محبه علمی بژو، شی «علوم و فناوری بلی پدافند غیر عامل» سال چهارم، شماره۲، تابستان ۱۳۹۲؛ ص ۱۰۸–۱۰۳

خواص جذب امواج راداری نانو کامپوزیت بر پایه پلی آنیلین

بزرگمهر مداح'*، ابراهیم توکلی^۲، مهدی یساقی^۳، یعقوب قانع قرهباغ^٤

۱ - دانشیار، ۲ و ۳-دانشجوی کارشناسی ارشد و ٤- پژوهشگر دانشگاه جامع امام حسین (ع)
دریافت: ۱۱/۱۱/۱۳۹۱، پذیرش: ۱۳۹۲/۱۶/۱۰)

(دریافت: ۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱ ، پدیرس: ۰

چکیدہ

استتار جنگافزارها بهویژه هواپیما، بالگرد و پهبادها امروزه امری اجتناب ناپذیر است. استتار راداری به معنی پنهان شدن یک جنگافزار از دید رادار میباشد که این عمل به شیوههای مختلفی انجام میشود، مهم ترین آنها کاهش سطح مقطع راداری یا استفاده از مواد جاذب رادار میباشد. در این تحقیق نانوکامپوزیتهای مختلفی برای اتلاف امواج راداری آزمایش شد که در میان آنها نانوکامپوزیت پلی آنیلین، نانوذرات اکسید آهن (III) و نانوذرات اکسید تیتانیم مؤثرترین بودند. همچنین تأثیر تغییر ضخامت و درصد اجزاء تشکیل دهنده این نانوکامپوزیت بر جذب امواج رادار بررسی شد. بدین ترتیب، در مرحله اول، نانوذره 40₆ با استفاده از روش هم رسوبی از آمونیاک در آب تهیه شد. ساختار بلوری و مورفولوژی نانوذره سنتز شده به ترتیب با میکروسکوپ الکترونی روبشی (EM) و دستگاه پراش اشعه X (XRD) تعیین گردید. در مرحله دوم، نانوکامپوزیت پلی آنیلین/ نانوذره اکسید آهن و اکسید تیتانیم، توسط پلیمریزاسیون آنیلین مخلوط شده با نانوذرات در حضور اکسید کنده آمونیوم پرسولفات در حمام آب و ین (2°°) سنتز شد. در مرحله آخر، پودر نانوکامپوزیت در پارافین کاملاً مخلوط شده با نانوذرات در مرحله دوم، نانوکامپوزیت پلی آنیلین/ نانوذره اکسید آهن و اکسید تیتانیم، توسط پلیمریزاسیون آنیلین مخلوط شده با نانوذرات در حضور اکسید کننده آمونیوم پرسولفات در حمام آب و یخ (2°°) سنتز شد. در مرحله آخر، پودر نانوکامپوزیت در پارافین کاملاً مخلوط شده و سپس قالبگیری گردید. خطوصیات جه راداری این نانوکامپوزیت با آنالیزور Vector Network در ۲۱- ۸ گیگا هرتز مورد بررسی قرار گرفت. بهترین جذب در ضخامت ۳ و غلظت ۱۰٪ برای نانوکامپوزیت مشاهده گردید. بیشترین اتلاف موج در ناحیه ۵/۹ گیگا هرتز ۳۳/۳ دسی بل به دست آمد.

كليدواژهها: جذب رادار، پلی آنيلين، نانوكامپوزيت، نانوذرات Fe₃O₄.

Radar Absorbtion Properties of Nanocomposite Based on Polyaniline

B. Maddah^{*}, A. Tavakoly, M. Yasaghei, Y. Qane Garebagh

Imam Hossein University (Received: 31/12/2012; Accepted: 01/09/2013)

Abstract

Nowadays, camouflaging the warfare equipments particularly aircraft, helicopters and drones are inevitable. Camouflaging in the radar range means attenuation, reflection and dispersion of radar waves. This operation can be achieved by different methods most notably, by reducing the radar cross section or using radar absorbent material. In this study different nanocomposites were tested for loss of radar waves. As a result of this research poly-aniline nanocomposite of iron oxide (III) nanoparticles and titanium nanoparticles were the most effective. Also a few experiments were carried—out on the thickness and percentage of nanocomposite constituent. This work was carried out in three stages. In the first stage, Fe_3O_4 nanoparticles were prepared by co-precipitation method using NH₃ solution. The crystal structures and morphology of nanoparticles were investigated and characterized by X–ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM). In the second part, conducting polyaniline/nanoparticles (TiO₂ and Fe_3O_4) composites were synthesized by in situ polymerization method with ammonium persulfate (APS) as the oxidant and under an ice-water bath (0 °C). In last step, nanocomposite powders was completely dispersed in paraffin and was followed by casting process on test plate. The radar absorbing property of nanocomposite was investigated by vector network analyzer at the frequency range of 8-12 GHz. The best absorption was caused by the nanocomposite with concentration of about 10% and thickness of 4 mm. Maximum reflections recorded was about 33.3 dB at 9.5GHz.

Keyword: Radar Absorbing, Polyaniline, Nanocomposite, Fe₃O₄ Nanoparticles.

۱. مقدمه

استتار یکی از ارکان مهم پدافند غیرعامل میباشد و استتار در برابر امواج رادار برای تجهیزاتی مانند تانک، هواپیما و تأسیسات حساس، فوقالعاده اهمیت دارد. پارامترهایی مانند فاصله، شکل هندسی، مواد به کار رفته، مکان یابی هدف، پس زمینه، افزایش کلاترها به صورت مصنوعی یا طبیعی [۱] بیشترین تأثیر را بر قابلیت آشکارسازی هدف از دید رادار دارند. اقداماتی متقابل در برابر طیف راداری شامل اقداماتی است که بر امواج راداری اثر گذاشته و بیشترین اتلاف را داشته باشند و در نتیجه امواج به گیرنده امواج رادار برنگردد. از این اقدامات می توان به کاهش سطح مقطع راداری⁽ (RCS)، استفاده از مواد جاذب رادار ^۲ (RAM) و یا استفاده از موادی که پخش راداری آنها مطلوب است، اشاره کرد. شکل هندسی شیء مورد نظر و سطح مقطع راداری به یکدیگر مرتبط بوده و هر چه سطح مقطع راداری کاهش یابد، امواج برگشتی از یک جسم به سمت رادار نیز کمتر خواهد بود و بهتر استتار می گردد. بر این مبنا اشکال هندسی تجهیزات و ادوات نظامی به سرعت در حال تغییر است و سطوح با زاویه ۹۰ درجه حذف می شود و تبدیل به سطوحی با زوایای منحنی و با شیب کے مے شوند [۱]. فناوری نانو و تولید مواد در ابعاد نانومتری در دهه اخیر توجه بسیاری را به خود معطوف داشته است. نانو کامپوزیتها نیز به عنوان یکی از شاخههای این فناوری جدید اهمیت زیادی یافتهاند و یکی از زمینههایی هستند که کاربردهای صنعتی پیدا کردهاند. تلاش اولیه موفقیتآمیز در تهیه نانو کامپوزیتها به دهههای ۶۰ تـ ۷۰ قـرن بیسـتم بـازمیگـردد. نـانو کامپوزیت شامل ترکیب ذرات در حوزه ملکولی یا نانو در زمینه پلیمری، فلزی یا سرامیکی است. در همه موارد مشاهده می شود که مقدار نانوذرات در این زمینهها میتواند به طور کامل خواص این مواد را تغییر دهد. این نانوذرات به عنوان تقویت کننده زمینه و همچنین تغییردهنده رفتار الکتریکی مواد پایه به کار میروند. نانوذرات چند جزئی ترکیبی از دو فاز مختلف مانند دو یا چند ترکیب آلی یا یک ترکیب آلی و یک و یا چند ترکیب غیر آلی می باشند. این نوع از نانوذرات می توانند در قالب چهار گروه طبق بندی شوند. نانوذرات هسته- یوسته، نانوذرات زیرخوشهای، نانوذرات مختلط، نانوذرات چند لایهای که نانوذرات هسته-یوسته شامل یک یوسته از یک نوع اتم می باشد که هسته ای از نوع دیگر را احاطه کرده است. در حقیقت نانوذرات هسته- پوسته سیستمهای هیبریدی هستند. انواع مختلفی از هسته و همچنین گروههای متنوعی از پوسته وجود دارند. هستهها و پوستهها می توانند دارای ویژگیهای متفاوت باشند که از آن جمله مىتوان به ميزان فلزى بودن، ميزان نيمه هادى بودن، مغناطيسي بودن آنها اشاره کرد [۲ و ۳].

تحقیقات بر روی جاذبهای امواج الکترومغناطیس در سال ۱۹۳۰ شروع شد [۴]. اولین مقاله در سال ۱۹۳۶ در هلنـد چـاپ شـد کـه

مربوط به بررسی جاذب از نوع رزونانسی با استفاده از کربن سیاه به عنوان ماده اتلاف موج و تیتانیم اکساید با گذردهی بالا برای کاهش ضخامت بود [۵]. در جنگ جهانی دوم، آلمانها برای استتار زیردریاییهای پیشرفته خود (وسچ^۳) از پودر کربونیل آهن درون لاستیک با ضخامت حدود سه اینچ و فرکانس سه گیگا هرتز استفاده کردند. آنها همچنین جاذبهای ژائومن ۲۰ با استفاده از چند لایه ورقههای پلاستیک سخت تولید نمودند که این ورقهها با سه اینچ ضخامت، انعکاس امواج را ۲۰ دسیبل در فرکانس ۲- ۱۵ گیگا هرتز کاهش میدهد. در دهه ۱۹۸۰ فرآیند طراحی جاذبها با روشهای بهینهسازی بهبود یافت و مواد جاذب جدید و آنالوگهای مداری طراحی شد و پراکنده شدن امواج توسط این مواد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت [۶ و ۷]. بررسی بیشتر بر روی مواد جاذب حاوی کربن و گرافیت، کربنیل آهن و فریتها ادامه یافت [۸]. در حال حاضر دىالكتريكهاى مصنوعي با اضافه كردن ناخالصي مانند ميله، سیم، دیسک و ناخالصیهای مارپیچی برای بهبود جذب مورد استفاده قرار می گیرد [۹]. از سال ۱۹۹۰ پژوهش های جدید منجر به یافتههای زیادی در مورد جذب مواد کایرال شده است [۱۰]. در سالهای اخیر پلیمرهای رسانا به عنوان ماده اصلی مورد استفاده برای جذب امواج رادار به کار می رود [11]. در سال ۲۰۰۷ فیلمهای از فریتهای اکسید آهن (III) تهیه شد که این فیلمها در ۴ و در ١٢-١٨ گيگا هرتز به ترتيب ١٠- و ٢٠- دسے بل اتلاف موج داشتهاند تهیه گردید [۱۲]. چن و همکاران [۱۳] در سال ۲۰۰۹ با استفاده از فریت اکسید آهن (III) به صورت هسته- یوسته جاذبهای با ضخامت ۲ میلیمتر تهیه کردند که دارای باند اتلاف به نسبت پهن با بیشینه اتلاف در ۱۰ - دسی بل در ۶/۹۶ GHz بود. حسینی [۱۴] در سال ۲۰۱۱ با بررسی خواص فریتها و پلی آنیلین موفق به تهیه فریت منگنز در بستر پلی آنیلین شد که در ناحیه ۱۰/۴ GHz کاهش اتلاف موج ۱۵/۳ دسیبل را نشان میداد. با توجه به متون مشخص شده است که عواملی مانند ثابت دی الکتریک، ثابت تراوایی، رسانایی و اندازه ذرات بر روی جذب و اتلاف امواج الکترومغناطیس تأثیر گذار هستند.

در این تحقیق، برای بررسی خصوصیات جذب راداری موادی انتخاب میشود که هر یک از مواد حداقل دارای یک ویژگی منحصر بهفردی از این خصوصیات باشند و با این مواد کامپوزیتی تهیه میگردد که شامل جمیع این ویژگیها باشد. برای حصول به این هدف، آزمایشات و مواد مختلف مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت برای تولید ثابت دی الکتریک از نانوذرات اکسید تیتانیم، برای ثابت تراوایی از نانوذرات فریت اکسید آهان (III) و برای رسانایی از پلیمرهای رسانا مانند پلی آنیلین استفاده شد. هم چنین قطرهای (ضخامتهای) مختلف از کامپوزیت برای رسیدن به بهترین نتیجه مورد بررسی قرار گرفت.

¹ Radar Cross Section

² Radar Absorption Material

³Wesch ⁴Jaumann

۲. مواد، دستگاهها و روشها ۲-۱. مواد و دستگاهها

آنیلین، دودسیل سولفات سدیم، هگزانوئیک اسید، آمونیوم پر سولفات، کلریدآهن (II) ۴ آبه، کلریدآهن (III) ۶ آبه، پارافین، همگی از شرکت مرک خریداری شد. نانو اکسیدتیتانیم با اندازه ۳۸ ۴۰ از Metwork Analyser System. دستگاه . Network Analyser System P-۵۰ GHz برای تولید امواج الکترومغناطیس در فرکانس -۵۰ GHz به کار به کار رفت. نمونهها جهت آزمایش جذب امواج با دو قالب متفاوت از نظر ابعاد یعنی ۱۵۰×۱۰۰ و ۱۰×۱۰×۲۰ میلی متر تهیه شد.

۲-۲. تهیه مواد جاذب رادار

برای تهیه پلی آنیلین ابتدا ۴/۵ میلیلیتر آنیلین را به ۷۰ میلیلیتر از اسید کلریدریک ۲ مولار اضافه و در دمای ۲۵۵۰ به مدت ۲۰ دقیقه هم زده شد. سپس ۴/۵۰ گرم از آمونیوم پر سولفات، در ۲۰ میلیلیتر آب مقطر حل گردید. محلول سپس در مدت زمان ده دقیقه به آنیلین اضافه شد و سه ساعت محلول تهیه شده در دمای ۲۰°۲ نگدداشته شد. محلول حاصل صاف شده و با اسید کلریدریک و آب مقطر شستشو داده و به مدت ۲۴ ساعت تحت دمای ۲۰°۶ خشک گردید و پودر سبز رنگ که نشانه تولید پلی آنیلین است حاصل شد [13].

Fe₃O₄ سنتز نانوذرات. ۳-۲

در یک بالن سه دهانه مقدار ۶/۴۹ گرم از کلرید آهان (III) و ۲/۱۸ گرم از کلرید آهن (II) در ۴۷۰ میلی لیتر آب مقطر تحت گاز نیتروژن و همزدن شدید حل شد (دهانههای بالن سه دهانه باید به گونه ای باید باشد تا از ورود اکسیژن به محلول جلوگیری گردد زیار باعث اکسید شدن اکسید آهن (II) به اکسید آهن (III) می گردد). سپس ۳۰ میلی لیتر از محلول آمونیاک ۲۵ ٪ وزنی به آرامی به محلول اضافه شد و به مدت یک ساعت در حمام آب 2°۶۰ تحت همزدن شدید قرار گرفت. در پایان نانوذرات حاصله توسط یک آهنربا از محلول جدا شد و چندین بار با آب مقطر و اتانول شسته و سپس خشک شد [۱۶].

۲-۴. تهیه نانو کامپوزیت پلی آنیلین / اکسید تیتانیم / اکسید آهن (III)

۱٬۹۳۱ مول هگزانویک اسید (۱٬۴۴ گرم) با ۱٬۰۱ مول مونومر آنیلین (۱٬۹۳۰ گرم) در ۲۰ میلیلیتر آب مقطر به مدت ۳۰ دقیقه با همزن مغناطیسی هم زده شد. ۱٬۱۰ گرم نانو اکسید تیتانیم و ۱٬۱۰ گرم نانو اکسید آهن (Fe₃O4) را داخل محلول (بعد از برداشتن همزن مغناطیسی) ریخته و تحت التراسونیک به مدت ۴ ساعت قرار گرفت. بعد از اولتراسونیک مقدار ۲/۲۸ گرم آمونیوم پر سولفات، در ۲۰ میلیلیتر آب مقطر حل کرده و توسط بورت، طی ۲ ساعت به محلول اضافه و همزمان هم زده شد. محلول حاصل ۲۴ ساعت در دمای صفر درجه سانتی گراد قرار گرفت. در نهایت محصول سه بار با آب مقطر و *WWW*.SID.ir

سه بار با متانول شستشو داده شد. نمونه حاصل ۲ ساعت در آون و ۲۴ ساعت در دسیکاتور قرار داده شد.

۵-۲. روش تهیه نمونهها برای اندازهگیری جذب رادار

نمونه با دو روش برای بررسی جذب امواج رادار تهیه شد، الف) به صورت مخلوط فیزیکی که در این روش بعد از آسیاب کردن مواد مختلف در هاون جهت یکنواختی ذرات، نمونهها مخلوط شده و در نهایت سوسپانسیونی از پودرهای حاصل در پارافین تهیه می شود ب) به صورت کامپوزیت که در این روش عمل پلیمریزاسیون آنیلین در حضور مخلوط یکنواختی از اکسید تیتانیم، اکسید آهن و مونومر آنیلین در حالتی که به شدت در حال هم خوردن هستند، انجام می شود و کامپوزیت دارای ساختار هسته- پوسته می باشد [۱۳].

۲-۶. تهیه فیلم با بستر پارافین

از پارافین به دلیل اینکه به راحتی در اثر گرما ذوب می شود و می توان به راحتی یک سوسپانسیون از نمونه آزمایشی تهیه کرد که پس از ریختن روی شیشه جامد می شود، برای ساخت قالب برای انجام سریع آزمون های اولیه استفاده شد.

الف) قالب۱۰۰× ۱۵۰ میلیمتری: ابتدا مقدار ۲ گرم از مخلوط نمونه در هاون پودر میشود و از طرف دیگر ۱۸ گرم از پارافین جامد (برای فیلم ۱۰درصد) بر روی هیتر در دمای ۲^۵۰ به صورت مایع تبدیل میگردد، سپس پودر نانو کامپوزیت به آن اضافه میشود بعد از مدت ۵ دقیقه هم خوردن در دمای ۲^۵۰ به سرعت بر روی شیشه ۱۰۰× ۱۵۰ میلیمتری ریخته میشود، برای یکنواخت شدن بهتر است شیشه نیز گرم شود و فیلم تهیه شده برای آزمایش جذب استفاده گردد. فیلمهای تهیه شده با قالبهای ۱۰×۱۵ سانتیمتری به دلیل استفاده زیاد از مواد و عدم یکنواختی مناسب فقط برای آزمایشهای اولیه مناسب است.

ب) قالب ۱۰×۱۱×۲۱ میلیمتری: قالب ۱۰×۱۱×۲۱ میلیمتر از جنس برنج تهیه شد و سپس نمونه را که به صورت پودر نرم تهیه شده بود، با پارافین مخلوط نموده و در ۲۰°۹ به مدت ۵ دقیقه حرارت داده شد و در مخلوط در حالت مذاب درون قالب ریخته و بعد از ۵ دقیقه از درون قالب برداشته میشد. لازم به ذکر است هر چند خود پارافین حالت روغنی دارد اما بهتر است قبل از ریختن مواد در درون قالب اطراف دهانه درونی قالب را با گریس آغشته نموده تا نمونه به راحتی از آن خارج گردد.

۳. نتایج و بحث

۳-۱. خصوصيات نانو ذره مغناطيسي

از روش SEM به صورت گستردهای برای تعیین مورفولوژی، شکل و تخمین اندازه ذرات در ابعاد میکرو و نانو استفاده میشود. در شکل (۱) تصویر SEM مربوط بـه Fe₃O₄ نشـان داده شـده است. تصـویر SEM مربوط نشان دهنده تشکیل نـانوذرات مغناطیسی بـه نسبت

مکعبی در سطح نانوذرات میباشد. از این تصویر میتوان فهمید که نانوذرات از گستره توزیع به نسبت مناسبی برخوردارند. بر اساس تصویر به دست آمده متوسط اندازه ذرات برای نانو ذره Fe₃O₄، حدود ۳۸ ۳۷ تخمین زده میشود.



شکل ۱. تصویر SEM مربوط به نانو Fe₃O₄

با استفاده از روش XRD ساختار بلوری نانوذرات مغناطیسی تعیین شد. شکل (۲) الگوی پراش نانو ذره سنتز شده را نشان میدهد که کاملاً بر الگوی ساختار بلوری مگنتیت خالص منطبق میباشد (بر اساس کارت دستگاه JCPDS No. 07-0322, XRD). همچنین الگوی XRD نشان دهنده مکعبی برای نمونه سنتز شده میباشد. به علاوه هیچ پیک ناخالصی مشاهده نمیشود. اندازه ذرات بر اساس معادله شرر ۳۰ nm تخمین زده شد.



شکل ۲. الگوی پراش XRD برای Fe₃O₄

۳-۲. بررسی خصوصیات جذب راداری مخلوط پلی آنیلین، اکسید تیتانیم، اکسید آهن (III)

خصوصیات جـذب راداری قالـب پـارافینی تهیـه شـده در ناحیـه ۱۲ GHz مورد بررسی قرار گرفت. همـانطـور کـه از شـکل (۳) میتـوان اسـتنباط نمـود، بیشـترین جـذب در فرکـانس ۶۹/۴GHz و بیشترین افت توان موج برگشـتی در ایـن فرکـانس برابـر ۱۱dB و همچنین بیشترین جذب ۹۱/۸ درصد میباشد.



شکل ۳. (الف) منحنی نمودار افت انعکاس توان موج بر گشتی بر حسب فرکانس، (ب) منحنی نمودار درصدجذب امواج میکروویو بر حسب فرکانس: مخلوط پلی آنیلین/اکسید، اکسید آهن (III) و اکسید تیتانیم با درصد وزنی ۴۰ و ضخامت ۷/۵ mm

۳-۳. بررسی خصوصیات جذب راداری نانو کامپوزیت پلی
آنیلین / اکسید تیتانیم / اکسید آهن (III)

خصوصیت جذب راداری نمونه پارافینی نانو کامپوزیت پلی آنیلین / اکسید تیتانیم / اکسید آهن در ناحیه ۱۲GHz–۸ مورد بررسی قرار گرفت همان طور که در شکل (۴) مشاهده میشود، این ترکیب، از بیشترین جذب در فرکانس ۲۹/۳GHz و بیشترین افت توان موج برگشتی در این فرکانس برابر ۱۷/۵dB– و همچنین از بیشینه جذب برگشتی در این فرکانس برابر ۱۷/۵dB– و همچنین از بیشینه جذب کامپوزیت باعث کاهش فرکانس جذب و افزایش افت توان برگشت نسبت به حالتی که فقط از نانو اکسید آهن و آنیلین استفاده شده ([۱۴]، ناحیه جذب ۱۰/۴GHz و کاهش اتلاف موج ۱۵/۳ دسی.ل) گردیده است.

۳–۴. تأثیر در صد و ضخامت نانو کامپوزیت پلی آنیلین، نــانو اکسید تیتانیم، اکسید آهن (III) بر جذب امواج رادار

برای بررسی تأثیر ضخامت بر روی جذب، نمونههای ۴-۱ (جدول ۱) تهیه شد و نتایج نشان داد که افزایش ضخامت از ۴ به ۷/۵ میلیمتر باعث افزایش جزئی در جـذب مـیشـود (۹۷/۹ بـه ۹۸/۲) امـا ایـن افزایش ضخامت باعث سنگینی گونـه پوشـش داده شـده و مصرف تقریباً دو برابری ماده جاذب میشود. بنابراین از ضـخامت ۴ و کمتر برای بررسی تأثیر ضـخامت بـر جـذب امـواج رادار اسـتفاده شـد. از آنجایی که هر مادهای در فرکـانس مـورد نظـر در ضـخامت خاصی

بیشترین میزان جذب را ارائه میدهد، بنابراین محاسبه و پیش بینی ضخامت لازم برای نمونههای مختلف قبل از شروع آزمایش میتواند به دستیابی نمونه بهینه منجر گردد. زمانی که تراوایی (µ) و گذردهی(٤٢) کامپوزیت برابر باشند، جذب صد در صد بوده و هیچ انعکاسی نخواهیم داشت [1۵]. وقت که |r| = |r| باشد بیشترین میزان افت انعکاس در ضخامت (b) نصف طول موج اتفاق میافند. اما زمانی که |r3| > |r4| میباشد بیشترین میزان جذب در ضخامت یک چهارم طول موج مورد نظر اتفاق میافتد. معمولاً فریتها چنین خصوصیتی دارند. طول موج در ماده (٨) به صورت رابطه (۱) به دست میآید:

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\left(|\mu_r| \times |\epsilon_r|\right)^{1/2}} \tag{1}$$

$$|\mu_{\rm r}| > |\epsilon_{\rm r}| \rightarrow d = 0.5\lambda = 0.5 \frac{\lambda_0}{(|\mu_{\rm r}| \times |\epsilon_{\rm r}|)^{1/2}}$$
(۲) که در آنها λ_0 طول موج در هوا می باشد [۱۲].

به طور کلی بهترین ضخامت برای یک ماده جاذب رادار مضربی از ۸/۴ می باشد (رابطه ۲) که با توجه به جدول (۱) بهترین نمونهها ردیف ۲، ۵ و ۸ می باشد که همگی دارای ضخامت ۴ میلی متر است. از طرف دیگر، همان طور که در جدول (۱) مشخص است بهترین درصد در این نانو کامپوزیت ۱۰ درصد است، هر چند این درصد از نانو کامپوزیت دارای پهنای باند کم است، اما مقدار اتلاف موج آن به میزان ۳۳/۳ دسی بل می باشد که دارای اتلاف موج بسیار بالا است.



شکل ۲۴ الف) منحنی نمودار افت انعکاس توان موج برگشتی بر حسب فرکانس، ب) منحنی نمودار درصد جذب امواج میکروویو برحسب فرکانس، نانو کامپوزیت پلی آنیلین/ اکسید اکسید آهن (III)، اکسید تیتانیم با درصد وزنی ۴۰ و ضخامت ۷/۵mm

بیشترین درصد جذب	بیشترین میزان اتلاف بر حسب دسی بل	بهترين فركانس اتلاف	بهترین پهنای باند	میزان اتلاف به صورت کیفی	ضخامت نمونه (mm)	رديف	درصد کامپوزیت در پارافین	نوع مادہ
۹۸/۲	۱۷/۵	٩/٢	۹–۹/۵	خوب	γ/۵	١		
٩٧/٩	١۶/٨	۹/۶	٨-١٠	خوب	۴	٢	·/¥.	. *
88/N	۴/۲	۹/۷	۹/۵–۱۰	کم	٢	٣	/.1	ارافيز
-	-	-	-	بسیار کم	١	۴		ل و ب
٩٩/٧	۲۶/۰	٩/۵	٩/٣–٩/۶	خوب	۴	۵		َ ک
-	-	-	-	بسیار کم	٢	۶	<u>/۲</u> ۰	بي. ب
-	-	-	-	بسیار کم	١	٧		نانو 4
१९/१	۳۳/۳	۹/۵	٩/٣-٩/۶	بسيار خوب	۴	٨		Fe ₃ O
$\lambda\lambda/\lambda$	٩/۵	٩/۴	٩/٣–٩/۶	کم	٢	٩	/ \ •	و نانو
-	-	-	-	بسیار کم	١	١.		iO ₂ -
-	-	-	-	بسیار کم	۴	11		Т
-	-	-	-	بسیار کم	٢	١٢	7.ω	

II)، نانو اکسید تیتانیم بر جذب امواج رادار	زِيت پارافين، پلي آنيلين، نانو اکسيد آهن (ا	جدول ۱ . تأثیر درصد و ضخامت کامپو
--	---	--

۴. نتیجهگیری

- [4] Wu, A.; Yang, X.; Yang, H. "Magnetic Properties of Carbon Coated Fe, Co and Ni Nanoparticles"; J. Alloy. Compd. 2012 513, 193-201.
- [5] Lee, S. M. "International Encyclopedia of Composites"; New York: VCH Publishers, 1991.
- [6] Kasevich, R. S.; Broderick, F. "Broadband Electromagnetic Energy Absorber"; US Patent 5,223,849, 1993.
- [7] Cory, H.; Shiran, S.; Heilper, M. "An Iterative Method for Calculating the Shielding Effectiveness and Light Transmittance of Multilayered Media"; IEEE Trans. Electromag. Compat. 1993, 35, 451-456.
- [8] Van Der Plas, G.; Barel, A.; Schweicher, E. "Antennas and Propagation"; IEEE Trans. 1989, 37, 1327-1332.
- [9] Gaylor, K. "Radar Absorbing Materials Mechanisms and Materials"; DSTO Materials Research Laboratory, 1989.
- [10] Jaggard, D. L.; Engheta, N. "ChirosorbTM as an Invisible Medium"; Elect. Lett. 1989, 25, 173-174.
- [11] Chakravarty, S.; Mittra, R.; Williams, N. R. "Microwave Theory and Techniques"; IEEE Trans. Antennas Propag., 2001, 49, 1050-1056.
- [12] Wei, J.; Liu, J.; Li, S. "Electromagnetic and Microwave Absorption Properties of Fe_3O_4 Magnetic Films Plated on Hollow Glass Spheres"; J. Magn. Magn. Mater. 2007, 312, 414-417.
- [13] Chen, Y. J.; Gao. P.; Zhu CL, Wang, R. X, Wang, L. "Synthesis, Magnetic and Electromagnetic Wave Absorption Properties of Porous Fe₃O₄/Fe/SiO₂ Core/Shell Nanorods"; J. Appl. Phys. 2009, 106, 054303-4.
- [14] Hosseini, H.; Mohseni, S.; Asadnia, A.; Kerdari, H. "Synthesis and Microwave Absorbing Properties of Polyaniline/MnFe₂O₄ Nanocomposite"; J. Alloy Compd. 2011, 509, 4682-4687.
- [15] Ingwei, L.; Gengchao, W.; Xiaoxuan, L.; Dongming, L. "Surface Properties of Polyaniline /Nano- TiO₂ Composites"; Appl. Surf. Sci. 2004, 229, 395-401.
- [16] Li, Y. S.; Church, J. S.; Woodhead, A. L.; Moussa, F. "Preparation and Characterization of Silica Coated Iron Oxide Magnetic Nano-Particles"; Spectrochimica Acta A 2010, 76, 484-489.
- [17] Bueno, A. R.; Gregori. M. L.; Maria C. S. "Microwave-Absorbing Properties of Ni 0.50- x Zn 0.50- x Me2 x Fe₂O₄ (Me=Cu, Mn, Mg) Ferrite-wax Composite in X-Band Frequencies"; J. Magn. Magn. Mater. 2008, 320, 864-870.

با توجه به تجربیات به دست آمده در تولید مواد جاذب مشخص شده است که تنها با استفاده از مواد دی الکتریک (نانو اکسید تیتانیم) یا مغناطيس (اكسيد آهن) نمى توان به خواص جذب خوبي دست يافت. در نتیجه طراحی ترکیب مواد با ساختارهای متفاوت جهت به دست آوردن خواص جذب موج الكترومغناطيس بهينه ضروري است. اين طراحی می تواند شامل ترکیبی از مواد دی الکتریک، مواد مغناطیس و یک بستر پلیمری باشد. نتایج و بررسیهای به عمل آمده در این تحقيق بيانگر اين است كه با استفاده از يليمر رساناي آنيلين، نانو اکسید آهن و نانو اکسید تیتانیم می توان کامپوزیتهای پلیمری با خاصیت مغناطیسی و دی الکتریک مناسب تھیہ کرد. نانوذرات مغناطیسی پایداری محیطی کمی دارند و به تنهایی قابلیت استفاده به عنوان جاذب امواج میکروویو را ندارند، بنابراین نیاز به نگهدارنده پلیمری داشته که پلیمر آنیلین به علت داشتن خاصیت رسانایی مناسب، قابلیت جذب موج، تهیه ساده و قیمت مناسب بهترین گزینه میباشد. استفاده از کامپوزیت پلی آنیلین در مقایسه با روش مخلوط کردن باعث توزیع یکنواختتر ذرات تشکیل دهنده کامیوزیت و در نهایت جذب بیشتر در نمونه شد. نانو کامپوزیت سنتز شده به عنوان جاذب امواج و ضد رادار عمل می کند. ضخامت و درصد مواد تشکیل دهنده ماده جاذب نقش کلیدی در جـذب دارنـد و بهتـرین ضخامت ۳m ۴ و بهترین درصد در این نانو کامیوزیت ۱۰ درصد است که دارای اتلاف موج ۳۳/۳ دسیبل میباشد.

۵. مراجع

- [1] Jenn, D. C. "Radar and Laser Cross Section Engineering"; Washington: American Inst. of Aeronautics, 1995.
- [2] Emerson, W. H. "Electromagnetic Wave Absorbers and Anechoic Chambers through the Years"; IEEE Trans. Antennas Propag, 1973, 21, 484-487.
- [3] Phang, S. K.; Tadokoro, M.; Watanabe, J.; Kuramoto, N. "Synthesis, Characterization and Microwave Sorption Property of Doped Polyaniline Nanocomposites Containing TiO₂ Nanoparticles and Carbon Nanotubes"; Synth. Met. 2008, 158, 251-258.