

ساخت و بررسی ویژگی‌های ساختاری، مغناطیسی و جذب مایکروویو فریت باریم آلایش یافته با سریوم

زهرا مصلح، پرویز کاملی، مهدی رنجبر و هادی سلامتی

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

پست الکترونیکی: kameli@cc.iut.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۲۲؛ دریافت نسخه نهایی: ۱۳۹۳/۷/۸)

چکیده

در تحقیق حاضر به ساخت و بررسی ویژگی‌های ساختاری، مغناطیسی و جذب مایکروویو فریت باریم آلایش یافته با سریوم پرداخته شده است. نمونه‌ها با فرمول شیمیایی $\text{BaCe}_x\text{Fe}_{12-x}\text{O}_{19}$ ($x=0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2$) و با استفاده از روش سل-ژل تهیه شدند. به منظور بررسی تأثیر جانشانی یون خاکی نادر Ce^{+3} بر ویژگی‌های ساختاری و مغناطیسی نمونه‌های تهیه شده، مشخصه‌یابی‌های مختلفی از جمله پراش پرتو ایکس، طیف سنج مادون قرمز، مغناطش سنج ارتعاشی و جذب مایکروویو در نمونه‌ها انجام شد. طیف پراش پرتوی ایکس نشان داد که نمونه‌های تهیه شده تک‌فاز و دارای گروه فضایی $\text{P6}_3/\text{mmc}$ هستند. بررسی ویژگی‌های مغناطیسی نمونه‌ها نشان داد که در اثر آلایش، مغناطش اشباع نمونه‌ها رفتار منظمی از خود نشان نمی‌دهد. میدان وادارندگی نیز ابتدا کاهش می‌یابد و به کمترین میزان خود به ازای آلایش $x=0.1$ می‌رسد، و سپس با افزایش درصد آلایش، افزایش می‌یابد. بررسی جذب مایکروویو نمونه‌های تهیه شده نشان داد که بیشترین اتلاف بازتاب نمونه‌ها در هر دو پهنای بسامدی x (۸ تا ۱۲ گیگاهرتز) و Ku (۱۲ تا ۱۸ گیگاهرتز) به ازای نمونه‌ی $x=0.15$ به دست می‌آید. همچنین بررسی اتلاف بازتاب نمونه‌ها به ضخامت ماده در آشام نشان داد که با افزایش ضخامت، اتلاف بازتاب نمونه‌ها افزایش یافته و به سمت بسامدهای پایین‌تر جابه‌جا می‌شود.

واژه‌های کلیدی: فریت باریم، ویژگی‌های ساختاری و مغناطیسی، آلایش با عنصر سریوم، جذب مایکروویو

۱. مقدمه

کاربرد زیاد این فریت آن است که از خصوصیات فیزیکی جالبی برخوردار است. از آن جمله می‌توان به دمای کوری بالا، میدان ناهمسانگردی مغناطوبلوری بزرگ، پایداری شیمیایی عالی و مقاومت بالا در برابر خوردگی اشاره کرد [۱-۳]. این عوامل باعث شد تا از این فریت در ساخت آهنرباهای دایمی، وسایل جاذب امواج مایکروویو،

فریت باریم با فرمول شیمیایی $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ از جمله مواد مغناطیسی است که از نظر کاربردی و تحقیقاتی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در دهه‌های اخیر به علت مصرف گسترده هگزا فریت باریم در صنایع الکتریکی و مخابراتی تحقیقات وسیعی روی این فریت انجام شده است. دلایل

نیترات‌ها قطره قطره به این محلول اضافه شد و برای جلوگیری از رسوب کاتیون‌ها در این مرحله باز هم از آمونیاک استفاده شده و pH محلول روی ۷ تنظیم شد. محلول به دست آمده روی هم‌زن مغناطیسی تحت دمای 80°C قرار داده شد تا به ژل تبدیل شود. بعد از گذشت ۱۲ ساعت، دمای ژل به 200°C رسانده شد تا ژل خشک و پودر مورد نظر حاصل شود. پودر حاصل را درون هاون دستی سایش داده و در نهایت آن را درون کوره در دمای 1100°C بازپخت کردیم.

۲.۲. ساخت نمونه‌های آلیش یافته

در این مرحله، نیترات آهن $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ، نیترات باریم $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ ، اکسید سریوم (CeO_2) ، اسید سیتریک، اتیلن دی آمین تترا استیک اسید EDTA و آب یون زدایی شده به عنوان مواد اولیه انتخاب شدند. سپس بر اساس فرمول شیمیایی $\text{Ba Ce}_x \text{Fe}_{12-x} \text{O}_{19}$ و به ازای مقادیر مختلف x ، میزان گرم مشخص از مواد اولیه وزن شد. برای به دست آوردن نیترات سریوم میزان مشخص اکسید سریوم وزن شده را در مقدار مناسب اسید نیتریک حل کرده و با آب به حجم مشخص رساندیم. برای مثال برای تهیه نمونه $x=0.05$ ، 0.539g گرم اکسید سریوم وزن شده در 200mL سی‌سی اسید نیتریک حل شد و با آب به حجم 500mL سی‌سی رسید تا نیترات سریوم حاصل شود. سپس میزان 1.639g گرم نیترات باریم و 30.289g گرم نیترات آهن نیز در 100mL سی‌سی آب حل شد و محلول‌های حاصل از سه نیترات به هم اضافه شد تا محلول حاصل از نیترات‌ها به دست آید. سپس میزان 23.836g گرم EDTA در 100mL سی‌سی آب حل شد. در ادامه مطابق مرحله قبل، با اضافه کردن محلول نیترات‌ها و اسید سیتریک، محلول نهایی تهیه شد و باز هم pH محلول با افزودن آمونیاک روی ۷ تنظیم شد. محلول به دست آمده روی هم‌زن مغناطیسی تحت دمای 80°C قرار داده شد تا به ژل تبدیل شود. بعد از گذشت ۱۲ ساعت، دمای ژل به 200°C رسانده شد تا ژل خشک و پودر مورد نظر حاصل

محیط‌های ضبط مغناطیسی و پوشش‌های جاذب امواج رادار به وفور استفاده شود [۴-۶]. خصوصیات مغناطیسی هگزا فریت‌ها که آنها را برای استفاده در وسایل الکتریکی و محیط‌های ضبط مغناطیسی مطلوب می‌سازد به شدت از اندازه، شکل، خلوص و پایداری شیمیایی تأثیر می‌پذیرد. این ویژگی‌ها وابسته به روش ساخت هستند. روش‌های مختلفی برای تهیه فریت باریم وجود دارد که از این میان می‌توان به روش‌های هم‌رسوبی [۷]، سل-ژل احتراقی [۸]، هیدروترمال [۶] و سل-ژل [۹] اشاره کرد. گزارش‌های پژوهشی حکایت از آن دارند که جانشانی برخی عناصر خاکی نادر باعث بهبود ویژگی‌های این نوع از فریت‌ها شده است. این جانشانی می‌تواند به جای عنصر باریم [۱۰ و ۱۱]، آهن [۱۲ و ۱۳] و یا هر دو [۱۴ و ۱۵] صورت گیرد. در اثر جانشانی در ساختار، برهم‌کنش اسپین مدار و ناهمسانگردی مغناطیبلوری دچار تغییر می‌شود و ویژگی‌های ماده را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تحقیق حاضر به منظور بررسی تغییرات ایجاد شده در اثر جانشانی سریوم در ویژگی‌های ساختاری، مغناطیسی و جذب مایکروویو فریت باریم انجام شد.

۲. ساخت نمونه و آزمایش‌ها

۱.۲. ساخت نمونه‌ی خالص

برای این منظور نیترات آهن $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ، نیترات باریم $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ ، اسید سیتریک، اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA) و آب یون زدایی شده به عنوان مواد اولیه انتخاب شدند. آماده‌سازی محلول در دو مرحله صورت گرفت. مرحله اول آماده‌سازی محلول نیترات‌ها بود. برای این منظور میزان 1.645g گرم نیترات باریم و 30.532g گرم نیترات آهن در آب حل شد و محلول حاصل از نیترات‌ها به هم اضافه شد تا محلول اولیه به دست آید. مرحله دوم، آماده‌سازی محلول پایه است. برای این منظور در مرحله دوم EDTA وزن شده در آب حل شد و با توجه به این که EDTA در آب به راحتی حل نمی‌شود به آن محلول آمونیاک اضافه شد تا کاملاً در آب حل و محلول شفاف حاصل شود. سپس محلول حاصل از

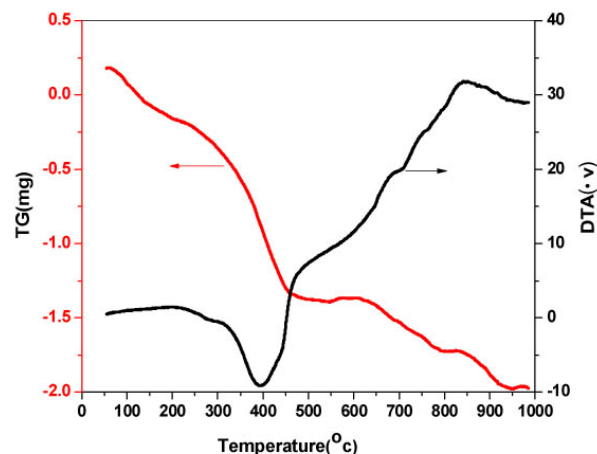
رادارهای دنیا در نوار بسامدی X (۸ تا ۱۲ گیگاهرتز) و Ku (۱۲ تا ۱۸ گیگاهرتز) کار می‌کنند، ما نیز در این پژوهش این ردیف‌های بسامدی را انتخاب نمودیم.

۳. نتایج و بحث

به منظور آگاهی از حداقل دمای تشکیل فاز، از پودر حاصل آنالیز حرارتی (TG/DTA) گرفته شد. شکل ۱ نمودار TG/DTA مربوط به فریت باریم خالص را نشان می‌دهد. مطابق شکل اولین کاهش جرم در نمودار TG در محدوده دمای 100°C مشاهده می‌شود همچنین اولین قله گرماگیر در نمودار DTA نیز در محدوده 300°C تا 450°C اتفاق می‌افتد که نشان دهنده تبخیر آب، نیترات باقی مانده و مواد معدنی است [۱۶]. به تدریج با افزایش دما کاهش جرم نمونه ادامه می‌یابد. دومین کاهش در جرم نمونه در محدوده 400°C تا 600°C مشاهده می‌شود، که به واکنش میان مواد اولیه مربوط می‌شود. در حین این فرایند گازهایی مانند CO ، NO ، NO_2 ، CO_2 و H_2 آزاد می‌شود که از عوامل کاهش جرم به حساب می‌آید [۱۷]. در اثر افزایش بیشتر دما فازهای ثانویه Fe_2O_3 و BaFe_2O_7 با هم واکنش می‌دهند و فاز فریت باریم را تشکیل می‌دهند. پیش رفتن منحنی TG به سمت خط افقی نیز مؤید این است که برهم‌کنش‌های شیمیایی تمام شده و فاز مورد نظر تشکیل شده است. بنابراین قله گرماگیر در محدوده 930°C تا 800°C در نمودار DTA دمای تشکیل فاز را نشان می‌دهد [۱۸]. با آگاهی از دمای تشکیل فاز، نمونه‌ها به مدت ۳ ساعت و در دمای 1100°C بازپخت شدند.

به منظور بررسی تشکیل فاز فریت مورد نظر طیف XRD نمونه‌ها تهیه شد. شکل ۲ طیف پراش پرتو ایکس نمونه‌های خالص و آلایش یافته را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که فاز شش‌گوشی فریت باریم برای همه نمونه‌ها تشکیل شده است. به بیان دیگر، نتایج نشان دهنده آن است که سریوم به طور کامل وارد ساختار شده است و با آلایش سریوم در ساختار، فاز جدیدی شکل نگرفته است.

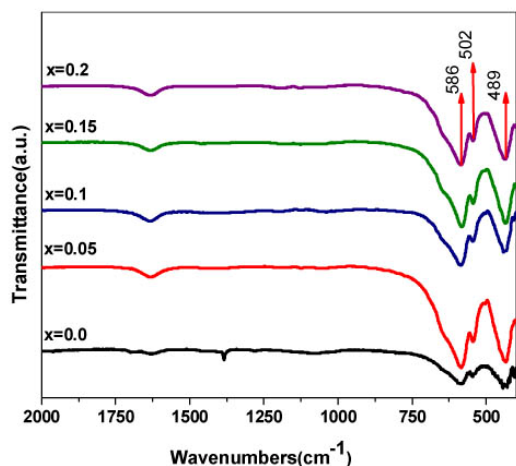
همان طور که در شکل تا حدودی مشاهده می‌شود نمونه‌های



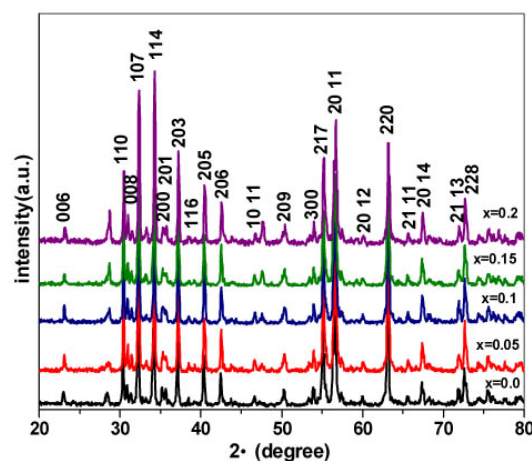
شکل ۱. (رنگی در نسخه الکترونیکی) منحنی TG نمونه خالص.

شود. پودر حاصل را درون هاون دستی سایش داده و در نهایت آن را درون کوره در دمای 1100°C بازپخت کردیم. سایر نمونه‌ها بر همین اساس، با در نظر گرفتن درصدهای مختلف آلایش، تهیه شدند. به منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های میکروویو فریت‌های تهیه شده، پودرهای فریت آلایش یافته با پارافین به نسبت وزنی ۷۰ به ۳۰ مخلوط شدند. سپس مخلوط تهیه شده در قالب هم محور با قطر داخلی $3/04$ میلی‌متر، قطر خارجی ۷ میلی‌متر و ضخامت ۲ میلی‌متر ریخته شد و مواد مرکب تهیه شده به شکل قرص جهت مشخصه‌یابی آماده شد.

به منظور بررسی ویژگی‌های ساختاری، مغناطیسی و جذب میکروویو نمونه‌های تهیه شده، مشخصه‌یابی‌های مختلفی روی نمونه‌ها انجام شد. طیف XRD نمونه‌ها با استفاده از دستگاه پراش پرتو ایکس (XRD) با اشعه $\lambda = 1/5405 \text{ \AA}$ Cu- α تهیه شد. برای اندازه‌گیری طیف IR نمونه‌ها از دستگاه مربوط به شرکت Jasco و مدل plus ۶۸۰ که در گستره بسامدی ۴۰۰ تا 4000 cm^{-1} کار می‌کند استفاده شد. در ضمن مغناطیس نمونه‌ها با استفاده از دستگاه VSM ساخت شرکت مغناطیس دقیق کاشان، که قابلیت اعمال حداکثر میدان 15000 Oe را دارد، اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان جذب میکروویو نمونه‌ها، از دستگاه تحلیل کننده شبکه (VNA) مدل HP8۷۲۲ET استفاده شد. این دستگاه توانایی اندازه‌گیری ویژگی‌های میکروویو جاذب‌ها را در بسامدهای ردیف ۴۰ GHz-۱ MHz دارد. با توجه به این که بلندبدرترین



شکل ۳. (رنگی در نسخه الکترونیکی) طیف حاصل از تحلیل FTIR نمونه‌های با درصد‌های مختلف آلایش.



شکل ۲. (رنگی در نسخه الکترونیکی) طیف پراش پرتوی ایکس نمونه‌های آلایش یافته به ازای درصد‌های مختلف جانشانی سربوم.

جدول ۱. نتایج حاصل از تحلیل ریتولد نمونه‌های آلایش یافته با درصد‌های مختلف.

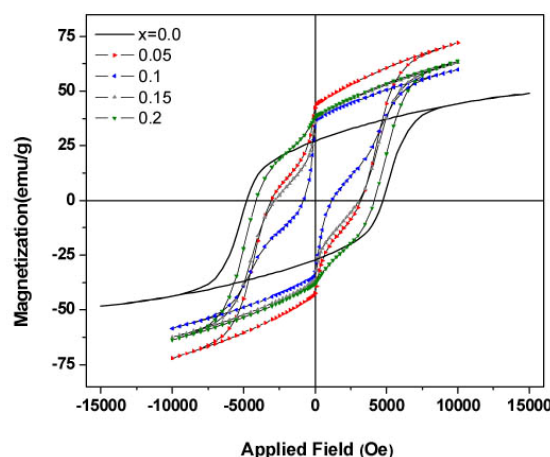
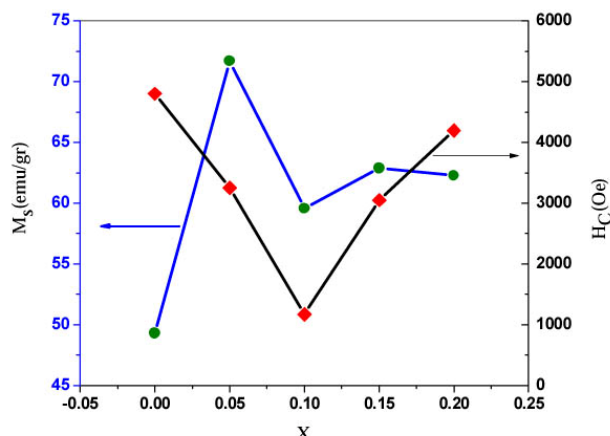
پارامترهای شبکه	x=0.0	x=0.05	x=0.1	x=0.15	x=0.2
a	۵,۸۹۳	۵,۹۵۱	۵,۷۸۹	۵,۹۶۶	۵,۹۹۰
c	۲۳,۲۰۴	۲۳,۵۵۹	۲۳,۶۷۱	۲۳,۶۶۴	۲۳,۷۹۰

موجود در نمونه است. بنابراین برای شناسایی گروه‌های عاملی و پیوندهای موجود در نمونه‌های تهیه شده، طیف FTIR پودرهای حاصل تهیه شد. شکل ۳ طیف FTIR نمونه‌ها را نشان می‌دهد. به طور معمول مدهای واقع در فواصل 400 cm^{-1} - 1000 cm^{-1} به پیوندهای اکسیژن-فلز (M-O) مربوط می‌شوند. در این میان مدهای موجود در فواصل 440 cm^{-1} - 400 cm^{-1} نشان دهنده پیوند در مکان هشت‌وجهی هستند و پیوندهای موجود در محدوده 610 cm^{-1} - 580 cm^{-1} مکان چهار وجهی را نشان می‌دهند [۱۳ و ۲۱]. بنابراین پیوند موقعیت 439 cm^{-1} پیوند در مکان هشت‌وجهی را نشان می‌دهد و پیوند موقعیت 590 cm^{-1} نشان دهنده پیوند در مکان چهاروجهی است. نتایج نشان داد که اگرچه در این طیف مدهای ارتعاشی مشخصه فریت هگزاگونال مشاهده می‌شود، اما جانشانی سربوم تغییراتی را در موقعیت مدهای ارتعاشی نسبت به حالت بدون آلایش ایجاد کرده است و پیوندها به سمت عددهای موج کمتر جابه‌جا شده‌اند. این تغییرات ممکن است به دلیل اختلاف شعاع یونی آهن و سربوم باشد [۲۲]. همچنین جابه‌جایی موقعیت مدهای ارتعاشی به

آلایش یافته در مقایسه با نمونه خالص قله‌های پهن‌تری دارند. این نشان دهنده آن است که در اثر آلایش اندازه بلورک‌ها کاهش یافته است. محاسبه اندازه بلورک‌ها نشان داد که اندازه بلورک‌ها از ۱۲۶ نانومتر برای نمونه خالص به ۵۸ نانومتر به ازای آلایش $x=0.2$ رسید. این مطلب به نقش بازدارندگی عناصر خاکی نادر در رشد اندازه ذرات اشاره دارد و با نتایج مطالعات دیگران همخوانی دارد [۱۹ و ۲۰].

با کمک گرفتن از طیف پراش پرتو ایکس نمونه‌ها و استفاده از نرم افزار Fullprof و تحلیل ریتولد، پارامترهای شبکه محاسبه شد. نتایج حاصل از این تحلیل به ازای درصد‌های مختلف آلایش در جدول ۱ آورده شده است. نتایج نشان داد که در اثر آلایش، پارامترهای شبکه، a و c هر دو روند افزایشی از خود نشان دادند. علت مشاهده چنین رفتاری را می‌توان به اختلاف شعاع یونی آهن ($\text{Fe}^{+3}=0.645$) و سربوم ($\text{Ce}^{+3}=1.034$) نسبت داد [۱۱].

با توجه به این‌که طیف‌سنجی فروسرخ (FTIR) روشی مناسب برای تعیین ساختار مولکولی و شناسایی ترکیبات آلی



شکل ۴. (رنگی در نسخه الکترونیکی) (الف) نمودار پسماند مغناطیسی نمونه‌های آلایش یافته به ازای درصدهای مختلف آلایش، (ب) تغییرات مغناطش بیشینه و میدان وادارندگی به ازای درصدهای مختلف آلایش.

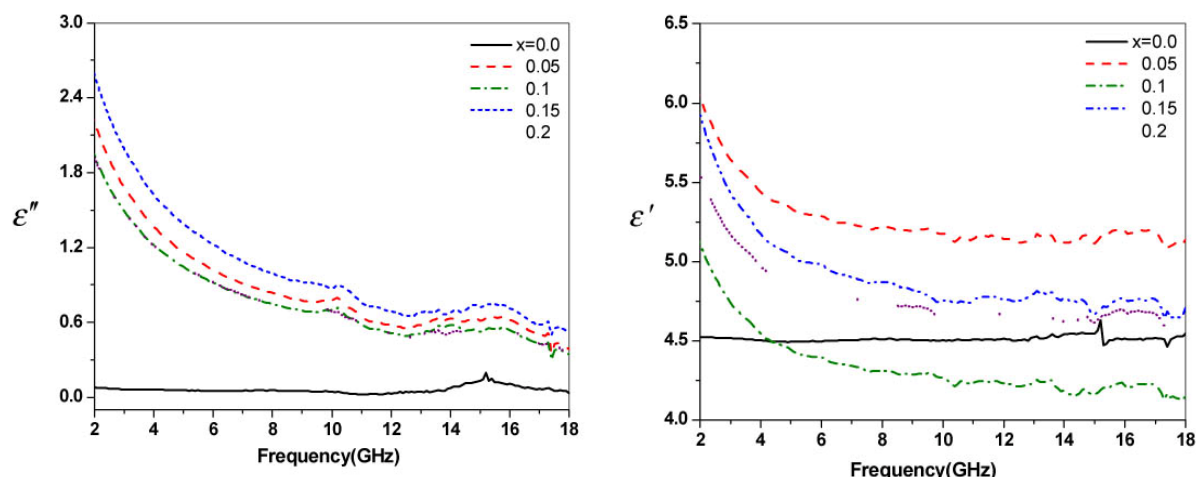
فریت باریم آلایش یافته با La این رفتار را مشاهده کردند [۲۳]. به منظور بررسی رفتار نمونه‌ها در اثر برخورد موج الکترومغناطیسی و بررسی میزان اتلاف بازتاب (RL) موج تابیده شده، آنالیز جذب در نمونه‌ها انجام شد. وقتی موج الکترومغناطیسی بر نمونه می‌تابد بخشی از آن بازتاب می‌یابد، قسمتی از آن به درون ماه نفوذ می‌کند و بخشی از موج از جسم عبور می‌کند. در این میان پارامترهای حائز اهمیت گذردهی الکتریکی ϵ و نفوذپذیری مغناطیسی μ هستند. گذردهی الکتریکی به صورت $\epsilon = \epsilon' + i\epsilon''$ و نفوذپذیری مغناطیسی به صورت $\mu = \mu' + i\mu''$ تعریف می‌شود. قسمت حقیقی این کمیت‌ها متناظر با ذخیره انرژی موج در ماده و قسمت موهومی آن متناظر با اتلاف انرژی است.

شکل ۵ (الف و ب) تغییرات قسمت حقیقی ϵ' و موهومی ϵ'' گذردهی الکتریکی نمونه‌ها به ازای درصدهای مختلف آلایش، بر حسب تغییرات بسامد را نشان می‌دهد.

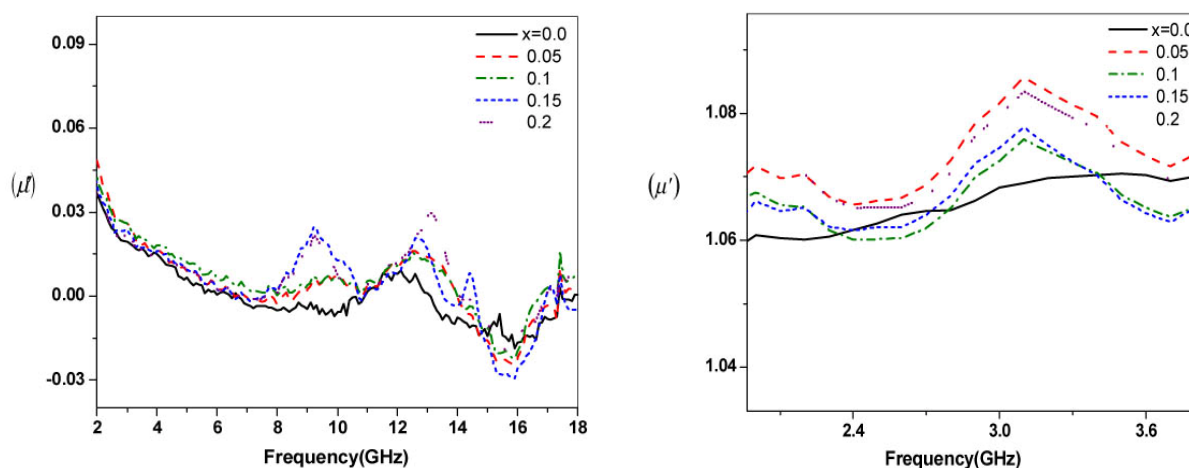
با توجه به شکل‌ها مشاهده می‌کنیم که ϵ' با افزایش تدریجی بسامد به تدریج کاهش می‌یابد. به علاوه نتایج نشان داد که هر دو بخش حقیقی و موهومی نسبت به نمونه خالص از مقادیر بالاتری برخوردار هستند. نتایج همچنین حاکی از آن است که به تدریج با افزایش تدریجی بسامد، ϵ'' کاهش می‌یابد. در حالت کلی قسمت موهومی گذردهی الکتریکی با

سمت عددهای موج‌های کمتر را می‌توان به تغییرات الکترون‌گاتیوی نسبت داد. با توجه به این که در اثر آلایش، شعاع عنصر جانشین شده با عنصر آهن تفاوت دارد، بنابراین می‌توان چنین بیان کرد که در اثر جانشانی انجام شده موقعیت مدهای ارتعاشی دستخوش تغییر می‌شود. جانشانی سریوم در ساختار توزیع یون‌های Fe^{3+} درون ساختار را تغییر می‌دهد و این عامل می‌تواند بر جابه‌جایی مدهای ارتعاشی اثر بگذارد.

به منظور بررسی ویژگی‌های مغناطیسی نمونه‌ها و تغییر احتمالی آن‌ها در اثر آلایش، از روش VSM استفاده شد. منحنی پسماند و تغییرات مغناطش بیشینه در میدان ۱۰ کیلو ارستد و میدان وادارندگی نمونه‌ها به ازای درصدهای مختلف آلایش در شکل ۴ (الف و ب) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که مغناطش نمونه‌ها از روند منظمی پیروی نمی‌کند. میدان وادارندگی نمونه‌ها نیز ابتدا کاهش می‌یابد تا به کمترین میزان خود به ازای آلایش $x=0.1$ می‌رسد و سپس با افزایش درصد آلایش به تدریج افزایش می‌یابد. کاهش مشاهده شده را می‌توان به تغییرات ایجاد شده در برهم‌کنش تبدلی نسبت داد. در ادامه افزایش درصد آلایش باعث افزایش میدان وادارندگی می‌شود. در اثر افزایش درصد آلایش ناهمسانگردی مغناطوبلوری بهبود می‌یابد و ویژگی‌های مغناطیسی نمونه را تغییر می‌دهد. لی و همکاران در بررسی ویژگی‌های مغناطیسی و جذب میکروویو



شکل ۵. (رنگی در نسخه الکترونیکی) (الف) تغییرات قسمت حقیقی گذردهی الکتریکی نمونه‌ها به ازای درصدهای مختلف آلایش برحسب تغییرات بسامد. (ب) تغییرات قسمت موهومی گذردهی الکتریکی نمونه‌ها به ازای درصدهای مختلف آلایش برحسب تغییرات بسامد.



شکل ۶. (رنگی در نسخه الکترونیکی) (الف) تغییرات قسمت حقیقی پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌ها به ازای درصدهای مختلف آلایش برحسب تغییرات بسامد. (ب) تغییرات قسمت موهومی پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌ها به ازای درصدهای مختلف آلایش بر حسب تغییرات بسامد.

شکل ۶ (الف) و (ب) تغییرات قسمت حقیقی μ' و موهومی μ'' پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌ها، به ازای درصدهای مختلف آلایش، بر حسب تغییرات بسامد را نشان می‌دهد. همان گونه که در شکل نشان داده شده است، اگرچه در ابتدا برای تمام نمونه‌ها μ' نسبت به نمونه خالص مقادیر بیشتری دارد، اما به تدریج با افزایش تدریجی بسامد، μ' کاهش می‌یابد و به مقادیری کمتر از مقادیر نمونه خالص می‌رسد. به نظر می‌رسد آلایش در مکان آهن نه تنها بهبود μ' را به همراه ندارد، بلکه باعث تضعیف آن نیز شده است. شاید بتوان این کاهش در مقدار μ' را به چرخش بردار مغناطش در اثر اعمال بسامد

رابطه زیر به بسامد موج تابیده مربوط می‌شود:

$$\varepsilon'' = \frac{\sigma}{2\pi f \varepsilon_0} \quad (1)$$

طبق رابطه (۱) قسمت موهومی گذردهی الکتریکی با بسامد رابطه عکس دارد و به همین دلیل با افزایش بسامد از میزان گذردهی الکتریکی نمونه‌ها کاسته می‌شود. با توجه به شکل مشاهده شد که آلایش بهبود ویژگی‌های الکتریکی نمونه‌ها را به دنبال داشته است. با توجه به نتایج حاصل، مشاهده شد که بیشترین مقدار ε'' به ازای نمونه ۰/۱۵ به دست می‌آید. نتایج با سایر مطالعات انجام شده در این زمینه همخوانی دارد [۲۴].

هگزا فریت باریم، μ'' نسبت به نمونه خالص افزایش می‌یابد. بر طبق رابطه (۳) این پارامتر با فرکانس تشدید رابطه عکس دارد. بنابراین آرایش سریوم باعث کاهش بسامد تشدید شده است.

برای بررسی میزان اتلاف بازتاب نمونه‌های تهیه شده، اتلاف بازتاب نمونه‌ها در گستره بسامدی ۲ تا ۱۸ گیگاهرتز مورد بررسی قرار گرفت. اتلاف بازتاب تابش الکترومغناطیس بر حسب دسی‌بل RL(dB) بیان می‌شود. بر طبق نظریه خطوط انتقال، اتلاف بازتاب با رابطه (۴) بیان می‌شود [۲۶]:

$$RL = 20 \log \left(\frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \right) \quad (4)$$

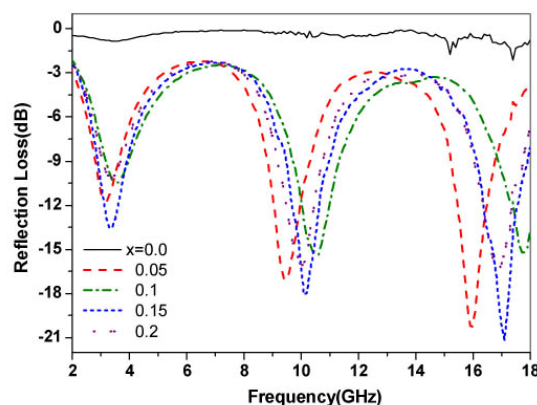
در این رابطه، Z_0 امپدانس محیط خلأ (377Ω) و Z_{in} امپدانس ورودی ماده جاذب می‌باشد و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Z_{in} = Z_0 \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \tanh \left[i \frac{2\pi}{c} \sqrt{\mu\epsilon} f d \right] \quad (5)$$

که در آن f بسامد، c سرعت نور در فضای آزاد و d ضخامت ماده جاذب است. رابطه (۵) نشان می‌دهد که در اتلاف بازتاب جاذب‌های فریتی، شش پارامتر حائز اهمیت هستند، که عبارت‌اند از: قسمت‌های حقیقی و موهومی گذردهی الکتریکی و پذیرفتاری مغناطیسی، ضخامت ماده جاذب و بسامد. به منظور کنترل گذردهی الکتریکی و پذیرفتاری مغناطیسی نسبت وزنی فریت به زمینه پلیمری اهمیت بسیاری دارد و در صورتی که تأثیر ضخامت ماده جاذب بر اتلاف بازتاب مهم باشد باید نمونه‌ها در ضخامت‌های مختلف تهیه شوند [۲۷].

بر این اساس در ابتدا به منظور بررسی تغییرات RL در اثر تغییرات بسامد، برای تمام نمونه‌ها ضخامت معین ۱۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد و اتلاف بازتاب نمونه‌ها با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد. نتایج حاصل از این مشخصه‌یابی در شکل ۷ نشان داده شده است.

نتایج حاکی از آن است که در هر دو بازه بسامدی x و Ku بیشترین اتلاف به ازای نمونه $x=0.15$ به دست آمد. در نوار بسامدی x ، بیشینه اتلاف بازتاب به ازای بسامد ۱۶/۱۰ GHz و



شکل ۷. (رنگی در نسخه الکترونیکی) تغییرات اتلاف بازتاب نمونه‌ها با درصد مختلف آرایش در ضخامت ۱۰ میلی‌متر.

مربوط دانست. این مطلب با سایر مطالعات انجام شده همخوانی دارد [۲۵].

تغییرات قسمت موهومی پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌ها به ازای درصدهای مختلف آرایش بر حسب تغییرات بسامد نیز نشان داد که با افزایش بسامد از میزان μ'' نمونه‌ها کاسته می‌شود.

در فریت باریم μ'' از رابطه زیر به دست می‌آید [۲۴]:

$$\mu'' = \frac{M_s}{2H_a \alpha}$$

که در این رابطه M_s مغناطش اشباع، H_a ناهمسانگردی مغناطیبلوری و α ضریب اتلاف است. همچنین بر طبق نظریه تشدید فرومغناطیس، بسامد تشدید مغناطیسی برابر $f = \frac{\gamma H_a}{2\pi}$ است. از تلفیق این روابط قسمت موهومی نفوذپذیری مغناطیسی با رابطه زیر به بسامد مربوط می‌شود [۲۴]:

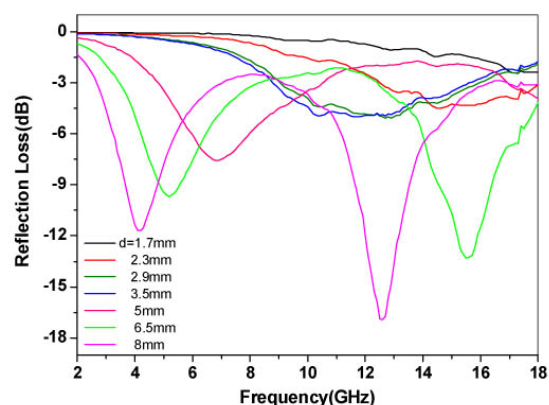
$$\mu'' = \frac{\gamma M_s}{4\pi \alpha f} \quad (3)$$

که در این رابطه M_s مغناطش اشباع و γ عامل ژیرومغناطیسی است. بر طبق این رابطه μ'' با بسامد رابطه عکس دارد. این نتیجه با توجه به شکل نیز قابل مشاهده است. بررسی تغییرات نفوذپذیری مغناطیسی نمونه‌ها به ازای درصدهای مختلف آرایش نیز جالب توجه است. نمودار ۶ (ب) در نوار بسامدی ۲ تا ۱۸ گیگاهرتز نشان داد که با ورود سریوم در ساختار

کمتری رخ دهد. برای مثال بیشترین اتلاف بازتاب در ضخامت ۱/۷ میلی‌متر برابر ۲/۴۷dB- است. با افزایش ضخامت مشاهده شد که بیشینه اتلاف در ضخامت ۸ میلی‌متر برابر ۱۶/۹۸ dB- به دست آمد، که افزایش چشمگیر RL با ضخامت را نشان می‌دهد. این مطلب در توافق با سایر مطالعات انجام شده در این زمینه است [۲۵ و ۲۸].

۴. نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی ویژگی‌های ساختاری، مغناطیسی و جذب مایکروویو فریت باریم خالص و آلایش‌یافته با سریوم پرداخته شد. مشخصه‌یابی XRD نشان داد که سریوم در نقاط شبکه به جای آهن می‌نشیند و در حد دقت دستگاه اندازه‌گیری هیچ‌گونه فاز ناخالصی در طیف پراش مشاهده نشد. مشخصه‌یابی FTIR نیز حاکی از آن بود که وارد کردن سریوم در ساختار فریت باریم، برخی از پیوندها در مقایسه با نمونه خالص، به سمت عدد موج‌های پایین‌تر جابه‌جا می‌شود. نتایج همچنین حاکی از آن است که در اثر آلایش با سریوم، میدان وادارندگی ابتدا کاهش یافته و به کمترین مقدار خود به ازای آلایش ۱/۸ می‌رسد، و سپس افزایش می‌یابد اما تغییرات مغناطش بیشینه از روند منظمی تبعیت نمی‌کند. بررسی اتلاف بازتاب نمونه‌ها نشان داد که در اثر آلایش سریوم در ساختار فریت باریم مقدار اتلاف در هر دو نوار x و Ku به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. همچنین بررسی تغییرات اتلاف بازتاب نمونه‌ها با تغییر ضخامت ماده جاذب، چنانچه انتظار می‌رفت، نشان داد که بسامد و مقدار اتلاف بازتاب به ضخامت ماده جاذب وابسته است و با افزایش ضخامت اتلاف بازتاب در بسامدهای پایین‌تری اتفاق می‌افتد.



شکل ۸. (رنگی در نسخه الکترونیکی) تغییرات اتلاف بازتاب نمونه $x=0.15$ به ازای ضخامت‌های مختلف.

برابر ۱۷/۹۸ dB- به دست آمد. در نوار بسامدی Ku این اتلاف بیشینه در بسامد ۱۷/۰۶GHz حاصل می‌شود و برابر ۲۰/۹۸ dB- است. با توجه به نتایج به دست آمده، اگر چه آلایش سریوم باعث بهبود اتلاف بازتاب نمونه‌ها شده است اما، این تأثیر در نوار Ku مشهودتر است. مقایسه RL نمونه‌های آلایش یافته با نمونه خالص، حاکی از آن است که در اثر آلایش سریوم در ساختار فریت باریم، میزان اتلاف بازتاب به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد.

در ادامه به منظور بررسی تأثیر ضخامت ماده جاذب بر RL نمونه‌های تهیه شده، با در نظر گرفتن ضخامت‌های مختلف اتلاف بازتاب نمونه‌ها محاسبه شد. با توجه به این‌که بیشترین اتلاف بازتاب بر طبق نتایج قبل به ازای نمونه $x=0.15$ به دست آمد، این نمونه انتخاب شده، و اتلاف بازتاب آن در ضخامت‌های مختلف محاسبه شد. نتایج حاصل از این مشخصه‌یابی در شکل ۸ نشان داده شده است.

با توجه به شکل، مشاهده می‌شود که افزایش ضخامت باعث افزایش RL نمونه‌ها می‌شود و مکان قله‌ها به سمت بسامدهای پایین‌تر جابه‌جا می‌شود و اتلاف نمونه‌ها در بسامد

مراجع

۱. پوریافرانی، پ. کاملی، ه. سلامتی، مجله پژوهش فیزیک ایران، ۳۸ (۱۳۸۷) ۱۱۹.
۲. K Martirosyan, E Galstyan, S Hossain, Y-J Wang, and D Litvinov, *Materials Science and Engineering: B*, **176** (2011) 8.
۳. M Radwan, M Rashad, and M Hessien, *Journal of Materials Processing Technology* **181** (2007) 106.

17. X Huang, J Zhang, L Wang, and Q Zhang, *Journal of Alloys and Compounds* **540** (2012) 137.
18. H Shang, J Wang, and Q Liu, *Materials Science and Engineering: A* **456** (2007) 130.
19. X Meng, J Gao, and Y Lu, *Journal of Sol-Gel Science and Technology* **64** (2012) 86.
20. F Khademi, A Poorbafrani, P Kameli, and H Salamati, *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* **25** (2012) 525.
21. S Singhal, T Namgyal, J Singh, K Chandra, and S Bansal, *Ceramics International* **37** (2011) 1833.
22. C Sun and K Sun, *Journal of Materials Science* **42** (2007) 5676.
23. C-J Li, B Wang, and J-N Wang, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* **324** (2012) 1305.
24. S Chang, S Kangning, and C Pengfei, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* **324** (2012) 802.
25. M Ahmad, R Grössinger, M Kriegisch, F Kubel, and M Rana, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* **332** (2013) 137.
26. S Ozah and N Bhattacharyya, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* **342** (2013) 92.
27. Q Li, J Pang, B Wang, D Tao, X Xu, L Sun, and J Zhai, *Advanced Powder Technology* **24** (2012) 288.
28. M K Tehrani, A Ghasemi, and R S Alam, *Journal of Alloys and Compounds* **509** (2011) 8398.
4. D Mishra, S Anand, R Panda, and R Das, *Materials Chemistry and Physics* **86** (2004) 132.
5. T Yamauchi, Y Tsukahara, T Sakata, H Mori, T Chikata, S Katoh, and Y Wada, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* **321** (2009) 8.
6. X C Zuo, L Chen, C Jin, and Y Lv, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* **332** (2013) 186.
7. M Rashad and I Ibrahim, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* **323** (2011) 2158.
8. G Xu, H Ma, M Zhong, J Zhou, Y Yue, and Z He, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* **301** (2006) 383.
9. Z Haijun, L Zhichao, M Chengliang, Y Xi, Z Liangying, and W Mingzhong, *Materials Science and Engineering: B* **96** (2002) 289.
10. Z Ullah, S Atiq, and S Naseem, *Journal of Alloys and Compounds* **513** (2012) 420.
11. S Ounnunkad, P Winotai, and S Phanichphant, *Journal of Electroceramics* **16** (2006) 357.
12. Y Ebrahimi et al., *Ceramics International* **38** (2012) 3885.
13. N Koga et al., *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* **313** (2007) 168.
14. M N Ashiq, M J Iqbal, and I H Gul, *Journal of Alloys and Compounds* **487** (2009) 341.
15. M J Iqbal, M N Ashiq, P Hernández-Gómez, J M M Muñoz, and C T Cabrera, *Journal of Alloys and Compounds* **500** (2010) 113.
16. Y Li, Q Wang, and H Yang, *Current Applied Physics* **9** (2009) 1375.