بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

ساخت و بررسی خواص جذبی مواد $Cu_{0.2}Ni_{0.4}Zn_{0.4}Fe_2O_4$ و $Li_{0.32}Zn_{0.26}Cu_{0.1}Fe_{2.32}O_4$ آلائیده با نانوساختارهای کربنی

اکبر چراغی[۱و۲]، سید ارسلان حبیبی[۱]، علی محمدی[۱]، مرضیه پریشانی[۱]، رسول ملک فر[۱]

۱- دانشگاه تربیت مدرس- دانشکده علوم پایه
۲- دانشگاه شهید ستاری- دانشکده علوم پایه

چکیده- در این پژوهش تلفات انعکاسی فریت های $Cu_{0.2}Ni_{0.4}Zn_{0.4}Fe_2O_4$ و $Li_{0.32}Zn_{0.26}Cu_{0.1}Fe_{2.32}O_4$ آلائیده شده با نانوله های کربنی(CNT) در محدوده فرکانسی (۱-۲۰GHz) بررسی شد. ابتدا فریت های یاد شده به روش واکنش حالت جامد و شوک حرارتی تهیه شد. سپس با نسبت وزنی ۷۰ به ۳۰ مواد فریتی و نانولوله کربنی درون حمام آلتراسونیک قرار گرفتند. اندازه دانه فریت ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مشخصه یابی شد. نتایج آنالیز نشان می دهد، اندازه ذرات فریت با هم متفاوت و بین ۵۰ تا ۷۰ نانومتر است. میزان جذب امواج و تلفات انعکاسی در کامپوزیت ها توسط دستگاه تحلیل گر شبکه (N.A) اندازه گیری شد.

کلید واژه- تلفات انعکاس، فریت، نانولوله های کربنی، نانوکامپوزیت، واکنش حالت جامد.

Fabrication and investigation of absorption properties of materials $Cu_{0.2}Ni_{0.4}Zn_{0.4}Fe_2O_4$ and $Li_{0.32}Zn_{0.26}Cu_{0.1}Fe_{2.32}O_4$ doped with carbon nanostructures

A.Cheraghi[۱,۲], S.A. Habibi[۱], A.Mohamadi[۱], M.Parishani[۱], R. Malekfar[۱]

۱-Tarbiat Modares University, Department of Physics

۲-Shahid Sattari University, Department of Basic Sciences

Abstract- - In this study, reflection losses of $Li_{0.32}Zn_{0.26}Cu_{0.1}Fe_{2.32}O_4$ and $Cu_{0.2}Ni_{0.4}Zn_{0.4}Fe_2O_4$ ferrites doped with carbon nanotubes (CNT) were investigated in the frequency range of ۱-۲۰ GHz. In first step the mentioned ferrites were prepared by solid state reaction and thermal shock techniques. Then, with a weight ratios of ferrite and carbon nanotubes of ۷۰ to ۳۰ were placed in an ultrasonic bath. Ferrite grain sizes were characterized by scanning electron microscopy. The experimental results show that the ferrite grain sizes are different and being in the range of ۵۰-۷۰ nm. The waves absorption and reflection losses for the composites were measured using a network analyzer set.

Keywords: Reflection loss, ferrite, CNT, nanocomposite, solid state reaction.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-02]

۱- مقدمه

استفاده از مواد با قابلیت جذب امواج رادار در توسعه فرآیندهای استتار تجهیزات پروازی از دید رادار، در صنعت هوایی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. مواد مغناطیسی از جمله مهمترین مواد جاذب مایکروویو به شمار می روند. جاذب ها مطابق با پرکننده های اتلافی آنها و سازوکار جذب به دو گروه جاذب های دی الکتریکی و مغناطیسی دسته بندی می شوند. محصولات کربنی به عنوان مواد اتلاف دی الکتریک و فریت ها به عنوان مواد اتلاف مغناطیسی رفتار می کنند[۱]. مواد جاذب مرسوم از قبیل پودرهای فلزی بسیار سنگین هستند و همین موضوع سودمندی آنها را در کاربرد هایی که سبکی مورد نیاز است، محدود می کند. افزودن مواد کربنی رسانا شامل دوده، الیاف کربن، رشته های کربنی و نانو لوله های کربنی به عنوان روشی موثر برای دستیابی به مواد حفاظتی سبک و کارا مفید است. به تازگی نانوکامپوزیت های پلیمر - نانولوله کربنی با رسانایی زیاد به کار گرفته می شوند. تاکنون، پژوهش های قابل توجهی برای توسعه جاذب های امواج الکترومغناطیسی با پهنای باند گسترده، پایداری شیمیایی زیاد، سبک و ارزان انجام شده است. فان و همکاران خواص الکترومغناطیسی پلیمرهای مختلف در مجاورت نانولوله کربنی چنددیواره را در محدوده بسامد ۲ GHz تا ۱۸ GHz بررسی کردند. نتایج نشان داد، حداقل بازتابش به بسامد کمتر منتقل می شود. همچنین، ضریب اتلاف با افزایش مقدار کربن نانولوله افزایش می یابد[۲]. پارک و همکاران خواص جذب امواج الکترومغناطیسی کامپوزیت های نانوالیاف کربن و اپوکسی را بررسی کردند. آنها نشان دادند، حداکثر اتلاف در بازتابش امواج در بسامد ۱۰ GHz رخ می دهد و برابر با ۴۰dB- است[۳]. به دلیل زیاد بودن تانژانت اتلاف دی الکتریک نانوکامپوزیت های ساخته شده از نانولوله ها، از این مواد به طور گسترده به عنوان جاذب امواج الکترومغناطیسی و پوشش های ضد راداری استفاده می شود. سازوکار اتلاف نانولوله های کربنی، اتلاف دی الکتریک است، زیرا تانژانت اتلاف دی الکتریک در این نانوکامپوزیت ها نسبت به تانژانت اتلاف مغناطیسی بسیار بیشتر است. پس از جنگ جهانی دوم، مواد کربنی به عنوان نویدبخش ترین جاذب ها درنظر گرفته شدند[۴].

در این پژوهش از نانوکامپوزیت های فریت به همراه نانولوله های کربنی برای ساخت جاذب استفاده شده است که در نهایت مقدار انعکاس نمونه های نانوکامپوزیتی ساخته شده بررسی شد.

۲- شرح آزمایش

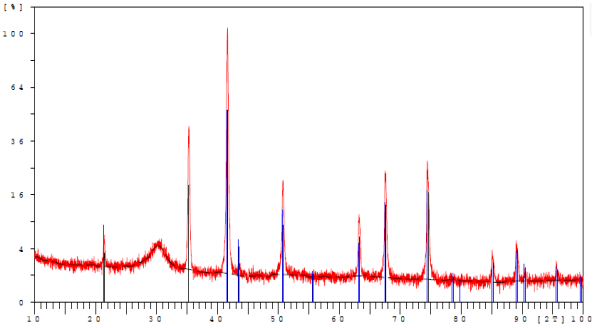
مواد اولیه مورد استفاده در این تحقیق شامل اکسید ترکیباتی نظیر مس، نیکل، روی و آهن می باشد که با نسبت مولی معین به همراه گلوله هایی به قطر ۱۰ میلی متر در یک محفظه سرامیکی مورد آسیاب کاری قرار گرفتند. آسیاب کاری در یک آسیاب پر انرژی لرزشی به مدت ۱۰ساعت انجام گردید و به مدت ۳ ساعت در دمای ۱۳۰۰°C درهوا تف جوشی شد. سرعت حرارت دهی نمونه ها از دمای اتاق تا ۶۰۰°C ، ۵ $^{\circ}$C/min بوده و سپس تا دمای نهایی تف جوشی با سرعت ۱۰$^{\circ}$C/min حرارت دهی شد. از آنجایی که ذرات فریت بدست آمده پس از تف جوشی ابتدایی درشت و زبر هستند و باید به پودری نرم تبدیل شوند، بنابراین ذرات دوباره توسط آسیاب گلوله ای به مدت ۱۰ ساعت خرد شدند و به همراه محلول زایلن درون حمام آلتراسونیک قرار گرفتند تا ابعاد آنها در گستره‌ی ۵-۳ μm قرار گیرد. به منظور اندازه گیری خواص جذبی نانوکامپوزیت فریت ها با درصد وزنی فریت به CNT برابر ۷۰ به ۳۰ انتخاب و درون دستگاه تحلیل گر شبکه برداری (N.A) قرار گرفتند. آزمایش الگوی پراش پرتو ایکس به منظور شناسایی فازهای مغناطیسی و نانولوله های کربنی انجام گرفت که لوله بکار رفته در آن پرتو CUK_{α} با طول موج ۱/۴۵۲آنگستروم بود. نرخ روبش معادل ۰/۵ درجه بر دقیقه و زاویه پراش از ۱۰ تا۱۰۰ درجه انتخاب گردید. به منظور بررسی ریز ساختار و ریخت شناسی ذرات نانو کامپوزیت از روش میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده شد.

۳- نتایج

شکل ۱ الگوی پراش پرتو ایکس فریت و نانوکامپوزیت CNZF را نشان می دهد. همان‌طورکه ملاحظه می شود، در الگوی پراش نانو کامپوزیت CNZF پیک برجسته ای در زاویه (۲θ) ۴۱/۵$^{\circ}$ ظاهر شده و نشان دهنده این است که ساختار نانولوله کربنی باحمام آلتراسونیک در فریت بوجود آمده است. لازم به توضیح

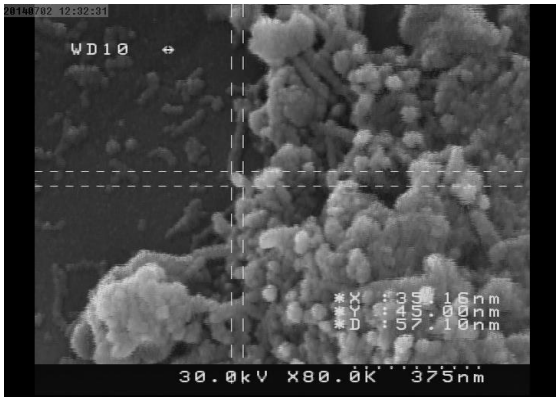
[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-02]

است که ساختار نانولوله های کربنی بصورت لایه های تکرار شونده گرافیت بوده و بصورت لوله هایی با طول یک تا چند ده میکرون می باشد. بنابراین ساختار آنها بلوری بوده و پیک مربوط به آنها در الگوی پراش پرتو ایکس در زاویه $41/5^{\circ}$ نمایان شده است[۱].

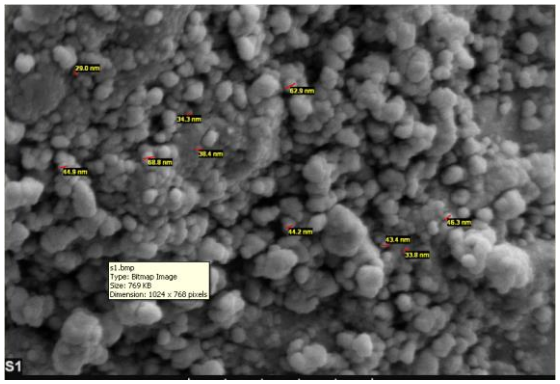


شکل ۱: الگوی پراش اشعه ایکس فریت CNZF آلائیده شده باCNT

با توجه به توضیحات بخش قبل در رابطه با ابعاد بلوری به منظور بررسی سطح نانوذرات و به دست آوردن اطلاعات درباره شکل، ریخت شناسی و اندازه نانو ذرات از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده گردید. همانطور که در شکل مشاهده می شود، اندازه ذرات در محدوده ۵۰ تا ۷۰ نانومتر و دارای ساختاری هگزاگونال می باشد.



شکل ۲: تصویر (SEM) نمونه CNZF



شکل ۳: تصویر (SEM) نمونه LZCF

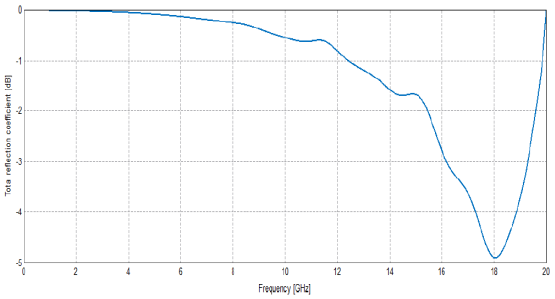
اما تصویر SEM برای نمونه LZCF نشان می دهد که کلوخه های ایجاد شده در این نمونه دارای ابعادکوچکتری هستند وساختار بهتری از نانولوله ایجاد شده است.

مطابق با نظریه خط عبوری، خواص جذب برای جاذب از معادله های زیر به دست می آید[۵].

$$RL(dB)=20\log\left|\frac{Z_{in}-Z_{\circ}}{Z_{in}+Z_{\circ}}\right| \quad (۱)$$

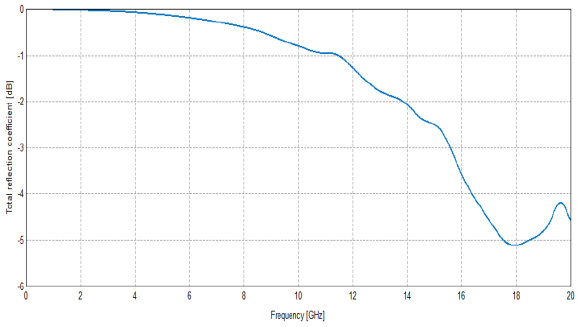
$$z_{in}=\sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}}\tanh\left[j\frac{2\pi}{c}\sqrt{\mu_r\varepsilon_r}fd\right] \quad (۲)$$

که Z_{in} امپدانس ورودی نرمال شده نسبت به امپدانس فضای آزاد، d ضخامت جاذب، c سرعت نور و f بسامد موج الکترومغناطیس در فضای آزاد است. شرط انطباق، امپدانس $Z_{in}=۱$ است و جذب مناسب با این شرط حاصل می شود. زمانی که امواج رادار به سمت جاذب ارسال می شوند، بخشی از آن پس از برخورد از سطح جاذب منعکس و بخشی دیگر وارد جاذب می شود. موج ورودی، جذب می شود یا از آن عبور می کند. بنابراین، مقدار اتلاف در نمونه ها، از اختلاف مجموع مقدار عبور و بازتاب با مقدار موج ارسالی به دست می آید. هرچه مقدار اتلاف در بازتابش امواج بزرگتر باشد، به معنای قابلیت جذب بیشتر است. فریت به عنوان یک ماده سرامیکی فرومغناطیسی دارای ویژگی هایی نظیر ضریب مغناطیسی بالا و مقاومت الکتریکی بالا می باشد. هنگامی که یک ماده رسانا یا ذرات فلزی با فریت مخلوط می شود در بین فاصله ذرات فریتی قرار می گیرد. این ماده فلزی سبب افزایش هدایت الکتریکی و افزایش ثابت دی الکتریک در کامپوزیت می شود که این موارد در کل سبب کاهش تلفات جریان و افزایش تلفات انعکاسی در کامپوزیت می شود. شکل های ۴ و ۵ نمودار تلفات انعکاسی بر حسب فرکانس را برای کامپوزیت های CNZF و LZCF در حضور نانولوله های کربنی نشان می‌دهد.



شکل ۴: تلفات انعکاس برای نمونه CNZF با آلایش CNT

[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-02]



شکل ۵:تلفات انعکاس برای نمونه LZCF با آلایش CNT

مکانیزم تلفات در فریت های مورد اشاره از نوع مغناطیسی می باشد و تلفات ناشی از تشدید عامل جذب موج مایکروویو برای فریت ها به شمارمی رود. در فریت ها تلفات دی الکتریک ضعیف می باشد و از آنجایی که موج الکترومغناطیس شامل دو میدان هم فاز مغناطیسی و الکتریکی عمود بر هم است، لذا سازوکار تلفات دی الکتریک از اهمیت بالایی برخوردار می شود. نانو لوله های کربنی همراه با فریت ها می‌تواند تلفات دی-الکتریک و قسمت موهومی تراوایی الکتریکی را افزایش دهد و باعث می شود کامپوزیت جذب بهتری نسبت به فریت تنها داشته باشد. هرچه میزان نانو لوله های کربنی در نانوکامپوزیت افزایش یافته مقدار تلفات انعکاس نیز بیشتر شده است. بیشترین مقدار تلفات انعکاس مقدار ۵dB- برای نانوکامپوزیت LZCF با درصد حجمی ۳۰ درصد نانولوله کربنی در فرکانس ۱۸GHz بدست آمد.

۴- نتیجه‌گیری

نانو فریت های هگزاگونال نوع z به روش واکنش حالت جامد سنتز شد و نتایج به دست آمده از میکروسکوپ روبشی دلالت بر تشکیل نانو ذرات فریتی هگزاگونال دارد. از طرفی کامپوزیت های نانو ساختار فریتی با نانو لوله کربنی از نظر جذب امواج مایکروویو مورد ارزیابی قرار گرفته و بیشترین مقدار تلفات انعکاس برای نانوکامپوزیت LZCF در فرکانس ۱۸GHz بدست آمده است. در استفاده از فریت های مختلف برای جذب در محدوده امواج راداری، نقش درصد و نوع آلایش ساختارهای کربنی بسیار حائز اهمیت می باشد. در مقالات و ایده های جدید، استفاده از مواد میزبان متفاوت به همراه آلایش های مختلفی از کربن ها به مانند نانوالیاف و گرافن ها با درصدهای پایین منجر به داشتن جذب مناسب در این محدوده خواهد شد. لذا قبل از لایه نشانی، از مدل سازی بومی، برای داشتن بهترین جذب از چندین لایه و چندین ترکیب مواد استفاده خواهد شد. در این بهینه سازی با لحاظ نمودن ضخامت، پهنای باند، زاویه تابش و قطبش، بهترین عملکرد از تلفات انعکاس مد نظر است.

مراجع

[۱] Kim B.R., Lee H.K., Park S.H., and Kim H.K., *Electromagnetic Interference Shielding Characteristics and Shielding Effectiveness of Polyaniline-Coated Films,* **Thin Solid Film**, ۵۱۹ (۲۰۱۱) ۳۴۹۲-۳۴۹۶.

[۲] Fan Z., Luo G., Zhang Z., Zhou, *Electromagnetic and Microwave Absorbing Properties of Multi-Walled Carbon Nanotubes/Polymer Composites,* **Mater. Sci. Eng.,** ۱۳۲ (۲۰۰۶) ۸۵-۸۹.

[۳] Park Ki.Y., Han J.H., Lee S.B., *Microwave Absorbing Hybrid Composites Containing Ni–Fe Coated Carbon Nanofibers prepared by electro less Plating*, **Composites: Part A,** ۴۲ (۲۰۱۱) ۵۷۳–۵۷۸.

[۴] Zou T., Zhao N., Shi C., *Microwave Absorbing Properties of Activated Carbon Fiber Polymer Composites,* **Bull. Mater. Sci**., ۳۴ (۲۰۱۱) ۷۵-۷۹.

[۵] Y. Yang., S. Qi, and J. Wang, *Preparation and Microwave Absorbing Properties of Nickel-Coated Graphite Nanosheet with Pyrrole via In Situ Polymerization,* **J. Alloy. Compd**., ۵۲۰ (۲۰۱۲) ۱۱۴-۱۲۱.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-02]