

پوشش نانوذرات کامپوزیت مغناطیسی $BaFe_{12}O_{19}/MWCNT$ در بستر سیلیکونی بر روی

پارچه بی بافت برای جذب امواج در محدوده باند X و Ku

آرزو افزلی^۱، وحید متقی طلب^{۲*}، سید سلمان افغاهی^۳، مجتبی جعفریان^۳^۱ گروه نساجی، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.^۲ پژوهشگاه مواد پیشرفته، دانشگاه امام حسین، تهران، ایران.^۳ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، تهران، ایران.

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۹۶/۱۱/۱۵، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۹۷/۱۲/۲۰، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۹۸/۰۴/۰۳

چکیده در این تحقیق پوشش جاذب امواج رادار شامل نانوذرات کامپوزیتی ($BaFe_{12}O_{19}/MWCNT$) سنتز شده به روش سل-ژل احتراقی بر روی پارچه اعمال گردید. نانولوله‌های کربنی کربوکسیل دار شده به منظور تقویت شدت و افزایش پهنای باند جذبی در رزین سیلیکونی بر روی سطح منسوج چاپ گردیدند. تصاویر میکروسکوپی منسوج پوشش داده شده با نانوذرات کامپوزیتی نشان می‌دهد پوشش یکنواختی از ذرات بر سطح منسوج تشکیل شده است. بیشینه جذب در نانوذرات $BaFe_{12}O_{19}$ برابر با ۷ dB- در فرکانس ۹.۵GHz است. در حالی که نانوذرات کامپوزیت $BaFe_{12}O_{19}/MWCNT$ در حدود ۳۸.۴۵ dB- در ۱۰.۵GHz در ضخامت ۱.۵mm با پهنای باند ۲.۶GHz در باند X می‌باشد. هم‌چنین اندازه‌گیری خواص جذبی نشان می‌دهد که میزان بیشینه جذب برای ضخامت ۱.۵ mm در مقایسه با ضخامت‌های دیگر بیشتر است. علاوه بر این در باند ku بیشینه جذب در ضخامت ۱.۵ mm برابر ۳۸.۳۱ dB- در فرکانس ۱۵/۹ GHz با پهنای باند ۳/۲GHz است. حضور ۱۰٪ وزنی نانولوله‌های کربنی با ساختار توخالی نه تنها باعث افزایش خاصیت الکتریکی کامپوزیت گردیده، بلکه از طرفی دیگر باعث افزایش بیشینه جذب و پهنای باند جذبی شده است. در پارچه پوشش داده شده با نانو ذرات حداکثر جذب ۳.۵ dB- در ۹/۷GHz و برای نانو ذرات کامپوزیت ۱۷.۸ dB- در ۹/۸ GHz با پهنای باند ۱/۸ GHz جذب بیش از ۱۰dB در باند X جذب داشته است. در باند Ku در پارچه پوشش داده شده با نانو ذرات، حداکثر جذب ۲.۴ dB- در ۱۷/۶ GHz و برای نانو ذرات کامپوزیت در حدود ۱۷.۶ dB- در ۱۶/۷GHz با پهنای باند ۲/۲ GHz جذب بیش از ۱۰dB حداکثر جذب دارد. نتایج نشان می‌دهد نمونه پوشش داده شده با نانو ذرات کامپوزیت در دو باند X و Ku دارای بیشینه جذب قابل قبول بالای ۹۰٪ بوده و قابلیت جذب امواج به دلیل وجود کربن در ساختار نانو ذرات کامپوزیتی افزایش پیدا کرده است.

کلمات کلیدی: منسوج، رادار، $BaFe_{12}O_{19}$ ، نانو لوله کربنی، باند X, Ku.

The Coating of Composite Nanoparticles of $BaFe_{12}O_{19}/MWCNT$ Using Silicon over Nonwoven Substrate for Radar Absorption In X And Ku Band

Arezoo Afzali¹, Vahid Mottaghtalab¹, Seyed Salman Afghahi² and Mojtaba Jafar³

¹Textile engineering department, Faculty of Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran.¹

²Advanced Material research center, Imam Hosein University, Tehran, Iran.

³ Young Researchers and Elites Club, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Abstract In current investigation a novel radar absorbing coating was developed on nonwoven fabric based on a composite nanomaterial of $BaFe_{12}O_{19}/MWCNT$ which was synthesized by combustive sol-gel technique. The functional carboxylated carbon nanotubes was utilized in silicon matrix and printed on fabric surface to enhance the intensity and band width of wave absorption. The microscopic images of the fabric coated magnetic nanoparticles shows a homogenous layer of nanoparticles on fabric surface. The maximum reflection drop of nanoparticles was recorded about -7 dB on 9.5 GHz. Moreover, the maximum absorption in X band was close to -38.45 dB in 10.5 GHz for samples with thickness of 1.5 mm and band width of 2.6 GHz. Meanwhile, the absorption property measurement indicates the maximum value for a thickness of 1.5 mm compared to other sample thickness. Moreover in Ku band, the maximum absorption for $BaFe_{12}O_{19}/MWCNT$ sample with thickness of 1.5 mm was reported on -31.38 dBm which was recorded on 15.9 GHz with Band width of 3.2 GHz. Therefore, the composite samples enhanced with hollow structure carboxylated CNT (10% w/w) not only shows improved electrical properties, but also endorse a higher maximum absorption value and band width. Interestingly, the fabric coated with bare $BaFe_{12}O_{19}$ nanoparticle, a maximum absorption value of -3.5 dBm was observed on 9.7 GHz. In the meantime, the fabric coated with $BaFe_{12}O_{19}/MWCNT$ nanoparticle in X band region shows significant increase for absorption value to -17.8 dB on 9.8 GHz with bandwidth of 1.8 GHz. However, the coated fabric with $BaFe_{12}O_{19}$ nanoparticle in Ku band shows lower value of -2.4 dB compared to X band in 17.6 GHz. In comparisons, for composite nanoparticle coated sample, however, a nearly similar maximum value of -17.6 dB was recorded on 16.7 GHz with band width of 2.2 GHz. Therefore, results indicate that the fabric samples coated with composite $BaFe_{12}O_{19}/MWCNT$ nanoparticle compared to neat $BaFe_{12}O_{19}$ represents appreciable maximum absorption value of more than 90% in X and Ku bands which can be attributed to presence of carbon structure in composite material.

Keywords: Fabric, radar, $BaFe_{12}O_{19}$, Carbon nanotubes, X and Ku band.

۱- مقدمه

به تازگی نانوکامپوزیت‌هایی با ساختار ساندویچی به عنوان جاذب‌های نوین امواج الکترومغناطیسی مورد توجه قرار گرفته‌اند. با توجه به بررسی‌های انجام شده با تغییر تعداد لایه‌ها، ضخامت آن‌ها و نحوه چیدمان لایه‌ها می‌توان خواص جذبی را تنظیم نمود [۱۷-۱۹].

در بررسی‌های انجام شده بر روی منسوج جاذب رادار، استفاده از خمیر نقره- پلیمر برای سطوح انتخاب فرکانس (FSS) انجام شده است. با پوشش‌دهی خمیر نقره بر روی پارچه، رسانایی الکتریکی افزایش و افت انتقال، کاهش یافته است [۲۰]. در سال ۲۰۱۴ ایچی سانو و همکار لایه جاذب امواج الکترومغناطیسی با ضریب جذب بالا در محدوده ۵ GHz را به دست آوردند. نتایج نشان داد که ضریب جذب ۹۵٪ می‌تواند برای ورق‌هایی به ضخامت ۵ mm به دست آید [۲۱]. در بررسی بر روی منسوج جاذب امواج الکترومغناطیسی، نمونه‌های پوشش داده شده با فریت نیکل-روی و کربن سیاه (استیلن کربن) در محلول پلی‌یورتان بر روی پارچه‌ی پنبه‌ای انجام شده است. با افزایش غلظت فریت در محلول، رسانایی بیشتر مقاومت سطحی و امپدانس کمتر شده است. نتایج ۴۰٪ جذب، ۲۰٪ انتقال و ۴۰٪ بازتاب را در باند فرکانسی X و Ku نشان می‌دهد [۲۲].

خواص جذبی رادار به وسیله پوشش مواد جاذب رادار بر سطح فلز یا با ساخت یک پوشش ضخیم روی پارچه‌ها (ضخامت بیشتر از ۲ mm) قابل دستیابی هستند؛ اما در این بین توجه بسیار کمی به کامپوزیتی از فریت‌های مغناطیسی به همراه نانولوله کربنی (فریت-کربن) و تهیه یک لایه نازک محافظ مایکروویو بر سطح پارچه صورت گرفته است.

در این تحقیق، پوشش جاذب امواج رادار شامل نانو-ذرات کامپوزیتی سنتز شده به روش سل ژل احتراقی بر روی پارچه اعمال شد. نانولوله‌های کربنی کربوکسیل‌دار شده به منظور تقویت شدت و افزایش پهنای باند جذبی در رزین سیلیکونی بر روی سطح منسوج چاپ گردیدند. ساختار بلوری، مورفولوژی نانوذرات سنتز شده و پوشش‌دهی مناسب نانولوله‌های کربنی با این نانوذرات و پارچه پوشش داده شده توسط پراش پرتو ایکس، میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی و مغناطیس‌سنج نمونه مرتعش بررسی شد. سپس،

پیشرفت سیستم‌های لباسی با بهبود خواص ذاتی عکس‌العمل در برابر امواج از طریق اعمال یک لایه پوشش نازک برای محافظت از اثرات خطرناک امواج مایکروویو و همچنین استتار و پنهان نمودن نیروها از دید رادارهای دشمن از جمله راه‌حل‌های موجود است. این مواد در پوشش‌هایی بر پایه فرمولاسیون‌های مواد جاذب رادار بر روی فلز، پارچه، بستری‌های به‌عنوان مواد مرکب، فوم‌های کمک‌کننده به جذب و غیره توسعه یافته‌اند [۱-۴].

در چند دهه اخیر در بین مواد مغناطیسی هگزا فریت باریم با دارا بودن خواص منحصربه‌فردی 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 [۵-۷]. به منظور تهیه ذرات بسیار ریز هگزا فریت باریم با همگنی بالا از روش‌های شیمیایی هم‌چون هم‌رسوبی، هیدروترمال، میکرومولسیون، سل-ژل و غیره استفاده شده است. در بین این روش‌ها روش سل روشی مناسب برای سنتز نانوذرات مغناطیسی است. در فرایند سل-ژل اندازه و شکل دانه‌های تشکیل شده به وسیله نحوه تبدیل سل به ژل کنترل می‌شود. از مزایای این روش تهیه نانوذراتی با ساختاری از پیش تعیین شده مطابق با شرایط تجربی انتخاب شده، کنترل خوب اندازه ذره، کنترل ریزساختارها و هم‌وزنی محصولات می‌باشد [۸-۱۱].

بر اساس سازوکار جذب امواج الکترومغناطیسی مواد جاذب معمولاً به دو صورت کاهش دی‌الکتریک و کاهش مغناطیسی عمل می‌کنند. نانولوله‌های کربنی دارای قابلیت جذب قوی، توانایی جذب طول موج گسترده در امواج رادیویی و ایجاد پوشش بر روی بستری‌هایی با ضخامت نازک و خواص فیزیکی و شیمیایی مناسب می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند [۱۲ و ۱۳].

با پوشش‌دهی بر روی پارچه توسط کامپوزیت فریت مغناطیسی و نانولوله‌های کربنی به منظور استتار، کاهش سطح مقطع عرضی، جذب امواج رادار و محافظت انسان در برابر اشعه‌ی خطرناک مایکروویو می‌توان استفاده نمود [۱۳].

۱۰۰۰۰- در فرکانس ۲۵ Hz با دستگاه مغناطیس سنج نمونه مرتعش (VSM) دانشگاه کاشان اندازه گیری شد. به منظور بررسی خواص الکترومغناطیسی نانوذرات، نانوذرات کامپوزیتی و پارچه پوشش داده شده با نانوذرات کامپوزیت، گذردهی مغناطیسی و نفوذپذیری الکتریکی توسط دستگاه E8362A PNA Series Network Analyzer, 45 MHz در 20 GHz to در پژوهشگاه نصر اندازه گیری شده است. میزان جذب امواج میکروویو در محدوده باندهای (۸-۱۲.۴GHz) X و (۱۲.۴-۱۸GHz) Ku، پس از آماده سازی نمونه ها به ترتیب در ابعاد ۵×۱۰×۲۵ mm و ۵×۷×۱۵ mm به گونه ای که به میزان ۴۰٪ پودر در زمینه سیلیکون به طور کامل پخش شده بود، از دستگاه 8510C Vector Network Analyzer (VNA) Agilent استفاده شد.

۲-۲- روش آزمایش

۲-۲-۱- تهیه نانوذره مغناطیسی BaFe₁₂O₁₉

در این پژوهش نانوذره هگزافریت باریم خالص (BaFe₁₂O₁₉) به روش سل-ژل احتراقی سنتز شده است. محلول های آبی نمک های فلزی شامل نیترات باریم و نیترات آهن ۹ آبه به نسبت استوکیومتری ۱ به ۱۲ جهت تولید هگزافریت باریم به صورت جداگانه تهیه و سپس دردمای ۵۰°C توسط همزن مغناطیسی به یکدیگر اضافه شدند. سپس، اسید سیتریک به سوسپانسیون حاصل اضافه شد به طوری که نسبت مولار مجموع نمک های فلزی و اسید سیتریک برابر مقدار ۱:۱ ثابت در نظر گرفته شده بود. در نهایت، pH محلول با استفاده از محلول آمونیاک ۵٪ در نه تنظیم شد. دردمای ۸۰°C محلول ابتدا به سل و سپس دردمای ۱۰۰°C به مدت ۱۲ ساعت به ژل تبدیل شد. برای تکمیل فرایند خشک شدن و حذف کامل حلال آلی، در مرحله بعد نمونه مورد نظر دردمای ۲۰۰°C به مدت دو ساعت داخل آون قرار گرفت و ژل خشک به دست آمد.

در نهایت، نانوذره مغناطیسی با شیب دمایی هر دقیقه ۱°C داخل کوره به مدت یک ساعت دردمای ۴۰۰°C و به مدت یک ساعت دردمای ۱۱۰۰°C قرار گرفت و به طور کامل کلسینه شد. سپس نانوذره تهیه شده با شیب دمایی سابق تا دمای اتاق خنک و نانوذره در شکل و اندازه مناسب تشکیل شد.

نمونه های جاذب با توزیع مناسب نانوذرات کامپوزیتی در سیلیکون به منظور اتصال محلول با سطح الیاف تولید شده اند. در تحقیقات صورت گرفته برای تهیه قرص جاذب، از پارافین یا پلی یورتان انجام شده است. سیلیکون به عنوان ماده بی اثر در تهیه قرص ها به منظور جذب امواج بسیار مؤثر بوده و قالب گیری قرص سیلیکونی نسبت به سایر موارد بسیار سریع تر، آسان تر و غیرشکننده است. در این تحقیق تهیه قرص های جاذب امواج با استفاده از سیلیکون انجام شده است. در نهایت، مقایسه خواص ساختاری، مغناطیسی و جذب محصول در دو باند فرکانسی X و Ku مورد بررسی قرار گرفته اند.

۲- روش تحقیق

۲-۱- مواد و تجهیزات

برای تولید نانوذرات هگزافریت باریم، نیترات باریم (Ba(NO₃)₂) و نیترات آهن ۹ آبه (Fe(NO₃)₃·9H₂O)، اسید سیتریک (C₆H₈O₇)، محلول آمونیاک (NH₄OH) از شرکت مرک تهیه شد. همه ماده های شیمیایی با درجه خلوص ۹۹.۹٪ بوده است.

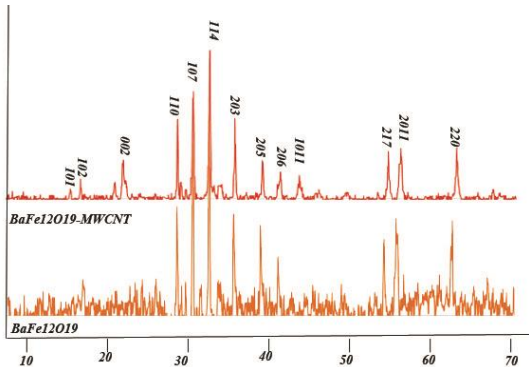
برای تهیه نانوذرات کامپوزیتی از نانولوله کربنی کربوکسیل دار با خلوص ۹۵٪، قطر ۱۰-۲۰ nm و طول ۳۰۰ μm از شرکت نوترینو و سیلیکون (RTV2) و هاردنر از شرکت سنگ خاتم تهیه شده است.

برای پوشش دهی بر روی منسوج، منسوج بی بافت پلی استر- پلی پروپیلن با ضخامت ۰.۲ mm و تراکم تار ۳۵cm × ۴۵x و وزن ۱۰۰ گرم در مترمربع است.

نمودارهای پراش پرتو ایکس (XRD) با استفاده از دستگاه Philips PW1800 با تابش (Cu Kα) 0.15418nm و عملکرد در ۴۰ kV و ۳۰ mA در محدوده ۷۰-۱۰°C بررسی شد. جهت بررسی مورفولوژی نانوذرات کامپوزیتی سنتز شده و پارچه پوشش داده شده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FE-SEM) مدل Hitachi S4160 (Cold Field Emission) استفاده شد.

به منظور بررسی ویژگی های مغناطیسی نمونه های سنتز شده خواص مغناطیسی در دمای اتاق در میدان ۱۰۰۰۰+ تا 0e

یک به نه و هم‌چنین ساختار بلوری هگزاگونال نانوذرات مغناطیسی، پیک نانولوله کربنی از شدت کم‌تری برخوردار است. نانوذرات هگزافریت باریم بر روی سطح خارجی نانولوله‌های کربنی به واسطه حضور عوامل فعال سطحی که بر روی سطح نانولوله‌ها قرار گرفته‌اند و طیف‌ها بیانگر عدم تغییر ساختار نانوذرات مغناطیسی و نانولوله‌های کربنی در کامپوزیت شدن نانوذرات با نانولوله‌های کربنی می‌باشد.



شکل ۱. الف) نانوذرات $BaFe_{12}O_{19}$ (ب) نانوکامپوزیت MWCNT/ $BaFe_{12}O_{19}$

۲-۳- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه‌های سنتز شده از نانوذره $BaFe_{12}O_{19}$ و نانوذرات کامپوزیت در شکل ۱ نشان داده شده است. در تصویر ۲ (الف و ب) مورفولوژی هگزاگونال و یکنواخت نانوذرات با اندازه میانگین $70-200$ nm است. نانوذرات کامپوزیت با 10% وزنی نانولوله‌های کربنی چنددیواره در شکل ۲ (ج و د) نشان داده شده است. با توجه به شکل، درصد بالایی از نانولوله‌های کربنی چنددیواره توسط نانوذره‌های مغناطیسی پوشانده شده است. قطر نانوذرات کامپوزیت سنتز شده به‌طور میانگین 100 nm است که رشد 40% را نسبت به نانولوله‌های کربنی خالص نشان می‌دهد که 80 nm آن مربوط به نانوذره‌ها است. در شکل ۲ (ذ و ر) منسوج بی‌بافت و منسوج پوشش داده شده با نانوذرات کامپوزیت با بزرگنمایی $1 \mu m$ نمایش داده شده است. تصویر نشان می‌دهد که پوشش یکنواختی از نانوذرات کامپوزیتی بر روی منسوج تشکیل شده است.

۲-۲-۲- تهیه نانوذرات کامپوزیت $BaFe_{12}O_{19}/MWCNT$

برای تهیه 10% وزنی نانوذرات، ابتدا نانولوله کربنی چنددیواره‌ی عامل‌دار شده داخل آب دیونیزه به‌وسیله حمام فراصوت به مدت 30 دقیقه پخش شد. نانوذره $BaFe_{12}O_{19}$ به محلول اضافه و به مدت 60 دقیقه تحت امواج فراصوت قرار گرفت. سپس محلول تحت هم‌زن مغناطیسی تا دمای $80^\circ C$ خشک شد. در نهایت نمونه خشک شده در دمای $500^\circ C$ به مدت یک ساعت داخل کوره تحت اتمسفر آرگون قرار گرفت و نانوذرات کامپوزیت $BaFe_{12}O_{19}/MWCNT$ تشکیل شد.

۲-۲-۳- تهیه پارچه جاذب امواج

برای پوشش‌دهی بر روی منسوج، نانوذرات کامپوزیتی با نسبت وزنی 40% ، به سیلیکون و هاردنر اضافه شدند. سپس پنج دقیقه تحت امواج فراصوت قرار گرفت و به‌صورت خمیر چاپ آماده گردید و بر روی سطح پارچه به ابعاد 3×3 cm توسط کاردک چاپ در پشت و روی پارچه چاپ زده شد.

۳- نتایج و بحث

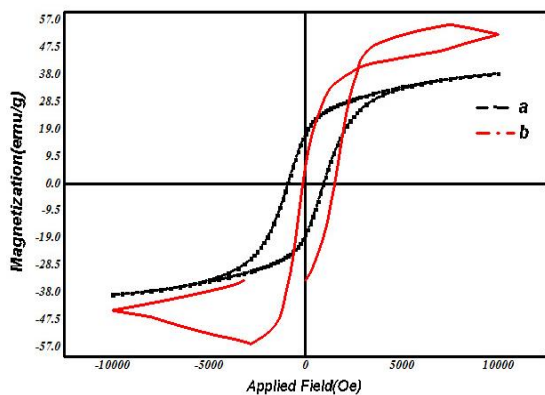
۳-۱- بررسی طیف‌های XRD

شکل (الف-ب) طیف پراش پرتو ایکس نانوذره $BaFe_{12}O_{19}$ و نانوذرات کامپوزیت $BaFe_{12}O_{19}/MWCNT$ از زاویه $2\theta = 10-70$ درجه نشان داده شده است. در طیف نانوذرات، پیک‌های نانوذره مغناطیسی در زاویه 17.942 ، 32.292 ، 34.196 ، 35.098 ، 37.121 ، 40.416 ، 42.402 ، 63.060 ، 63.060 ، 56.593 ، $2\theta = 56.593$ به ترتیب با ساختارهای بلوری (۱۰۱)، (۱۰۲)، (۱۰۷)، (۱۱۴)، (۱۰۸)، (۲۰۳)، (۲۰۵)، (۱۰۱۱)، (۲۰۶)، (۲۱۷)، (۲۱۱)، (۲۲۰) مطابقت کامل داشته و بر کارت استاندارد نانوذره $BaFe_{12}O_{19}$ با شماره 007-0276 منطبق بوده و تأییدکننده تشکیل تک‌فاز نانوذره بلوری $BaFe_{12}O_{19}$ با ساختار هگزاگونال می‌باشد. اندازه نانوذرات $BaFe_{12}O_{19}$ با استفاده از رابطه شرر به‌طور میانگین برابر با 14.1 nm می‌باشد.

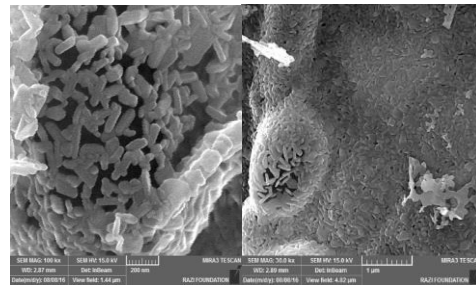
در طیف نانوذرات کامپوزیت، پیک در ناحیه $2\theta = 26$ با کارت استاندارد (۱۰۸۰-۰۲۶-۰۰) مطابقت داشته و از الگوی بلوری کربن (۰۰۲) پیروی می‌کند. در این طیف به علت پوشش نانولوله‌های کربنی توسط نانوذرات مغناطیسی به نسبت وزنی

مغناطش اشباع و میدان پسماندزدا نسبت به مقادیر تئوری برای تکبلور هگزافریت باریم ($=\mu_m/2M_s$ و $=\mu_m/2M_s$) کمتر می‌باشد. [۲۳].

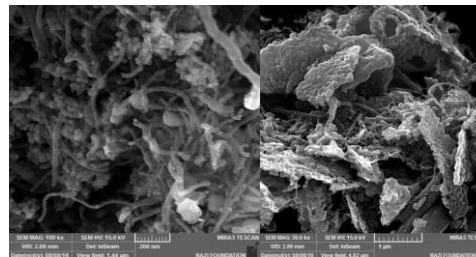
شکل ۳ (ب) نانوذرات کامپوزیت مغناطیسی است. با توجه به شکل، نانولوله‌های کربنی باعث کاهش مغناطش اشباع (M_s)، مغناطیس‌پذیری باقی‌مانده (M_r) و میدان باقی‌مانده (H_c) شده است که می‌توان نتیجه گرفت وجود نانولوله‌های کربنی باعث تغییر در خواص مغناطیسی کامپوزیت شده است. میزان مغناطش اشباع () برابر با 38 g/em ، مقدار مغناطیس‌پذیری باقی‌مانده (M_r) برابر با 19 g/emu و میدان اعمالی باقی‌مانده (H_c) برابر با 800 Oe محاسبه گردید. حضور 10% وزنی نانولوله‌های کربنی نسبت به نانوذرات مغناطیسی با ایجاد خواص الکتریکی باعث سنتز نانوکامپوزیت‌های مغناطیس نرم شده است. هم‌چنین کمبود میزان خواص مغناطیسی را می‌توان به کیفیت مناسب تشکیل نانوذرات در سطح نانولوله‌های کربنی و پوشش کامل نانولوله‌ها نسبت داد. هم‌چنین حضور نانولوله‌های کربنی عامل‌دار شده، خود به‌عنوان پخش‌کننده نانوذرات هنگام کامپوزیت شدن باعث بهبود تشکیل کیفیت نانوذرات در سطح خود می‌شود. به‌طور کلی با توجه به حضور 10% وزنی نانولوله‌های کربنی به نانوذرات با افزایش خواص الکتریکی، کاهش خواص مغناطیسی M_r و M_s و H_c قابل پیش‌بینی می‌باشد. مقادیر مغناطش اشباع (M_s)، مغناطیس‌پذیری باقی‌مانده (M_r) و میدان پسماندزدا (H_c) مربوط به نمونه‌های سنتز شده در جدول ۱ آورده شده است.



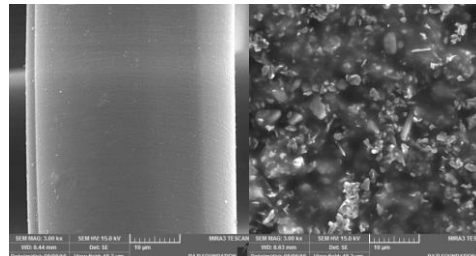
شکل ۳. حلقه پسماند (a) نانوذرات $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (b) نانوکامپوزیت $\text{MWCNT}/\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$



الف ب



د ج

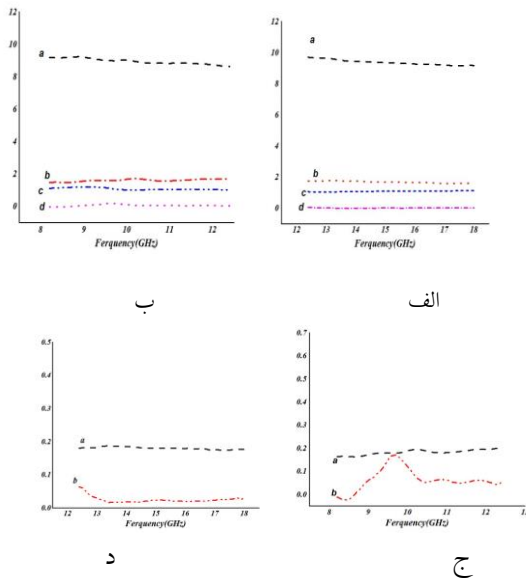


ز ذ

شکل ۲. الف و ب) نانوذرات $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (ج و د) نانوذرات کامپوزیت $\text{MWCNT}/\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (ذ) پارچه بی‌بافت و ر) منسوج پوشش داده شده با نانوذرات کامپوزیت $\text{MWCNT}/\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$.

۳-۳- تحلیل و بررسی خاصیت مغناطیسی نانوذرات کامپوزیت $\text{MWCNT}/\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ توسط دستگاه مغناطیس سنج ارتعاشی (VSM)

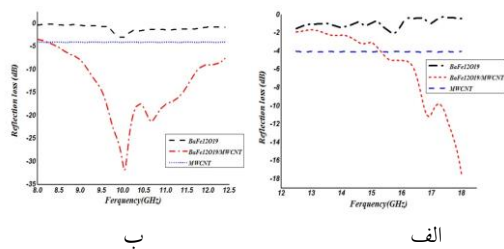
شکل ۳ (الف) نشان‌دهنده حلقه پسماند نانوذرات مغناطیسی $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ می‌باشد. نیروی وادارندگی نانوذرات مغناطیسی به شدت وابسته به عواملی هم‌چون ناهمسانگردی مغناطیسی، میکرو کرنش‌ها، واکنش‌های درون‌ذره‌ای، دما، اندازه و شکل نانوذرات می‌باشد. میزان مغناطش اشباع (M_s) برابر با 55 g/em ، مقدار مغناطیس‌پذیری باقی‌مانده (M_r) برابر با 33 g/emu و در نهایت میدان اعمالی باقی‌مانده (H_c) برابر با 2800 Oe محاسبه گردید. میدان پسماندزدا بالایی پودر خالص نانوذرات مغناطیسی به دلیل ناهمسانگردی قوی در راستای محور c می‌باشد. با توجه به مساحت زیاد حلقه پسماند، نمونه سنتز شده به‌عنوان یک ماده سخت مغناطیس است. مقادیر



شکل ۶. تغییرات پارامترهای الکترومغناطیسی برحسب فرکانس در نانو- ذرات کامپوزیت پوشش داده شده بر سطح پارچه الف) (b) ε' (c) μ' (d) μ'' (a) ε' (در باند X) (a) ε' (b) ε' (c) ε' (d) μ' (در باند Ku) (b) tan(δ_μ) (a) tan(δ_ε) (در باند X) (a) tan(δ_ε) (در باند Ku)

۳-۵ - اتلاف انعکاسی

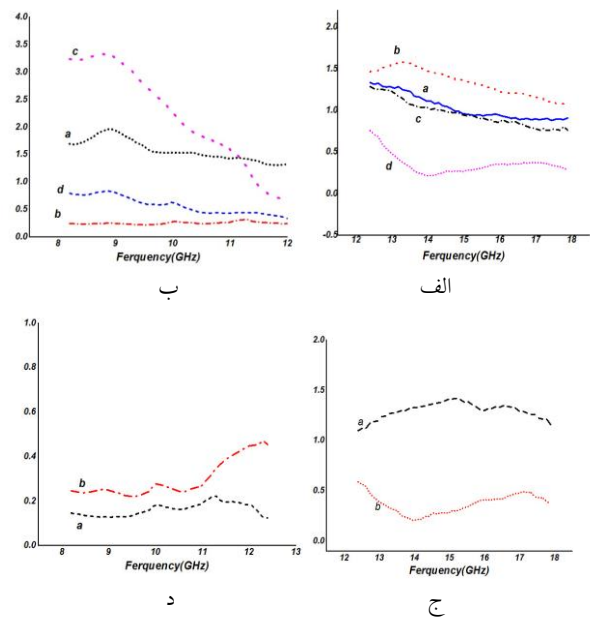
در شکل ۷ نمودارهای افت انعکاس در محدوده فرکانس ۱۸-۸.۲ GHz نانوذرات مغناطیسی، نانولوله‌های کربنی کربوکسیل‌دار شده و نانوذرات کامپوزیتی با ضخامت ۲/۵mm جذب و در شکل ۸ تأثیر کاهش قطر نانوذرات کامپوزیت در جذب امواج الکترومغناطیس نشان داده شده است.



شکل ۷. نمودارهای افت انعکاس از نانوذره BaFe₁₂O₁₉ و نانوکامپوزیت BaFe₁₂O₁₉/MWCNT نانولوله‌های کربنی کربوکسیل‌دار شده MWCNT با قطر ۲/۵ mm نسبت وزنی ۴۰ درصد وزنی سیلیکون به نانو- مواد سنتز شده در باندهای الف) X و ب) Ku.

در شکل ۷ (الف و ب) نتایج نشان می‌دهد که نانوذرات با قطر ۲/۵mm بیشینه افت انعکاس ۷- dB در فرکانس ۹/۵ GHz است. نانوذرات کامپوزیت با همین قطر جذب ۳۰/۳- dB در فرکانس ۱۰ GHz و پهنای باند ۲/۳GHz جذب بیش از ۳۰ dB

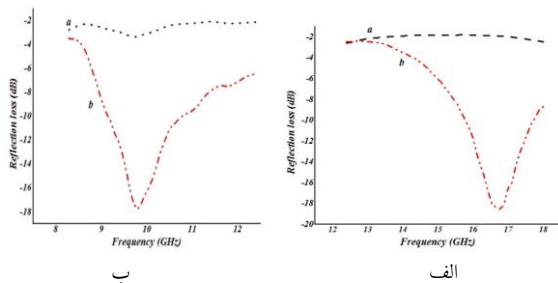
که این مساله بیانگر غالب بودن سازوکارهای اتلاف دی‌الکتریک به دلیل حضور پوشش کربنی می‌باشد [۲۴].



شکل ۵. تغییرات پارامترهای الکترومغناطیسی برحسب فرکانس در نانو- کامپوزیت BaFe₁₂O₁₉/MWCNT الف) (a) ε' (b) ε' (c) ε' (d) μ' (در باند X) (a) ε' (b) ε' (c) ε' (d) μ' (در باند Ku) (b) tan(δ_μ) (a) tan(δ_ε) (در باند X) (a) tan(δ_ε) (در باند Ku)

در شکل ۶ تغییرات گذردهی مغناطیسی مختلط و نفوذپذیری الکتریکی مختلط پارچه پوشش داده شده با نانو- ذرات کامپوزیت BaFe₁₂O₁₉/MWCNT در زمینه سیلیکون حاوی ۴۰٪ وزنی نانوذرات در باند X و Ku را نمایش می‌دهد. همان‌گونه که در شکل‌های ۶ (الف و ب) مشاهده می‌شود در باند X و Ku مقدار نفوذپذیری الکتریکی حقیقی نسبت به نانو- کامپوزیت کاهش و موهومی افزایش پیدا کرده است. هم‌چنین مقدار جزء حقیقی گذردهی مغناطیسی نسبت به نمونه نانو- کامپوزیت تقریباً یکسان بوده و موهومی آن کاهش یافته است. به‌علاوه، تانژانت اتلاف الکتریکی افزایش و مغناطیسی کاهش پیدا کرده است.

نانوذرات کامپوزیت در حدود $-17/8$ dB در $9/8$ GHz با پهنای باند $1/8$ GHz جذب بیش از 10 dB در باند X جذب داشته است. در باند Ku در پارچه پوشش داده شده با نانوذرات حداکثر جذب در حدود $-2/4$ dB در $17/6$ GHz و برای نانو-ذرات کامپوزیت در حدود $-17/6$ dB در $16/7$ GHz با پهنای باند $2/2$ GHz جذب بیش از 10 dB باند X حداکثر جذب دارد. نتایج نشان می‌دهد نمونه پوشش داده شده با نانوذرات کامپوزیت در هر دو باند X و Ku دارای بیشینه جذب بوده و قابلیت جذب امواج افزایش پیدا کرده است که به دلیل وجود کربن در ساختار نانوذرات کامپوزیتی می‌باشد [۲۵].

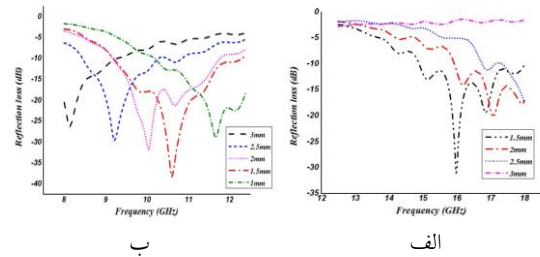


شکل ۹. نمودار افت انعکاسی پارچه پوشش داده شده با (a) نانوذرات (b) نانوذرات کامپوزیت با نسبت 40% وزنی نانومواد سنتز شده به سیلیکون بر روی بستر پارچه الف (X و ب) Ku.

۴- نتیجه‌گیری

با پوشش‌دهی بر روی پارچه توسط کامپوزیت فریت-های مغناطیسی و نانولوله‌های کربنی به منظور استتار، کاهش سطح مقطع عرضی، جذب امواج رادار و محافظت انسان در برابر اشعه خطرناک مایکروویو می‌توان استفاده نمود. نانوذرات مغناطیسی به دلیل پتانسیل‌های بالقوه‌ای که دارند، قابلیت کاربرد وسیعی به عنوان جاذب‌های امواج الکترومغناطیس را دارا می‌باشند. یکی از بهترین راهبردها در دست‌یابی به جاذب‌های قدرتمند امواج الکترومغناطیس استفاده هم‌زمان از هردو نوع ماده مغناطیسی و دی‌الکتریک در ساختار جاذب است. در این تحقیق راهبرد فوق‌الذکر با استفاده از ماده مغناطیسی هگزافریت باریم به همراه کربن در قالب گرافیت که دارای خاصیت دی‌الکتریک بسیار بالایی می‌باشد بر روی سطح پارچه انجام شده است. با توجه به آنالیز پراش پرتو ایکس نانوذرات با اندازه و شکل بلوری مناسب بر روی نانولوله‌های

۱۰ دارد. همان‌گونه که مشاهده شده است به دلیل وجود کربن در ساختار نانوکامپوزیت میزان جذب به‌طور خارق‌العاده‌ای افزایش یافته است.



شکل ۸. نمودار افت انعکاسی نمونه جاذب نانوکامپوزیت $BaFe_{12}O_{19}/MWCNT$ با قطرهای مختلف با نسبت 40% وزنی نانومواد سنتز شده به سیلیکون الف (X و ب) Ku.

در شکل ۸ افت انعکاسی نمونه جاذب نانوذرات کامپوزیت با قطرهای مختلف در دو باند X و Ku نشان داده شده است. در باند X حداکثر جذب در حدود $-38/45$ dB در $10/5$ GHz در ضخامت $1/5$ mm با پهنای باند $2/6$ GHz است. با کاهش ضخامت تا $1/5$ mm در نانوذرات کامپوزیتی مقدار جذب افزایش پیدا کرده است اما در ضخامت 1 mm مقدار جذب $-28/8$ dB در $11/6$ GHz نسبت به سایر ضخامت‌ها کمتر می‌باشد و سیلیکون به‌عنوان بستر برای قالب‌گیری، جذب چندانی نداشته است. در باند Ku در شکل ۸ (ب) بیشترین افت انعکاس در ضخامت $1/5$ mm برابر $31/38$ dB در $15/9$ GHz با پهنای باند $3/2$ GHz می‌باشد.

با کاهش قطر جاذب بیشینه جذب به سمت فرکانس بیشتر حرکت کرده که علت این موضوع را می‌توان تغییر در ظرفیت خازنی نمونه جاذب دانست. از طرفی حضور 10% وزنی نانولوله‌های عامل دار شده با ساختار توخالی به‌عنوان پخش‌کننده باعث افزایش کیفیت ساختار نانوذرات شده و افزایش خاصیت الکتریکی کامپوزیت در حضور نانولوله‌های کربنی از طرفی دیگر باعث افزایش بیشینه و پهنای باند جذب امواج گردیده است. هم‌چنین حرکت بیشینه جذب از فرکانس $9/5$ GHz به 10 GHz در شکل ۸ را می‌توان به کاهش 10% وزنی نانوذرات مغناطیسی نسبت داد. در شکل ۹ افت انعکاسی نمونه پوشش داده شده با نانوذرات و نانوذرات کامپوزیتی در دو باند X و Ku نشان داده شده است. در پارچه پوشش داده شده با نانو-ذرات حداکثر جذب در حدود $-3/5$ dB در $9/7$ GHz و برای

4. Gupta, K., et al., *Microwave interactive properties of cotton fabrics coated with carbon nanotubes/polyurethane composite*. Indian Journal of Fibre & Textile Research, 2013. 38(4): p. 357-365.
5. Pullar, R.C., *Hexagonal ferrites: a review of the synthesis, properties and applications of hexaferrite ceramics*. Progress in Materials Science, 2012. 57(7): p. 1191-1334.
6. Rashad, M.M. and I.A. Ibarhim, *Synthesis and Magnetic Properties of Barium Hexaferrite Powders Using Organic Acid Precursor Method*. Journal of Superconductivity and Novel Magnetism, 2013. 26(5): p. 1639-1644.
7. Zhao, L., et al., *Hydrothermal synthesis of pure BaFe₁₂O₁₉ hexaferrite nanoplatelets under high alkaline system*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2013. 332: p. 44-47.
8. Rashad, M. and I. Ibrahim, *Improvement of the magnetic properties of barium hexaferrite nanopowders using modified co-precipitation method*. Journal of magnetism and magnetic materials, 2011. 323(16): p. 2158-2164.
9. Tan, G. and X. Chen, *Structure and multiferroic properties of barium hexaferrite ceramics*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2013. 327: p. 87-90.
10. Mandizadeh, S., F. Soofivand, and M. Salavati-Niasari, *Sol-gel auto combustion synthesis of BaFe₁₂O₁₉ nanoceramics by using carbohydrate sugars as a novel reducing agent*. Advanced Powder Technology, 2015. 26(5): p. 1348-1354.
11. Mosleh, Z., et al., *Structural, magnetic and microwave absorption properties of Ce-doped barium hexaferrite*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2016. 397: p. 101-107.
12. Petrov, V. and V. Gagulin, *Microwave absorbing materials*. Inorganic Materials, 2001. 37(2): p. 93-98.
13. De Rosa, I.M., et al., *Effect of short carbon fibers and MWCNTs on microwave absorbing properties of polyester composites containing nickel-coated carbon fibers*. Composites Science and Technology, 2010. 70(1): p. 102-109.
14. He, K., et al., *Microwave absorption properties of single-wall carbon nanotubes/barium hexaferrite composite [J]*. Acta Materiae Compositae Sinica, 2011. 4: p. 022.
15. Ghasemi, A., et al., *Enhanced reflection loss characteristics of substituted barium ferrite/functionalized multi-walled carbon nanotube nanocomposites*. Journal of Applied Physics, 2011. 109(7): p. 07A507.
16. Ghasemi, A., et al., *Magnetic and reflection loss characteristics of substituted barium ferrite/functionalized multiwalled carbon nanotube*. IEEE Transactions on Magnetics, 2011. 47(10): p. 4310-4313.
17. Choi, I., et al., *Radar absorbing sandwich construction composed of CNT, PMI foam and carbon/epoxy composite*. Composite Structures, 2012. 94(9): p. 3002-3008.
18. Choi, I., D. Lee, and D.G. Lee, *Hybrid composite low-observable radome composed of E-glass/aramid/epoxy composite sandwich construction and frequency selective surface*. Composite Structures, 2014. 117(0): p. 98-104.
19. Choi, I., et al., *Design of the hybrid composite face with electromagnetic wave transmission characteristics of low-observable radomes*. Composite Structures, 2012. 94(11): p. 3340-3344.
20. Li, C., et al., *Electromagnetic transmission characteristics of composite frequency selective surfaces*. کربنی تشکیل شده است. در بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی توزیع یکنواخت نانوذرات بر روی سطح نانولوله کربنی و پارچه پوشش داده با نانوذرات کامپوزیت مشاهده شده است. با توجه به مغناطیس سنج نمونه مرتعش نانوذرات کامپوزیت تهیه شده وجود نانولوله های کربنی باعث تغییر در خواص مغناطیسی کامپوزیت شده است. میزان مغناطش اشباع (M_s) برابر با ۳۸g/em، مقدار مغناطیس پذیری باقی مانده (M_r) برابر با ۱۹ g/emu و میدان اعمالی باقی مانده (H_c) برابر با ۸۰۰Oe شده است.
- در بررسی جذب پارچه پوشش داده شده نانولوله کربنی باعث تقویت جذب امواج الکترومغناطیس شده است. حضور نانولوله کربنی در کنار نانوذرات باعث افزایش بیشینه جذب امواج و پهنای باند جذبی بر سطح پارچه می شود. پارچه پوشش داده شده با نانوذرات حداکثر جذب در حدود ۳/۵ dB- در ۹/۷ GHz و برای نانو ذرات کامپوزیت در حدود ۱۷/۸ dB- در ۹/۸ GHz با پهنای باند ۱/۸ GHz در باند X جذب داشته است. در باند Ku در پارچه پوشش داده شده با نانوذرات، حداکثر جذب در حدود ۲/۴ dB- در ۱۷/۶ GHz و برای نانو-ذرات کامپوزیت در حدود ۱۷/۶ dB- در ۱۶/۷ GHz با پهنای باند ۲/۲GHz جذب دارد. هم چنین توسط نانولوله های کربنی می توان کامپوزیت با خاصیت مغناطیسی و رسانایی تهیه کرد که برای جذب امواج بسیار مناسب می باشند.

سیاسگزارى

مولفین بر خود لازم می دانند که از حمایت های بی دریغ

پارک علم و فناوری استان گیلان و پژوهشکده مواد پیشرفته دانشگاه امام حسین قدردانی نمایند.

مراجع

- Choi, I., D. Lee, and D.G. Lee, *Radar absorbing composite structures dispersed with nano-conductive particles*. Composite Structures, 2015. 122(0): p. 23-30.
- Afzali, A., et al., *The electroless plating of Cu-Ni-P alloy onto cotton fabrics*. Korean Journal of Chemical Engineering, 2010. 27(4): p. 1145-1149.
- Gupta, K., S. Abbas, and A. Abhyankar, *Carbon black/polyurethane nanocomposite-coated fabric for microwave attenuation in X & Ku-band (8-18 GHz) frequency range*. Journal of Industrial Textiles, 2011. 1528083715589752.

- coated with conductive polymer-silver paste. Composites science and technology*, 2014. 90: p. 32-39.
21. Sano, E. and E. Akiba, *Electromagnetic absorbing materials using nonwoven fabrics coated with multi-walled carbon nanotubes*. *Carbon*, 2014. 78: p. 463-468.
 22. Gupta, K., et al., *Microwave absorption in X and Ku$i> band frequency$ of cotton fabric coated with Ni-Zn ferrite and carbon formulation in polyurethane matrix*. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2014. 362: p. 216-225.
 23. Bsoul, I. and S. Mahmood, *Magnetic and structural properties of BaFe_{12-x}Ga_xO₁₉ nanoparticles*. *Journal of Alloys and Compounds*, 2010. 489(1): p-110 . 114.
 24. Melvin, G.J.H., Q.-Q. Ni, and T. Natsuki, *Electromagnetic wave absorption properties of barium titanate/carbon nanotube hybrid nanocomposites*. *Journal of Alloys and Compounds*, 2014. 615: p. 84-90.
 25. Farukh, M., A.P. Singh, and S.K. Dhawan, *Enhanced electromagnetic shielding behavior of multi-walled carbon nanotube entrenched poly (3,4-ethylenedioxythiophene) nanocomposites*. *Composites Science and Technology*, 2015. 114: p. 94-102.