride were used as sources of iron and cobalt ions and sodium hydroxide as a reducing agent according to the Table 1. Cobalt ferrite nanoparticles were synthesized by the co-precipitation method at 80 °C under different conditions. The composite was synthesized by RGO. Phase composition analysis of the synthesized powder was performed using

\*: physicplasma2011@gmail.com

**Table 1. Specifications of raw materials used in this research.**

Manufacturer	Purity (%)	Molecular weight	Precursor
Merck	99	270.3	FeCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O
Merck	98	237.9	CoCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O
Merck	98	40	NaOH
Pishgaman Nanomaterials Company of Iran	99	-	GO

X-ray diffraction device (XRD, Philips PW-3170) in the range of 10-100 degrees using CuK $\alpha$  radiation with a wavelength of 1.54 angstroms. In order to investigate the amount of microwave absorption in the X band (8-12 GHz), the Agilent 8510C Vector Network Analyzer (VNA) of Imam Hossein University was used. To perform Raman spectroscopy, FIRSTGUARD-RIGAKU device located in the laboratory of Taban Insurance Company was used. Field scanning electron microscope model Hitachi S4160, chemical analysis, and energy separation type metering were used to study the microstructure, particle size, and morphology of powder.

### 3- RESULTS AND DISCUSSION

#### 3-1- Phase composition analysis

Figure 1 shows the XRD patterns for S1, S2, and S3 samples. The pattern of S1 showed that single-phase cobalt ferrite was completely formed without any impurities. The peak essentially represented the RGO, which had a graphite-like structure [8]. This peak was sharpened by increasing the percentage of GO from 5 wt.% to 10 wt.%.

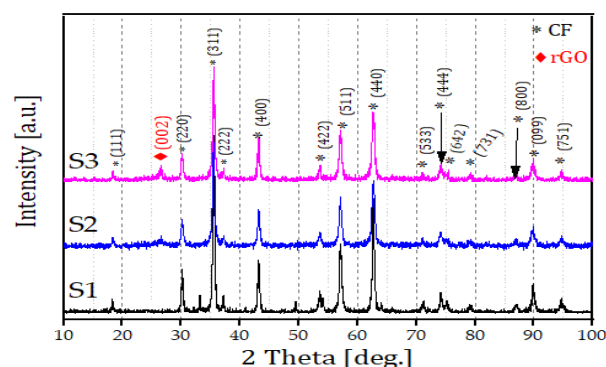
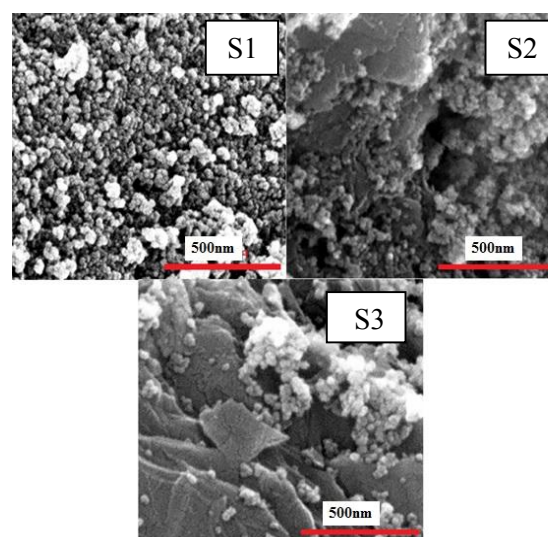
#### 3-2- Morphological studies

Figure 2 shows the FESEM images of S1, S2, and S3 samples. As can be seen, the S1 specimen was composed of agglomerates formed by the fusion of nanometer-sized particles [9].

Also, the average particle size was obtained to be 50 nm. According to the images of S2 and S3 samples, cobalt ferrite particles were distributed on RGO plates. Such a distribution of fine and spherical particles is due to the presence of graphene plates as these plates prevent the overgrowth of cobalt ferrite nanoparticles.

#### 3-3- Investigation of magnetic properties of products

The residual magnetic loops and the magnetic

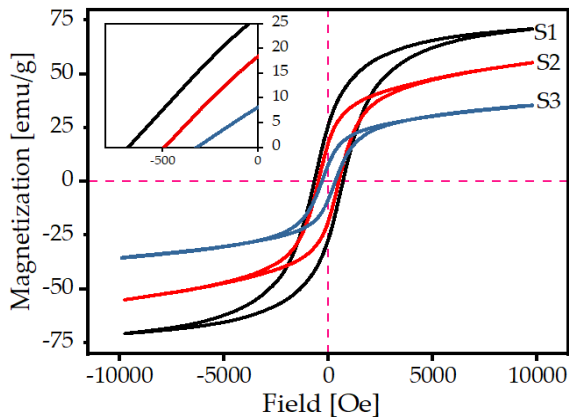
**Figure 1. XRD patterns of S1, S2, and S3 samples****Figure 2. FESEM images of S1, S2, and S3 samples**

properties of the samples are shown in Figure 3 and Table 2, respectively. As can be seen, the saturation magnetization for sample S1 was equivalent to 71 emu/g and less than that of cobalt ferrite in the bulk state (about 80 emu/g) [9].

Figure 1 shows that the composite has been successfully synthesized in the presence of the reduced graphene oxide. FESEM images showed that cobalt ferrite was composed of agglomerates formed by the fusion of nanometer-sized particles (50 nm). For composite samples, cobalt ferrite particles were also distributed on RGO plates. Such a distribution of fine, spherical particles was due to the presence of graphene plates. The results of the magnetometer test of the vibrating sample showed the saturation magnetization of CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> and the composite containing 5 wt.% and 10 wt.% of the reduced graphene oxide, 71.6, 56, and 37 emu/g, respectively. This decrease in values can be related to the presence of graphene as a non-magnetic phase that caused a decrease in

**Table 2. Magnetic properties of all samples.**

$M_r$ (emu/g)	$M_s$ (emu/g)	$H_c$ (Oe)	Sample
28	71	689	S1
18	56	500	S2
8	37	372	S3

**Figure 3. Magnetic waste rings of samples.****Table 3. Atomic percentage of elements in sample S3.**

Atomic percentage of elements in the composite (at. %)			Element
chemical mixture	Point 2	Point 1	
14.3	12.9	13.5	Co
28.6	21.6	26.5	Fe
57.1	37.2	36.5	O

saturation magnetization. Finally, the results of the network analyzer showed that the maximum reflective losses in the X band due to the impact of microwave on cobalt ferrite was -5.5 dB, which was reduced to 21.5-dB by adding 10 wt.% reduced graphene oxide. The wave input also increased from 41% for the ferrite sample to 99.5% for the sample containing 10 wt.% reduced graphene oxide. the percentage of elements has been calculated according to the chemical composition of cobalt ferrite According to Table 3.

## ACKNOWLEDGMENTS

Thanks to Dr. Mahshid Chireh for his cooperation in all stages of this research.

## CONFLICT OF INTERESTS

I, Seyyed Ali Hosseini Moradi, fully commit

myself to the ethics of publishing, including moral violations, misconduct, data forgery or duplication, and there is no commercial avoidance or usefulness in this regard.

## Reference

- Pardavi-Horvath, "Microwave Applications of Soft Ferrites," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 215, pp. 171-183, 2000.
- Amiri, S., and Shokrollahi, H., "The role of Cobalt Ferrite Magnetic Nanoparticles in Medical science," *Materials Science and Engineering: C*, vol. 33, no. 1, pp. 1-8, 2013.
- Meng, F., Wang, H., Huang, F., Guo, Y., Wang, Z., Hui, D., & Zhou, Z., "Graphene-based Microwave Absorbing Composites: A review and prospective," *Composites Part B: Engineering*, vol. 137, pp. 260-277, 2018.
- Ren, F., Zhu, G., Ren, P., Wang, K., Cui, X., and Yan, X., "Cyanate ester Resin filled with Graphene nanosheets and  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ -reduced Graphene oxide nanohybrids as a Microwave Absorber," *Applied Surface Science*, vol. 351, pp. 40-47, 2015.
- Li, X., Feng, J., Zhu, H., Qu, C., Bai, J., and Zheng, X., "Sandwich-like Graphene Nanosheets decorated with Superparamagnetic  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanocrystals and their application as an enhanced Electromagnetic Wave absorber," *RSC advances*, vol. 4, no. 63, pp. 33619-33625, 2014.
- Fu, Y., Chen, Q., He, M., Wan, Y., Sun, X., Xia, H., and Wang, X., "Copper Ferrite-Graphene hybrid: a Multifunctional Heteroarchitecture for Photocatalysis and Energy storage," *Industrial and engineering chemistry research*, vol. 51, no. 36, pp. 11700-11709, 2012.
- Rashidi, S., and Ataie, A., "One-step Synthesis of  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  Nano-particles by Mechanical alloying," *Advanced Materials Research*, vol. 829: Trans Tech Publ, pp. 747-751, 2014.
- Han, W., McCreary, K. M., Pi, K., Wang, W. H., Li, Y., Wen, H., & Kawakami, R. K. "Spin Transport and Relaxation in Graphene," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 324, no. 4, pp. 369-381, 2012.