

بررسی اثر سورفکتانت‌های پلی‌اتیلن گلیکول و پلی‌متیل متاکریلات بر خواص فیزیکی و جذب راداری (باندهای X و Ku) پودر هگزا فريت باریم سنتز شده به روش سل-ژل احتراقی

آرزو افزلی^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

چکیده:

در این پژوهش اثر سورفکتانت‌های پلی‌اتیلن گلیکول و پلی‌متیل متاکریلات بر خواص فیزیکی و جذب راداری هگزا فريت باریم تهیه شده به روش سل-ژل احتراقی بررسی شد. به منظور بررسی‌های فیزیکی، مورفولوژی 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 (۵۲۴۰ Oe) 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 متاکریلات می باشد 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.

اطلاعات مقاله:

دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۸

پذیرش: ۱۳۹۵/۸/۱۸

کلید واژه:

هگزا فريت باریم، سل-ژل احتراقی، پلی‌اتیلن گلیکول، پلی‌متیل متاکریلات

۱- مقدمه

استفاده از دستگاه‌های الکترونیکی و الکترونیک در کاربردهای صنعتی، تجاری و نظامی در فرکانس‌های کاری بالا، به یک مشکل جدی تبدیل شده است [۱-۴]. به منظور

تداخل امواج الکترومغناطیس با توجه به رشد گسترده



کاهش تداخل امواج الکترومغناطیس اصولاً 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 هگزا فریت‌ها با فریت‌های اسپینلی به منظور کاربرد به عنوان جاذب‌های امواج الکترومغناطیس در محدوده فرکانسی گیگاهرتز شد. به واسطه 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 هگزا فریت 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].

به منظور تهیه ذرات بسیار ریز هگزا فریت باریم با همگنی بالا و اجتناب از فرایند آسیاکاری، از روش‌های شیمیایی همچون: هم‌رسوبی، هیدروترمال، میکروامولسیون، سل-ژل و غیره استفاده شده است. ویژگی‌های مهم این روش‌ها مخلوط کردن مواد اولیه یونی می‌باشد به طوری که تبلور بعدی می‌تواند در دمای نسبتاً 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 فوق‌العاده 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. اصولاً خواص نهایی هگزا فریت 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 گلايکول (PEG) و پلی‌متیل متاکریلات (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 هگزا فریت باریم، نیترات باریم $(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2)$ و نیترات آهن ۹ آبه $(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O})$ ، اسید سیتریک $(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7)$ ، محلول آمونیاک (NH_4OH) ،



زیروژل شد. برای تکمیل خشک شدن و حذف حلال آلی، زیروژل به مدت دو ساعت و در دمای 200°C در آون قرار داده شد. سپس پودر حاصله در دمای 400°C کلسینه سپس در کوره و در دمای 1100°C با نرخ $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 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 $\text{CuK}\alpha$ بود استفاده شد و انجام عملیات پراش در محدوده $70-10^{\circ}$ درجه صورت گرفت. جهت بررسی مورفولوژی پودر از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FE-SEM) مدل Hitachi S4160 Cold Field Emission استفاده شد. به منظور بررسی ویژگی‌های مغناطیسی نمونه‌های سنتز شده از دستگاه مغناطیس‌سنج نمونه مرتعش VSM 7400 استفاده شد. میزان جذب امواج مایکروویو در محدوده باندهای X ($8-12/4\text{ GHz}$) و ku ($12/4-18\text{ GHz}$)، پس از آماده‌سازی نمونه‌ها به ترتیب در ابعاد $25 \times 10 \times 5\text{ mm}$ و $15 \times 7 \times 5\text{ mm}$ به گونه‌ای که به میزان 20% 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.

پلی اتیلن گلاپکول ($\text{C}_{2n}\text{H}_{4n+2}\text{O}_{n+1}$) و پلی متیل متاکریلات $((\text{C}_5\text{O}_2\text{H}_8)_n)$ 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
پلی اتیلن گلاپکول	Merck	۹۹/۹
پلی متیل متاکریلات	Merck	۹۹/۹

۲-۲- سنتز نانوذرات هگزافریت باریم

در این پژوهش هگزافریت باریم خالص ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) 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 50° درجه سانتیگراد توسط همزن مغناطیسی به یکدیگر اضافه شدند. سپس اسید سیتریک به سوسپانسیون حاصل اضافه شد به طوری که نسبت مولار مجموع نمک‌های فلزی و اسید سیتریک برابر مقدار $1:1$ ثابت در نظر گرفته شده بود. سپس از سورفکتانت‌های پلی اتیلن گلیکول (PEG) و پلی متیل متاکریلات (PMMA) به مقدار 1 گرم در سل تشکیل شده استفاده شد. در نهایت pH محلول با استفاده از محلول آمونیاک به مقدار 7 تنظیم شد. جهت تغلیظ محلول، دما به 80°C رسانده شد و به مدت 12 ساعت تحت همزدن قرار داده شد. با حرارت بیشتر محلول تا دمای 100°C و به مدت یک ساعت، باقیمانده حلال تبخیر شده و تبدیل به



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 هدایت‌کننده عامل ساختاری^۱ 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 دیسپرس 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 Structure Directing Agent

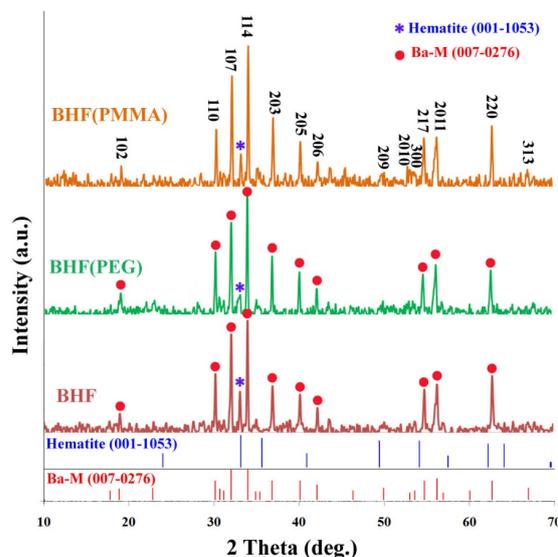
جدول ۲- کدهای مربوط به نمونه‌های سنتز شده.

کد نمونه	پلی متیل متاکریلات (g)	پلی اتیلن 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



$Ba[Fe_2 \downarrow]_{4f_2} [Fe_6 \uparrow]_{12k} [Fe \uparrow]_{2a} (Fe_2 \downarrow)_{4f_1} \{Fe \uparrow\}_{2b} O_{19}$
می توان گشتاور مغناطیسی موثر را محاسبه نمود که با توجه به میزان گشتاور مغناطیسی یون Fe^{3+} که برابر با $5 \mu_B$ می باشد و با توجه به اینکه مکان هایی با اسپین پایین مانند $4f_1$ و $4f_2$ هر کدام بوسیله ۲ یون آهن اشغال می شوند، در حالیکه مکان هایی با اسپین بالا همانند $2a$ و $2b$ هر کدام توسط ۱ یون آهن اشغال می شوند و موقعیت $12k$ توسط ۶ یون آهن اشغال می شود، طبق محاسبات بالا برابر ۲۰ مگنتون بور محاسبه می شود

شکل ۳ نشان دهنده حلقه پسماند نمونه های هگزافریت باریم با و بدون سورفکتانت های PEG و PMMA سنتز شده در دمای $1100^\circ C$ می باشد. طبق نتایج نمونه ها دارای میدان پسماندزای بالایی می باشند. مقادیر مغناطش (M_{max}) و میدان پسماندزدا (H_c) مربوط به نمونه های سنتز شده در جدول ۳ آورده شده است. میدان پسماندزای بالای پودر خالص هگزافریت باریم به دلیل ناهمسانگردی قوی در راستای محور c می باشد. با توجه به مساحت زیاد حلقه پسماند، نمونه سنتز شده به عنوان یک ماده سخت مغناطیس می باشد. مقادیر مغناطش و میدان پسماندزدا نسبت به مقادیر تئوری برای تک کریستال هگزافریت باریم ($M_s=72 \text{ emu/g}$ و $H_c=6700 \text{ Oe}$) [۲۰] کمتر می باشد؛ اما به طور کلی با توجه به منحنی هیستریزس 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 می باشد. 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

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 هگزگونال کاملا مطابقت دارد.

بر خلاف روش های مرسوم سنتز مواد همچون روش حالت جامد که در آن ها فواصل نفوذ زیاد می باشد 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 کاتیون های مختلف می شود. 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 می نمایند [۱۴].

۲-۳- بررسی ریزساختاری

شکل ۲ نشان دهنده تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه های BHF، BHF(PEG) و BHF(PMMA) می باشد. همان طور که ملاحظه می شود در تمامی حالات بیش از ۹۰٪ ذرات دارای مورفولوژی چندوجهی هگزگونال با رئوس کاملا مشخص ذرات و دارای توزیع نسبتا باریکی در اندازه ذرات می باشند. 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 نمونه های دوپ شده از مغناطیس سنج نمونه مرتعش (VSM) استفاده شد. بر اساس فرمول ترکیب هگزافریت باریم که $BaFe_{12}O_{19}$ می باشد با تاکید بر آرایش اسپین



بیشتر می‌باشد که با نتایج XRD مطابقت دارد. از طرفی نسبت M_r/M_s در محدوده ۰/۶-۰/۶۲۵ برای تمامی نمونه‌ها به دست آمد که این مقادیر بسیار به مقدار تئوری برای جهت‌گیری تصادفی ذرات تک دامنه نزدیک می‌باشد.

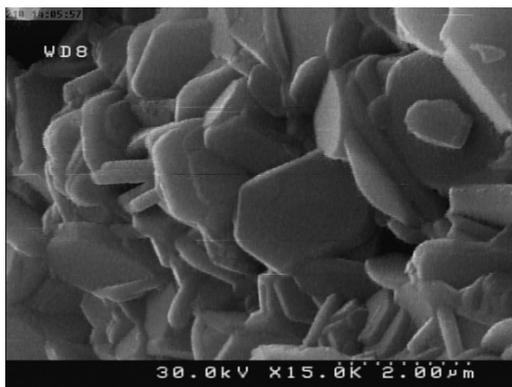
مناسب با نتایج گزارش شده توسط دیگر محققان می‌باشد [۱۹-۲۰]. همچنین مقادیر مغناطش اشباع در نمونه‌هایی با سورفکتانت‌های PEG و PMMA به دلیل کاهش مقدار هماتیت نسبت به نمونه‌های سنتز شده بدون سورفکتانت



(ب)



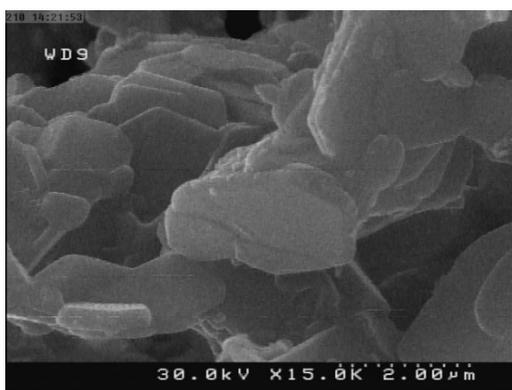
(الف)



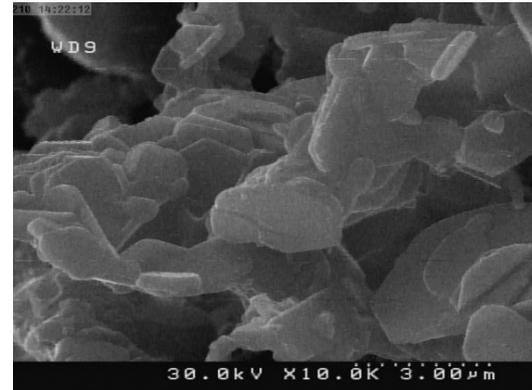
(د)



(ج)

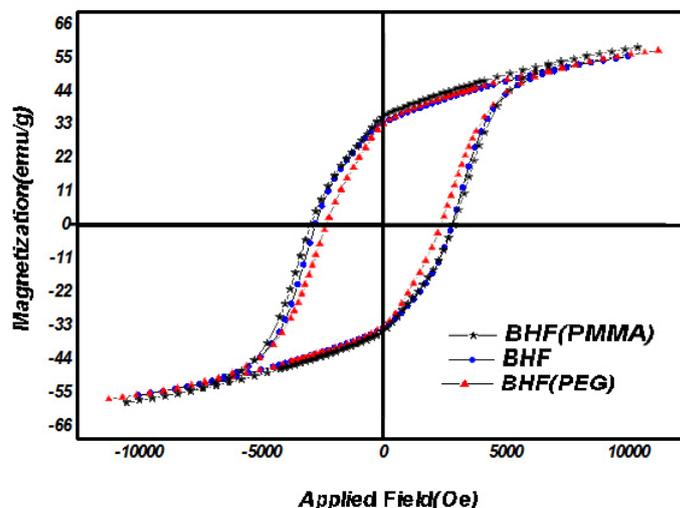


(و)



(ه)

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



شکل ۳- حلقه پسماند نمونه‌های هگزا فریت 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

مغناطیسی و دی‌الکتریکی به گرما تبدیل می‌شود. فرکانس رزونانس فرومغناطیسی هگزا فریت باریم نوع M به‌واسطه آنیزوتروپی مغناطو کریستالین بالا در محدوده ۵۰-۶۰ GHz 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،

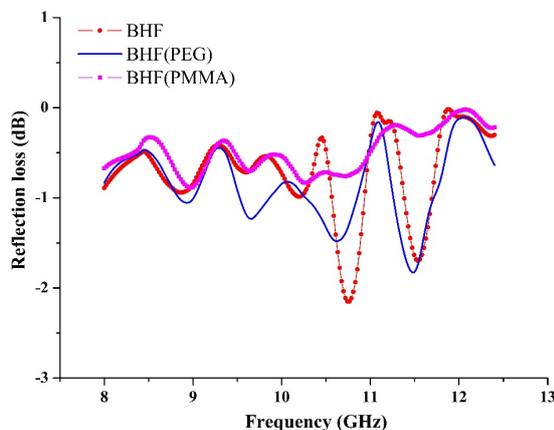
۳-۴- بررسی خواص جذب امواج

مایکروویو در باندهای X و Ku

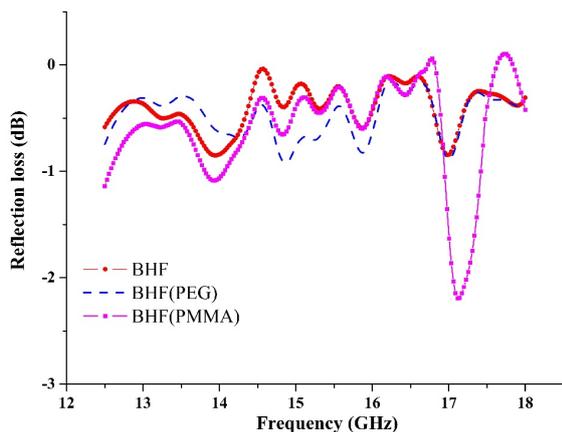
فریت باریم و ترکیبات جایگزین شده آن به دلیل داشتن ضریب تراوایی مغناطیسی بالا، فرکانس تشدید مغناطیسی و مغناطش بالا و خواص دی‌الکتریکی مناسب به‌عنوان جاذب‌های امواج مایکروویو در محدوده ۵-۱۰ GHz مورد توجه قرار گرفته‌اند. برای کاهش بازتاب از جاذب‌ها باید امپدانس ذاتی جاذب با امپدانس موج در فضای آزاد برابر باشد که در نتیجه آن حالت تشدید صورت گرفته و بیشترین مقدار جذب در ماده نتیجه خواهد شد. در این حالت انرژی موج الکترومغناطیسی جذب شده توسط ماده از طریق اتلاف‌های



انعکاس برابر $-1/5$ dB و $-1/8$ 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 $17/1$ GHz دارای جذبی به میزان $-2/2$ dB بود. اصولاً 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.

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

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

$$Z_{\text{in}} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh \left[j \left(\frac{2\pi}{c} \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \right) f \cdot d \right] \quad (2)$$

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 میکروویو در محدوده فرکانسی باندهای X ($8-12/4$ GHz) و Ku ($12/4-18$ 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 $10/8$ و $11/6$ GHz بیشترین میزان تلفات انعکاس به ترتیب برابر $-2/2$ dB و $-1/7$ dB حاصل شد. این در صورتی است که در نمونه BHF (PEG) در فرکانس‌های $10/6$ و $11/5$ GHz بیشترین میزان تلفات



- [3] Ali I., Islam M. U., Awan M. S., Ahmad M., Effects of Ga-Cr substitution on structural and magnetic properties of hexaferrite ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) 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 $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ 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 $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ nanoceramics by using carbohydrate

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش سنتز پودر هگزافریت باریم نوع M با و بدون سورفکتانت‌های پلی اتیلن گلايکول و پلی متیل متاکریلات به روش سل-ژل احتراقی با موفقیت انجام شد. برای تولید این ترکیب از دمای کلسیناسیون 1100°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 600 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 $\text{BaCo}_x\text{Zr}_x\text{Fe}_{(12-2x)}\text{O}_{19}$, *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.



- 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.
- 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