

بررسی جذب امواج راداری در نانوکامپوزیت‌های مگنتیت- پلی پیرول / اپوکسی

کاوه کلاه‌گر آذری*^۱، مهری مشهدی^۱ و جواد فهیم^۲

۱- پژوهشکده مهندسی کامپوزیت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

۲- مرکز تحقیقات مواد پیشرفته، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۹۶/۱۱/۱۶، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۹۷/۰۳/۱۱، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۹۷/۰۴/۲۱

چکیده

در این پژوهش نانوکامپوزیت هسته-پوسته مگنتیت-پلی پیرول که در زمینه اپوکسی پخش گردیده، تهیه شده و به طور همزمان خاصیت مغناطیسی و دی‌الکتریکی آن مورد مطالعه قرار گرفته است. از دو بستر مختلف فویل آلومینیمی و پارچه کتان در کامپوزیت‌ها استفاده شده و تاثیر ضخامت و همچنین انواع بستر در نظر گرفته شده است. در مرحله اول، نانوذره به روش دو میکرومولسیون تهیه شده و ساختار بلوری و مورفولوژی آن با دستگاه پراش پرتو X و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و خواص مغناطیسی آنها توسط دستگاه مغناطیس سنج نمونه ارتعاشی (VSM) تعیین گردیده است. سپس با اضافه کردن این نانوکامپوزیت به زمینه اپوکسی و اعمال خمیر حاصل روی بستر، خصوصیات جذب امواج رادار توسط این پوشش نانوکامپوزیتی با آنالیزهای VNA (Vector Network Analyzer) در فرکانس‌های ۸ تا ۱۲ گیگاهرتز (GHz) مورد بررسی قرار گرفته است. بهترین جذب برای ضخامت ۲ mm و روی بستر آلومینیم مشاهده شده است. بیشترین اتلاف انرژی در ناحیه ۸/۵ تا ۹/۵ گیگاهرتز (GHz) برابر ۳۰ dB- بدست آمده است. روشی آسان، سریع و ارزان قیمت برای ساخت ماده جاذب امواج راداری گزارش شده که نسبت به دیگر روش‌های ساخت، دارای محدوده جذب بهتری است.

واژه‌های کلیدی: جاذب امواج رادار، نانوکامپوزیت، نانوذره هسته-پوسته مگنتیت، پلی پیرول.

۱- مقدمه

رادار (RAM: Radar Absorbing Materials) و تکنولوژی ماکروویو مورد بررسی قرار گرفته است. پوشش‌های جاذب رادار که روی بدنه هواپیما اعمال می‌شود، باعث افزایش درجه مخفی بودن از دید رادار می‌شود [۱-۳]. پارامترهایی مانند شکل هندسی، مواد به کار رفته، پس زمینه و

در سال‌های اخیر توجه به اختفاء در سازه‌های هوایی از جمله هواپیما، پهپاد و ... مورد توجه زیادی قرار گرفته است. پس از جنگ جهانی دوم توسعه مواد جدید به عنوان مواد جاذب

* **مهمه‌دار مکاتبات:** کاوه کلاه‌گر آذری

نشانی: تهران، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، پژوهشکده مهندسی کامپوزیت

تلفن و دورنگار: ۰۲۱-۲۲۹۴۵۱۴۱، دورنگار: ۰۲۱-۲۲۹۳۵۳۴۱، پست الکترونیکی: k.azari.kaveh@gmail.com

۲- فعالیت‌های تجربی

۲-۱- مواد و دستگاه‌ها

مواد شیمیایی مورد استفاده در این پروژه عبارتند از: سدیم دودسیل سولفات (SDS، مجلی، ۹۹٪)، اتر نفت، آهن (III) کلرید ۶ آبه ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ، مرک، ۹۹/۵٪)، آهن (II) سولفات ۷ آبه ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ، مرک، ۹۹/۵٪)، سدیم هیدروکسید (NaOH، مجلی، ۹۹٪)، آمونیاک (NH_3 ، مرک، ۲۵)، آمونیم کلرید (NH_4Cl ، مرک ۹۹/۵٪)، ۱- بوتانول (دایجونگ، ۹۹٪)، سدیم کلرید (NaCl، شارلو، ۹۹/۵٪)، پیرول (مرک، ۹۹/۵٪)، پلی اتیلن گلیکول (PEG، مرک، ۲۰۰ kDa)، ژلاتین (صنعتی، ساخت هندوستان)، رزین اپوکسی (خوزستان)، دی اتیلن تیری آمین (مرک)، تولوئن (مرک ۹۹٪).

در صورت لزوم این مواد پس از خالص‌سازی طبق روش‌های متداول مورد استفاده قرار گرفته‌اند (پیرول مورد استفاده به جهت ناپایداری در برابر اکسیژن محیط تحت خلاء و در دمای 50°C تقطیر و خالص‌سازی شده است).

دستگاه SEM با نام تجاری TESCAN مدل MIRA3، دستگاه XRD با نام تجاری SIEMENS مدل D500، دستگاه IR با نام تجاری BRUKER مدل TENSOR27، دستگاه VSM مدل MDKFD ساخت شرکت دانش‌پژوهان کویر کاشان ایران برای آنالیز مغناطیس نانوذره و دستگاه VNA برای آنالیز جذب امواج رادار مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

۲-۲- تهیه نانوذره هسته- پوسته

۲-۲-۱- تهیه میکروامولسیون آهن

پس از تهیه محلول $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ۰/۵ مولار و ۰/۲۵ مولار $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (بدلیل محلولیت کم سولفات آهن محلول آن در حضور سولفوریک اسید ۰/۰۵ مولار بدست می‌آید)، در $\gamma = 0.018$ و برای جرم کلی ۳۵۰ g (۴۹۱ mL)، ۵/۷۸ گرم SDS، ۳۱۵ g اتر نفت و ۱۷/۵ g از مخلوط محلول‌های آبی آهن را ترکیب کرده و در محیط عاری از اکسیژن توسط

پوشش‌های طبیعی یا مصنوعی بیشترین تاثیر بر آشکارسازی راداری دارد. در مقابل اقداماتی برای رادار گریز بودن تجهیزات صورت می‌گیرد که می‌توان به کاهش سطح مقطع راداری (RCS: Radar cross-section) و یا استفاده از مواد جاذب رادار اشاره کرد [۹-۴]. در تکنیک کاهش سطح مقطع راداری، هدف کاهش سطح مقطع راداری می‌باشد که در نتیجه امواج برگشتی به رادار کاهش می‌یابد. به همین دلیل شکل هندسی تجهیزات و ادوات نظامی به سرعت در حال تغییر است، به این صورت که سطح‌هایی با زاویه ۹۰ درجه حذف شده و به سطوحی با شیب کم یا به حالت منحنی تغییر می‌یابد [۱۴-۱۰].

در مواد جاذب رادار از موادی استفاده می‌شود که خاصیت دی الکتریکی یا مغناطیسی دارند که در برخورد امواج الکترومغناطیسی، با جذب این امواج و گرم شدن باعث تضعیف و جذب کامل امواج می‌شود. در بین این مواد، مگنتیت و پلیمرهای رسانا بهترین جاذب‌ها می‌باشند و می‌توان گفت تقریباً جاذب کامل رادار می‌باشند [۱۸-۱۵]. مگنتیت با خاصیت مغناطیسی هنگامی که در میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد با تغییر اسپین‌های مولکولی باعث جذب امواج می‌شود و پلیمرهای رسانا به صورت یک مقاومت کوچک با جذب انرژی امواج مغناطیسی و تبدیل آن به گرما باعث جذب امواج راداری می‌شوند [۱۹، ۳۶].

تاکنون مطالعات بسیاری روی این دسته از مواد در ابعاد نانو صورت گرفته است. اما تعداد مطالعات کمی بر روی این مواد وجود دارد که به صورت همزمان در یک پژوهش قرار گرفته باشد.

در این مطالعه هدف ایجاد نانو ذرات هسته-پوسته مگنتیت-پلی پیرول در زمینه رزین اپوکسی و ایجاد نمونه‌های نانو کامپوزیت برای بررسی‌های جذب رادار انجام شده است. در این روش با سنتز مگنتیت در ابعاد نانو به عنوان هسته و ایجاد پوسته‌ای از جنس پلی پیرول روی آن، امکان بررسی همزمان خاصیت مغناطیسی و دی الکتریکی فراهم شده است.

مراحل قبل می‌باشد، با این تفاوت که برای جرم کلی g ۲۴، برای $\gamma=0/5$ ، از g SDS ۱/۱۹، پیرول، g ۱۹/۲ محلول سدیم کلرید و در $\gamma=0/67$ ، از g SDS ۲/۴۵، پیرول، g ۱/۲۱ محلول، از g ۱۵/۳۶ فاز آبی استفاده شده است [۲۲-۳۴].

۲-۳- سنتز نانوذرات

با توجه به دو میکروامولسیون بودن دستورالعمل کلی، سنتز نانوذرات نهایی روش کار مشخصی دارد، به طوری که کافی است با ترتیبی مستدل یکی از میکروامولسیون‌ها را بر دیگری بیفزاییم. به منظور تهیه مگنتیت برای هر γ ، میکروامولسیون آهن را تحت گاز بی‌اثر و با سرعت ۰/۲ میلی‌لیتر در دقیقه به میکروامولسیون باز اضافه کرده و در پایان کار به مدت ۴ ساعت اجازه داده شد با سرعت ثابت همزن، واکنش کامل شود. سپس قسمت اعظم فاز آلی را به کمک تقطیر در خلاء خارج کرده و رسوب باقی مانده را دو بار با مخلوط ۱:۵ آب و اتانول شستشو داده و خشک شد. با توجه به آبدار بودن اکسید حاصل، به منظور پخت، نانوذرات را به مدت ۲ ساعت تحت دمای 500°C قرار گرفت تا به طور کامل کلسینه شود. با در نظر گرفتن این نکته که γ برای هر کدام از سیستم‌های W/O و O/W دو مقدار متفاوت دارد، در کل برای ساختار هسته-پوسته چهار حالت وجود دارد. با این حال، برای هر کدام از دو نوع مگنتیتی که در این مرحله مورد استفاده قرار می‌گیرند، شرایط تشکیل میکروامولسیون با سیستم روغن در آب برای پیرول یکسان است. روش کار به این صورت است که ابتدا برای هر چهار حالت، ۱ گرم مگنتیت را در g ۳ پیرول تحت حمام فراصوت به مدت ۱ ساعت توزیع کرده، پس از آن مطابق با دستور کار تشکیل میکروامولسیون پیرول عمل شد. در مرحله نهایی، مطابق با هر γ برای پیرول، میکروامولسیون اکسنده مربوطه با سرعت (mL/min) ۰/۲ و تحت گاز بی‌اثر به سیستم حاوی پیرول و مگنتیت اضافه شد. در پایان کار اجازه داده شد تا واکنش در مدت ۳ ساعت کامل شود و سپس رسوب حاصل را دو بار با مخلوط ۵:۱ اتانول و آب شستشو داده و خشک شد.

۱- بوتانول تیترا می‌کنیم تا مخلوط شفاف و پایدار میکروامولسیونی بدست آید. در $\gamma=0/06$ و در همین مقیاس جرمی، از g SDS ۱۷/۷۸، اتر نفت، g ۱۷/۵ محلول آبی استفاده کرده و روش فوق را تکرار می‌نماییم [۲۰-۲۶].

۲-۲-۲- تهیه میکروامولسیون سدیم هیدروکسید

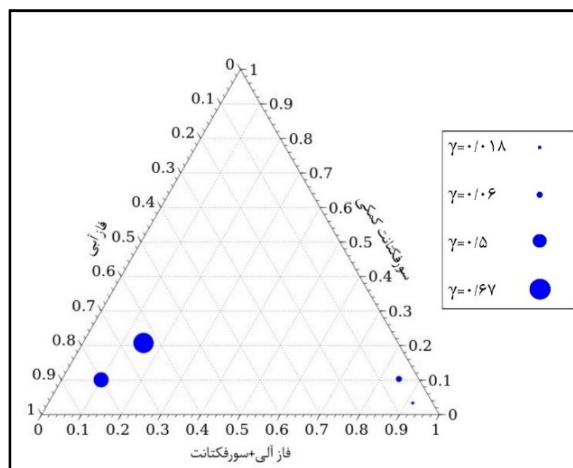
ابتدا با در نظر گرفتن استوکیومتری واکنش تشکیل مگنتیت و حضور سولفوریک اسید ۰/۰۵ مولار، محلول ۴/۱ مولار سدیم هیدروکسید تهیه شد. برای $\gamma=0/018$ بدون تغییر در ترکیب میکروامولسیون، شاهد تولید سیستم وینسور II خواهیم بود ولی با اعمال مقادیر g ۲/۸۹ برای SDS، g ۱۷/۵ برای اتر نفت، g ۸/۷۵ برای محلول باز و در نهایت افزودن g ۰/۵ پلی اتیلن گلیکول در مقیاس جرم کلی g ۱۷۵/۵ و رعایت روش کار مطابق مرحله قبل می‌توان به میکروامولسیون وینسور IV دست یافت. در $\gamma=0/06$ با توجه به عدم نیاز به پلی اتیلن گلیکول، در جرم کلی g ۱۷۵، محلول SDS g ۸/۸۹، اتر نفت و g ۸/۸۹ فاز آبی تا نقطه تک فازی با ۱- بوتانول تیترا می‌شود [۲۸-۲۴].

۲-۲-۳- تهیه میکروامولسیون اکسنده

در این مرحله، از محلول ۰/۰۴ مولار کلرید آهن (III) برای تهیه میکروامولسیون O/W در مقیاس g ۵۰ استفاده می‌شود. برای $\gamma=0/5$ ، SDS g ۲/۴۸، اتر نفت و g ۴۰ محلول آهن را مخلوط کرده و توسط ۱- بوتانول تیترا شد تا میکروامولسیون شفاف و تک فازی روغن در آب بدست آید. در مورد $\gamma=0/67$ ، همین روند را برای SDS g ۵/۱۱، g ۲/۵۲ اتر نفت و g ۳۲ محلول اکسنده تکرار شد [۲۱، ۲۲، ۲۹-۳۲].

۲-۲-۴- تهیه میکروامولسیون پیرول

به منظور تولید میکروامولسیون روغن در آب پیرول، از محلول ۰/۲۵ مولار سدیم کلرید و پیرول به ترتیب به عنوان فاز آبی و آلی استفاده شد. روش کار در این مورد نیز همانند



شکل ۱: نمودار مثلثی سیستم‌های میکرومولسیون چهارگانه.

از صفحه کربن-هیدروژن (C-H)، پیک 907 cm^{-1} ارتعاش خمشی خارج از صفحه کربن-کربن (C-C)، پیک 1043 cm^{-1} ارتعاش خمشی درون صفحه‌ای کربن-هیدروژن (C-H)، پیک 1209 cm^{-1} ارتعاشات کششی کربن-کربن (C-C) و کربن-نیترोजن (C-N) (همانطور که ملاحظه می‌شود این یک پیک دوتایی است که ناحیه با فرکانس بزرگ تر مربوط به پیوند کربن-کربن و نقطه با فرکانس پایین تر معرف پیوند کربن-نیترोजن است)، پیک 1543 cm^{-1} ارتعاشات مربوط به حلقه پیرول، پیک 1620 cm^{-1} ارتعاش کششی کربن-کربن (C=C)، پیک 1692 cm^{-1} ارتعاش کششی کربن-نیترोजن (C=N)، پیک 3237 cm^{-1} ارتعاش کششی کربن-هیدروژن (C-H) و پیک 3416 cm^{-1} ارتعاش کششی نیترोजن-هیدروژن (N-H) را نشان می‌دهند (شکل ۲).

جهت تفسیر طیف Fe_3O_4 ، به طور کلی محدوده $400-700 \text{ cm}^{-1}$ به ارتعاشات شبکه کریستالی مگنتیت (اسپینل معکوس) مربوط می‌شود. باندهای آهن-اکسیژن (Fe-O) در 667 cm^{-1} ارتعاشات کششی سایت‌های تتراهدرال آهن را نشان می‌دهد و در 533 cm^{-1} که نشانگر ارتعاشات کششی سایت‌های اکتاهدرال آهن هستند، قابل مشاهده است. پیک 1744 cm^{-1} به ارتعاشات کششی FeOOH مربوط می‌شود. در نهایت پیک 2923 cm^{-1} معرف ارتعاش های گروه OH می‌باشد (شکل ۳).

۲-۴- روش تهیه نمونه برای اندازه‌گیری

ابتدا مقدار 7 g رزین اپوکسی (ایران ۰۱) را وزن کرده و سپس $1/4 \text{ g}$ حلال تولوئن به آن اضافه شد. سپس در حمام آلتراسونیک قرار داده شد تا با انحلال رزین در تولوئن، ویسکوزیته رزین پایین آمده و برای اختلاط نانوذره آماده شود. پس از آن $3/5 \text{ g}$ نانوذره هسته-پوسته مگنتیت و پلی پیرول وزن شده و به آهستگی به رزین اضافه شد تا تحت آلتراسونیک به خوبی پخش شود و این کار تا زمانی که کل نانوذره در رزین پخش شود، ادامه یافت. سپس مقدار $2/1 \text{ g}$ هاردنر دی اتیلن ترا آمین به مخلوط اضافه شد تا کاملاً حل شود.

بستر اول: 7 g از مخلوط آماده شده را روی فویل آلومینیومی که از قبل با ابعاد $5 \times 5 \text{ cm}^2$ آماده شده، ریخته و در دمای محیط گذاشته تا پخت اولیه انجام گیرد.

بستر دوم: پارچه کتان با ابعاد $5 \times 5 \text{ cm}^2$ آماده کرده و مخلوط رزین و نانوذره با استفاده از قلم مو روی پارچه اعمال شد و در دمای محیط تحت پخت اولیه قرار گرفت. پس از 4 ساعت نمونه‌ها به آونی با دمای 50°C منتقل شده و به مدت 10 ساعت در این شرایط قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی نمودارهای فازی

یکی از عواملی که راه را برای توسعه کاربردهای میکرومولسیون تسهیل می‌کند، روش‌های دقیق آشکارسازی است. بهترین روش کلاسیک در این مورد نمودار مثلثی می‌باشد. روش‌های پیچیده آشکارسازی می‌توانند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی میکرومولسیون را به همراه اکثر متغیرهای مهم به عنوان تابعی از محیط و ترکیب مشخص کنند (شکل ۱) [۲۰، ۲۷، ۳۲، ۳۵].

۳-۲- بررسی طیف‌های FT-IR

در طیف پلی پیرول، پیک 621 cm^{-1} ارتعاش خمشی خارج

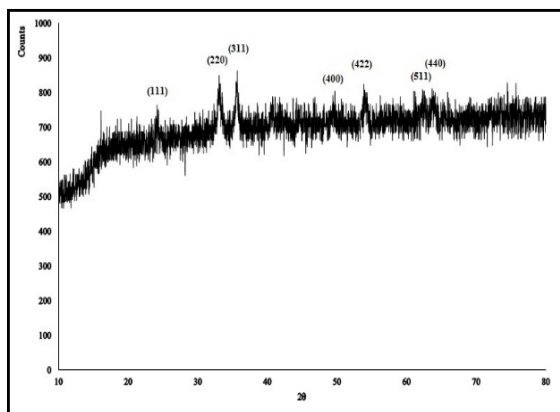
۳-۳- بررسی طیف XRD

الگوی XRD مگنتیت ($\gamma=0/06$) در شکل ۵ نشان داده شده است. مقادیر انعکاس برگ از زیبایی شده برای توالی پیک‌های پراش عبارتند از: حدود $2\theta=24$ با مختصات (۱۱۱)، حدود $2\theta=33$ با مختصات (۲۲۰)، حدود $2\theta=35/7$ با مختصات (۳۱۱)، حدود $2\theta=49/7$ با مختصات (۴۰۰)، حدود $2\theta=53/9$ با مختصات (۴۲۲)، حدود $2\theta=62/3$ با مختصات (۵۱۱) و حدود $2\theta=63/6$ با مختصات (۴۴۰). معادله شرر (معادله ۱) برای محاسبه پهنای پیک در نصف ارتفاع آن (FWHM) استفاده می‌شود.

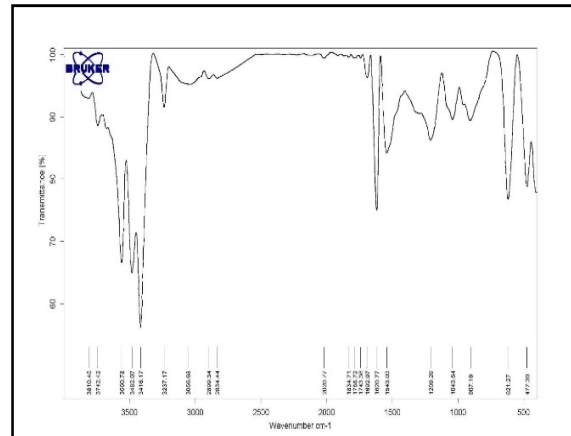
$$d = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

$$a = \frac{n\lambda}{2\sin\theta} \sqrt{(h^2+k^2+l^2)} \quad (2)$$

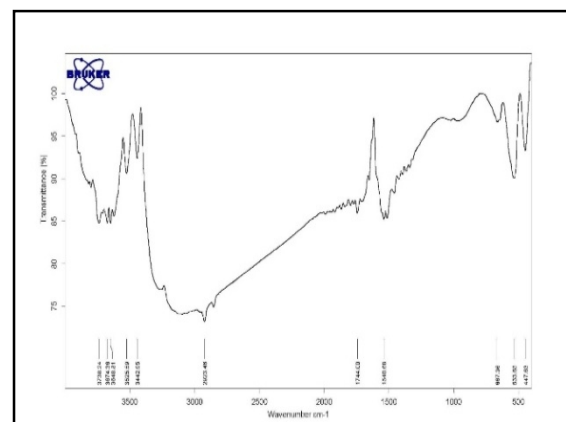
در معادله مذکور، k برابر با ضریب شکست بلور ($0/89$) برای مگنتیت، λ نشانگر طول موج تولیدکننده پرتوی X (با توجه به استفاده از پرتو $K\alpha$ مس، برابر $0/154$ nm است)، پهنای پیک در نصف ارتفاع پیشینه (FWHM) که بر حسب درجه بوده و باید به واحد طول تبدیل گردد و θ زاویه پراش (بر حسب درجه) است. با انجام محاسبات مطابق معادله ۲ پارامتر شبکه به صورت $a=0/833143$ nm و اندازه متوسط کریستال‌های مگنتیت حدود 9 nm تخمین زده می‌شود.



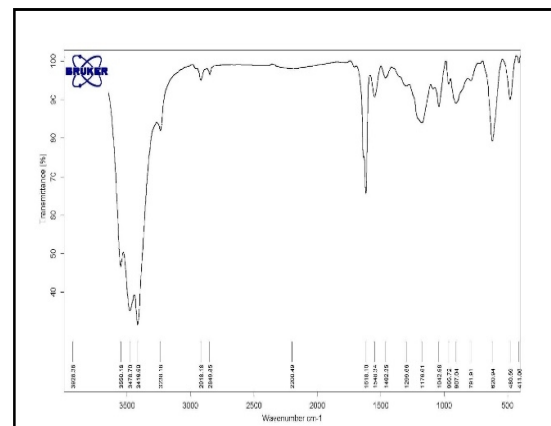
شکل ۴: الگوی XRD نانوذرات مگنتیت ($\gamma=0/06$).



شکل ۱: طیف FT-IR نانوذرات پلی پیروول.

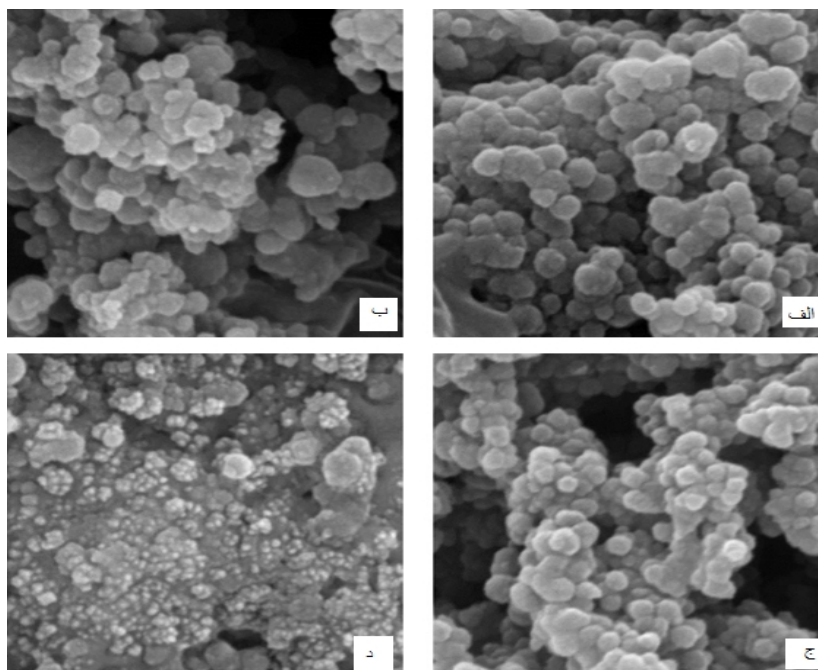


شکل ۲: نانوذرات مگنتیت. طیف FT-IR.



شکل ۳: طیف FT-IR نانوذرات هسته-پوسته مگنتیت-پلی پیروول.

پس از جداسازی محصول هسته-پوسته توسط آهنربا علاوه بر پیک‌های مگنتیت، پیک‌های پلی پیروول نیز در طیف ترسیم شده و در شکل ۴ قابل رویت می‌باشد.



شکل ۵: تصاویر SEM مربوط به نانوذرات مگنتیت- پلی پیرول در چهار حالت متفاوت از γ ،
 (الف) $0/018-0/067$ ، (ب) $0/018-0/67$ ، (ج) $0/06-0/05$ و (د) $0/06-0/67$.

۳-۴- بررسی تصاویر SEM

انتظار می‌رود در سنتز نانوذرات هسته- پوسته مگنتیت- پلی پیرول نسبت دو برابری سورفکتانت بین $\gamma=0/5$ و $\gamma=0/67$ تغییر اندازه‌ای با همین ضریب را موجب شود، اما با وجود اینکه نانوذرات پلی پیرول تهیه شده در $\gamma=0/5$ چه حاوی مگنتیت تولید شده در $\gamma=0/018$ (شکل ۶-الف) و چه در $\gamma=0/06$ (شکل ۶-ج)، دارای ساختار کروی، با کمترین میزان در هم آمیختگی و کلوخه و همچنین با اندازه‌های مشخص و یکنواخت (۸۵ nm برای $\gamma=0/018$ و ۷۵ nm برای $\gamma=0/06$) هستند. در مقابل، نانوذرات مربوط به $\gamma=0/67$ که بایستی ابعادی کوچک‌تری از مورد پیشین و نزدیک به نصف آن مقدار را نشان دهند، در هر دو مورد طیف وسیعی از اندازه‌ها را شامل شدند [۲۲-۳۵].

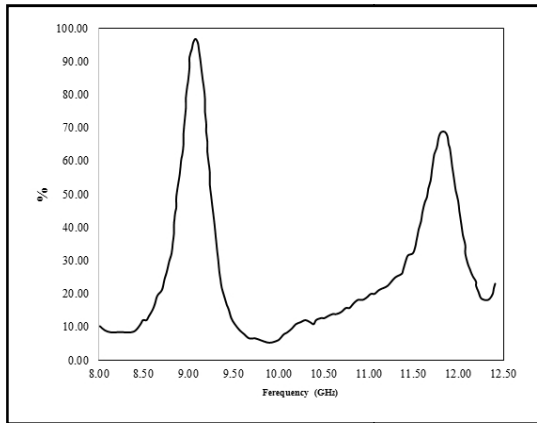
۳-۵- بررسی منحنی‌های VSM

مواد مغناطیسی از نظر رفتار مغناطیسی بعد از اعمال میدان خارجی به دو گونه سخت و نرم دسته‌بندی می‌شوند. مواد

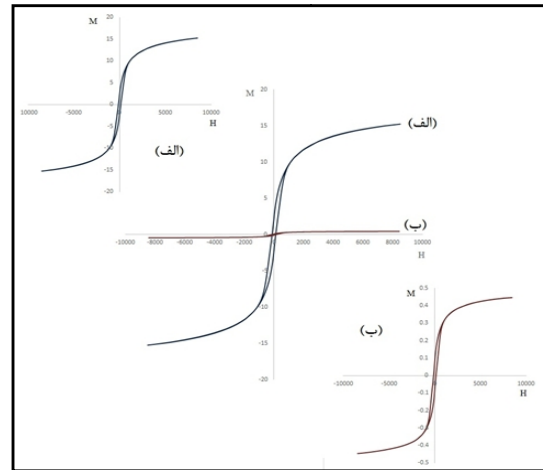
مغناطیسی نرم توسط نفوذپذیری بالا و وادارندگی بسیار کوچک ($< 1 \text{ Oe}$) و انواع سخت با مغناطیس سنج اشباع، انرژی مغناطیسی و وادارندگی زیاد ($> 10 \text{ kOe}$) مشخص می‌شوند. اگر ماده‌ای تحت میدان مغناطیسی H قرار گیرد، یک ممان مغناطیسی M در آن القا می‌شود. در VSM نمونه در محفظه‌ای مجاور یک مگنت (الکترومگنت یا مگنت ابر رسانا) و سیم پیچ حسگر قرار می‌گیرد و دچار ارتعاشات سینوسی می‌شود. تغییرات شار مغناطیسی حاصل، یک ولتاژ در سیم پیچ حسگر اعمال می‌کند که با ممان مغناطیسی نمونه تناسب دارد. دماهای مختلف می‌تواند توسط بخش‌های برودتی و حرارتی دستگاه به نمونه اعمال شود (شکل ۷).

۳-۶- بررسی میزان جذب نمونه‌ها

میزان جذب امواج الکترومغناطیس نمونه‌های فرآوری شده در محدوده باند X امواج رادیویی (۸-۱۲ GHz) در فرکانس‌های مختلف توسط دستگاه Vector Network Analyzer انجام گرفته است. در این



شکل ۸: نمودار بررسی درصد جذب امواج رادار.



شکل ۶: منحنی VSM مربوط به: الف) نانوذرات Fe_3O_4 و ب) نانوذرات هسته-پوسته $poly\ pyrrole-Fe_3O_4$.

۳-۷- مقایسه روش پیشنهادی با روش های دیگر

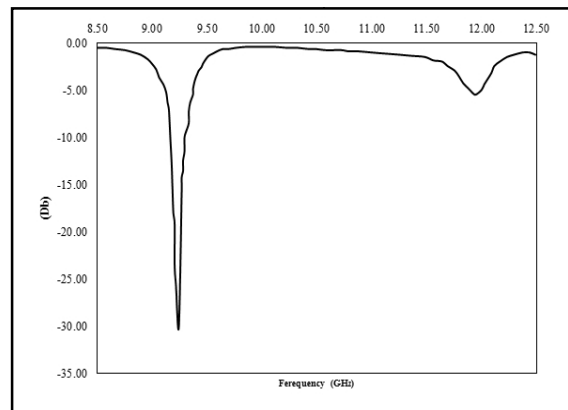
در جدول ۲ روش پیشنهادی در این پژوهش با روش های دیگر که قبلا انجام شده اند مقایسه شده است، با مقایسه نتایج جدول ۲ روش پیشنهادی این پژوهش یک روش ارزان قیمت و مقرون به صرفه، ساده، آسان، سریع و دارای رنج جذب بهتر نسبت به روش های دیگری که قبلا انجام شده اند، می باشد.

جدول ۱: تاثیر پارامتر ضخامت و تعداد لایه ها روی خواص جذب امواج الکترومغناطیس.

ردیف	بستر	ضخامت کامپوزیت	ابعاد (cm^2)	میزان جذب (dB)	درصد جذب
۱	فویل آلومینیومی ۱	۱ میلی متر	۵×۵	-۱۶	۴۹٪
۲	فویل آلومینیومی ۲	۲ میلی متر	۵×۵	-۳۰	۹۸/۵٪
۳	فویل آلومینیومی ۳	۳ میلی متر	۵×۵	-۲۷	۹۸٪
۴	پارچه کتان ۱	تک لایه	۵×۵	-۱۰	۴۲٪
۵	پارچه کتان ۲	دو لایه	۵×۵	-۱۸	۲۲٪
۶	پارچه کتان ۳	سه لایه	۵×۵	-۱۶	۳۴٪

دستگاه امواج تولید شده به نمونه تاییده، سپس امواج باز تاییده شده از نمونه توسط دستگاه ارزیابی می شود و توسط نرم افزار مربوطه، نمودار کاهش قدرت امواج بر حسب دسی بل رسم می شود.

با توجه به شکل ۸ مشاهده می شود که نمونه فرآوری شده دارای میزان جذب قابل قبولی در محدوده باند X هستند. در شکل های ۸ و ۹ خواص جذب و درصد جذب بهترین نمونه آورده شده است. همانطور که مشاهده می کنید یک جذب قوی در محدوده فرکانس ۸/۵ تا ۹/۵ گیگاهرتز برابر ۳۰ dB- و در فرکانس ۱۱ تا ۱۲ گیگاهرتز (GHz) برابر ۶ dB- بدست آمده است (شکل ۸). بررسی میزان جذب امواج الکترومغناطیس برای نمونه های دیگر نیز انجام گرفته و نتایج حاصل در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۷: نمودار بررسی جذب امواج رادار.

جدول ۲: جدول مقایسه روش های انجام شده با روش پیشنهادی.

عنوان روش	میزان جذب رادار (دسی بل)	درصد جذب	محدوده فرکانس رادار (گیگاهرتز)	هزینه (مناسب، متوسط، گران)	منابع
کامپوزیت زمینه پلیمری فریت باریم	-۱۹	-	۱۱-۱۲	متوسط	[۳۶]
نانوذرات فریت کوپل شده با گرافن	-۳۰	-	۲-۵	گران	[۳۷]
نانوذرات نیکل-گرافن	-۱۳	-	۴/۷-۶/۴	گران	[۳۸]
ترکیب فریت پوشیده شده با شیشه کروی	-۱۰	-	۱۰/۳-۱۳/۹	گران	[۳۹]
گرافن اکسید و نقره پوشش داده شده	-۱۸/۶	-	۱۳/۱-۱۷/۲	گران	[۴۰]
کامپوزیت نانوذرات رسانای پخش شده	-۲۰	-	۸/۴-۱۲	گران	[۴۱]
نانوکامپوزیت چهاروجهی	-۲۰	۹۹	۲/۷-۳/۷	متوسط	[۴۲]
نانوذرات فریت پوشیده شده با گرافن	-۲۰	-	۰/۵-۴/۵	گران	[۴۳]
روش پیشنهادی	-۳۰	۹۸/۵	۸/۵-۹/۵	ارزان	-

۴- نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصل و بررسی نتایج بدست آمده از تست های VSM و VNA، با افزودن پوشش پلی پیرول بر نانوذرات مگنتیت سنتز شده، خاصیت اتلاف دی الکتریکی پلی پیرول روی خاصیت مغناطیسی مگنتیت باعث افزایش جذب امواج راداری در محدوده ۸/۵ الی ۹/۵ گیگاهرتز شده است. در این فرکانس با جذب حدود ۹۸/۵٪ یکی از بهترین جاذب هایی می باشد که تاکنون مورد مطالعه قرار گرفته است. نسبت مقیاس استفاده از مواد در این تحقیق برای تهیه ماده جاذب رادار برای استفاده در مقیاس بیشتر به شرح زیر می باشد: ۲۵٪ نانوذرات، ۱۰٪ حلال، ۵۰٪ رزین و ۱۵٪ هاردنر (سخت کننده). روش بیان شده در این تحقیق یک روش آسان، ساده، سریع و دارای محدوده جذب بهتر نسبت به روش های دیگر و مقرون به صرفه برای تولید انبوهی از این ماده می باشد.

مراجع

- [4] D.B. Brito, *MOP Microwave and Optical Technology Letters*, **55**, 2013, 981.
- [5] Y. Wang, *Energy and Power Engineering*, **3**, 2011, 580.
- [6] A. Teber, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **406**, 2016, 228.
- [7] U. Lima, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **320**, 2008, 1666.
- [8] X. Huang, Z. Hu, P. Liu, *AIP Advances*, **4**, 2014, 117103.
- [9] A. Munir, *Advances in Polymer Technology*, **36**, 2017, 362.
- [10] H. Kotajima, H. Fujita, *ECJA Electronics and Communications in Japan (Part I: Comm.)*, **64**, 1981, 58.
- [11] N. Yamada, Y. Tanaka, K. Nishikawa. *Radar cross section for pedestrian in 76 GHz band in 2005 European Microwave Conference*, 2005, IEEE.
- [12] P. Saville, *Review of radar absorbing materials*, 2005, DTIC Document.
- [13] Ruck, G.T., "Radar cross section handbook Vol. 2", New York, Plenum Press, 1970.
- [14] G.T. Ruck, "Radar cross section handbook Vol. 1", New York, Plenum Press, 1970.
- [15] S. Wei, *Journal of Industrial Textiles*, **17**, 2018, 15280837.
- [16] K. Rana, *Ceramics International*, **25**, 2018, 112.
- [17] Y.W. Nam, *Composite Structures*, 2017, **160**, 1171.
- [18] Y.W. Nam, *Journal of Composite Materials*, **52**, 2018, 1413.
- [19] D. Singh, *Progress In Electromagnetics Research B*, **38**, 2012, 297.
- [20] X.Q. Wang, Q. Zhang, *Microemulsions for Drug Solubilization and Delivery*, **25**, 2013, 287.
- [21] C. Stubenrauch, *Microemulsions: background, new concepts, applications, perspectives*. 2009, Chichester, West Sussex, U.K.; Ames, Iowa: Wiley.
- [22] V.M. Ovando-Medina, *Colloid and Polymer Science*, **289**, 2011, 759.
- [23] F. Gao, C.C. Co, *Non-Aqueous Microemulsions*, **35**, 2009, 211.
- [24] Z.W. Dezhong, *Preparation of Fe₃O₄ magnetic fluid by one-step method with a microemulsion reactor*, 2005.
- [25] L. Liz, *Journal of Materials Science*, **29**, 1994, 3797.
- [26] X. Liang, *Journal of Dispersion Science and Technology*, **31**, 2010, 1043.
- [27] I. Capek, *Advances in Colloid and Interface Science*, **110**, 2004, 49.
- [28] C. Boned, *Journal of Colloid And Interface Science*, **88**, 1982, 602.
- [1] S.A. Papoulias, H. Seiwatz, *Radar absorber*. 1992, Google Patents.
- [2] M. Skolnik, "Radar Handbook Vol. 1", McGraw-Hill Professional, New York, 2008.
- [3] P.G. Lederer, *An introduction to Radar Absorbent Materials (RAM)*, 1986, Malvern, Worcestershire: Royal Signals and Radar Establishment.

امواج الکترومغناطیس در کامپوزیت زمینه پلیمری فریت باریم نوع M با جایگزینی کاتیون‌های Mn و Zr، هفتمین کنگره سرمایه‌گذاری ایران، ۱۳۸۸.

- [37] B. Qu, *ACS applied materials & interfaces*, **8**, 2016, 3730.
- [38] Y. Cao, *Synthetic Metals*, **162**, 2012, 968.
- [39] J. Wang, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **401**, 2016, 209.
- [40] J. Wang, *Journal of Applied Physics*, **117**, 2015, 154903.
- [41] I. Choi, D. Lee, *Composite Structures*, **122**, 2015, 23.
- [42] Y.L. Ren, *ACS applied materials & interfaces*, **4**, 2012, 6436.
- [43] J. Ji, *The Journal of Physical Chemistry C*, **122**, 2018, 3628.
- [29] F. Yan, G. Xue, M. Zhou, *Journal of Applied Polymer Science*, **77**, 2000, 135.
- [30] L. Sun, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **397**, 2012, 8.
- [31] A. Reung-U-Rai, *Journal of Metals, Materials and Minerals*, **18**, 2008, 27.
- [32] D. Morales, *Langmuir*, **19**, 2003, 7196.
- [33] Y. Liu, Y. Chu, L. Yang, *Materials Chemistry and Physics*, **98**, 2006, 304.
- [34] J. Jang, *Chemical Communications*, **29**, 2003, 720.
- [35] B.K. Paul, S.P. Moulik, *Current Science-Bangalore*, **80**, 2001, 990.

[36] وحید مقنی اوجانی، فائزه مجتهدی، عباس کیانوش، "خواص جذب