

بررسی میزان جذب امواج راداری مگنتوالکتریکی $Mn_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4-Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO_3$ و کامپوزیت آن‌ها با استفاده از دستگاه تحلیل گر شبکه

علی شیرپای*

مدرس پژوهشکده علوم پدافندی، دانشگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء (ص)

(دریافت: ۹۶/۱۰/۱۵، پذیرش: ۹۷/۰۴/۲۴)

چکیده

استفاده از مواد جاذب از روش‌های رایج برای جلوگیری از دید راداری است. در این پژوهش با توجه به کاربرد مواد جاذب راداری، دو نوع ماده مهم یکی با ضریب دی‌الکتریک بالا (پروسکایت $Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO_3$) و دیگری با ضریب نفوذپذیری بالا (فریت $Mn_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$)، که نامزدهای خوبی برای مواد جاذب امواج راداری هستند، مدنظر قرار گرفته و با استوکیومتری معین به روش سل-ژل سنتز شدند. دو ماده موردنظر و سه کامپوزیت از آن‌ها با سه درصد مختلف تهیه و ساختار، مورفولوژی و اندازه بلورک‌ها آن‌ها با مشخصه‌یابی‌های پراش اشعه ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی گردید. از پنج ماده مختلف نانو پودر تهیه شده، رنگ‌دانه مخصوص آن با رزین اپوکسی کر ۸۲۸ تهیه و بر روی سطح بدون جاذب، با ضخامت تقریبی یک میلی‌متر، لایه‌نشانی شد. مقدار جذب امواج راداری آن‌ها با استفاده از دستگاه تحلیل گر شبکه در محدوده ۸-۱۲GHz مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقدار جذب امواج در محدوده ۸-۱۲GHz وابسته به ماده با ضریب دی‌الکتریک ماده بوده و ماده با ضریب نفوذپذیری بالا نقش چندانی در آن ندارد. بیشترین مقدار جذب برای ماده با ضریب دی‌الکتریک بالا با مقدار تقریبی ۲۴dB- در حوالی ۹/۵GHz مشاهده شد.

کلیدواژه‌ها: پروسکایت، فریت، کامپوزیت، جاذب امواج راداری، تحلیلگر شبکه

Investigation of the Magneto-Electric Radar Waves Absorption of $BaO_{0.7}Sr_{0.3}TiO_3-Mn_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ and their Composite by Using a Network Analyzer Device

A. Shirpay

Khatam-Al-Anbia Air Defence University

(Received: 05/01/2018; Accepted: 15/07/2018)

Abstract

The use of absorbent materials is one of the most common ways to prevent radar visibility. In this study, considering the application of radar absorbing materials, two important materials, one with high dielectric coefficient and other with high permeability coefficient, (Perovskite $Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO_3$ and ferrite $Mn_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$), being good candidate for radar-absorbing materials, have been synthesized with a specific stoichiometry by sol-gel method and were characterized by X-ray diffraction and scanning electron microscopy. In order to determine the radar absorption rate, five different nanopowder was prepared and the pigment was prepared with an 828 Epoxy resin and placed on a non-adsorbent surface with an approximate thickness of 1 mm and the amount of radar absorption by using the network analyzer in the 8-12 GHz range has been investigated. The results showed that the absorption of waves in the 8-12 GHz range is dependent to the dielectric coefficient and the material with a high permeability coefficient does not have any influence in the absorption. The highest absorb ion rate was observed for a material with high dielectric coefficient of -24dB at about 9.5 GHz.

Keywords: Perovskite, Ferrite, Composite, Radar Waves-, Network Analyst.

*Corresponding E-mail: Ali_shirpaei@yahoo.com

۱. مقدمه

مواد جاذب راداری با جذب قسمت قابل توجهی از امواج راداری تابیده شده به آن، اثر بازتاب را به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهند. جاذب‌های راداری با بردار میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی موج برخوردی برهمکنش نموده و انرژی ماکروویو را به انرژی گرمایی تبدیل می‌کنند. جذب انرژی به روش‌های مختلفی امکان‌پذیر است که می‌تواند ناشی از خواص الکتریکی یا مغناطیسی ماده باشد. معروف‌ترین جاذب‌ها فریت‌ها و مواد کربنی هستند. مزیت جاذب‌های مغناطیسی، در مقایسه با جاذب‌های الکتریکی، قطر کوچک آن‌ها است. از عیوب جاذب‌های مغناطیسی می‌توان به سنگینی و پهنای باند کوچک آن‌ها اشاره کرد. شکل‌های ابتدایی مواد جاذب راداری ساختار لایه‌ای داشتند و از ذرات گرافیت یا نیمه‌رساناهای دیگر تشکیل شده بودند که در یک زمینه‌ی لاستیکی (رزین) نشانده شده بودند [۱]. نوع دیگر جاذب‌ها که به جاثوم^۱ معروف‌اند، برای اولین بار در سال ۱۹۴۳ مطرح شدند، متشکل از دو صفحه بودند که یک صفحه رسانای زیرین و یک صفحه دی‌الکتریک به فاصله‌ی $\lambda/4$ از صفحه رسانا قرار داشت. طول موج مورد انتظار برای جذب $\lambda/4$ این جاذب‌ها محدودی مشخصی از فرکانس‌ها است که به اصطلاح به آن‌ها سطوح فرکانس انتخابی می‌گویند. برای اینکه در چنین جاذبی، تضعیف امواج رخ دهد مواد مقاومتی باید $\lambda/4$ بالاتر روی صفحه فلزی قرار بگیرد. این موضوع باعث می‌شود که قسمتی از انرژی امواج اصلی از مواد مقاومتی و قسمتی دیگر از روی صفحه فلزی انعکاس یابد. در این حالت قسمتی از امواج که داخل ماده قرار دارند از بین رفته و امواج اصلی تابیده تخریب و تضعیف می‌شوند. مزایای این روش سادگی عملکرد و معایب آن ضخیم بودن لایه جداکننده و محدود بودن کاربرد آن است [۲]. برخی کاربردهای مواد جاذب راداری عبارت‌اند از:

الف: هواپیماهای رادار گریز، کشتی‌ها و زیردریایی‌ها

ب: اتاق‌های بدون انعکاس

برای مطالعه میزان جذب امواج راداری از دو روش عددی و تجربی می‌توان بهره گرفت. در روش عددی پس از نوشتن معادلات موج و وارد نمودن خواص فیزیکی هر ماده می‌توان میزان جذب، عبور و انعکاس را محاسبه و تعیین کرد. در این معادلات بسیاری از عوامل از جمله: دما، شرایط جوی و شیمیایی، نیروهای بین‌اتمی و ... مدنظر قرار نمی‌گیرند. در این روش می‌توان با شبیه‌سازی، بجای تک لایه، دولایه و حتی چندلایه را نیز بررسی نمود و از روی شبیه‌سازی میزان انعکاس را نزدیک

صفر رساند. ولی آنچه مسلم است آیا در تجربه و واقعیت نیز می‌توان چنین لایه‌هایی را تشکیل داد یا نه؟ در روش تجربی از مواد و روش‌های سنتز مختلف استفاده می‌شود. لذا در تجربه با محدودیت‌هایی مواجه بوده و پس از بررسی عددی بایستی روش تجربی را نیز مورد آزمایش قرار داد. از سال ۱۹۳۰ در حوزه مواد جاذب راداری تحقیقات زیادی به‌صورت تجربی و عددی روی مواد مختلف انجام شده است و هرکدام به نتایج خاصی رسیدند. در اوایل، محققین تحقیقات و بررسی‌های خود را در حوزه مواد جاذب راداری روی مواد بالک و روش عددی متمرکز کردند. با پیدایش فناوری نانو و رسیدن به خواص فیزیکی و شیمیایی مواد در فازهای مختلف و همچنین پیدا کردن خواص مواد در اندازه‌های نانویی مختلف، روش‌های تجربی اهمیت خاصی پیدا کرد، لذا محققین تحقیقات گسترده‌ای را روی مواد فلزی، گرافن‌ها، کامپوزیت‌ها و ... به روش تجربی انجام دادند. جاذب‌ها مطابق با افزودنی‌های اتلافی آن‌ها و سازوکار جذب به دو گروه جاذب‌های دی‌الکتریک و مغناطیسی طبقه‌بندی می‌شوند. موج الکترومغناطیسی متشکل از دو میدان الکتریکی و مغناطیسی است. برای جذب موج، یک ماده جاذب راداری باید توانایی حذف هر دو میدان تابشی را داشته باشد [۳]. محصولات کربنی به‌عنوان مواد اتلاف دی‌الکتریک بالا و فریت‌ها به‌عنوان مواد اتلاف مغناطیسی رفتار می‌کنند [۴]. در مطالعه جذب موج در نانولوله‌های کربنی یا نانو فیبرهای کربنی، طراحی لایه‌های جاذب آسان است به‌طوری‌که با تابش موج با قطبش TE یا TM و حل معادلات ماکسول می‌توان مقدار جذب را مطالعه نمود. برای نمونه وی‌چان و همکاران در تحقیقی [۵] برای مطالعه میزان انعکاس و ... از سه لایه با ϵ ، μ و d های مختلف استفاده کرده‌اند. در این مطالعه اندازه لایه‌ها، مقدار معلوم (۱-۲) و دقت دستگاه در زمان انتقال مواد به‌وسیله دستگاه انتقال‌دهنده روی ورقه PEC^۲ در حدود میلی‌متر در نظر گرفته، سپس مقادیر حقیقی و موهومی گذردهی الکتریکی در باند X بررسی شده است. در این بررسی تفاوت‌هایی بین نمودارهای حاصل از شبیه‌سازی و آزمون عملی دیده شده است که این تفاوت‌ها را بدین‌صورت تفسیر نموده‌اند:

۱- در شبیه‌سازی تمام لایه‌ها همگن مدنظر گرفته شده است.

۲- دقت دستگاه انتقال‌دهنده مواد بر روی PEC به‌طور دقیق اجرا نشده است.

۳- احتمال می‌رود به دلیل گرانشی زیاد ترکیب موردنظر، دستگاه تراسونیک نتوانسته است آن را به‌خوبی همگن کند.

در نهایت میزان جذب کمتر از مقدار مورد انتظار به‌دست‌آمده

^۲ Perfect Electric Conductor

^۱Jaumann

است. در این حوزه مواد مختلفی مورد مطالعه قرار گرفته شده است. مواد جاذب مرسوم از قبیل پودرهای فلزی و فریت‌ها بسیار سنگین هستند و همین موضوع سودمندی آن‌ها را در کاربردهایی که سبکی مورد نیاز است محدود می‌کند [۶-۷]. افزودن مواد کربنی رسانا شامل دوده، الیاف کربن، رشته‌های کربنی و نانولوله‌های کربنی تک دیواره و چند دیواره به درون ماتریس‌های پلیمری به‌عنوان روش مؤثر برای دستیابی به مواد حفاظتی سبک، کارا و مفید است [۸]. به‌تازگی نانو کامپوزیت‌های پلیمر- نانولوله‌های کربنی با رسانایی بالا به دلیل فراورش پذیری آسان و مقدار جذب مناسب به‌عنوان مواد استحفاظی در برابر تداخل امواج الکترومغناطیس به کار گرفته می‌شوند [۳]. در تحقیق احسان آقاجری و همکاران [۹] پلی استیرن به‌عنوان ماتریس پلیمری و نانولوله‌های کربنی چند دیواره با قطر داخلی ۱۰-۵ nm و قطر خارجی ۲۰-۱۰ nm و طول ۳۰-۱۰ nm و نیز تولون استفاده کردند. در این تحقیق از روش محلولی، مذاب و از درصد وزنی نانولوله با سرعت‌های مختلف همگن‌ساز مکانیکی (در سه سرعت مختلف) برای تهیه نانو کامپوزیت استفاده کردند. نتایج نشان داده است که در محدوده ۵-۸GHz با افزایش سرعت همگن‌ساز مقدار جذب افزایش می‌یابد و حداکثر اتلاف در بسامد ۸GHz و برابر ۹/۹۵dB و در نمونه‌ای رخ داد که با سرعت بیشتر برای پراکنش نانولوله‌ها استفاده شد. خواص و قابلیت جذب امواج به‌وسیله مواد با پارامترهای گذردهی مختلط، نفوذپذیری مختلط، اتلاف دی‌الکتریک و اتلاف مغناطیسی بیان می‌شود. مقادیر بزرگ‌تر پارامترهای ظاهری گذردهی مختلط و نفوذپذیری مختلط به معنای بزرگ‌تر بودن پارامترهای اتلافی است که زیاد بودن خاصیت خواص جذب را در پی دارد [۱۰]. به دلیل زیاد بودن تانژانت اتلاف دی‌الکتریک نانو کامپوزیت‌های ساخته‌شده از نانولوله‌ها، از این مواد به‌طور گسترده به‌عنوان جاذب امواج الکترومغناطیس و پوشش کار ضد رادار استفاده می‌شود. سازوکار اتلاف نانولوله‌های کربنی، اتلاف دی‌الکتریک است؛ زیرا تانژانت اتلاف دی‌الکتریک در این نانو کامپوزیت‌ها نسبت به تانژانت اتلاف مغناطیسی بسیار زیاد است. در روش‌های قدیمی برای طراحی جاذب‌های راداری از فریت‌ها به‌عنوان ماده جاذب استفاده می‌شد؛ اما جاذب‌های فریتی دارای محدودیت‌های زیر هستند:

۱- نیاز به بایاس دارند.

۲- فرکانس رزونانس اکثر آن‌ها در محدوده MHz قرار دارد و مطلوب این است که در باند X قرار گیرد زیرا در فرکانس رزونانس واکنش بین مغناطیس شدگی ماده و میدان خارجی اعمالی بسیار قوی می‌شود و سیستم اسپین، انرژی را از میدان

ریزموج جذب می‌کند.

۴- وزن زیادی دارند.

۵- پهنای باند جذبشان کم است.

۶- عملکردشان تابع دما است. به عبارتی با افزایش یا کاهش دما فریت‌ها، تغییر فاز مغناطیسی داده مغناطیسی داده و از حالت فرو مغناطیسی به پارامغناطیس تبدیل می‌شوند و با این تغییر فاز مقدار جذبشان نیز تغییر می‌یابد.

۶-نسبت به زاویه و پلاریزاسیون موج برخوردی حساس هستند.

۷- بخش‌های حقیقی و موهومی گذردهی الکتریکی آن‌ها با فرکانس کاهش می‌یابد و در محدوده GHz مقدار آن به مقدار یک می‌رسد در صورتی که جاذب باید دارای گذردهی زیاد باشد.

۸- برای ساخت جاذب فریتی با توجه به تنوع فریت‌ها باید ابتدا فریت موردنظر را بسازیم و سپس بر اساس فریت به‌دست‌آمده، مراحل ساخت جاذب را طراحی کنیم. در صورتی که جاذب‌های کربنی، تنوع زیادی ندارند و فقط مراحل ساخت مدنظر است.

۹- مراحل طراحی و ساخت جاذب‌های فریتی بسیار هزینه‌بر بوده و نیازمند فناوری‌های پیشرفته مانند متالوژی پودر است.

۱۰- در یک جاذب متشکل از مواد مغناطیسی (فریت) و موادی دی‌الکتریکی (کامپوزیت‌های کربن) تأثیر تغییرات درصد فریت بر میزان جذب بسیار کمتر از تأثیر تغییرات درصد کربن است.

۱۱- با توجه به اینکه فریت‌ها دارای ساختار ناهمسانگرد هستند باید در جهت مناسب بایاس شوند. همچنین تحلیل ساختارهای ناهمسانگرد پیچیده‌تر از ساختارهای همسانگرد است.

۱۲- فریت‌ها سخت و شکننده هستند.

۱۳- فرآیند ساخت فریت‌ها در دماهای بالا و در حدود $900-1200^{\circ}C$ انجام می‌شود و با توجه به شکننده بودن آن‌ها این فرآیند باید با سرعت بسیار کم انجام شود که بسیار زمان‌بر است.

در مقابل استفاده از نانو کامپوزیت‌های کربن شامل نانولوله‌های کربنی، نانو فیبرهای کربن و گرافیت دارای مزیت‌های ذیل است:

۱- مقاومت در برابر خوردگی، استحکام کششی بالا، حالت الاستیکی، هدایت گرمایی و الکتریکی زیاد.

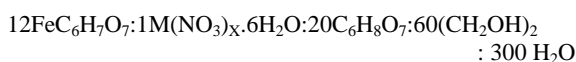
۲- CNTs^۱ بسته به شعاع اتم‌ها و دیگر خواصشان ممکن است که خواص فلزی یا نیمه رسانایی از خود نشان دهند.

^۱ Carbon Nanotubes

نماید؛ به طوری که ماده با ضریب دی الکتریک بالا مؤلفه الکتریکی موج تابشی و ماده با ضریب نفوذپذیر بالا مؤلفه مغناطیسی موج تابشی را بیشتر جذب می نماید. لذا با استفاده از نتایج [۱۷] و [۱۹] دو ماده مناسب، یکی با ضریب دی الکتریک بالا و دیگری با ضریب نفوذپذیر بالا را انتخاب و سه کامپوزیت از آن ها با درصد های مختلف سنتز و به مشخصه یابی از آن ها با استفاده از پراش اشعه ایکس، میکروسکپ الکترونی روبشی و تحلیلگر شبکه در محدوده ۸-۱۲GHz پرداخته می شود. انتظار می رود با ترکیبی از این دو ماده انتخابی، به بهینه حالت جذب امواج راداری در این ترکیب دست پیدا کرد.

۲. روش تهیه نمونه

در این تحقیق تیتانات باریم-استرانسیم و فریت منگنز-روی به روش سل-ژل سنتز گردید. جهت سنتز ۵ گرم پودر فریت $Mn_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ و پروسکایت $Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO_3$ با استوکیومتری زیر استفاده شده است [۲۰].



که M نشان دهنده فلزات منگنز و روی است. جهت سنتز، ۵ گرم نانو پودر فریت $Mn_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ از یک بشر با ظرفیت ۵۰ cc استفاده شد. ۲۰ cc آب مقطر به عنوان حلال استفاده شد و ۱۰/۴ گرم سیترات آهن به آن تحت همزن اضافه شد تا زمانی که سیترات آهن در آب کاملاً حل شود (حدود ۳۰ دقیقه). سپس ۱۳/۵ گرم اسیدسیتریک به آن اضافه شد. در مرحله بعدی نیترات روی (۳/۱۵ گرم) و نیترات منگنز (۲/۷ گرم) به محلول اضافه شدند. محلول فوق به دمای $80^\circ C$ با استفاده از یک گرمکن-همزن مغناطیسی حرارت داده شد و سپس اتیلن گلیکول (۱۱/۸ cc) و اسید بنزویک (۱/۳ گرم) به محلول اضافه شدند. محلول حاصل به رنگ قهوه ای تیره بوده و pH آن حدود ۱/۸ اندازه گیری گردید. این محلول در دمای $80^\circ C$ به طور مغناطیسی هم زده شد تا باگذشت زمان بعد از حدود ۳ ساعت تبدیل به ژل تیره رنگ بسیار غلیظ شود. ژل حاصل در دمای $150^\circ C$ به مدت ۲۴ ساعت خشک شد. سپس ژل خشک شده توسط هاون آسیاب شد تا پودری ریز حاصل شود. ژل آسیاب شده در یک کوره الکتریکی با سرعت گرم شدن ۱۰ درجه سانتی گراد بر دقیقه تا دمای $750^\circ C$ حرارت داده شد و در این دما به مدت ۲ ساعت نگهداری شد. سپس نمونه در کوره به آرامی تا دمای اتاق سرد شد.

برای تهیه ۵ گرم پروسکایت باریم-استرانسیم، ۱۰ گرم اسید استیک با استفاده از یک گرمکن-همزن مغناطیسی تا دمای

۳- روش های لایه نشانی این ترکیبها بر روی سطح فلز مورد نظر، با توجه به ضخامت مورد نیاز و نوع ماده بسیار متنوع است [۹]. مواد جاذب راداری در اندازه نانومتری دارای جذب زیادی هستند. جاذب های راداری با نانو کامپوزیت های مغناطیسی - دی الکتریکی، کارایی بالا دارند و علت آن گذردهی پیچیده و نفوذپذیری آن است که با حالت غیر نانویی تفاوت دارد. همچنین ریخت شناسی و اندازه مواد جاذب رادار^۱ (RAM) نانوبلور نقش بسیار مهمی در اتلاف بازتاب ریزموج از نانوبلورها دارد. ترکیب نانولوله کربنی چند دیواره^۲ (MWCNT) و مواد غیر آلی RAM ها، ویژگی های هر دو ماده از جمله کاهش بازتاب و امپدانس ظاهری را بهبود می بخشد. ترکیب نانو کامپوزیت CNT و مواد جاذب رادار پلیمری، محدوده بازتاب را به طرف فرکانس های پایین تر جابجا کرده و عوامل اتلاف با افزایش غلظت CNT ها را افزایش می دهد به طوری که در شرایط یکسان کوچک ترین اندازه های OLC در مقایسه با بزرگ ترین آن ها کارایی بهتری را نشان می دهد. افزایش قسمت های حقیقی و موهومی در ساختار نانو کامپوزیت کربن و RAM های پلیمری به نوع ماده افزودنی و باند فرکانس بستگی دارد [۱۲]. در مواد ترکیبی جاذب راداری، کاهش دی الکتریک عمدتاً از مواد دی الکتریکی دی اکسید تیتانیوم و MWCNT ناشی می شود، در حالی که کاهش مغناطیسی عمدتاً ناشی از Fe_3O_4 است؛ اما ماده RAM-Ti@MW/Fe امیدبخش ترین ماده در ناحیه $8/2-12/4$ GHz است. در تحقیق باتا کاریا و همکاران [۱۳] اندازه گیری های TGA نشان داده است که ماده RAM-Ti@MW/Fe از نظر حرارتی در میان تمامی ترکیبات نانو، پایدارتر است. بعلاوه، MWCNT های پوشیده شده با دی اکسید تیتانیوم و ترکیبات نانویی آن، موادی امیدبخش به عنوان مواد جاذب رادار با کارایی بالا در طیف وسیع فرکانسی هستند. همچنین در تحقیق رحیم اقره و همکاران [۱۴] بر روی خواص الکترومغناطیسی نانو کامپوزیت های اپوکسی - گرافن نشان داده شده است که ماده مذکور در محدوده ۸-۱۲GHz نفوذپذیری مغناطیسی از خود نشان نمی دهد؛ بنابراین برای طراحی یک RAM مناسب با نفوذپذیری مغناطیسی و گذردهی الکتریکی مختلط، تعیین مقادیر فیزیکی خواص انعکاس یا میرایی مواد مهم است. در مورد کامپوزیت فریت- پلیمر چندین مطالعات و بررسی ها انجام شده است و اثر مواد فریت و کسر حجمی آن ها و همچنین تأثیر pH بر روی خواص جذب میکرو موج مطالعه شده است. به طور مشابه تأثیر افزودن مواد رسانا نیز مورد بررسی قرار گرفته است [۱۵-۱۸]. در این مقاله با علم به اینکه، ماده جاذب راداری خوب باید هر دو مؤلفه الکتریکی و مغناطیسی موج تابشی را جذب

¹ Radar Absorbing Material

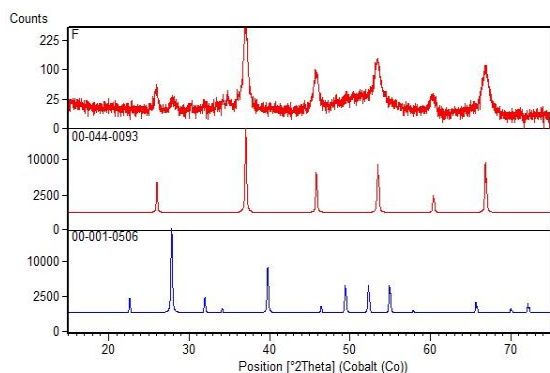
² Multy Wall Carbon Nano Tube

۳. نتایج و بحث

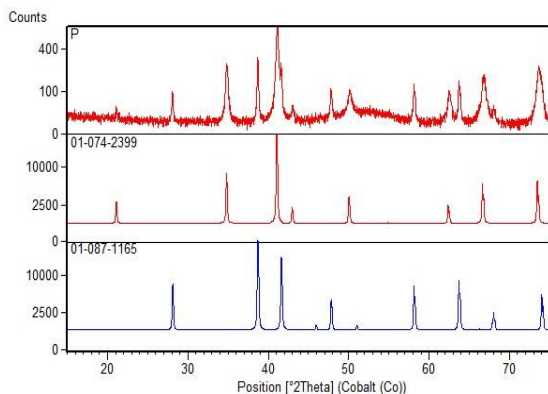
۳-۱. مشخصه یابی XRD

دستگاه پراش اشعه X مورد استفاده در دانشگاه تربیت مدرس تولیدی شرکت فیلیپس با مدل X³Pert 1480 است. الگوی پراش اشعه ایکس نمونه‌های پروسکایت Ba-Sr، فریت Mn-Zn و سه کامپوزیت آن‌ها که در دمای $750^{\circ}C$ تهیه گردیده‌اند، در شکل‌های (۵-۱) نشان داده شده است. الگوی XRD نمونه‌ها با مطابقت کارت استاندارد (JCPDS) جهت تعیین احتمالی وجود ناخالصی و یا تشکیل فازهای دیگر نیز بررسی شده است.

در الگوی XRD نمونه سنتز شده Ba-Sr قله‌های واضح پراش اشعه ایکس که متناظر با صفحات بازتاب (۱۰۰)، (۱۰۱)، (۱۱۱)، (۲۰۰)، (۲۰۱)، (۲۱۱) و (۲۰۲) بیانگر وجود ساختار مکعبی در پروسکایت است و نشان می‌دهد که فاز اصلی تشکیل شده در نمونه، فاز پروسکایت باریم-استرانسیوم است و پهن‌شدگی خطوط نشان از ریز بودن دانه‌هاست.



شکل ۱. الگوی پراش اشعه ایکس نمونه پروسکایت Ba-Sr



شکل ۲. الگوی پراش اشعه ایکس نمونه فریت Mn-Zn

الگوی XRD نمونه سنتز شده Mn-Zn قله‌های واضح پراش اشعه ایکس متناظر با صفحات بازتاب (۱۱۱)، (۲۲۰)، (۳۱۱)، (۲۲۲)، (۴۰۰)، (۴۲۲)، (۵۱۱)، (۴۴۰) و (۵۳۱) بیانگر وجود

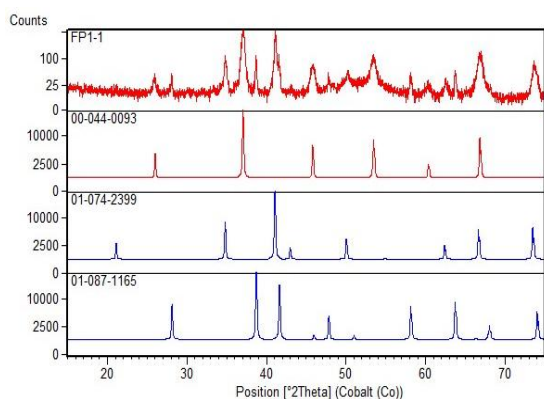
$70^{\circ}C$ حرارت داده شد. سپس $3/57$ گرم استات باریم و $1/23$ گرم استات استرانسیم به اسید استیک گرم اضافه شدند و تحت هم خوردن مغناطیسی بعد از ۵ دقیقه محلولی شفاف به دست آمد. سپس هم زدن به مدت ۱۵ دقیقه ادامه یافت و محلول حاصل به آرامی تا دمای اتاق سرد شد. در این مرحله $5/7$ گرم تتراایزوپروپوکسیدتیتانیم به محلول اضافه شد این محلول در دمای اتاق به‌طور مغناطیسی هم زده شد تا به‌مرور بعد از حدود ۳ ساعت تبدیل به ژلی شفاف شود. ژل حاصل در دمای $150^{\circ}C$ به مدت ۲۴ ساعت خشک شد. سپس ژل خشک شده توسط هاون آسیاب شد تا پودری ریز حاصل شود. ژل آسیاب شده در یک کوره الکتریکی با سرعت گرم شدن 10 درجه سانتی‌گراد بر دقیقه تا دمای $750^{\circ}C$ حرارت داده شد و در این دما به مدت ۳ ساعت نگهداری شد. سپس نمونه در کوره به آرامی تا دمای اتاق سرد شد. پس از تهیه نمونه‌های فریت و پروسکایت سه نمونه کامپوزیت از این دو ماده با درصد‌های مختلف (F-P(25-75) ، F-P(50-50) و F-P(75-25) تهیه گردید. برای بررسی میزان جذب امواج راداری از رزین اپوکسی کر ۸۲۸ و هاردنر 10% مربوطه ساخت کشور کره جنوبی استفاده شد. برای لایه نشانی با استفاده از استوکیمتری و وزن مولکولی برای حالت 10% پنج مقدار مختلف محاسبه شد. برای تهیه لایه جذب رزین اپوکسی که حالت مایع چسبناکی دارد را داخل بشر ریخته و روی همزن در دمای $70^{\circ}C$ قرار داده شد. سپس مقدار ماده جذب نانویی محاسبه شده را داخل بشر ریخته و به مدت ۳۰ دقیقه روی همزن قرار داده شد و در آخر مقدار هاردنر را روی آن ریخته و پس از یک دقیقه محلول را برداشته و روی صفحه بدون جذب از قبل تهیه شده که ضریب دی‌الکتریک خیلی پایین دارد، پوشش داده شد. جهت بالا بردن دقت کار و ضخامت مربوطه از دو شیشه نازک یک میلی‌متر در دو طرف محل لایه گذاری استفاده شد و محلول تهیه شده را در بین دو شیشه ریخته و یک‌لایه تقریباً هم ضخامت تهیه گردید. این مراحل برای پنج نمونه (فریت، پروسکایت و سه نمونه کامپوزیت) انجام داده شد. تمامی آزمایش‌ها در آزمایشگاه‌های دانشگاه صنعتی مالک اشتر و دانشگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء(ص) انجام شد. پس از تهیه نمونه‌ها، مشخصه‌یابی‌های پراش اشعه ایکس با استفاده از دستگاه پراش سنچ پرتو X تولیدی شرکت فیلیپس مدل X³Pert 1480، میکروسکوپ الکترونی روبشی پودرها با استفاده از دستگاه sputter coater ساخت شرکت فیلیپس (Philips) از کشور هلند و مدل XL30 در دانشگاه تربیت مدرس و میزان جذب امواج راداری با استفاده از دستگاه Network Analyser Hp مدل 8722D در دانشگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء(ص) انجام شد.

بین ۰/۸۷ تا ۱ دارد که معمولاً برای ذرات کروی ۰/۹۴ استفاده می‌شود، λ طول موج پرتو فرودی، β پهنای کل در نصف بیشینه شدت است (برحسب رادیان در معادله وارد می‌شود) و θ زاویه براگ که در آن بیشینه پراش اشعه ایکس اتفاق افتاده است [۲۱].

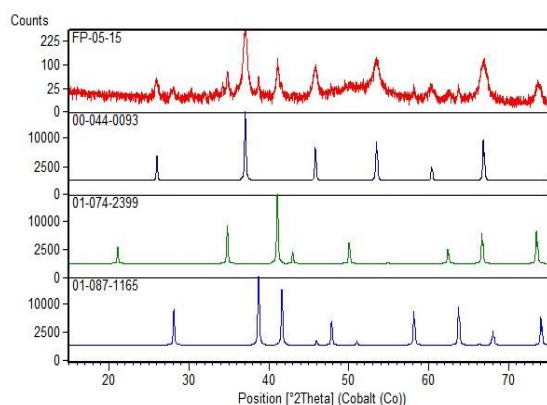
برای تعیین دقیق اندازه نانو بلورک‌ها نیاز است که پهن‌شدگی ناشی از دستگاه را از آن کم کنیم. برای محاسبه اندازه بلورها طول موج اشعه ایکس ($\lambda = 1/54 \text{ \AA}$) و β نیم‌پهنای نوار فاز اصلی در نصف ماکزیمم که باید برحسب رادیان در فرمول وارد شود و $k = 1/89$ به عنوان ثابت رابطه و θ زاویه پراش برای نمونه‌های مختلف در نظر گرفته شده است. اندازه‌های محاسبه شده طبق جدول (۱) است.

جدول ۱. اندازه‌های محاسبه شده برای مواد سنتز شده

نام ماده	اندازه محاسبه شده (nm)
پروسکایت	۱۷/۹۵
فریت	۷/۰۱
F-P(۵۰-۵۰)	۷/۰۱
F-P(۲۵-۷۵)	۵/۸۶
F-P(۷۵-۲۵)	۸/۸۴



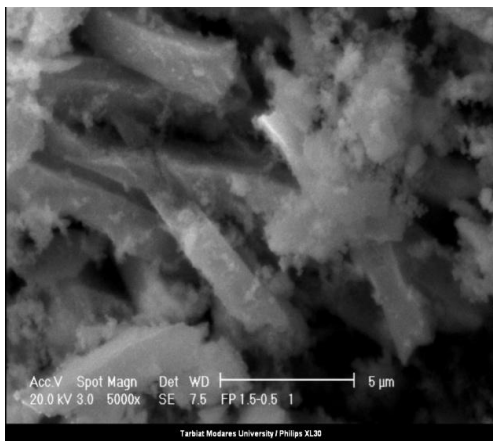
شکل ۳. الگوی پراش اشعه ایکس نمونه کامپوزیت F-P (۵۰-۵۰)



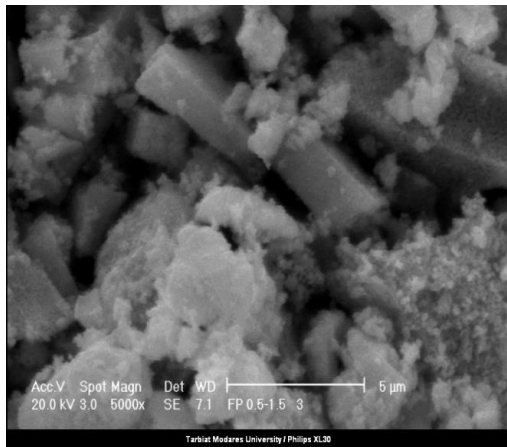
شکل ۴. الگوی پراش اشعه ایکس نمونه کامپوزیت F-P(۲۵-۷۵)

ساختار مکعبی اسپینولی است که فاز اصلی تشکیل شده در نمونه‌ها، فاز فریت منگنز-روی است و پهن‌شدگی خطوط نشان از ریز بودن دانه‌هاست. چند پیک نسبتاً قوی در زوایای ۴۷/۸۱، ۶۳/۷۳، ۳۸/۶۹ و ۲۸/۰۹ مشاهده می‌شود. به نظر می‌رسد که به احتمال فراوان فاز موردنظر با مقدار کمی از ناخالصی‌های فازی تشکیل شده باشد. پیک‌های با شدت کم نیز در الگوی پراش دیده می‌شود که برخی مربوط به Fe_2O_3 و برخی دیگر مربوط به اکسید روی هستند. همان‌طور که می‌دانیم فریت‌های منگنز-روی دارای ساختار اسپینول هستند، یون‌های روی در محل تتراهدرال قرار می‌گیرند و یون‌های آهن را از این مکان‌ها خارج می‌کنند، زمانی که نسبت مولی روی به منگنز طبق نسبت انتخابی باشد نظیر آنچه در اینجا اتفاق افتاده است یون‌های روی زیادی در محیط موجود هستند. در اثر واکنش تشکیل فریت، تمام این یون‌ها به محل‌های تتراهدرال می‌روند و تمام محل‌های تتراهدرال توسط یون‌های روی اشغال می‌شود. از آنجایی که یون‌های روی فقط می‌توانند در محل‌های تتراهدرال بنشینند اگر مقدار اکسید روی بیش از تعداد محل‌های تتراهدرال ساختار اسپینول باشد تعدادی یون روی باقی می‌ماند که در ساختار جای نگرفته‌اند و به صورت اکسید روی در نمونه باقی می‌ماند. وجود Fe_2O_3 را نیز می‌توان به همین صورت توجیه کرد. یون‌های روی زمانی که در محل‌های تتراهدرال قرار می‌گیرند، جانشین تعداد مشابهی یون آهن در محل تتراهدرال می‌شوند. زمانی که مقدار روی در نمونه زیاد باشد تمام محل‌های تتراهدرال توسط یون‌های روی اشغال می‌شوند و تمام یون‌های آهن را از این مکان‌ها می‌رانند. یون‌های آهن رانده شده به محل‌های اکتاهدرال می‌روند و آن‌ها را پر می‌کنند اما تعداد مکان‌های اکتاهدرال هم محدودیتی دارند ضمن اینکه یون‌های منگنز نیز در این مکان‌ها قرار می‌گیرند؛ بنابراین زمانی که مکان‌های اکتاهدرال هم پر شد یون‌های اضافی آهن به شکل اکسید آهن در نمونه باقی می‌مانند. لذا مشاهده چند پیک ناخالصی در نمونه‌های فریت بدیهی به نظر می‌رسد.

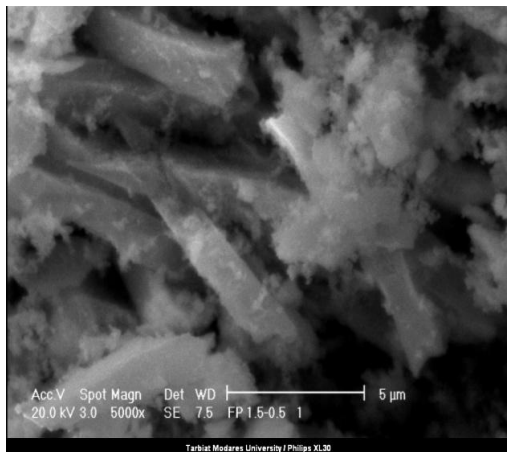
در الگوی XRD نمونه سنتز شده F-P(۲۵-۷۵)، F-P(۵۰-۵۰) و F-P(۷۵-۲۵) قله‌های واضح پراش اشعه ایکس هر دو ساختار مکعبی اسپینولی و مکعبی را نشان می‌دهد که فاز اصلی تشکیل شده در نمونه‌ها، فاز فریت منگنز-روی و پروسکایت باریم-استرانسیوم است و پهن‌شدگی خطوط نشان از ریز بودن دانه‌هاست. به دلیل ناخالصی مواد اولیه چند پیک نسبتاً ضعیف نیز مشاهده می‌شود و سایر پیک‌ها متعلق به فاز موردنظر است. برای تعیین اندازه بلورک‌ها می‌توان از رابطه شرر که در آن میانگین اندازه ذرات قابل محاسبه بوده و از سهم کرنش صرف‌نظر می‌شود استفاده کرد. رابطه شرر به شکل $D = k\lambda/\beta\cos\theta$ است؛ که در آن D اندازه بلورک، K مقدار اختیاری شرر که محدوده



شکل ۸. تصویر SEM F-P(۵۰-۵۰) در دمای ۷۰°C و دمای سینتر ۷۵۰°C

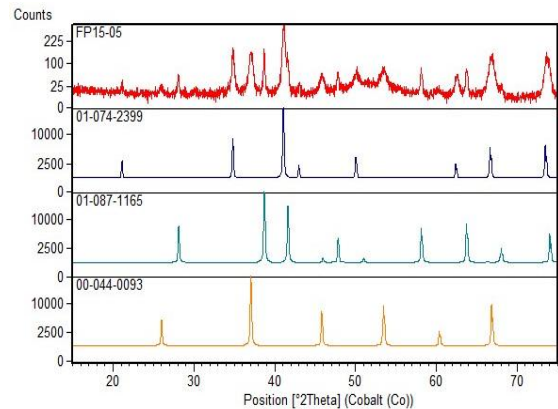


شکل ۹. تصویر SEM F-P(۲۵-۷۵) در دمای ۷۰°C و دمای سینتر ۷۵۰°C



شکل ۱۰. تصویر SEM F-P(۷۵-۲۵) در دمای ۷۰°C و دمای سینتر ۷۵۰°C

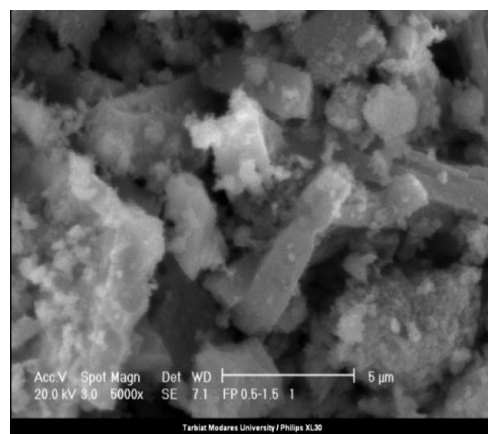
تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان می‌دهد که نانو ذرات به حالت کلوخه هستند به طوری که خوشه‌ها از ذرات ریز به هم چسبیده تشکیل شده‌اند و با توجه به این‌که از هیچ‌گونه توزیع‌کننده‌ای برای سنتز استفاده نشده است لذا حالت کلوخه‌ای



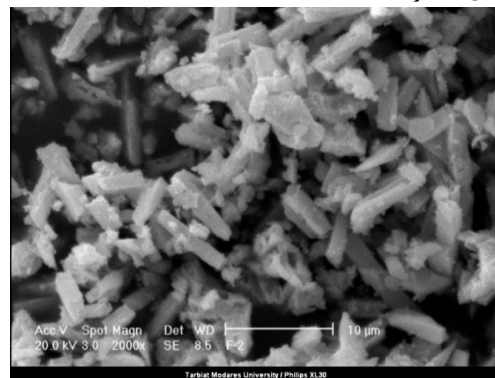
شکل ۵. الگوی پراش اشعه ایکس نمونه کامپوزیت F-P(۷۵-۲۵)

۲-۳. میکروسکوپ الکترونی روبشی

بررسی ریخت‌شناسی پودرها با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی دانشگاه تربیت مدرس sputter coater ساخت شرکت فیلیپس (Philips) از کشور هلند و مدل XL30 است. از نمونه‌های سنتز شده در دمای ۷۰°C و دمای کلسینه ۷۵۰°C عکس برداری SEM گرفته شد که در شکل‌های (۱۱-۶) آورده شده است.



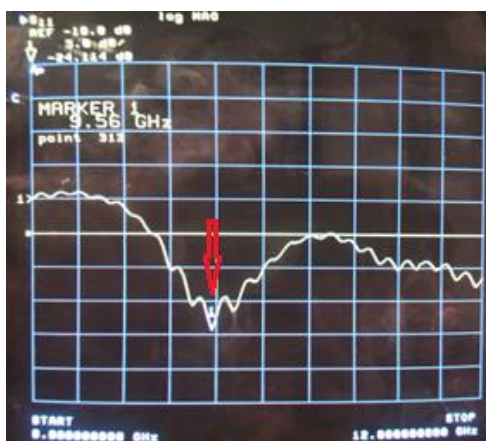
شکل ۶. تصویر SEM پروسکایت Ba-Sr در دمای ۷۰°C و دمای سینتر ۷۵۰°C



شکل ۷. تصویر SEM فریت Mn-Zn در دمای ۷۰°C و دمای سینتر ۷۵۰°C

قرار می گیرند و جایگزین یون های Fe^{+3} می شوند و یون های Fe^{+3} به همراه یون های منگنز محل های اکتاهدرال را پر می کنند. لذا میزان جذب امواج راداری کامپوزیت ها به محل جایگزینی یون ها (محل اکسیژن یا فلز و یا بین آرایه ای) بستگی دارد.

همان طور که از طیف جذبی شکل (۱۱) مشاهده می شود، برای حالت ۱۰٪ Ba-Sr و ۹۰٪ اپوکسی میزان جذب در حوالی ۹/۵GHz به ۲۴dB- نیز می رسد و این حالت در مقایسه با منابع مطالعه شده عالی به نظر می رسد. بطوریکه در مطالعات بزرگمهر و همکاران [۲۳] حداکثر جذب در محدوده ۸-۱۲GHz، برای کامپوزیت با ضخامت ۷/۵mm و فرکانس ۹/۷GHz حدود ۲۲/۵dB- مشاهده کرده اند. در طیف تحلیلگر شبکه مربوط به نمونه Mn-Zn (شکل ۱۲) تغییر محسوسی در میزان جذب ترکیب نشان نمی دهد و می توان نتیجه گرفت که ترکیب مورد نظر به تنهایی دارای قابلیت های مطلوب به عنوان پوشش های جاذب راداری نیست. و بایستی تغییراتی در شرایط سنتز ایجاد کرد.



شکل ۱۱. نمایش طیف جذبی Ba-Sr، با ۹۰٪ اپوکسی و ضخامت ۱ mm



شکل ۱۲. نمایش طیف جذبی Mn-Zn، با ۹۰٪ اپوکسی و ضخامت ۱ mm

شدن به دلیل برهمکنش مغناطیسی بین ذرات یا واکنش پذیری بالای ناشی از نسبت سطح به حجم بالا است که ذرات تمایل به یکپارچه شدن دارند و در این نانو ذرات این ویژگی مشاهده می شود. محاسبه اندازه دانه بندی ها و مورفولوژی نشان از وجود طیفی از ذرات در محدوده ۳۳ تا ۸۰ نانومتر است و ذرات تقریباً کروی و استوانه ای مشاهده می شوند.

۳-۳. تحلیل جذب امواج راداری

برای بررسی میزان جذب امواج راداری از دستگاه Network Analyser Hp مدل 8722D استفاده گردید. در آزمایش میزان جذب امواج، نمونه های تهیه شده در محل خاص دستگاه قرار داده شد. سپس امواج تولید شده توسط دستگاه به نمونه ها تابانده شد. امواج بازتاب شده از نمونه ها توسط نرم افزار دستگاه مربوطه، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و نمودار شدت امواج بر حسب دسی بل رسم می شود. طیفی های S11 گرفته شده توسط این دستگاه که مربوط به میزان امواج بازتابی در ناحیه بسامدی ۸-۱۲ GHz است که در شکل های (۱۵-۱۱) آورده شده است.

پروسکایت ها دسته مهمی از مواد دی الکتریک هستند و در این مواد Ba و Sr کاتیون دو بار مثبت و Ti کاتیون چهار بار مثبت است. در برخی مواد الکترونیکی تغییرات ضریب دی الکتریک با میدان الکتریکی بقدری کوچک است که مفید نبوده و حتی قابل اندازه گیری نیست؛ اما برای مواد خاص، از جمله مواد پرنرزی و مواد با ضریب دی الکتریک بالا، این اثر می تواند کاملاً واضح باشد [۲۲].

در مواد پروسکایتی، ضریب دی الکتریک در نزدیکی دمای اتاق به طور غیرعادی بالا و غیرخطی است که باعث می شود این تغییرات چشم گیر باشد. علاوه بر این پروسکایت ها به ویژه ماده تیتانات باریم-استرانسیم دارای اتلاف دی الکتریک بالا بوده و قادر است مؤلفه میدان الکتریکی موج الکترومغناطیس را جذب و به حرارت تبدیل کند. اما در فریت هایی با ساختار اسپینول، خواص شیمیایی و فیزیکی (مانند مغناطیسی، نیمه رسانایی و ...) وابسته به اشغال مکان های تتراهدرال و اکتاهدرال توسط کاتیون ها است.

روش های تخمین توزیع کاتیونی علاوه بر نحوه توزیع کاتیونی، اندازه پارامتر موقعیت شبکه ای را نیز تعیین می کند. چون فریت Mn-Zn از فریت های نرم، شبکه FCC و ساختار شبکه اصلی با یون های اکسیژن است در بین آرایه های انباشته شده یون های اکسیژن دو نوع مکان بین نشین یافت می شود که یکی مکان تتراهدرال و دیگری مکان اکتاهدرال نامیده می شود. این مکان ها توسط یون های فلزی منگنز و روی اشغال می شوند که نحوه قرارگیری یون ها در این محل ها خواص اصلی فریت را تعیین می کند. در فریت Mn-Zn یون های روی در محل های تتراهدرال

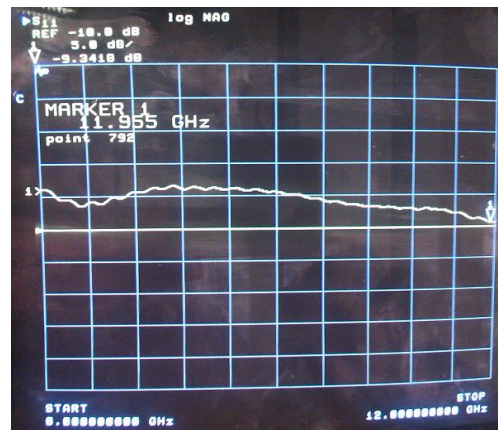
که ترکیبات موردنظر تحت تأثیر ماده فریت قرار گرفته و قابلیت جذب امواج راداری را بجای افزایش، کاهش داده است. چون توزیع کاتیونی بین فضاهای تتراهدرال و اکتاهدرال برای فریت با ساختار اسپینل و کاتیون‌های دو بار مثبت Ba و Sr و کاتیون چهار بار مثبت Ti در پروسکایت با دی‌الکتریک بالا در ترکیبات انتخابی به درستی جایگزیده نشده‌اند لذا خواص فیزیکی ترکیب حاصل (مانند جذب امواج، مغناطیسی، نیمه رسانایی و ...) تحت تأثیر این ساختار جدید قرار گرفته و مقدار جذب امواج را در محدوده انتخابی نسبت به نمونه‌های اولیه بدون ترکیبی کاهش داده و یا این نسبت‌ها تقریباً جذب یکسانی را نشان می‌دهند. با وجود اینکه پروسکایت انتخابی به تنهایی دارای جذب بهتری نشان داده است اما در کامپوزیت (پروسکایت+ فریت) ترکیب ساختار به گونه‌ای تغییر یافته است که میزان جذب را در محدوده انتخابی کاهش داده است، این به دلیل آن است که حوه قرارگیری کاتیون‌ها توسط یون‌های فلزی منگنز و روی در این ساختار تاثیر گذاشته و مقدار جذب را کاهش می‌دهد.

۴. نتیجه‌گیری

الگوی پراش اشعه ایکس نشان داد که ناخالصی در نمونه‌ها به ویژه در ماده فریت وجود داشته و این عامل باعث ایجاد قله‌های دیگر در طیف پراش شده است و پهن‌شدگی خطوط در همه نمونه‌ها نشان از ریز بودن دانه‌هاست. همچنین تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داد که نانوذرات به حالت کلوخه بوده و خوشه‌ها از ذرات ریز به هم چسبیده تشکیل شدند. اندازه‌گیری مورفولوژی نیز نشان داد که اندازه ذرات در محدوده ۳۳ تا ۸۰ نانومتر و تقریباً کروی است. طیف تحلیلگر شبکه میزان جذب امواج در ناحیه بسامدی ۱۲-۸ GHz مربوط به نمونه‌های مگنتوالکتریک نشان می‌دهد که بیشترین مقدار جذب برای ماده با ضریب دی‌الکتریک بالا مقدار تقریبی ۲۴ dB- در حوالی ۹/۵GHz است. ماده با ضریب نفوذپذیری بالا از مقدار جذب کمتری برخوردار بوده و ترکیب آن با ماده ضریب دی‌الکتریک بالا باعث کاهش مقدار جذب امواج راداری در محدوده ۱۲-۸ GHz گردیده است. لذا به نظر می‌رسد در مواد جاذب کامپوزیت راداری، ماده با ضریب دی‌الکتریک بالا نقش تعیین کننده‌ای را نسبت به ماده با ضریب نفوذپذیر بالا را ایفا می‌کند.

۵. مراجع‌ها

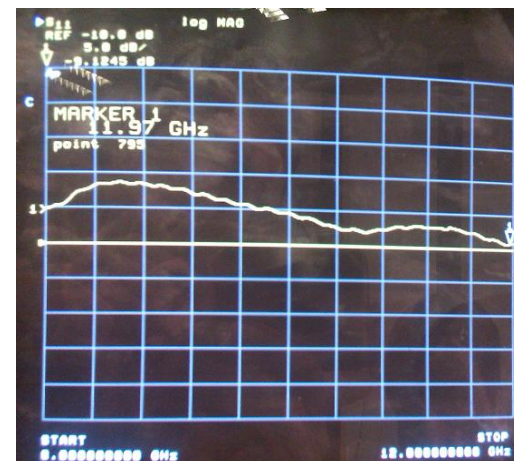
- [1] Shaban, H. "Synthesis of W-Type Magnetoplumbite Nanoparticles from Iron Carbonyl Primary Material and Measurement of Dielectric and Magnetic Properties"; Master's Thesis, Malek Ashtar University of Technology, 2014.
- [2] <http://air21.blogfa.com>. Mehdi2224, November 2006.



شکل ۱۳. نمایش طیف جذبی F-P(۵۰-۵۰) با ۹۰٪ اپوکسی و ضخامت ۱ mm



شکل ۱۴. نمایش طیف جذبی F-P(۲۵-۷۵) با ۹۰٪ اپوکسی و ضخامت ۱ mm



شکل ۱۵. نمایش طیف جذبی F-P(۷۵-۲۵) با ۹۰٪ اپوکسی و ضخامت ۱ mm

طیف تحلیلگر شبکه نمونه‌های F-P با درصد‌های انتخابی مختلف نشان می‌دهد که میزان جذب امواج در ناحیه انتخابی تغییر محسوسی در میزان جذب ایجاد نمی‌شود و می‌توان نتیجه گرفت

- [3] Yongqing, Y.; Shuhua, Q.; Jianning, W. "Preparation and Microwave Absorbing Properties of Nickel-Coated Graphite Nanosheet with Pyrrole *via* in Situ Polymerization"; *J. Alloy Compd.* 2012, 520, 114-121.
- [4] Xiang, C.; Pan, Y.; Guo J. "Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Multi-Walled Carbon Nanotube Reinforced Fused Silica Composites"; *Ceram. Int.* 2007, 33, 1293- 1297.
- [5] Wei, C.; Shen, X.; Song, F.; Zhu Y.; Wang, Y. "Double-Layer Microwave Absorber based on Nanocrystalline Fe Microfibers"; *Mater. Design* 2012, 35, 363-368.
- [6] Xiaogu, H.; Jiao, Ch.; Jing, Z.; Lixi, W.; Qitu, Z. "A New Microwave Absorber Based on Antimony-Doped Tin Oxide and Ferrite Composite with Excellent Electromagnetic Match"; *J. Alloys Compd.* 2010, 506, 347-350.
- [7] Jing, C.; Wuyou, F.; Haibin, Y.; Qingjiang, Y.; Yanyan, Z.; Shuangming, W.; Hui, Z.; Yongming, S.; Xiaoming, Z. "Fabrication, Characterization and Application in Electromagnetic Wave Absorption of Flower-Like ZnO/Fe₃O₄ Nanocomposites"; *Mater. Sci. Eng.* 2010, 175, 56-59.
- [8] Kim, B. R.; Lee, H. K.; Park, S. H.; Kim H. K. "Electromagnetic Interference Shielding Characteristics and Shielding Effectiveness of Polyaniline-Coated Films"; *Thin Solid Film* 2011, 519, 3492-3496.
- [9] Aghajari1, E.; Morady1, S.; Navid Famili, M. H.; Zakiyan, S. E.; Golbang, A. "Responses of Polystyrene/MWCNT Nanocomposites to Electromagnetic Waves and the Effect of Nanotubes Dispersi"; *Iranian J. Polymer Sci. & Technol.* 2014, 27, 193-201.
- [10] Liu, L.; Duan, Y.; Ma, L.; Liu, S.; Yu, Z. "Microwave Absorption Properties of a Wave-Absorbing Coating Employing Carbonyl- Iron Powder and Carbon Black"; *Appl. Surface Sci.* 2010, 257, 842-846.
- [11] Nasrollahi, H.; Abdolali, A.; Ghaykhloo, A. R. "Designing and Manufactureing of Optimal Radar Absorbents in X-Band with Carbon Compounds"; *Second Conference on Electromagnetic Engineering*, 2013.
- [12] Yanmin, W.; Tingxi, L.; Lifan, Z.; Zuwang, H.; Yijie, G. "Research Progress on Nanostructured Radar Absorbing Materials"; *Energy and Power Engineering* 2011, 3, 580-584.
- [13] Bhattacharya, P.; Sumanta, S. "Microwave Absorption Behaviour of MWCNT Based Nanocomposites in X-Band Region"; *Express Polymer Letters* 2013, 7, 212-223.
- [14] Eqra R.; Janghorban, K.; Danesh Manesh, H.; Abiri, H. "Investigation of Electromagnetic Properties of Epoxy-Graphene Nanocomposites"; *Journal of Radar* 2015, 2, 4,1-8.
- [15] Afzali, A.; Mottaghtalab, V.; Seyyed Afghahi, S. S. "Investigation of the Effect of pH in the Sol-Gel Process on Physical, Magnetic and Microwave Absorption Characteristics of Barium Hexaferrite Nanostructure"; *Advanced Defence Sci. & Technol.* 2017, 10, 313-320 (In Persian).
- [16] Fan, Y.; Yang, H.; Li, M.; Zou, G. "Evaluation of the Microwave Absorption Property of Flake Graphite"; *Mater. Chem. Phys.* 2009, 115, 696-698.
- [17] Adriana, M. G.; Mirabel, C. R.; Christine, C. D. "Dependence of Microwave Absorption Properties on Ferrite Volume Fraction in Mnzn Ferrite/Rubber Radar Absorbing Materials"; *J. Magnetism and Magnetic Mater.* 2011, 323, 2782-2785.
- [18] Xiang, C.; Pan, Y.; Guo, J. "Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Multi-Walled Carbon Nanotube Reinforced Fused Silica Composites"; *Ceram. Int.* 2007, 33, 1293- 1297.
- [19] Kavita, V.; Seema, Sh.; Dhananjay K. Sh.; Raju, K.; Radheshyam, R. "Sol-Gel Processing and Characterization of Nanometersized (Ba,Sr)TiO₃ Ceramics"; *Adv. Mat. Lett.* 2012, 3, 44-49.
- [20] Chen, D. H.; Chen, Y. Y. "Synthesis of Strontium Ferrite Nanoparticles by Copre Cipitation in the Presence of Polyacrylic Acid"; *Materials Research Bulletin* 2002, 37, 801-810.
- [21] Jenkins, R.; Snyder, R. L. "Introduction to X-ray Powder Diffractometry"; E. W. Nuffield, 1987.
- [22] York, R. A. "Tunable Dielectrics for RF Circuits"; *University of California at Santa Barbara, Publishing* 2009.
- [23] Madah, B.; Davoudi, A.; Khakbaz, M. R. "Investigation of X Frequency Microwave Absorbance of Ferrite Nano-Composite in Polyurethane Matrix"; *Adv. Defence Sci. & Technol.* 2016, 6, 1-8 (In Persian).