فصلنامه‌ی علمی پژوهشی

علم و مهندسی سرامیک

دوره‌ی ۵، شماره‌ی ۱، بهار ۱۳۹۵

بررسی اثر سورفکتانت‌های پلی‌اتیلن گلایکول و پلی‌متیل متااکریلات بر خواص فیزیکی و جذب راداری (باندهای X و Ku) پودر هگزافریت باریم سنتز شده به روش سل–ژل احتراقی

آرزو افضلی[۱]، وحید متقی‌طلب*[۱]، سید سلمان سید افقهی[۲]، مجتبی جعفریان[۳]

[۱] گروه مهندسی نساجی، دانشگاه گیلان، دانشکده فنی مهندسی، رشت

[۲] گروه مهندسی مواد، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، دانشکده فنی مهندسی، تهران

[۳] دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، تهران

* motaghitalab@yahoo.com

اطلاعات مقاله:

دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۸

پذیرش: ۱۳۹۵/۸/۱۸

کلید واژه:

هگزافریت باریم، سل–ژل احتراقی، پلی اتیلن گلیکول، پلی متیل متااکریلات

چکیده:

در این پژوهش اثر سورفکتانت‌های پلی‌اتیلن گلیکول و پلی‌متیل متااکریلات بر خواص فیزیکی و جذب راداری هگزافریت باریم تهیه شده به روش سل–ژل احتراقی بررسی شد. به منظور بررسی‌های فازی، موفولوژی و خواص مغناطیسی محصول نهایی به ترتیب از آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و مغناطیس‌سنج نمونه مرتعش (VSM) استفاده شد. همچنین پارامترهای الکترومغناطیسی نمونه‌های سنتز شده با استفاده از دستگاه تجزیه و تحلیل شبکه بردار (VNA) در محدوده راداری باند X و Ku مورد ارزیابی قرار گرفت. طبق نتایج حضور پلی‌اتیلن گلیکول به عنوان سورفکتانت در میزان خلوص فاز نهایی تاثیر بسزایی داشت. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان دهنده ذراتی با مورفولوژی هگزاگونال برای تمامی نمونه‌های تهیه شده بود. طبق بررسی‌های مغناطیسی بیشترین مقدار مغناطش اشباع (۵۶ emu/g) و نیروی وادارندگی (۵۲۴۰Oe) برای نمونه سنتز شده با استفاده از ۱ گرم پلی‌اتیلن گلیکون حاصل شد. نمونه پلی‌اتیلن گلیکول در باند X در فرکانس‌های ۱۰/۶ و ۱۱/۵ GHz بیشترین میزان تلفات انعکاس برابر ۱/۵ dB– و ۱/۸ dB– می باشد که پهنای جذبی پلی‌اتیلن گلیکول نسبت به دو نمونه دیگر مناسب‌تر بوده است و در باند Ku بیشترین میزان جذب مربوط به نمونه پلی‌متیل متااکریلات می‌باشد که در فرکانس ۱۷/۱ GHz به میزان ۲/۲ dB– جذب داشته است. بنابراین نتایج جذب حاکی از افزایش پهنای باند جذبی در صورت استفاده از هر دو سورفکتانت در باندهای X و Ku بوده است.

۱- مقدمه

تداخل امواج الکترومغناطیس با توجه به رشد گسترده استفاده از دستگاه‌های الکتریکی و الکترونیکی در کاربردهای صنعتی، تجاری و نظامی در فرکانس‌های کاری بالا، به یک مشکل جدی تبدیل شده است [۱–۴]. به منظور

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.1.6.6]

کاهش تداخل امواج الکترومغناطیس اصولا از مواد الکترومغناطیس که شامل پرکننده‌های مغناطیسی یا دی‌الکتریکی و پلیمرها می‌باشند استفاده می‌کنند. با توجه به انتقال محدوده کاری سیستم‌های الکترونیکی و ارتباطی به فرکانس‌های کاری بالاتر، تقاضاها برای فریت‌های اسپینلی با توجه به محدودیت‌های ذاتی این ترکیب‌ها که دارای رزونانس فرومغناطیسی طبیعی کمتر از ۱ GHz می‌باشند، کاهش یافت [۵-۱۰]. پیشرفت تکنولوژی منجر به جایگزینی هگزافریت‌ها با فریت‌های اسپینلی به منظور کاربرد به عنوان جاذب‌های امواج الکترومغناطیس در محدوده فرکانسی گیگاهرتز شد. به‌واسطه افزایش نیازها به بهره‌برداری از امواج الکترومغناطیس در سیستم‌های مخابراتی بی‌سیم و کاهش علائم راداری به عنوان مثال در تکنولوژی اختفا، تحقیقات در زمینه مواد جاذب مایکروویو کاربردی در محدوده فرکانس‌های بالاتر با گسترش چشمگیری مواجه شد [۱۱-۱۴].

در چند دهه اخیر در بین مواد مغناطیسی هگزافریت باریم با دارا بودن خواص منحصربفردی همچون مغناطش اشباع و ناهمسانگردی مغناطیسی-بلوری بالا، پایداری شیمیایی عالی و دمای کوری بالا نقش اصلی را در خانواده مغناطیس‌های دائم ایفا نموده است [۱۴-۱۷].

به‌منظور تهیه ذرات بسیار ریز هگزافریت باریم با همگنی بالا و اجتناب از فرایند آسیاکاری، از روش‌های شیمیایی همچون: هم‌رسوبی، هیدروترمال، میکروامولسیون، سل-ژل وغیره استفاده شده است. ویژگی‌های مهم این روش‌ها مخلوط کردن مواد اولیه یونی می‌باشد به طوریکه تبلور بعدی می‌تواند در دمای نسبتا پایین رخ دهد و این امر نیز به نوبه خود باعث تولید ذرات با اندازه کوچک‌تر می‌شود. فرآیند سل-ژل یک روش پیشرفته و نوین جهت سنتز پودرها در مقیاس نانو است که در چند سال اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. توانمندی فوق العاده این روش باعث توجه روز افزون به این فرآیند شده است. از ویژگی‌های روش سل-ژل احتراقی می‌توان به نه تنها تولید پودرهایی بسیار ریز (تک دامنه) با خلوص بالا و همگن بلکه تولید ذرات با ریزساختاری متفاوت در دمایی پایین‌تر از سایر روش‌ها اشاره نمود. اصولا خواص نهایی هگزافریت باریم به شدت تحت تاثیر روش سنتز این ماده است [۱۸-۲۰].

در این پژوهش، روش مقرون به صرفه و آسان سل-ژل احتراقی به منظور سنتز این ترکیب با سورفکتانت‌های پلی‌اتیلن گلایکول (PEG) و پلی‌متیل متااکریلات (PMMA) استفاده شد و خواص جذبی ترکیب‌های مورد نظر در دو باند فرکانسی X و ku مورد بررسی قرار گرفت. طبق بررسی‌های صورت گرفته تاکنون مقایسه‌ای بین حالت‌های مختلف سنتز این ترکیب با دو سورفکتانت ذکر شده صورت نگرفته است؛ بنابراین هدف اصلی این مطالعه، سنتز این ترکیب به روش سل-ژل احتراقی و در نهایت مقایسه خواص ساختاری، مغناطیسی و جذب محصول ناشی از این دو سورفکتانت می‌باشد.

۲- فعالیت‌های تجربی

۲-۱- مواد اولیه

برای تولید نانوذرات هگزافریت باریم، نیترات باریم ($Ba(NO_3)_2$) و نیترات آهن ۹ آبه ($Fe(NO_3)_3.9H_2O$)، اسید سیتریک ($C_6H_8O_7$)، محلول آمونیاک (NH_4OH)،

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.1.6.6]

پلی‌اتیلن گلایکول ($C_{2n}H_{4n+2}O_{n+1}$) و پلی‌متیل متاکریلات ($(C_5O_2H_8)_n$) از شرکت مرک تهیه شد.

جدول ۱- مواد اولیه مصرفی جهت سنتز هگزافریت باریم.

مواد اولیه مصرفی	شرکت سازنده	خلوص (٪)
نیترات باریم	Merck	۹۹/۹
نیترات آهن ۹ آبه	Merck	۹۹/۹
اسید سیتریک	Merck	۹۹/۹
محلول آمونیاک	Merck	۹۹/۹
پلی‌اتیلن گلایکول	Merck	۹۹/۹
پلی متیل متاکریلات	Merck	۹۹/۹

۲-۲- سنتز نانوذرات هگزافریت باریم

در این پژوهش هگزافریت باریم خالص ($BaFe_{12}O_{19}$) با و بدون سورفکتانت به روش سل-ژل احتراقی سنتز شد. محلول‌های آبی نمک‌های فلزی با توجه به نسبت استوکیومتری جهت تولید هگزافریت باریم به صورت جداگانه تهیه و سپس در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد توسط همزن مغناطیسی به یکدیگر اضافه شدند. سپس اسید سیتریک به سوسپانسیون حاصل اضافه شد به‌طوری‌که نسبت مولار مجموع نمک‌های فلزی و اسید سیتریک برابر مقدار ۱:۱ ثابت در نظر گرفته شده بود. سپس از سورفکتانت‌های پلی‌اتیلن گلیکول (PEG) و پلی‌متیل متااکریلات (PMMA) به مقدار ۱ گرم در سل تشکیل شده استفاده شد. در نهایت pH محلول با استفاده از محلول آمونیاک به مقدار ۷ تنظیم شد. جهت تغلیظ محلول، دما به ۸۰ °C رسانده شد و به مدت ۱۲ ساعت تحت همزدن قرار داده شد. با حرارت بیشتر محلول تا دمای ۱۰۰ °C و به مدت یک ساعت، باقیمانده حلال تبخیر شده و تبدیل به زیروژل شد. برای تکمیل خشک شدن و حذف حلال آلی، زیروژل به مدت دو ساعت و در دمای ۲۰۰ °C در آون قرار داده شد. سپس پودر حاصله در دمای ۴۰۰ °C کلسینه سپس در کوره و در دمای ۱۱۰۰ °C با نرخ ۵ °C/min سینتر شد که در نهایت پودر سیاه رنگ هگزافریت باریم بدست آمد.

۲-۳- بررسی خواص پودر مغناطیسی

به منظور بررسی فازی پودرهای سنتز شده از دستگاه پراش اشعه ایکس مدل XMD 300 که منبع X-ray مورد استفاده در آن تفنگ نشر کننده CuK_α بود استفاده شد و انجام عملیات پراش در محدوده ۷۰-۱۰ درجه صورت گرفت. جهت بررسی مورفولوژی پودر از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FE-SEM) مدل Hitachi S4160 Cold Field Emission استفاده شد. به‌منظور بررسی ویژگی‌های مغناطیسی نمونه‌های سنتز شده از دستگاه مغناطیس‌سنج نمونه مرتعش VSM 7400 استفاده شد. میزان جذب امواج مایکروویو در محدوده باندهای X (۱۲/۴-۸ GHz) و ku (۱۸-۱۲/۴ GHz)، پس از آماده‌سازی نمونه‌ها به ترتیب در ابعاد ۵×۱۰×۲۵ mm و ۵×۷×۱۵ mm به‌گونه‌ای که به میزان ۲۰٪ پودر در زمینه پارافین به‌طور کامل پخش شده بود، از دستگاه 8510C Agilent Vector Network Analyzer (VNA) استفاده شد. جدول ۲ نشان دهنده کدهای مربوط به نمونه‌های سنتز شده می‌باشد.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.1.6.6]

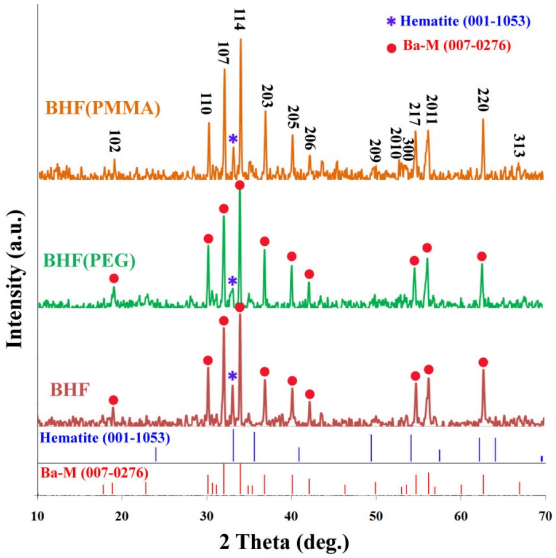
جدول ۲- کدهای مربوط به نمونه‌های سنتز شده.

کد نمونه	پلی متیل متااکریلات (g)	پلی‌اتیلن گلیکول (g)	دما (°C)
BHF	-	-	۱۱۰۰
BHF(PEG)	-	۱	۱۱۰۰
BHF(PMMA)	۱	-	۱۱۰۰

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی فازی (XRD)

به منظور تعیین میزان خلوص نمونه‌های تهیه شده از آنالیز پراش اشعه ایکس استفاده شد. الگوهای پراش نمونه‌های تهیه شده با و بدون سورفکتانت در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱- الگوهای XRD نمونه‌های سنتز شده با و بدون سورفکتانت.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود تمامی نمونه‌ها بعد از کلسیناسیون در دمای ۴۰۰ °C در دمای ۱۱۰۰ °C سینتر شده و دارای فاز غالب هگزافریت باریم با ساختار مگنتوپلمبیت و به مقدار جزئی فاز هماتیت می‌باشند که به‌عنوان فاز ثانویه و ناخالصی محسوب می‌شود. طبق نتایج با توجه به شدت پیک فاز هماتیت، میزان این فاز در نمونه تهیه شده در حضور PEG نسبت به نمونه خالص و نمونه تهیه شده در حضور PMMA کمتر می‌باشد که نشان‌دهنده تاثیر مثبت استفاده از این سورفکتانت در تولید محصول نهایی می‌باشد. این امکان وجود دارد که در صورت استفاده از PEG در سل، فرآیند پلیمریزاسیون به شکل مناسب‌تری انجام شده و در نتیجه یون‌های فلزی به صورت همگن‌تری در سل توزیع شده‌اند که منجر به اندرکنش مناسب‌تر بین آن‌ها و تشکیل محصولات جانبی کمتر در فرآیند احتراق می‌شود.

گزارشات زیادی وجود دارد که PEG بعنوان هدایت کننده عامل ساختاری[1] استفاده شده است. PEG یک ماده ارزان، محلول، زیست تخریب پذیر، دمای تخریب پذیری و دیسپرسیون عالی می‌باشد که به عنوان یک واسطه واکنش بوده و با مولکول‌های هیدروفوب کوپل می‌شود تا یک سورفکتانت غیر یونی تولید کند.PEG دارای گروه‌های عاملی OH و COOH بوده که می‌تواند با گروه‌های هیدروکسیل آزاد سطح ذرات توسط پیوند هیدروژنی واکنش انجام دهد و پیش ماده‌های کربوکسیلات دار به‌راحتی در PEG دسپرس می‌شوند. در تحقیقات انجام شده از PEG به‌منظور کنترل رشد نانو ذرات در روش هم‌رسوبی استفاده شده است اما در روش سل و به‌منظور تهیه نانو ذرات باریم ذرات با اندازه کنترل شده و در سایز نانو تشکیل می‌شوند. فاز هماتیت با الگوی پراش اشعه ایکس کارت استاندارد به

[1] Sructure Directing Agent

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.1.6.6]

شماره ۱۰۵۳-۰۰۱ با گروه فضایی R-3c و با ساختار کریستالی رومبوهدرال مطابقت داده شد. همچنین فاز هگزافریت باریم با کارت استاندارد به شماره ۰۲۷۶-۰۰۷ و ساختار کریستالی هگزاگونال کاملا مطابقت دارد.

بر خلاف روش‌های مرسوم سنتز مواد همچون روش حالت جامد که در آن‌ها فواصل نفوذ زیاد می‌باشد در فرآیند سل-ژل، مخلوط کاتیوهای فلزی مختلف در سطح اتمی رخ داده و که در نتیجه این امر منجر به کاهش فواصل نفوذ برای کاتیون‌های مختلف می‌شود. در این روش پارامترهای مختلفی همچون دمای کلسیناسیون، نسبت مولار آهن/باریم و میزان pH محلول تاثیر به سزایی در تشکیل فاز هگزافریت باریم ایفا می‌نمایند [۱۴].

۳-۲- بررسی ریزساختاری

شکل ۲ نشان دهنده تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه‌های BHF، BHF(PEG) و BHF(PMMA) می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در تمامی حالات بیش از ۹۰٪ ذرات دارای مورفولوژی چندوجهی هگزاگونال با رئوس کاملا مشخص ذرات و دارای توزیع نسبتا باریکی در اندازه ذرات می‌باشند. خاصیت مغناطیسی ترکیب هگزافریت باریم در جذب امواج الکترومغناطیس نه تنها به ترکیب شیمیایی فریت بلکه به ریزساختار پودر حاصل شامل اندازه ذرات نیز بستگی دارد [۱۹-۲۰].

۳-۳- بررسی خواص مغناطیسی

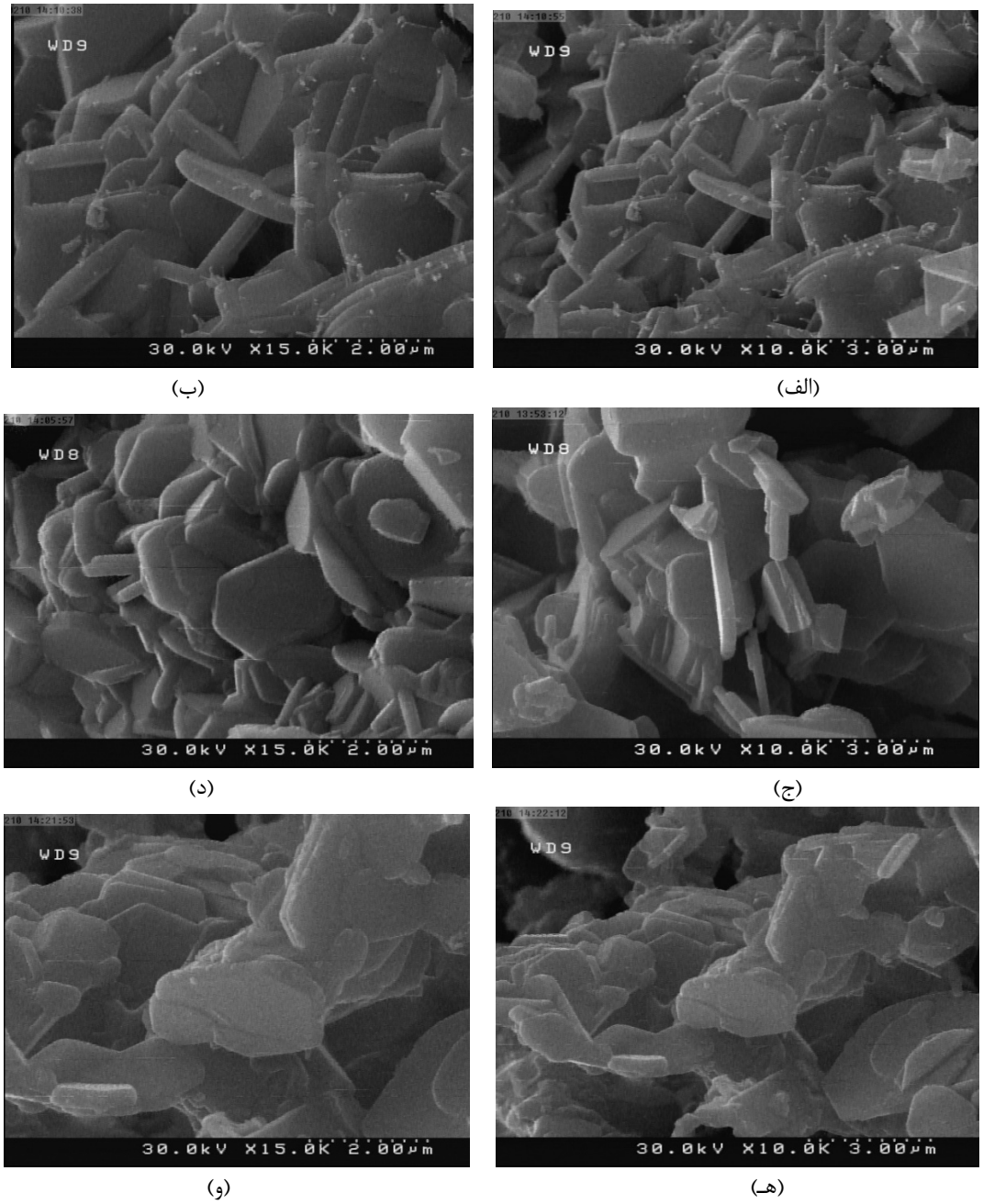
به منظور بررسی خواص مغناطیسی نمونه‌های دوپ شده از مغناطیس سنج نمونه مرتعش (VSM) استفاده شد. بر اساس فرمول ترکیب هگزافریت باریم که $BaFe_{12}O_{19}$ می‌باشد با تاکید بر آرایش اسپین $Ba[Fe_2\downarrow]_{4f_2}[Fe_6\uparrow]_{12k}[Fe\uparrow]_{2a}(Fe_2\downarrow)_{4f_1}\{Fe\uparrow\}_{2b}O_{19}$ می‌توان گشتاور مغناطیسی موثر را محاسبه نمود که با توجه به میزان گشتاور مغناطیسی یون Fe^{+3} که برابر با $5\ \mu_B$ می‌باشد و با توجه به اینکه مکان‌هایی با اسپین پایین مانند $4f_1$ و $4f_2$ هر کدام بوسیله ۲ یون آهن اشغال می‌شوند، در حالیکه مکان‌هایی با اسپین بالا همانند 2a و 2b هر کدام توسط ۱ یون آهن اشغال می‌شوند و موقعیت 12k توسط ۶ یون آهن اشغال می‌شود، طبق محاسبات بالا برابر ۲۰ مگنتون بور محاسبه می‌شود

شکل ۳ نشان دهنده حلقه پسماند نمونه‌های‌هگزافریت باریم با و بدون سورفکتانت‌های PEG و PMMA سنتز شده در دمای ۱۱۰۰ °C می‌باشد. طبق نتایج نمونه‌ها دارای میدان پسماندزدای بالایی می‌باشند. مقادیر مغناطش (M_{max}) و میدان پسماندزدا (H_c) مربوط به نمونه‌های سنتز شده در جدول ۳ آورده شده است. میدان پسماندزدای بالای پودر خالص هگزافریت باریم به‌دلیل ناهمسانگردی قوی در راستای محور c می‌باشد. با توجه به مساحت زیاد حلقه پسماند، نمونه سنتز شده به‌عنوان یک ماده سخت مغناطیس می‌باشد. مقادیر مغناطش و میدان پسماندزدا نسبت به مقادیر تئوری برای تک کریستال هگزافریت باریم (M_s=72emu/g و H_c=6700 Oe) [۲۰] کمتر می‌باشد؛ اما به‌طور کلی با توجه به منحنی هیسترزیس مقدار مغناطش و میدان پسماندزدا در نمونه BHF کمتر از دو حالت دیگر است و علت آن حضور فاز میانی غیرمغناطیسی هماتیت در این نمونه می‌باشد. واکنش بین ذرات مغناطیسی و غیرمغناطیسی بر روی آنیزوتروپی مغناطیسی تاثیر گذاشته و بنابراین منجر به تغییر خواص مغناطیسی نمونه خواهد شد. این نتایج در توافق

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.1.6.6]

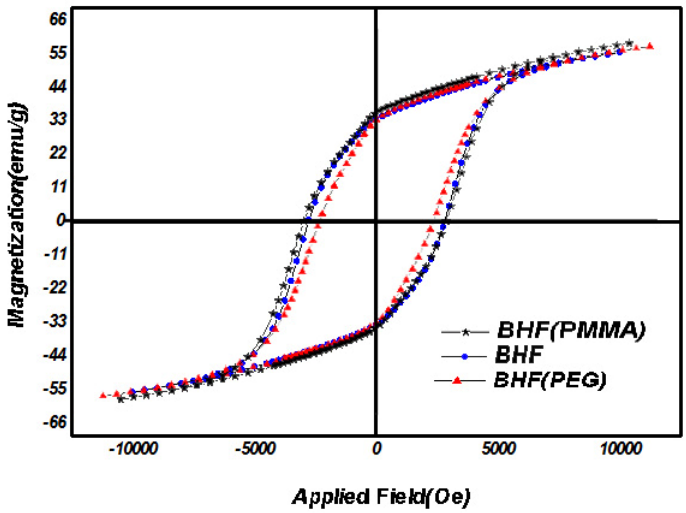
مناسب با نتایج گزارش شده توسط دیگر محققان می‌باشد [۱۹-۲۰]. همچنین مقادیر مغناطش اشباع در نمونه‌هایی با سورفکتانت‌های PEG و PMMA به دلیل کاهش مقدار هماتیت نسبت به نمونه‌های سنتز شده بدون سورفکتانت بیشتر می‌باشد که با نتایج XRD مطابقت دارد. از طرفی نسبت M_r/M_s در محدوده ۰/۶۲۵-۰/۶ برای تمامی نمونه‌ها به‌دست آمد که این مقادیر بسیار به مقدار تئوری برای جهت‌گیری تصادفی ذرات تک دامنه نزدیک می‌باشد.



شکل ۲- تصاویر حاصل از الکترون‌های ثانویه از نمونه‌های، الف، ب) BHF، ج، د) BHF(PEG) و هـ و BHF(PMMA).

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.1.6.6]



شکل ۳- حلقه پسماند نمونه‌های هگزافریت باریم سنتز شده با و بدون سورفکتانت.

جدول ۳- مقادیر مربوط به پارامترهای مغناطیسی نمونه‌های سنتز شده.

نمونه	M_s (emu/g)	H_c (Oe)	M_r (emu/g)	M_r/M_s
BHF	۴۵	۵۰۰۰	۲۸	۰/۶۲
BHF (PEG)	۵۶	۵۲۴۰	۳۵	۰/۶۲۵
BHF (PMMA)	۵۰	۵۲۴۰	۳۰	۰/۶

۳-۴- بررسی خواص جذب امواج مایکروویو در باندهای X و Ku

فریت باریم و ترکیبات جایگزین شده آن به‌دلیل داشتن ضریب تراوایی مغناطیسی بالا، فرکانس تشدید مغناطیسی و مغناطش بالا و خواص دی‌الکتریکی مناسب به‌عنوان جاذب‌های امواج مایکروویو در محدوده GHz مورد توجه قرار گرفته‌اند. برای کاهش بازتاب از جاذب‌ها باید امپدانس ذاتی جاذب با امپدانس موج در فضای آزاد برابر باشد که در نتیجه آن حالت تشدیدی صورت گرفته و بیشترین مقدار جذب در ماده نتیجه خواهد شد. در این حالت انرژی موج الکترومغناطیسی جذب شده توسط ماده از طریق اتلاف‌های مغناطیسی و دی‌الکتریکی به گرما تبدیل می‌شود. فرکانس رزونانس فرومغناطیسی هگزافریت باریم نوع M به‌واسطه آنیزوتروپی مغناطوکریستالین بالا در محدوده GHz ۶۰-۵۰ می‌باشد. هرچند خواص مغناطیسی نمونه‌ها مبین سخت بودن تمام نمونه‌های سنتز شده می‌باشد ولی تنها بر اساس آن نمی‌توان بر روی خواص جذب فریت‌ها قضاوت کرد، به‌ویژه اینکه هر کدام از جاذب‌های امواج الکترومغناطیس در یک محدوده خاص می‌توانند جذب خوبی از خود نشان دهند. بنابراین می‌بایست میزان جذب امواج الکترومغناطیس در فرکانس‌های مختلف توسط هر یک از کامپوزیت‌های مورد مطالعه اندازه‌گیری شود. میزان تلفات انعکاسی یک ماده جاذب امواج الکترومغناطیس تحت برخورد عمودی،

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-12]

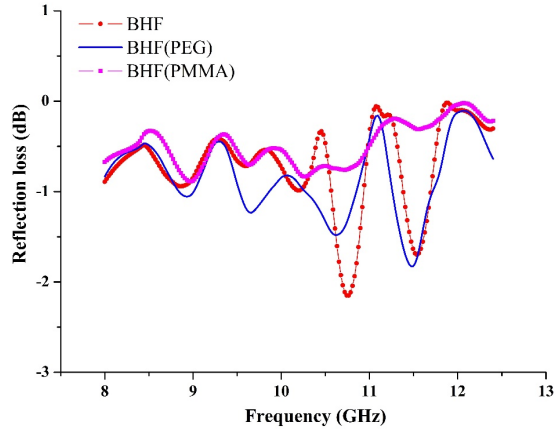
[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.1.6.6]

به‌صورت تک لایه و با پشتی فلزی با توجه به مقدار امپدانس ورودی آن طبق نظریه خطوط انتقال با فرمول زیر مشخص می‌شود [۲۰]:

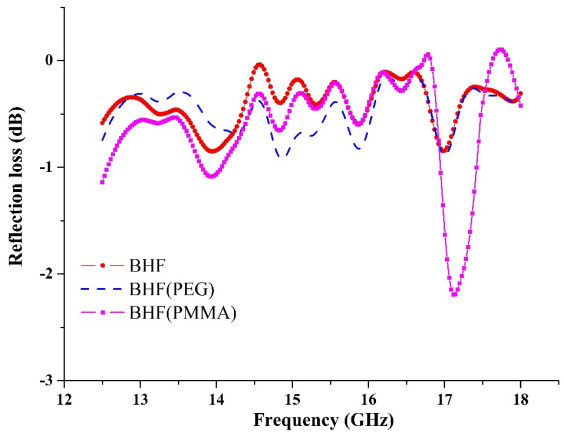
$$R(dB) = 20\log\left|\frac{Z_{in}-1}{Z_{in}+1}\right| \qquad (۱$$

$$Z_{in} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}}\tanh\left[j\left(\frac{2\pi}{c}\sqrt{\mu_r\varepsilon_r}\right)f.d\right] \qquad (۲$$

که در آن μ_r و ε_r به ترتیب نفوذپذیری مغناطیسی و گذردهی الکتریکی محیط جاذب، C سرعت نور در هوای آزاد، f فرکانس و d ضخامت لایه جاذب می‌باشد. در یک ماده جاذب ایده‌آل شرایط باید بگونه‌ای باشد که امپدانس ورودی برابر ۱ شود. شکل ۴ نشان دهنده میزان اتلاف امواج مایکروویو در محدوده فرکانسی باندهای X (۸–۱۲/۴ GHz) و Ku (۱۲/۴–۱۸ GHz) مربوط به نمونه‌های هگزافریت باریم خالص سنتز شده می‌باشد. آنچه که مشخص است وقوع جذبی پایین در تمامی نمونه‌ها است که یکی از علل وقوع این پدیده درصد پایین میزان پودر مغناطیسی در زمینه پارافینی است. آنچه که در دیگر پژوهش‌ها مورد مطالعه قرار گرفته استفاده از درصدهای بالای این ترکیب و پرس پودر مورد نظر با درصدهای بالا با چسب و بررسی خواص جذبی این ترکیب می‌باشد. طبق نتایج این احتمال وجود دارد که با توجه به وجود باند جذبی در نمونه‌های فوق در هر دو باند راداری با افزایش درصد پودر مغناطیسی در زمینه پارافینی میزان جذب تا حدود بسیاری افزایش پیدا نماید. در نمونه BHF در فرکانس‌های ۱۰/۸ و ۱۱/۶ GHz بیشترین میزان تلفات انعکاس به ترتیب برابر ۲/۲ dB– و ۱/۷ dB– حاصل شد. این در صورتی است که در نمونه BHF (PEG) در فرکانس‌های ۱۰/۶ و ۱۱/۵ GHz بیشترین میزان تلفات انعکاس برابر ۱/۵ dB– و ۱/۸ dB– حاصل شد. آنچه که مشخص است در باند X پهنای جذبی در نمونه BHF (PEG) نسبت به دو نمونه دیگر مناسب‌تر می‌باشد. در نمونه BHF (PMMA) نیز جذب مناسبی در باند X حاصل نشد؛ اما در باند Ku بیشترین میزان جذب مربوط به نمونه BHF (PMMA) می‌باشد که در فرکانس ۱۷/۱ GHz دارای جذبی به میزان ۲/۲ dB– بود. اصولا مکانیزم غالب جذب امواج الکترومغناطیس در نمونه‌های فریتی حرکت دیواره حوزه‌های مغناطیسی است.



الف



ب

شکل ۴- منحنی‌های تغییرات جذب نسبت به بسامد نمونه‌های سنتز شده در باندهای، الف) X و ب) Ku.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.1.6.6]

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش سنتز پودر هگزافریت باریم نوع M با و بدون سورفکتانت‌های پلی اتیلن گلایکول و پلی متیل متااکریلات به روش سل-ژل احتراقی با موفقیت انجام شد. برای تولید این ترکیب از دمای کلسیناسیون ۱۱۰۰ °C و مدت زمان کلسیناسیون ۱ h استفاده شد. طبق نتایج حضور فاز غالب هگزافریت باریم در تمامی نمونه‌ها به همراه مقدار جزئی فاز غیرمغناطیسی هماتیت تایید شد. طبق نتایج حضور PEG تاثیر مثبتی در کاهش میزان فاز هماتیت به‌واسطه اندرکنش مناسب‌تر بین اجزا بواسطه حضور PEG کمتر بود. طبق تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مورفولوژی ذرات هگزافریت باریم در تمامی حالات به صورت هگزاگونال و با اندازه‌ای در حدوده ۶۰۰ nm بودند. بررسی خواص مغناطیسی نمونه‌های تولیدی حاکی از رفتار سخت مغناطیسی در تمامی حالات و طبق نتایج جذب بواسطه میزان پایین پودر مغناطیسی در زمینه پارافینی جذب بسیار بالایی در هر دو باند راداری X و Ku حاصل نشد.

مراجع

[1] Chawla S. K., Mudsainiyan R. K., Meena S.S., Yusuf S.M., Sol-gel synthesis, structural and magnetic properties of nanoscale M-type barium hexaferrites $BaCoxZrxFe_{(12-2x)}O_{19}$, Journal of Magnetism and Magnetic Materials., 350, 23-29, 2014.

[2] Liu J., Liu P., Zhang X., Pan D., Zhang P., Zhang M., Synthesis and properties of single domain sphere-shaped barium hexa-ferrite nano-powders via an ultrasonic-assisted co-precipitation route, Ultrasonics Sonochemistry., 23, 46-52, 2015.

[3] Ali I., Islam M. U., Awan M. S., Ahmad M., Effects of Ga–Cr substitution on structural and magnetic properties of hexaferrite ($BaFe_{12}O_{19}$) synthesized by sol–gel auto-combustion route, Journal of Alloys and Compounds., 547, 118-125, 2013.

[4] Mozaffari M., Taher M. i, Amighian J., Preparation of barium hexaferrite nanopowders by the sol–gel method, using goethite, Journal of Magnetism and Magnetic Materials., 321, 1285-1289, 2009.

[5] Ahmad M., Grossinger R., Kriegisch M., Kubel F., Rana M.U., Magnetic and microwave attenuation behavior of Al-substituted Co_2W hexaferrites synthesized by sol-gel autocombustion process, Current Applied Physics., 12, 1413-1420, 2012.

[6] Lia W., Qiao X., Li M., Liu T., Peng H.X., La and Co substituted M-type barium ferrites processed by sol–gel combustion synthesis, Materials Research Bulletin., 48, 4449-4453, 2013.

[7] Sapoletov N.A., Kushnir S.E., Li Y.H., An S.Y., Seo J.W., Hur K.H., Plate-like $SrFe_{12}O_{19}$ particles prepared by modified sol–gel method, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 389, 101-105, (2015).

[8] Masoudpanah S. M., Seyyed Ebrahimi S. A., Synthesis and characterization of nanostructured strontium hexaferrite thin films by the sol–gel method, Journal of Magnetism and Magnetic Materials., 324, 2239-2244, 2012.

[9] Viet Nga T. T., Duong N. P., Hien T. D., Composition and magnetic studies of ultrafine Al-substituted Sr hexaferrite particles prepared by citrate sol–gel method, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 324, 1141-1146, (2012).

[10] S. Mandizadeh, F. Soofivand, M. Salavati-Niasari, Sol–gel auto combustion synthesis of $BaFe_{12}O_{19}$ nanoceramics by using carbohydrate

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.1.6.6]

sugars as a novel reducing agent, Advanced Powder Technology., 26, 1348-1354, 2015.
[11] Mosleh Z., Kameli P., Poorbaferani A., Ranjbar M., Salamati H., Structural, magnetic and microwave absorption properties of Ce-doped barium hexaferrite, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 397, 101-107, 2016.
[12] Alange R. C., Khirade P. P., Birajdar S. D., Humbe A. V., Jadhav K. M., Structural, magnetic and dielectrical properties of Al–Cr Co-substituted M-type barium hexaferrite nanoparticles, Journal of Molecular Structure., 1106, 460-467, 2016.
[13] Manikandan M., Venkateswaran C., Effect of high energy milling on the synthesis temperature, magnetic and electrical properties of barium hexagonal ferrite, Journal of Magnetism and Magnetic Materials., 358–359, 82-86, 2014.
[14] Pullar-Robert C., Hexagonal ferrites: a review of the synthesis, and applications of hexaferrite ceramics properties, Progress in Materials Science., 57, 1191–1334, 2012.
[15] Xu G., Ma H., Zhong M., Zhou J., Yue Y., He Z., Influence of pH on characteristics of $BaFe_{12}O_{19}$ powder prepared by sol–gel auto-combustion, Journal of Magnetism and Magnetic Materials., 301, 383-388, 2006.
[16] Zhao L., Lv X., Wei Y., Ma C., Zhao L., Hydrothermal synthesis of pure $BaFe_{12}O_{19}$ hexaferrite nanoplatelets under high alkaline system, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 332, 44-47, 2013.
[17] Xu X., Park J., Hong Y. K., Lane A. M., Synthesis and characterization of hollow mesoporous $BaFe_{12}O_{19}$ spheres, Journal of Solid State Chemistry., 222, 84-89, 2015.
[18] Rashad M. M., I. A. Ibrahim, Improvement of the magnetic properties of barium hexaferrite nanopowders using modified co-precipitation method, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 323, 2158-2164, 2011.
[19] Tan G., Chen X., Structure and multiferroic properties of barium hexaferrite ceramics, Journal of Magnetism and Magnetic Materials., 327, 87-90, 2013.
[20] Bsoul I., Mahmood S. H., Magnetic and structural properties of $BaFe_{12-x}Ga_xO_{19}$ nanoparticles, Journal of Alloys and Compounds., 489, 110-114, 2010.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.1.6.6]