بررسی رفتار جذب امواج رادار کامپوزیتهای زمینه پلیمری حاوی ذرات باریم هگزافریت آلاییده شده

سيد سلمان سيد افقهى ، مجتبى جعفريان **، محسن صالحى ٢

^۱ دانشگاه جامع امام حسین (ع)، دانشکاه فنی مهندسی، گروه مهندسی مواد، تهران، ایران. ۲ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، تهران، ایران.

تاريخ ثبت اوليه: ١٣٩٢/٩/١٩، تاريخ دريافت نسخهٔ اصلاح شده: ١٣٩٥/٨/١، تاريخ پذيرش قطعي: ١٣٩٥/٩/١

چکیده در این مقاله با هدف بررسی رفتار جذب امواج رادار توسط پودر مغناطیسی هگزافریت باریم آلاییده شده، کامپوزیتهایی حاوی این پودر با درصد وزنی مختلف (۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد وزنی) در زمینه رزین اپوکسی تهیه شد. آنالیزهای پراش اشعه ایکس (XRD)، مغناطیس سنج نمونه مرتعش (VSM) و تجزیه و تحلیل شبکه بردار (VNA) به ترتیب به منظور بررسی فازی، مغناطیسی و جذب امواج مایکرویو انجام شد. طبق نتایج ترکیب هگزافریت باریم به همراه مقدار ناچیزی فاز غیرمغناطیسی هماتیت تشکیل گردید. نتایج VSM حاکی از کاهش مقادیر مغناطش اشباع (Ms) و نیروی وادارندگی (Hc) در تمامی نمونهها بود و کمترین میزان مغناطش اشباع (VN۰ و در زمینه رزینی و دارندگی (O۱۸ ای در نمونه حاوی یون قلع مشاهده شد. طبق نتایج ترکیب هگزافریت باریم به همراه مقدار حالت استفاده از ۵۰ درصد وزنی پودر در زمینه رزینی و در صورت استفاده از نمونه حاوی یون قلع مشاهده شد. طبق نتایج مراکس به میزان جذب در ۱۹/۱۰ حاصل گردید.

كلمات كليدى: هگزافريت باريم، خواص مغناطيسي، جذب امواج رادار.

Investigation the Radar Absorption Behavior of Polymer Matrix Composites with Doped Barium Hexaferrite Particles

Seyyed Salman Seyyed Afghahi¹, Mojtaba Jafarian^{*2}, Mohsen Salehi²

¹Department of Materials sciencend Engineering, Imam Hossein University, Tehran, Iran. ²Young Researchers and Elites club, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Abstract In this paper with the aim of investigating the radar absorption behavior of doped barium hexaferrite, composites contain this powder with different weight percent in resin epoxy matrix were prepared. X-ray diffraction analysis (XRD), Vibration sample magnetometer (VSM) and Vector network analysis (VNA) were performed in order to evaluate phase, magnetic properties and microwave absorption properties. According to the results, barium hexaferrite with negligibility amount of non-magnetic hematite phase were was formed. VSM results, representing the reduction of saturation magnetization (Ms) and coercive force (Hc) values in all samples, and the lowest value of saturation magnetization (18.14 emu/g) and coercive force (118 Oe) corresponded to the sample that contain tin ion. According to the VNA results, the maximum absorption is achieved when 50 wt.% of powder is used in resin matrix which was related to the sample with the composition of BaZn0.6Zr0.3Sn0.3Fe10.8O19 at the frequency of 11.1 GHz with -16.3 dB.

Keywords: Barium hexaferrite, Magnetic properties, Radar waves absorption.

* عهده دار مکاتبات

نشانی: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، تهران، ایران. **تلفن**: ۰۹۱۲۴۷۳۹۹۵۰، **پیام نگار**: Jafarian 67@yahoo.com فصلنامه مواد و فناوریهای پیشرفته

۱– مقدمه

پیشرفتهای اخیر در زمینه دستگاههای ارتباط الكترونيكي بيسيم همچون تلويزيون، سيستمهاي راديويي، تلفن های همراه، دستگاههای رادار، شبکههای دسترسی محلی و ...، کارکرد در محدوده فرکانسی مگاهرتز تا گیگاهرتز را دچار مشكلات فراواني از جمله تداخل امواج الكترومغناطيس نموده است [۴–۱]. بنابراین محافظت در برابر امواج الكترومغناطيس امرى اجتنابناپذير نه تنها به واسطه تداخل امواج و مختل نمودن عملکرد سیستمهای الکترونیکی و مخابراتي بلكه بهواسطه ماهيت مضر اين امواج براي سلامت انسان میباشد [۵]. بنابراین جاذبهای امواج الکترومغناطیس به منظور کاهش آلودگی تشعشعات ناشی از افزایش دستگاهها و منشاهای امواج الکترومغناطیس مورد نیاز میباشد [۴]. تاكنون طيف وسيعى از جاذبهاي امواج الكترومغناطيس شناخته شده که قادر به جذب امواج در فرکانس های بالا و پایین میباشند [۱۰–۷]. فریتهای اسپینلی طبق حد اسنوک در محدوده گیگاهرتز دچار افت خاصیت نفوذپذیری مغناطیسی می شوند و به همین دلیل در محدوده گیگاهرتز به عنوان جاذبي مناسب نمي توانند عمل كنند [١١].

بهعلاوه این ترکیبات دارای فرکانس رزونانسی پایینی در حد کمتر از MHz ۱۰۰ بوده و کاربرد آنها را در محدوده فرکانسی GHz ۲۱-۸ محدود میکند. از طرفی فریتهای هگزاگونال با دارا بودن آنیزوتروپی مغناطوکریستالی تکمحوری بالا، نفوذپذیری مغناطیسی پایین و فرکانس رزونانسی بالای خود نمیتوانند به عنوان جاذب امواج مایکروویو مناسب باشند [۱۲].

با این حال، فریتهای هگزاگونال با آنیزوتروپی صفحهای بهواسطه دارا بودن نفوذپذیری مغناطیسی بالا و فرکانسهای رزونانسی در نزدیکی باند X، کاندیدهای مناسبی برای کاربرد به عنوان موادی با انعکاسپذیری پایین در فرکانس مایکروویو میباشند.

هگزافریتها با توجه به ترکیب شیمیایی و ساختار کریستالی شان به پنج دسته طبقهبندی می شوند. این ترکیبات شامل هگزافریت باریم نوع M، W، Y و Z به ترتیب با BaMe₂Fe₁₂O₂₂ BaMe₂Fe₁₆O₂₇ BaFe₁₂O₁₉ فرمول کلی Ba₂Me₂Fe₂₄O₄₁ می باشند که Me نشان

دهنده انواع کاتیونهای دو ظرفیتی در ترکیب است [۱۳،۱۴]. در میان تمامی فریتهای هگزاگونال، باریم هگزافریت نوع M با ساختار مگنتوپلمبیت و گروه فضایی P63/mmc نسبت به سایر ترکیبات این خانواده از خواص مناسبتری

برخوردار مي باشد.

این ترکیب دارای نیروی وادارندگی (۶۷۰۰ Oe)، مغناطش بالا (۲۰ ۳۷۲) و دمای کوری بالا (۲۰ ۲۰۵=۲) میباشد. خواص مغناطیسی مواد فریتی به طور گسترده توسط جانشینی با کاتیونهای مختلف تنظیم می شود.

اصلاح هگزافریت باریم با جانشینی کاتیونهای مختلف و یونهای آهن تغییرات عمدهای در مشخصههای فیزیکی و شیمیایی این ترکیب از جمله آنیزوتروپی مغناطوکریستالی، نیروی پسماندزدا و دمای کوری ایجاد میکند [۱۶–۱۴]. خواص مغناطيسي هگزافريت باريم جانشين شده به شدت تابع شرایط سنتز و نحوه قرارگیری دوپنتها در مکانهای کریستالوگرافی پنجگانه یونهای Fe⁺³ در ترکیب هگزافریت باریم میباشد. روش های متعددی به منظور سنتز و جانشینی کاتیونهای مختلف در ساختار هگزافریت باریم همچون همرسوبي [١٧]، سل- ژل [١٨]، ميكروامولسيون [١٩]، آلیاژسازی مکانیکی [۲۰] و غیره بهکار گرفته شده است. در میان این روشها روش آلیاژسازی مکانیکی به عنوان یکی از سادهترین و مقرون بهصرفهترین روشها محسوب میشود، چرا که اصولا مواد اولیه مورد نیاز در این روش در دسترس و ارزان میباشند. پژوهشهای گستردهای در زمینه اصلاح خواص مغناطیسی هگزافریت باریم با جانشینی کاتیونهایی همچون Co-Ti [۲۲]، Al [۲۲] و Co-Ti [۳۲] و Co-Ti Zr [۲۵] انجام شده است.

پس از جایگزینی یونهای Ba و Fe با یونهای مورد نظر مغناطش اشباع، نیروی وادارندگی، فرکانس رزونانس فرومغناطیسی ترکیب هگزافریت باریم تغییر نموده است. ارتباط بین کاهش فرکانس رزونانس فرومغناطیسی هگزافریت باریم با آلایش با عناصر مختلف نیاز به تحقیقات گسترده دارد. پژوهش حاضر با هدف مقایسه رفتار جذب امواج ماکروویو در ترکیب کامپوزیتی هگزافریت باریم- رزین اپوکسی آلاییده شده با کاتیونهای روی و زیرکونیوم به همراه کاتیونهای تیتانیوم، سریوم و قلع برای اولین بار و منحصر به فرد به شمار می آید.

۲- روش تحقيق

در این پژوهش به منظور سنتز پودر هگزافریت باریم دوپ شده با ترکيب BaZn_{0.6}Zr_{0.3}X_{0.3}Fe_{10.8}O₁₉ (X=Ti,Ce,Sn) از مواد اولیه شامل کربنات باریم (۱۰۱۷۱۴)، اکسید آهن (۱۰۳۸۱۹)، اکسید روی (۱۰۸۸۴۶)، اکسید زیرکونیوم (۱۷۰۳۹۰)، دىاكسيد تيتانيوم (۱۰۰۸۰۵)، دىاكسيد سريوم (۱۰۲۲۶۳) و دیاکسید قلع (۱۰۷۸۱۸) تهیه شده از شرکت مرک با خلوص ۹۹/۸ درصد به روش فعالسازی مکانیکی استفاده شد.

مواد اولیه با توجه به نسبت استوکیومتری و نسبت وزنی گلوله به پودر (۲۰:۱۰) در قندانی های آسیاب سیارهای (Retsch PM100) قرار گرفته و به مدت ۲۰ ساعت در اتمسفر هوا آسیاکاری و سپس به مدت ۵ ساعت در دمای C° ۱۰۰۰ و با نرخ C/min° ۵ حرارت داده شدند. در تمام شرایط به میزان ۱ cc اتانول به عنوان عامل کنترل کننده فرآیند به مخلوط پودری اضافه شد. بررسی فازی پودرهای سنتز شده با استفاده از دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD, XMD۳۰۰) در محدوده ۱۰–۷۰ °C با استفاده از تابش CuKa با طول موج ۱/۵۴ آنگستروم صورت گرفت.

پارامترهای مغناطیسی نمونههای پودری تهیه شده، در دمای K ۲۹۸ با استفاده از دستگاه مغناطیس سنج نمونه مرتعش (VSM) اندازه گیری گردید. به منظور بررسی میزان جذب امواج مایکروویو در محدوده باند X (۸-۱۲/۴ GHz)، پس از آمادهسازی نمونهها در ابعاد mm ۵×۱۰×۲۵ بهگونهای که به میزان ۳۰، ۴۰ و ۵۰٪ پودر در زمینه رزین اپوکسی به طور کامل یخش شده بود، از دستگاه 8510C Vector Network Agilent Analyzer (VNA) استفاده گردید.

جدول (۱) نشان دهنده کدهای مربوط به نمونههای آلايش شده مي باشد.

جدول ۱ . کدهای مربوط به نمونههای آلایش شده.		
تركيب	کد نمونه	
BaZn _{0.6} Zr _{0.3} Ti _{0.3} Fe _{10.8} O ₁₉	ZZT	
BaZn _{0.6} Zr _{0.3} Ce _{0.3} Fe _{10.8} O ₁₉	ZZC	
BaZn _{0.6} Zr _{0.3} Sn _{0.3} Fe _{10.8} O ₁₉	ZZS	

۳– نتايج و بحث

۳–۱ بررسی فازی (XRD)

از تمام نمونههای تولید شده به منظور بررسی فازی و ساختار بلوری آنالیز پراش اشعه ایکس به عمل آمد و با اطلاعات بدست آمده، از پراش نمایهسازی انجام شد. برای این منظور موقعیت پیکها مشخص و مقادیر متناظر با sin20 بررسی شد. شکل (۱) نشان دهنده الگوهای پراش اشعه ایکس مربوط به نمونههای دوپ شده با کاتیونهای مورد نظر مى باشد.



با توجه به الگوها تشکیل ترکیب تقریبا تکفاز هگزافریت باریم نوع M باگروه فضایی P63/mmc در تمامی حالتها تایید شد. ییکها با الگوی استاندارد با شماره کارت (۲۷۶-۰۲۷۰) مطابقت داده و همان طور که ملاحظه می شود حضور مقداری فاز غیرمغناطیسی هماتیت در الگوهای پراش علاوه بر فاز مغناطیسی هگزافریت باریم مشاهده می شود.

۲-۳ بررسی مغناطیسی

شکل (۲) نشان دهنده حلقههای M-H نمونههای ZZT، ZZC و ZZS می باشد که در دمای اتاق تهیه شده اند. میدان پسماندزدا و مغناطش باقیمانده به طور مستقیم از حلقههای هیسترزیس (M-H) بدست آمد. پارامترهای مغناطیسی کاربردی همچون مغناطش اشباع، نیروی وادارندگی و مغناطش باقیمانده نمونه ها نیز در جدول (۲) آورده شده است.

همان طور که ملاحظه می شود هر سه مشخصه

فصلنامه مواد و فناوریهای پیشرفته

مغناطیسی (Mr ،Ms و Hc و Hc و Mr ،Ms در هر سه نمونه نسبت به حالت خالص هگزافریت باریم (Ms=vr-۹۴ emu/g و Ms=vr-۹۴ emu/g) [۵۱–۱۱] کاهش شدیدی داشته است. کاهش نیروی وادارندگی با دوپ نمودن یونهای مختلف در ترکیب حاکی از کاهش ناهمسانگردی مغناطیسی- بلوری در راستای محور C نمونهها میباشد.



شکل ۲. منحنی های M-H نمونه های ZZC ZZT و ZZS

جدول ۲. مقادیر پارامترهای مغناطیسی نمونههای ZZC ZZT و ZZS

نمونه	مغناطش اشباع (emu/g)	مغناطش باقیمانده (emu/g)	نیروی وادارندگی (Oe)
ZZT	۳۳/۱	۱۰/۱	440
ZZC	7V/74	4/31	174
ZZS	۱۸/۱۴	۲/۹	11A

منشا ناهمسانگردی مغناطیسی- بلوری بالای هگزافریت باریم نوع M حضور یونهای آهن در مکانهای tb و ۴f۲ با عدم تقارن بالا است. طبق نتایج بیشترین میزان کاهش نیروی وادارندگی در نمونه ZZS رخ داده که ممکن است به دلیل جانشینی یونهای دوپ شده مخصوصا یون قلع در مکانهای فوق باشد [۴]. از طرفی مغناطش اشباع شدیدا وابسته برهمکنشهای فوق تبادلی از نوع +c-Fe³⁺ میباشد که خود نسبت به فواصل بین اتمی بسیار حساس میباشد. اصولا دوپ نمودن یونهای مختلف با شعاعهای یونی بیشتر از و در نتیجه کاهش در مغناطش اشباع رخ میدهد. همان طور که ملاحظه میشود در تمامی حالتها کاهش مغناطش اشباع رخ فاصله لایهها و در نتیجه تضعیف برهمکنشهای فوق تبادلی

مربوط میباشد بلکه نحوه چینش و قرارگیری یونهای مختلف در مکانهای کریستالوگرافی یونهای آهن نیز، نقش بهسزایی در میزان مغناطش نهایی نمونهها ایفا میکند. بهطور کلی در ساختار هگزافریت باریم، یونهای آهن با اسپین بالا در مکانهای اکتاهدرال (۱۲K و ۲۵) و بایپیرامید (۲۵) و یونهای آهن با اسپین پایین در مکانهای تتراهدرال (۴f1) و اکتاهدرال (۴f2) توزیع شدهاند [۲۵–۲۰]. طبق تئوری میدان لیگاند یونهایی با ۱۵، ۲۵، ۳۵ و ۲۵ به طور ترجیحی در مکانهای تتراهدرال، در حالی که یونهایی با ۵۵، ۷۸ و ۵4 در مکانهای اکتاهدرال قرار میگیرند. یونهایی با ۵۵، ۵۸ و ۱۰۵ مکان ترجیحی برای قرارگیری ندارند و میتوانند در هر دو مکان تتراهدرال و اکتاهدرال قرار گیرند [۲۴].

در نتیجه طبق این تئوری و بررسیهای مزوبار انجام شده در سایر پژوهشها در رابطه با نحوه اشغال مکانهای مختلف توسط یونهای مورد نظر میتوان این چنین بیان نمود که یونهای ⁺²R مکانهای ا⁴ [۱۱]، ⁺⁴R فاقد مکان ترجیحی که یونهای ⁺¹R در صورتی که با یونهای ⁺²R وارد ساختار شوند مکانهای ا⁴⁴ در صورتی که با یونهای ⁺²R مکانهای کا [۴] شوند مکانهای ا⁴⁴ و 2⁴β[۶]، یونهای ⁴⁴ مکانهای ما [۴] و یونهای ⁺⁴ مکانهای ا⁴۶ [۱۱] را اشغال مینمایند. طبق نتایج نیز بیشترین میزان کاهش مغناطش اشباع در نمونه حاوی یونها به مکانهای کا باشد که میتواند ناشی از ورود این وادارندگی بلکه کاهش مغناطش اشباع را نیز به همراه داشته است. به طور کلی حضور فاز غیرمغناطیسی هماتیت نیز از پراش مشاهده شد.

۳–۳ بررسی میزان جذب امواج مایکروویو

برای کاهش بازتاب از جاذب ها 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 جـذب شـده توسط ماده از طریق اتلافهای مغناطیسی و دیالکتریکی بـه گرما تبدیل میشود. زمانی کـه بـا یـونهـای مختلـف آلایـش ساختار فریتهای هگزاگونال صورت گیرد، با وارد شدن یـون در ساختار ماده، روی برهمکنش اسپین – مدار و ناهمسانگردی بلوری ماده تأثیر می گذارد و خواص مغناطیسی به ویژه Hc را تغییر می دهد. فرکانس رزونانس فرومغناطیسی هگزافریت باریم نوع M به واسطه آنیزو تروپی مغناطو کریستالین بالا در محدوده GHz ۶۰–۵۰ می باشد [۰۰–۷]. به علاوه فرکانس رزونانسی می تواند با جانشینی یونهای فلزی با ^۲⁴ Fe به سمت فرکانسهای کمتر نیز انتقال پیدا کند. بر اساس تئوری رزوناس فرومغناطیس، فرکانس رزونانسی نسبت مستقیم با میدان ناهمسانگردی ترکیب هگزافریت باریم دارد. هر چند خواص مغناطیسی نمونه ها مبین تا حدودی نرم بودن تمام نمونه های آلایش شده می باشد ولی تنها بر اساس آن نمی توان بر روی خواص جذب فریت ها قضاوت کرد، به ویژه این که هر کدام از جاذب های امواج الکترومغناطیس در یک محدوده خاص

بنابراین میبایست میزان جذب امواج الکترومغناطیس در فرکانس های مختلف توسط هر یک از کامپوزیت های مورد مطالعه، اندازه گیری شود. میزان تلفات انعکاسی یک ماده جاذب امواج الکترومغناطیس تحت برخورد عمودی، به صورت تک لایه و با پشتی فلزی با توجه به مقدار امپدانس ورودی آن طبق نظریه خطوط انتقال با فرمول زیر مشخص می شود [۱۰]:

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

شکل (۳) نشان دهنده نمودارهای میزان تلفات انعکاسی با فرکانس در محدوده GHz -۱۲/۴ GHz برای نمونههای ZZT و ZZS و ZZS در درصدهای وزنی مختلف ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد وزنی میباشد. در اینجا پهنای باند به صورت محدوده فرکانسی که در آن میزان تلفات انعکاس بیش از طB ۱۰- باشد تعریف میشود. همان طور که ملاحظه میشود با افزایش میزان درصد وزنی پودر جاذب در زمینه رزین اپوکسی بهواسطه کاهش میزان نقاط نشت (leakage) که منجر به عبور موج وارده و برخورد به صفحه فلزی پشتی و برگشت آن میشود و از طرفی افزایش مسیر جذب (Absorptionpath) در نمونه جاذب منجر به افزایش میزان جذب امواج رادار با افزایش

با توجه به منحنی های جذب در حالت استفاده از ۵۰٪

دوره ۵، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵– ۲۱

وزنی مشاهده می شود که در تمامی نمونه ها در محدوده باند X با افزایش فرکانس میزان جذب امواج افزایش می یابد. مقادیر پارمترهای جذب توسط نمونه ها در جدول (۳) آورده شده است. همان طور که ملاحظه می شود بیشترین میزان جذب مربوط به نمونه ZZS می باشد. جذب بالای این نمونه می تواند ناشی از کمتر بودن نیروی وادارندگی H نسبت به دو نمونه دیگر و افزایش نفوذ پذیری مغناطیسی ترکیب مورد نظر باشد. مکانیزم غالب جذب امواج الکترومغناطیسی می باشد. دوپ شده حرکت دیواره حوزه های مغناطیسی می باشد.





- An, S.Y., Shim, I.B., Kim, C.S., Mössbauer and magnetic properties of Co-Ti substituted barium hexaferrite nanoparticles, *Journal of Applied Physics*, 2002, 91, 8465-8467.
- 7. Wang, J.F., Ponton, C.B., Harris, I.R.: A study of the magnetic properties of hydrothermally synthesised Sr hexaferrite with Sm substitution, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2001, 234, 233-240.
- Awawdeh, M., Bsoul, I., Mahmood, S., Magnetic properties and Mössbauer spectroscopy on Ga, Al, and Cr substituted hexaferrites, *Journal of Alloys and Compounds*, 2014, 585, 465–473.
- Iqbal, M.J., Ashiq, M.N., Comparative studies of SrZrxMnxFe12–2xO19 nanoparticles synthesized by coprecipitation and sol–gel combustion methods, *Scripta Materialia*, 2007, 2, 145-148.
- Wang, C.S., Wei, F.L., Lu, M., Han, D.H., Yang, Z., Structure and magnetic properties of Zn–Ti-substituted Ba-ferrite particles for magnetic record-ing, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 1998, 183. 241-250.
- Yang, Z., Wang, C.S., Li, X.H., Zeng, H.X., (Zn, Ni, Ti) substituted barium ferrite particles with improved temperature coefficient of coercivity, *Materials Science* and Engineering, 2002, 90, 142–145.
- Dho, J., Lee, E.K., Park, J.Y., Hur, N.H., Effects of the grain boundary on the coercivity of barium ferritr BaFe12O19, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2005, 285, 164–168.
- Gorter, E.W., Ionic distribution deduced from the g-factor of a ferrimag-netic spinel: Ti⁴⁺ in fourfold co-ordination, *Nature*, 1954, 173, 123–124.
- 14. Sozeri, H., Küçük, I., Özkan, H., Improvement in magnetic properties of La substituted BaFe12O19 particles prepared with an unusually low Fe/Ba molar ratio, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2011, 323, 1799–1804.
- 15. Haq, A., Anis-ur-Rehman, M., Effect of Pb on structural and magnetic properties of Ba-hexaferrite, *Physica B: Condensed Matter*, 2012, 407, 822–826.
- 16. Summergrad, R.N., Banks, E., New hexagonal ferrimagnetic oxides, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 1957, 2, 312-316.
- 17. Turilli, G., Licci, F., Rinaldi, S., Mn²⁺, Ti⁴⁺ substituted barium ferrite *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2005, 59, 127-135.
- Ghasemi, A., Hossienpour, A., Morisako, A., Liu, X., Ashrafizadeh, A., Investigation of the microwave absorptive behavior of doped barium ferrites, *Materials & Design*, 2008, 29, 112–117.
- Tehrani, M.K., Ghasemi, A., Moradi, M., Alam, R.S., Wideband electromagnetic wave absorber using doped barium hexaferrite in Ku-band, *Journal of Alloys and Compounds*, 2011, 509, 83-91.
- Wartewig, P., Krause, M.K., Esquinazi, P., Rosler, S., Sonntag, S., Magnetic properties of Zn- and Ti-substituted barium hexaferrite, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 1992, 192, 83-90.
- Kanagesan, S., Jesurani, S., Velmurugan, R., Prabu, S., Kalaivani, T., Structural and magnetic properties of conventional and microwave treated Ni–Zr doped barium strontium hexaferrite, *Materials Research Bulletin*, 2012, 47, 188-193.
- Sozeri, H., Baykal, A., Unal, B., Low-temperature synthesis of single-domain Sr-hexaferrite particles by solid-state reaction route, *Physica Status Solidi* (A) *Applications and Materials*, 2012, 209, 2002–2013.
- Sözeria, H., Deligözb, H, Kavasc, H., Baykal, A., Magnetic, dielectric and microwave properties of M–Ti substituted barium hexaferrites (M= Mn²⁺, Co²⁺, Cu²⁺, Ni²⁺, Zn²⁺), *Ceramics International*, 2014, 37, 234- 246.

جدول ۳. پارامترهای جذب نمونههای ZZC ZZT و ZZS

نمونه	فركانس (GHz)	بیشترین اتلاف (dB)	پهنای باند جذب (GHz)
ZZT	١٢	-V/٩	_
ZZC	17/7	-14/7	•/٩
ZZS	11/1	-18/3	١/۶

۴- نتیجه گیری

روش فعالسازی مکانیکی به منظور آلایش پودر مغناطیسی هگزافریت باریم در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. عدم اسیدشویی پودر حاصل منجر به حضور فاز غیرمغناطیسی هماتیت در ترکیب پودر نهایی شد. آلایش سهتایی ترکیب هگزافریت باریم با کاتیونهای مختلف منجر به کاهش آنیزوتروپی مغناطیسی و امکان کاربرد این ترکیب به عنوان پودر جاذب امواج رادار در محدوده فرکانسی باند X مند. حضور فاز غیرمغناطیسی هماتیت نه تنها تاثیر منفی در کاهش هر چه بیشتر پارامترهای مغناطیسی این ترکیب داشت سه حالت مختلف گردید. بررسی اتلاف انعکاس در محدوده باند X برای نمونه حاوی یون چهار ظرفیتی قلع نسبت به نمونههای دیگر شاهد افزایش قابل ملاحظهای بود که این امر به کمتر بودن نیروی وادارندگی این نمونه نسبت به دو نمونه دیگر و افزایش نفوذپذیری مغناطیسی آن مربوط بود.

مراجع

- Pawar, R.A., Desai, S.S., Tamboli, Q.Y., Shirsath, E., Patange, S.M., Ce³⁺ incorporated structural and magnetic properties of M type barium hexaferrites, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2015, 378, 59-63
- 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 BaCo_xZr_xFe_(12-2x)O₁₉, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2014, 350, 23–29.
- Pashkova, E.V., Solovyova, E.D., Kolodiazhnyi, T.V., Ivanitskii, V.P., Belous, A.G., Effect of heat treatment on the phase composition, structure and magnetic properties of M-type barium hexaferrite, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2014, 368, 1-7.
- Rasly, M.M., Rashad, M., Structural and magnetic properties of Sn–Zn doped BaCo₂Z-type hexaferrite powders prepared by citrate precursor method, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2013, 337-338, 58-64.
- Wang, C.S., Qi, X.Q, Li, L.T., Zhou, J., Wang, X.H., Yue, Z.X., Effect of copper on the electromagnetic properties of Mg–Zn–Cu ferrites prepared by sol–gel auto-combustion method, *Materials Science and Engineering*, 2003, 86, 64-69.

دوره ۵، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵ – ۲۳

- Lisjak, D., Drofenik, M., Synthesis and characterization of A–Sn-sub-stituted (A¹/₄Zn, Ni, Co) BaM–hexaferrite powders and ceramics, *Journal of the European Ceramic Society*, 2004, 24, 1841–1845.
 Akman, O., Kavas, K., Baykal, A., Durmuş, Z., Aktaş, B.,
- 25. Akman, O., Kavas, K., Baykal, A., Durmuş, Z., Aktaş, B., Sözeri, H., Microwave absorption properties of BaFe₁₂O₁₉–TiO₂ composite coated with conducting polymer, *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 2013, 26, 1369–1373.