

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

آرزو افضلی^۱، وحید متقی طلب^{*}، 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، پلی‌اتیلن گلیکول، پلی‌متیل متاکریلات

در این پژوهش اثر سورفکتانت‌های پلی‌اتیلن گلیکول و پلی‌متیل متاکریلات بر خواص فیزیکی و جذب راداری هگزافریت باریم تهیه شده به روش سل-ژل احتراقی بررسی شد. به منظور بررسی‌های فازی، مروفولوژی و خواص مغناطیسی محصول نهایی به ترتیب از آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و مغناطیسی سنج 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 مروفولوژی هگزagonال برای تعامی نمونه‌های تهیه شده بود. طبق بررسی‌های مغناطیسی بیشترین مقدار مغناطش اشباع (۵۶ emu/g) و نیتروی 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 $-1/5 \text{ dB}$ و $-1/1 \text{ dB}$ می‌باشد که پهنه‌ای جذب پلی‌اتیلن گلیکول نسبت به دو نمونه دیگر مناسب‌تر بوده است و در باند Ku بیشترین میزان جذب مربوط به نمونه پلی‌متیل متاکریلات می‌باشد که در فرکانس $1/1 \text{ GHz}$ به میزان $-2/2 \text{ dB}$ جذب داشته است. بنابراین نتایج جذب حاکی از افزایش پهنه‌ای باند جذبی در صورت استفاده از هر دو سورفکتانت در باندهای X و Ku بوده است.

۱- مقدمه

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

تداخل امواج الکترومغناطیس با توجه به رشد گستردگ



نوبه خود باعث تولید ذرات با اندازه کوچک‌تر می‌شود. فرآیند سل-ژل یک روش پیشرفته و نوین جهت سنتز پودرهای در مقیاس نانو است که در چند سال اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. توانمندی فوق العاده این روش باعث توجه روز افرون 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 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 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

۱-۱- مواد اولیه

برای تولید نانوذرات هگزافریت باریم، نیترات باریم ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) و نیترات آهن (۹ آبه) ($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$)، اسید سیتریک ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$)، محلول آمونیاک (NH_4OH)،

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 هگزافریت‌ها 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 هگزافریت باریم با دارا بودن خواص منحصر‌فردی همچون مغناطش اشیاع 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 تهییه 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 بلور بعدی می‌تواند در دمای نسبتاً پایین رخ دهد و این امر نیز به



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.

۳-۲- بررسی خواص پودر مغناطیسی

به منظور بررسی فازی پودرهای سنتز شده از دستگاه پراش اشعه ایکس مدل 300 XMD که منبع X-ray مورد استفاده در آن تفنگ نشر کننده CuK_{α} بود استفاده شد و انجام عملیات پراش در محدوده $10-70$ 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 مغناطیسی‌سنجد نمونه مرتعش VSM 7400 استفاده شد. میزان جذب امواج مایکروویو در محدوده باندهای X ($8-12/\text{GHz}$) و ku ($12/\text{GHz}-18/\text{GHz}$)، پس از آماده‌سازی نمونه‌ها به ترتیب در ابعاد $25 \times 10 \times 5 \text{ mm}$ $15 \times 7 \times 5 \text{ mm}$ به گونه‌ای که به میزان 20% پودر در زمینه پارافین به طور 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.

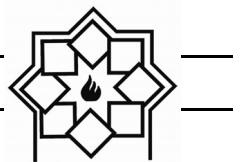
پلی‌اتیلن گلایکول ($\text{C}_{2n}\text{H}_{4n+2}\text{O}_{n+1}$) و پلی‌متیل متاکریلات ($\text{C}_5\text{O}_2\text{H}_8)_n$) از شرکت مرک تهیه شد.

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 |
| پلی‌اتیلن گلایکول | Merck | ۹۹/۹ |
| پلی‌متیل 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 سورفتانت 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 به‌طوری‌که نسبت مولار مجموع نمک‌های فلزی و اسید سیتریک برابر مقدار $1:1$ ثابت در نظر گرفته شده بود. سپس از سورفتانت‌های پلی‌اتیلن گلایکول (PEG) و پلی‌متیل 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 تغییض محلول، دما به 80°C رسانده شد و به مدت 12 ساعت تحت همزن قرار داده شد. با حرارت بیشتر محلول تا دمای 100°C و به مدت یک ساعت، باقیمانده حلال تبخیر شده و تبدیل به



مگنتوپلیمیت و به مقدار جزئی فاز هماتیت می‌باشند که به عنوان فاز ثانویه و ناخالصی محسوب می‌شود. طبق نتایج با توجه به شدت پیک فاز هماتیت، میزان این فاز در نمونه تهییه شده در حضور PEG نسبت به نمونه خالص و نمونه تهییه 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 به راحتی در PEG دسپرس می‌شوند. در تحقیقات انجام شده از PEG به منظور کنترل رشد نانو ذرات در روش هم‌رسوبی استفاده شده است اما در روش سل و به منظور تهییه نانو ذرات باریم ذرات با اندازه کنترل شده و در سایز نانو تشکیل می‌شوند. فاز هماتیت با الگوی پراش اشعه ایکس کارت استاندارد به

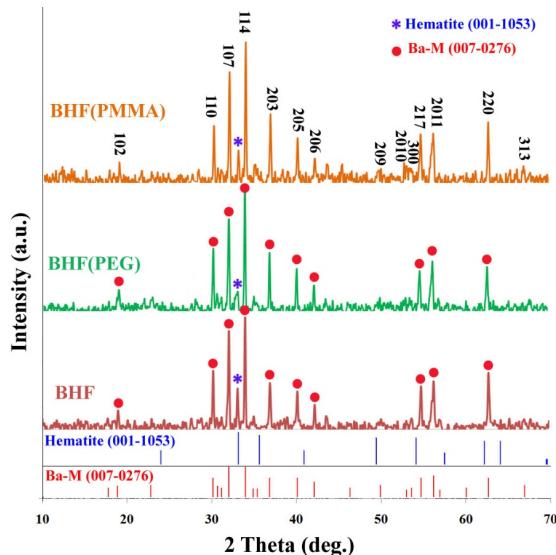
جدول ۲- کدهای مربوط به نمونه‌های سنتز شده.

| کد نمونه | پلی‌متیل متاکریلات (g) | پلی‌اتیلن گلایکول (g) | دما (°C) |
|-----------|------------------------|-----------------------|----------|
| BHF | - | - | 1100 |
| BHF(PEG) | 1 | - | 1100 |
| BHF(PMMA) | - | 1 | 1100 |

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی فازی (XRD)

به منظور تعیین میزان خلوص نمونه‌های تهییه شده از آنالیز پراش اشعه ایکس استفاده شد. الگوهای پراش نمونه‌های تهییه 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 کلیسیناسیون در دمای ۴۰۰ °C در دمای ۱۱۰۰ °C سیتر شده و دارای فاز غالب هگزافریت باریم با ساختار

¹ Structure Directing Agent



$Ba[Fe_2 \downarrow]_{4f_2} [Fe_6 \uparrow]_{2a} [Fe \uparrow]_{2b} O_{19}$ می‌توان گشتاور مغناطیسی موثر را محاسبه نمود که با توجه به میزان گشتاور مغناطیسی یون Fe^{+3} که برابر با M_{Fe} 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 مگتون بور محاسبه می‌شود

شکل ۳ نشان دهنده حلقه پسماند نمونه‌های هگزافریت باریم با و بدون سورفکتانت‌های PEG و PMMA سنتز شده در دمای $1100^{\circ}C$ می‌باشد. طبق نتایج نمونه‌ها دارای میدان پسماندزای بالایی می‌باشند. مقادیر مغناطش (M_{max}) و میدان پسماندزا (H_c) مربوط به نمونه‌های سنتز شده در جدول ۳ آورده شده است. میدان پسماندزای بالای پودر خالص هگزافریت باریم به دلیل ناهمسانگردی قوی در راستای محور c می‌باشد. با توجه به مساحت زیاد حلقه پسماند، نمونه سنتز شده به عنوان یک ماده سخت مغناطیسی می‌باشد. مقادیر مغناطش و میدان پسماندزا نسبت به مقادیر $M_s=72\text{emu/g}$ تئوری برای تک کریستال هگزافریت باریم ($H_c=6700\text{ Oe}$) [۲۰] کمتر می‌باشد؛ اما بهطور کلی با توجه به منحنی هیسترزیس مقدار مغناطش و میدان پسماندزا در نمونه BHF کمتر از دو حالت دیگر است و علت آن حضور فاز میانی غیرمغناطیسی همایت در این نمونه می‌باشد. واکنش بین ذرات مغناطیسی و غیرمغناطیسی بر روی آیزوتروپی مغناطیسی تاثیر گذاشته و بنابراین منجر به تغییر خواص مغناطیسی نمونه خواهد شد. این نتایج در توافق

شماره ۱۰۵-۱۰۰۱ با گروه فضایی $3c-R$ و با ساختار کریستالی رومبودرال مطابقت داده شد. همچنین فاز هگزافریت باریم با کارت استاندارد به شماره ۰۷۰-۲۷۶ و ساختار کریستالی هگزاگونال کاملاً 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].

۲-۳- بررسی ریزساختاری

شکل ۲ نشان دهنده تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه‌های BHF(PEG)، BHF(PMMA) و BHF(BHF) می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در تمامی حالات بیش از ۹۰٪ ذرات دارای مورفلوژی چندوجهی هگزاگونال با رؤوس کاملاً مشخص ذرات و دارای توزیع نسبتاً 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 دوب شده از مغناطیس سنج نمونه مرتش (VSM) استفاده شد. بر اساس فرمول ترکیب هگزافریت باریم که $BaFe_{12}O_{19}$ می‌باشد با تاکید بر آرایش اسپین



بیشتر می‌باشد که با نتایج XRD مطابقت دارد. از طرفی نسبت M_r/M_s در محدوده ۶۲۵-۶۰٪ برای تمامی نمونه‌ها به دست آمد که این مقادیر بسیار به مقدار تئوری برای جهت‌گیری تصادفی ذرات تک دامنه نزدیک می‌باشد.

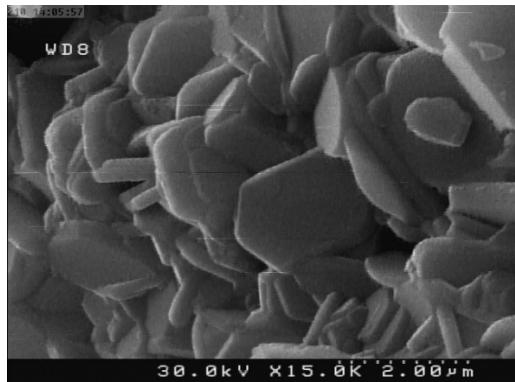


(ب)

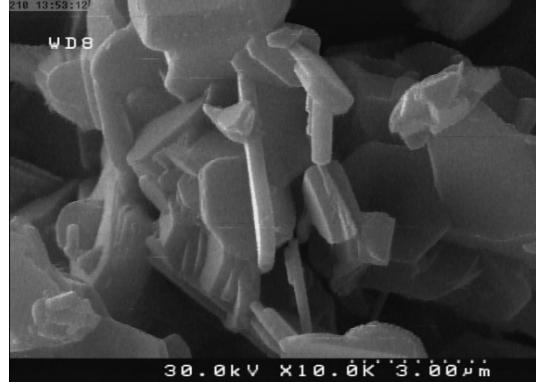
مناسب با نتایج گزارش شده توسط دیگر محققان می‌باشد [۱۹-۲۰]. همچنین مقادیر مغناطش اشباع در نمونه‌هایی با سورفکتانت‌های PEG و PMMA به دلیل کاهش مقدار همایت نسبت به نمونه‌های سنتز شده بدون سورفکتانت



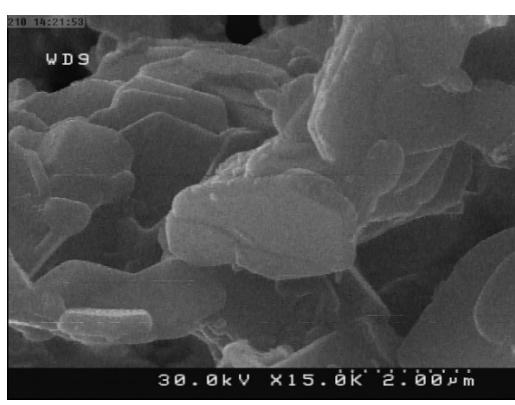
(الف)



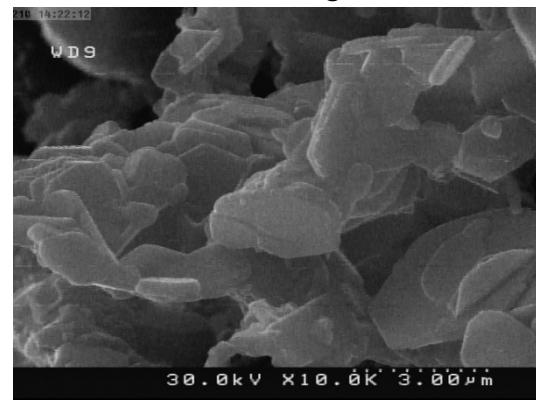
(د)



(ج)

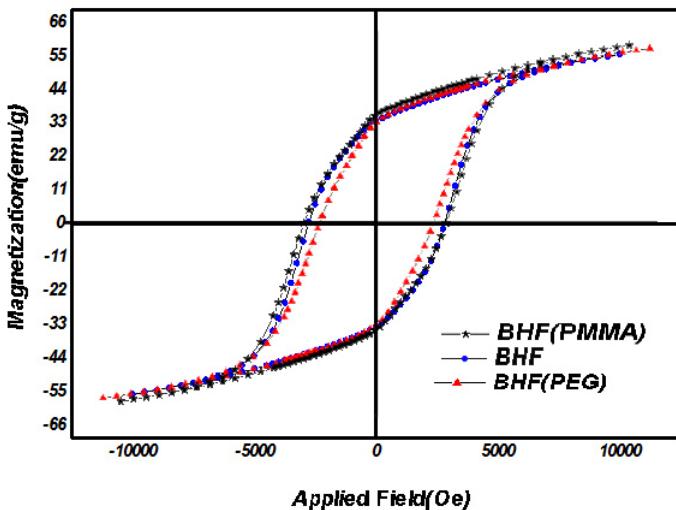
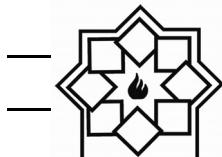


(و)



(ه)

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



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

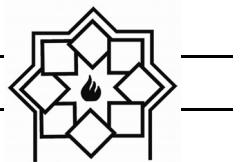
جدول ۳- مقادیر مربوط به پارامترهای مغناطیسی نمونه‌های سنتز شده.

| نمونه | M_s (emu/g) | H_c (Oe) | M_r (emu/g) | M_r/M_s |
|------------|---------------|------------|---------------|-----------|
| BHF | 45 | 5000 | 28 | 0.62 |
| BHF (PEG) | 56 | 5240 | 35 | 0.625 |
| BHF (PMMA) | 50 | 5240 | 30 | 0.6 |

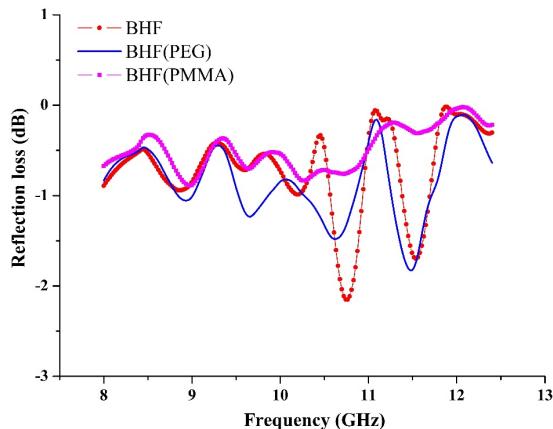
مغناطیسی و دیالکتریکی به گرما تبدیل می‌شود. فرکانس رزونانس فرومغناطیسی هگزافریت باریم نوع M به‌واسطه آنیزوتربوی مغناطوکریستالین بالا در محدوده ۵۰-۶۰ GHz می‌باشد. هرچند خواص مغناطیسی نمونه‌ها مبین سخت بودن تمام نمونه‌های سنتز شده می‌باشد ولی تنها بر اساس آن نمی‌توان بر روی خواص جذب فریت‌ها قضاوت کرد، 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،

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

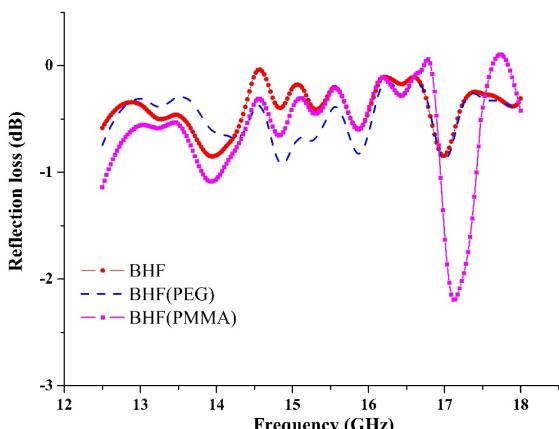
فریت باریم و ترکیبات جایگزین شده آن به‌دلیل داشتن ضریب تراوایی مغناطیسی بالا، فرکانس تشید مغناطیسی و مغناطش بالا و خواص دیالکتریکی مناسب به عنوان جاذب‌های امواج مایکروویو در محدوده GHz مورد توجه قرار گرفته‌اند. برای کاهش بازتاب از جاذب‌ها باید امپدانس ذاتی جاذب با امپدانس موج در فضای آزاد برابر باشد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



اعکاس برابر $1/5$ dB و $-1/8$ dB حاصل شد. آنچه که مشخص است در باند X پهنه‌ای جذبی در نمونه BHF (PEG) نسبت به دو نمونه دیگر مناسب‌تر می‌باشد. در نمونه BHF (PMMA) نیز جذب مناسبی در باند X حاصل نشده؛ 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

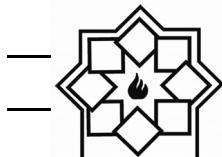
شکل ۴- منحنی‌های تغییرات جذب نسبت به بسامد نمونه‌های سنتز شده در باندهای X و (ب) Ku.

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]:

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

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

که در آن μ_r و ϵ_r به ترتیب نفوذپذیری مغناطیسی و گذردگی الکتریکی محیط جاذب، C سرعت نور در هوا 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 ($8-12/4$ 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 (PEG) (BHF در فرکانس‌های $10/6$ و $11/5$ GHz بیشترین میزان تلفات



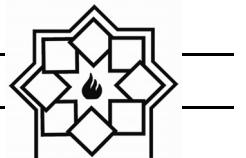
- [3] Ali I., Islam M. U., Awan M. S., Ahmad M., Effects of Ga–Cr substitution on structural and magnetic properties of hexaferrite ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) synthesized by sol–gel auto-combustion route, *Journal of Alloys and Compounds.*, 547, 118-125, 2013.
- [4] Mozaffari M., Taher M. i, Amighian 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- نتیجه‌گیری

در این پژوهش ستز پودر هگزافریت باریم نوع M با و بدون سورفتانت‌های پلی اتیلن گلایکول 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 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., Mudsainyan 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 $\text{BaFe}_{12-x}\text{Ga}_x\text{O}_{19}$ 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 $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ 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 $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ 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 $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ 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