



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

کاوه کلاه گر آذری\*'ا، مهری مشهدی' و جواد فهیم'

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

تاريخ ثبت اوليه: ١٣٩٦/١١/١٦، تاريخ دريافت نسخه اصلاح شده: ١٣٩٧/٠٣/١١، تاريخ پذيرش قطعى: ١٣٩٧/٠٤/٢١

#### چکیدہ

در این پژوهش نانو کامپوزیت 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 کامپوزیت ها استفاده شده و تاثیر ضخامت و همچنین انواع بستر در نظر گرفته شده است. در مرحله اول، نانوذره به روش دو میکروامولسیونی 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 از تعاشی (VSM) تعیین گردیده است. سپس با اضافه کردن این نانو کامپوزیت به زمینه اپوکسی و اعمال خمیر حاصل روی بستر، خصوصیات جذب امواج رادار توسط این پوشش نانو کامپوزیتی با آنالیزهای VNA (Vector Network Analyzer) در فرکانس های ۸ تا ۲۱ گیگاهر تز (GHz) مورد بررسی قرار گرفته است. بهترین جذب برای ضخامت ۲ و روی بستر آلومینیم مشاهده شده است. پیشترین اتیلاف انرژی در ناحیه ۸/۵ تا ۵/۹ گیگاهر تز (GHz) برابر B ۰۳- بدست آمده است. و شی آنان، سریع و ارزان قیمت برای ساخت ماده جاذب امواج راداری ناحیه ۸/۵ تا ۵/۹ گیگاهر تز (GHz) برابر B ۰۳- بدست آمده است. و شی آسان، سریع و ارزان قیمت برای ساخت ماده جاذب امواج راداری

### *واژههای کلیدی*: جاذب امواج رادار، نانو کامپوزیت، نانوذره هسته- پوسته مگنتیت، پلی پیرول.

#### ۱- مقدمه

ماکروویو مورد بررسی قرار گرفته است. پوشش همای جاذب به رادار که روی بدنه هواپیما اعمال می شود، باعث افزایش ز درجه مخفی بودن از دید رادار می شود [۳-۱]. پارامترهایی مانند شکل هندسی، مواد به کار رفته، پس زمینه و

رادار (RAM: Radar Absorbing Materials) و تكنولوژي

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

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

iD.ir يلفن و كورانگار: ۲۲۹۴۵۱۴۱-۲۲۹، دورنگار: ۲۲۹۳۵۳۴۱-۲۲۹، پست الكترونيكى: k.azari.kaveh@gmail.com

<sup>\*</sup> عهدهدار مکاتبات: کاو، کلا، گر آذری

پوشش های طبیعی یا مصنوعی بیشترین تاثیر بر آشکارسازی راداری دارد. در مقابل اقداماتی برای رادار گریز بودن تجهیزات صورت می گیرد که می توان به کاهش سطع مقطع راداری (RCS: Radar cross-section) و یا استفاده از مواد جاذب رادار اشاره کرد [۹–۴]. در تکنیک کاهش سطع مقطع راداری، هدف کاهش سطح مقطع راداری می باشد که در نتیجه امواج برگشتی به رادار کاهش می یابد. 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 می یابد [۴–۱۰].

در مواد جاذب رادار از موادی استفاده می شود 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 می شود. در بین این مواد، مگنتیت و پلیمرهای رسانا بهترین جاذبها می باشند و می توان گفت تقریبا جاذب کامل رادار می باشند [۱۸–۱۵]. مگنتیت با خاصیت مغناطیسی هنگامی که در میدان مغناطیسی قرار می گیرد با تغییر اسپین های مولکولی باعث جذب امواج می شود و پلیمرهای رسانا به صورت یک مقاومت کوچک با جذب انرژی امواج مغناطیسی و تبدیل

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 نانوکامپوزیت برای بررسی های جذب رادار انجام شده است. در این روش با سنتز مگنتیت در ابعاد نانو به عنوان شده است. و ایجاد پوسته ای از جنس پلی پیرول روی آن، امکان بررسی همزمان خاصیت مغناطیسی و دی الکتریکی فراهم شده است.

## ۲- فعالیتهای تجربی

#### ۲-۱- مواد و دستگاهها

در صورت لزوم این مواد پس از خالصسازی طبق روش های متداول مورد استفاده قرار گرفتهاند (پیرول مورد استفاده به جهت ناپایداری در برابر اکسیژن محیط تحت خلاء و در دمای ۲۰ ۵۰ تقطیر و خالص سازی شده است).

دستگاه SEM با نام تجاری TESCAN مدل MIRA3 دستگاه MIRA3 با نام تجاری TESCAN مدل MIRA3 دستگاه دستگاه XRD با نام تجاری SIEMENS مدل D500، دستگاه IR با نام تجاری BRUKER مدل TENSOR27، دستگاه VSM مدل MDKFD ساخت شرکت دانش پژوهان کو یر 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 FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O مولار و ۲۵/۰ مولار FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (بدلیل محلولیت کم سولفات آهن محلول آن در حضور سولفوریک اسید ۲۰/۵ مولار بدست می آید)، در γ-۱/۰۱۸ و برای جرم کلی ۳۵۰ (۴۹۱ mL)، ۵/۷۸ گرم SDS، g ۳۱۵ اتر نفت و g ۱۷/۵ از مخلوط محلولهای آبی آهن را ترکیب کرده و در محیط عاری از اکسیژن توسط

ww **B**ID.ir

 ۱-بوتانول تیتر می کنیم تا مخلوط شفاف و پایدار میکروامولسیونی بدست آید. در γ-۱/۰۶ و در همین مقیاس جرمی، از SDS ۱۷/۷۸ g ۲۷۸/۶ اتر نفت، g ۱۷/۵ محلول آبی استفاده کرده و روش فوق را تکرار مینماییم [۲۰-۲۲].

۲-۲-۲ تهیه میکروامولسیون سدیم هیدرو کسید ابتدا با در نظر گرفتن استو کیومتری واکنش تشکیل مگنتیت و حضور سولفوریک اسید ۰/۰۵ مولار، محلول ۴/۱ مولار سدیم هیدروکسید تهیه شد. برای ۸/۰۱ = ۳، بدون تغییر در ترکیب میکروامولسیون، شاهد تولید سیستم وینسور II کرمیب میکروامولسیون، شاهد تولید سیستم وینسور خواهیم بود ولی با اعمال مقادیر g ۲/۸۹ برای SDS و ۲/۸۹ برای اتر نفت، g ۸/۷۵ برای محلول باز و در نهایت افزودن و برای اتر نفت، g ۵/۸ برای محلول باز و در نهایت افزودن میکروامولسیون وینسور IV دست یافت. در ۶۰/۰= ۳ با توجه به عدم نیاز به پلی اتیلن گلیکول، در جرم کلی g ۸/۵۹ به عدم نیاز به پلی اتیلن گلیکول، در جرم کلی g ۵/۵ نقطه تک فازی با ۱–بوتانول تیتر میشود [۲۰–۲۴].

#### 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 می شود. برای ۵/۰=۲، O/۴ g SDS تر نفت و ۴۰ محلول آهن را مخلوط کرده و توسط ۱-بوتانول تیتر شد تا میکروامولسیون شفاف و تک فازی روغن در آب بدست آید. در مورد ۰/۶۷=۲، همین روند را برای g SDS ۵/۱۱ g ۲/۵۲ اتر نفت و ۳۲ محلول اکسنده تکرار شد [۲۰–۲۱،۲۲،۲۹].

#### ۲-۲-٤- تهیه میکروامولسیون پیرول

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

مراحل قبل می باشد، با این تفاوت که برای جرم کلی ۲۴ و، برای ۰/۵=۹۷ از SDS ۱/۱۹ g، SDS ا/۱۹ پیرول، ۲۹/۲ محلول سدیم کلرید و در ۰/۶۷=۹۷ از SDS ۲/۴۵ g ۱/۲۱ پیرول، ۱۵/۳۶ g فاز آبی استفاده شده است [۳۴–۲۲].

#### ۲-۳- سنتزنانوذرات

با توجه به دو میکروامولسیونی بودن دستورالعمل کلی، سنتز نانوذرات نهایی روش کار مشخصی دارد، به طوری که کافی است با ترتیبی مستدل یکی از میکروامولسیون،ا را بر دیگری بیفزاییم. به منظور تهیه مگنتیت بـرای هـر γ، میکروامولسـیون آهن را تحت گاز بیاثر و با سرعت ۲/۰ میلیلیتر در دقیقه به میکروامولسیون باز اضافه کرده و در پایان کار به مدت ۴ ساعت اجازه داده شد با سرعت ثابت همزن، واكنش كامل 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 C° ۵۰۰ 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 ایـن حـال، بـرای هـر کدام از دو نوع مگنتیتی که در این مرحله مورد استفاده قرار می گیرند، 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 ۳g پيرول تحت حمام فراصوت به مدت ۲ ساعت توزيع كرده، پس از آن مطابق با دستورکار تشکیل میکروامولسیون پیرول عمل شد. در مرحله نهایی، مطابق با هر ۲ برای پیرول، میکروامولسیون اکسنده مربوطه با سرعت (mL/min) ۲/۰ 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.





شکل ۱: نمودار مثلثی سیستمهای میکروامولسیونی چهارگانه.

از صفحه کربن-هیدروژن (H–C=)، پیک <sup>۱</sup>-۵۰۰ پیک ارتعاش خمشی خارج از صفحه کربن-کربن (C–C)، پیک <sup>۱</sup>-۳۳ cm<sup>-1</sup> ریک <sup>۱</sup>-۳۳ ارتعاشات کششی کربن-کربن (H–C=)، پیک <sup>۱</sup>-۳۰ ۲۰۹ ارتعاشات کششی کربن-کربن (C–C) و کربن-نیتروژن (N–C) (همانطور که ملاحظه میشود این یک پیک دوتایی است که ناحیه با فرکانس 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-نیتروژن است)، پیک <sup>۱</sup>-۲۵۳۳ cm ارتعاشات مربوط به حلقه پیرول، پیک <sup>۱</sup>-۲۵۳۲ ارتعاش کششی کربن-نیتروژن (N=C)، پیک <sup>۱</sup>-۲۵۳۳ ارتعاش کششی کربن-هیدروژن (H–C)، و پیک <sup>۱-۲</sup> ارتعاش ارتعاش کششی نیتروژن-هیدروژن (H–C) و پیک <sup>۱-۲</sup>

جهت تفسیر طیف ،Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> به طور کلی محدوده <sup>1-</sup> ۲۰۰۰ – ۴۰۰ به ارتعاشات شبکه کریستالی مگنتیت (اسپینل معکوس) مربوط می شود. باندهای آهن – اکسیژن (O-Fe) در <sup>1-</sup> ۶۶۷ cm ارتعاشات کششی سایت های تتراهدرال آهن را نشان می دهد و در <sup>1-</sup> ۲۵۳ که نشانگر ارتعاشات کششی نشان می دهد و در <sup>1-</sup> ۲۵۳ که نشانگر ارتعاشات کششی سایت های اکتاهدرال آهن هستند، قابل مشاهده است. پیک سایت های اکتاهدرال آهن هستند، قابل مشاهده است. پیک سایت پیک <sup>1-</sup> ۲۹۲۳ cm معرف ارتعاش های گروه OH می باشد (شکل ۳). ۲-٤- روش تهیه نمونه برای اندازه گیری
ابتدا مقدار g ۷ رزین اپوکسی (اپیران ۱۰) را وزن کرده و سپس g ۱/۴ 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 g ۲/۵ 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 g ۲/۱ هاردنر دی اتیلن تترا آمین به مخلوط اضافه شد تا کاملا حل شود.

بستر اول: g ۷ از مخلوط آماده شده را روی فویل آلومینیمی که از قبل با ابعاد <sup>2</sup> cm ۵×۵ آماده شده، ریخته و در دمای محیط گذاشته تا پخت اولیه انجام گیرد. بستر دوم: پارچه کتان با ابعاد <sup>2</sup> cm ۵×۵ 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 ۴ ساعت نمونهها به آونی با دمای ۲° ۵۰ منتقل شده و به مدت ۱۰ ساعت در این شرایط قرار گرفت.

### ۳- نتايج و بحث

۳-۱- بررسی نمودارهای فازی

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

FT-IR بررسی طیفهای FT-IR در طیف پلی پیرول، پیک<sup>1</sup> e۲۱ cm ار تعاش خمشی خارج

122





شکل ۱: طیف FT-IR نانوذرات پلی پیرول.



شکل ۲: نانوذرات مگنتیت. طیف FT-IR.



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

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

**XRD بورسی طیف XRD** الگوی XRD مگنتیت (γ-۱/۰۶) در شکل ۵ نشان داده شده است. مقادیر انعکاس برگ ارزیابی شده برای توالی پیکهای پراش عبارتند از: حدود ۲۴=۲۵ با مختصات (۱۱۱)، حدود ۳۳=۲۵ با مختصات (۲۲۰)، حدود ۲۵/۳=۲۵ با مختصات (۳۱۱)، حدود ۲۹/۶=۲۹ با مختصات (۴۰۰)، حدود (۵۱۱) و حدود ۹/۶۶=۲۵ با مختصات (۴۴۰). معادله شرر (معادله ۱) برای محاسبه پهنای پیک در نصف ارتفاع آن (FWHM) استفاده می شود.

$$d = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \tag{1}$$

$$a = \frac{n\lambda}{2\mathrm{Sin}\theta} \sqrt{\left(h^2 + k^2 + l^2\right)} \tag{(Y)}$$

در معادله مذکور، k برابر با ضریب شکست بلور (۰/۹۹ برای مگنتیت)، λ نشانگر طول موج تولیدکننده پر توی X (با توجه به استفاده از پر تو Kα مس، برابر mn ۰/۱۵۴ است)، پهنای پیک در نصف ارتفاع بیشینه (FWHM) که بر حسب درجه بوده و باید به واحد طول تبدیل گردد و θ زاویه پراش (بر حسب درجه) است. یا انجام محاسبات مطابق معادله ۲ پارامتر شبکه به صورت an/۸۳۳۱۴۳ nm و اندازه متوسط کریستالهای مگنتیت حدود ۹ m تحمین زده می شود.



شکل ٤: الگوی XRD نانوذرات مگنتیت (γ=۰/۰٦).

R



شکل ٥: تصاویر SEM مربوط به نانوذرات مگنتیت-پلی پیرول در چهار حالت متفاوت از 7، الف) ٥/٥-١/١٠، ب) ٢٧/٧-١/١٨، ج) ٥/٥-٢/١٦ و د) ٢/١/٥-٢/١٧.

#### SEM ہے۔ بررسی تصاویر SEM

انتیظار میرود در سنتیز نانوذرات هستیه-پوسته مگنتیت-پلی پیرول نسبت دو برابری سورفکتانت بین ۵/،= $\gamma$ و  $\gamma$ /= $\gamma$  تغییر اندازهای با همین ضریب را موجب شود، اما با وجود اینکه نانوذرات پلی پیرول تهیه شده در ۵/،= $\gamma$  چه حاوی مگنتیت تولید شده در ۲۰/۱۸= $\gamma$  (شکل  $\gamma$ -الف) و چه در  $\gamma$ / $\gamma$ = $\gamma$  (شکل  $\gamma$ - $\gamma$ )، دارای ساختار کروی، با کمترین میزان در هم آمیختگی و کلوخه و همچنین با اندازه های مشخص و یکنواخت (mn ۵۸ برای ۲۰/۱۸= $\gamma$  و mn ۵۷ برای بایستی ابعادی کوچک تری از مورد پیشین و نزدیک به نصف بایستی از شان دهند، در هر دو مورد طیف وسیعی از اندازه ها را شامل شدند [ $2\pi$ -27].

# ۳-۵- بررسی منحنی های VSM مواد مغناطیسی از نظر رفتار مغناطیسی بعد از اعمال میدان خارجی به دو گونه سخت و نرم دستهبندی می شوند. مواد

مغناطیسی نرم توسط نفوذپذیری بالا و وادارندگی بسیار کوچک ( Oe ۱>) و انواع سخت با مغناطیس سنج اشباع، انرژی مغناطیسی و وادارندگی زیاد (۰۱۰ ها) مشخص میشوند. اگر ماده ای تحت میدان مغناطیسی H قرار گیرد، یک ممان مغناطیسی M در آن القا میشود. در VSN نمونه در محفظه ای مجاور یک مگنت (الکترومگنت یا مگنت ابر رسانا) و سیم پیچ حسگر قرار می گیرد و دچار ارتعاشات سینوسی میشود. تغییرات شار مغناطیسی حاصل، یک ولتاژ در سیم پیچ حسگر اعمال می کند که با ممان مغناطیسی نمونه تناسب دارد. دماه ای مختلف می تواند توسط بخش های برودتی و حرارتی دستگاه به نمونه اعمال شود (شکل ۷).

### ۳-۲- بررسی میزان جذب نمونهها

میزان جذب امواج الکترومغناطیس نمونه های فر آوری شده در محدوده باند X امراج رادیویی (۸–۱۲ GHz) در فرکیانس هیای مختلیف توسیط دستگاه Vector Network Analyzer انجام گرفته است. در این





شکل ٦: منحنی VSM مربوط به: الف) نانوذرات Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> و ب) نانوذرات هسته- پوسته poly pyrrole-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.

دستگاه امواج تولید شده به نمونه تابیده، سپس امواج بازتابیده شده از نمونه توسط دستگاه ارزیابی می شود و توسط نرمافزار مربوطه، نمودار کاهش قدرت امواج بر حسب دسی بل رسم می شود.

با توجه به شکل ۸ مشاهده می شود که نمونه فر آوری شده دارای میزان جذب قابل قبولی در محدوده باند X هستند. در شکلهای ۸ و ۹ خواص جذب و درصد جذب بهترین نمونه آورده شده است. همانطور که مشاهده می کنید یک جذب قوی در محدوده فر کانس ۸/۵ تا ۵/۹ گیگاهر تز برابر dB ۳۰-و در فر کانس ۱۱ تا ۲۱ گیگا هر تـز (GHz) برابر dB ۶-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 ۲: نمودار بررسی جذب امواج رادار.



شکل ۸: نمودار بررسی درصد جذب امواج رادار.

۳–۷– مقایسه روش پیشنهادی با روش های دیگر در جدول ۲ روش پیشنهادی در این پژوهش با روش های دیگر که قبلا انجام شدهاند مقایسه شده است، با مقایسه نتایج جدول ۲ روش پیشنهادی این پژوهش یک روش ارزان قیمت جدول ۲ مروش پیشنهادی این پژوهش یک روش ارزان قیمت مومون به صرفه، ساده، آسان، سریع و دارای رنج جذب بهتر نسبت به روش های دیگری که قبلا انجام شدهاند، می باشد.

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

درصد جذب	میزان جذب (dB)	ابعاد (cm²)	ضخامت کامپوزیت	بستر	رديف
·/.۴۹	-19	۵×۵	۱ میلیمتر	فویل آلومینیمی ۱	١
'.9A/D	_٣•	۵×۵	۲ میلیمتر	فویل آلومینیمی ۲	٢
'/.٩٨	-44	۵×۵	۳ میلیمتر	فویل آلومینیمی ۳	٣
'. <b>f</b> y	_1•	۵×۵	تک لايه	پارچه کتان ۱	۴
<u>'/.</u> YY	-1A	۵×۵	دو لايه	پارچه کتان ۲	۵
' <b>.</b> ۳۴	-19	۵×۵	سه لايه	پارچه کتان ۳	۶

**JR** 

منابح	هزینه (مناسب، متوسط، گران)	محدوده فرکانس رادار (گیگاهرتز)	درصد جذب	میزان جذب رادار (دسی بل)	عنوان روش		
[٣۶]	متوسط	11-18	-	-19	كامپوزيت زمينه پليمري فريت باريم		
[٣٧]	گران	۵_۲		_~.	نانوذرات فریت کوپل شده با گرافن		
[٣٨]	گران	۴/V-۶/۴	-	-1۳	نانوذرات نيكل-گرافن		
[٣٩]	گران	۱۰/۳_۱۳/۹	-	_1•	ترکیب فریت پوشیده شده با شیشه کروی		
[۴۰]	گران	14/1-14/1	-	-18/9	گرافن اکسید و نقره پوشش داده شده		
[4]	گران	٨/۴-١٢	-	_*•	كامپوزيت نانوذرات رساناي پخش شده		
[47]	متوسط	۲/۷–۳/۷	٩٩	_Y •	نانو كامپوزيت چهاروجهي		
[44]	گران	•/۵_۴/۵	-	_٢٠	نانوذرات فريت پوشيده شده با گرافن		
-	ارزان	٨/۵-٩/۵	۹۸/۵	_۳۰	روش پیشنهادی		

جدول ۲: جدول مقاسه روش های انجام شده یا روش پیشنهادی.

- [4] D.B. Brito, MOP Microwave and Optical Technology Letters, 55, 2013, 981.
- [5] Y. Wang, Energy and Power Engineering, 3, 2011, 580.
- A. Teber, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, [6] 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.
- A. Munir, Advances in Polymer Technology, 36, 2017, 362 [9]
- [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 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 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.

با توجـه بـه نتـايج حاصـل و بررسـي نتـايج بد تستهای VSM و VNA، با افزودن یوشش یلی پیرول نانـــو ذرات مـــگنتیت ســنتز شـــده، خاص لت ات دىالكتريكي يليى ييرول روى خاصيت مغناطيسي مگنتيت باعث افزایش جذب امواج راداری در محدوده ۸/۵ الی ۹/۵ گیگاهر تز شده است. در این فرکانس با جذب حدود ۹۸/۵٪ یکی از بهترین جاذبهایی میباشد 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 میباشد: ۲۵٪ نانوذرات، ۱۰٪ حلال، ۵۰٪ رزین و 1۵٪ هاردنر (سخت کننده). روش بیان شده در این تحقیق یک روش آسان، ساده، سریع و دارای محدوده جـذب بهتر نسبت به روش های دیگر و مقرون به صرفه برای تولید انبوهی از این ماده می باشد.

#### مراجع

- [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 الكترومغناطيس در كامپوزيت زمينـه پليمـري فريـت بـاريم نـوع M بـا

جایگزینی کاتیون،ای Mn و Zr"، هفتمین کنگره سرامیک 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] وحيد مقنى اوجاني، فائزه مجتهدي، عباس كيانوش، "خواص جذب