

## تهیه و بررسی نانومواد هوشمند برای استفاده در پوششهای رادار گریز

کاوه کلاهگرآذری<sup>۱</sup> و احمد رهنما<sup>۲</sup>(مسؤل)

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد مهندسی مواد پیشرفته ، باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران  
<sup>۲</sup> دانشجوی ارشد رشته تبدیل انرژی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد تاکستان – sis\_rahnama@yahoo.com

### چکیده

در این پژوهش نانوکامپوزیت هسته-پوسته مگنتیت و پلی پیرول که در زمینه اپوکسی پخش گردیده، مورد مطالعه قرار گرفته است. تاثیر ضخامت و نیز بسترهای مختلف در نظر گرفته شده است. در مرحله اول نانو ذره 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 بر روی بستر، خصوصیات جذب امواج رادار توسط این پوشش نانو کامپوزیتی با آنالیزهای VNA (Vector Network Analyzer) در فرکانسهای ۸ تا ۱۲ گیگا هرتز مورد بررسی قرار گرفت. بهترین جذب برای ضخامت ۲ میلی متر و بر روی بستر آلومینیوم مشاهده شده است. بیشترین اتلاف انرژی در ناحیه ۸/۵ تا ۹/۵ گیگا هرتز برابر ۳۰- دسی بل بدست آمده است.

**واژه‌های کلیدی:** جذب امواج رادار، نانو کامپوزیت، نانو ذره هسته-پوسته مگنتیت و پلی پیرول

## ۱- مقدمه

در سال های اخیر توجه به اختفاء سازه های هوایی از جمله هواپیما، پهپاد و .... بسیار مورد توجه قرار گرفته است. پس از جنگ جهانی دوم توسعه مواد جدید به عنوان مواد جاذب رادار (RAM) و تکنولوژی ماکروویو مورد بررسی قرار گرفته است. پوشش های RAM که بر روی بدنه هواپیما اعمال می شود باعث افزایش درجه مخفی بودن از دید رادار می شود. (پاپولیا و همکاران، ۱۹۹۲ - اسکولنیک، ۲۰۰۸ - لدر ۱۹۸۶) پارامترهایی مانند شکل هندسی، مواد به کار رفته، پس زمینه و کلاتر های طبیعی یا مصنوعی بیشترین تاثیر بر آشکار سازی راداری دارد. در مقابل اقداماتی برای رادار گریز بودن تجهیزات صورت می گیرد که می توان به کاهش سطح مقطع راداری (RCS) و یا استفاده از مواد RAM اشاره کرد (بریتو و همکاران، ۲۰۱۳ - وانگ و همکاران، ۲۰۱۱ - تبر و همکاران، ۲۰۱۶ - لیما و همکاران، ۲۰۰۸ - هانگ و همکاران، ۲۰۱۴) در تکنیک کاهش RCS هدف کاهش سطح مقطع راداری می باشد که در نتیجه امواج برگشتی به رادار کاهش می یابد. به همین خاطر شکل هندسی تجهیزات و ادوات نظامی به سرعت در حال تغییر است، به این صورت که سطح هایی با زاویه ۹۰ درجه حذف می شود و به سطوحی با شیب کم یا منحنی تغییر می یابد (کوتاجیما و همکاران، ۱۹۸۱ - یامادا و همکاران، ۲۰۰۵ - ساویل، ۲۰۰۵ - راک و همکاران، ۱۹۷۰). در مواد RAM از موادی استفاده می شود که خاصیت دی الکتریک 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 پلیمر های رسانا بهترین جاذب ها می باشند و می توان گفت تقریباً جاذب کامل رادار می باشند. مگنتیت با خاصیت مغناطیسی هنگامی که در میدان مغناطیسی قرار میگیرد با تغییر اسپین های مولکولی باعث جذب امواج می شود و پلیمر های رسانا به صورت یک مقاومت کوچک با جذب انرژی امواج مغناطیسی و تبدیل آن به گرما باعث جذب امواج راداری می شوند (لدر، ۱۹۸۶ - تبر و همکاران، ۲۰۱۶ - سینگ و همکاران، ۲۰۱۲). مطالعات بسیاری بر روی این دسته از مواد در ابعاد نانو صورت گرفته است ولی به ندرت مطالعه بر روی این مواد به صورت همزمان در یک پژوهش صورت گرفته است. در این پژوهش هدف ایجاد نانو ذرات هسته-پوسته مگنتیت-پلی پیرول در زمینه رزین اپوکسی و ایجاد نمونه های نانو کامپوزیت برای بررسی های جذب رادار انجام شده است. در این روش سنتز مگنتیت در ابعاد نانو که به منظور هسته و ایجاد پوسته ای از جنس پلی پیرول روی آن، امکان بررسی همزمان خاصیت مغناطیسی و دی الکتریکی را فراهم نموده است.

## ۲- تعیین ماموریت:

### 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  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ، مرک، ۹۹/۵/، آهن (II) سولفات ۷ آبه  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ، مرک، ۹۹/۵/، سدیم هیدروکسید (NaOH، مجلی، ۹۹/، آمونیاک  $NH_3$ ، مرک، ۲۵)، آمونیوم 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، ۲۰۰KDa)، ژلاتین (صنعتی، ساخت هندوستان)، رزین اپوکسی (خوزستان)، دی اتیلن تیری آمین (مرک)، تولوئن (مرک ۹۹/). در صورت لزوم این مواد پس از خالص سازی طبق روش های متداول مورد استفاده قرار گرفته اند (پیرول مورد استفاده به جهت ناپایداری در برابر اکسیژن محیط تحت خلا و در دمای  $50^\circ C$  تقطیر و خالص سازی شده است).

### ۲-۲. تهیه نانو ذره هسته-پوسته

#### ۲-۲-۱. تهیه میکروامولسیون آهن

بعد از تهیه محلول  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (۰/۵) مولار و ۰/۲۵ مولار  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (به دلیل محلولیت کم سولفات آهن محلول آن در حضور سولفوریک اسید ۰/۰۵ مولار بدست می آید)، در  $\gamma=0/018$  و برای جرم کلی ۳۵۰ گرم (۴۹۱ میلی لیتر)، ۵/۷۸ گرم SDS، 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 دانش پژوهان کویر کاشان ایران برای آنالیز مغناطیس نانو ذره، دستگاه VNA برای آنالیز جذب امواج رادار.

## ۲-۲. تهیه نانو ذره هسته- پوسته

### ۲-۲-۱. تهیه میکروامولسیون آهن

بعد از تهیه محلول  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (۰/۵) مولار و ۰/۲۵ مولار  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (به دلیل محلولیت کم سولفات آهن محلول آن در حضور سولفوریک اسید ۰/۰۵ مولار بدست می آید)، در  $\gamma=0/018$  و برای جرم کلی ۳۵۰ گرم (۴۹۱ میلی لیتر)، ۵/۷۸ گرم SDS، ۳۱۵ گرم اتر نفت و ۱۷/۵ گرم از مخلوط محلول های آبی آهن را ترکیب کرده و در محیط عاری از اکسیژن توسط ۱- بوتانول تیترومی کنیم تا مخلوط شفاف و پایدار میکروامولسیونی بدست آید. در  $\gamma=0/06$  و در همین مقیاس جرمی، از ۱۷/۷۸ گرم SDS، ۲۷۸/۶ گرم اتر نفت، ۱۷/۵ گرم محلول آبی استفاده کرده و روش فوق را تکرار می نماییم. وانگ و همکاران، ۲۰۱۳ - استوبرناچ، ۲۰۰۹ - اواندو، ۲۰۱۱ - گایو، ۲۰۰۹ - دژونگ، ۲۰۰۵ - لیز، ۱۹۹۴ - لیانگ، ۲۰۱۰

### ۲-۲-۱. 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 را تهیه می نماییم. برای  $\gamma=0/018$ ، بدون تغییر در ترکیب میکروامولسیون، شاهد تولید سیستم وینسور II خواهیم بود ولی با اعمال مقادیر ۲/۸۹ گرم برای SDS، ۱۷/۵ گرم برای اتر نفت، ۸/۷۵ گرم برای محلول باز و در نهایت افزودن ۰/۵ گرم پلی اتیلن گلیکول در مقیاس جرم کلی ۱۷۵/۵ گرم و رعایت روش کار مطابق مرحله قبل می توان به میکروامولسیون وینسور IV دست یافت. در  $\gamma=0/06$  با توجه به عدم نیاز به پلی اتیلن گلیکول، در جرم کلی ۱۷۵ گرم، مخلوط ۸/۸۹ گرم SDS، ۱۳۹/۳ گرم اتر نفت و ۸/۸۹ گرم فاز آبی تا نقطه تک فازی ۱- بوتانول تیترومی شود. (دژونگ، ۲۰۰۵ - لیز، ۱۹۹۴ - لیانگ، ۲۰۱۰ - کاپک، ۲۰۰۴ - بوند و همکاران، ۱۹۸۲ - یان و همکاران، ۲۰۰۰)

### ۲-۲-۲. تهیه میکروامولسیون اکسند

در این مرحله، از محلول ۰/۰۴ مولار کلرید آهن (III) برای تهیه میکروامولسیون O/W در مقیاس ۵۰ گرم استفاده می شود. برای  $\gamma=0/05$ ، ۲/۴۸ گرم SDS، ۲/۴۸ گرم اتر نفت و ۴۰ گرم محلول آهن را مخلوط کرده و توسط ۱- بوتانول تیترومی کنیم تا میکروامولسیون شفاف و تک فازی روغن در آب بدست آید. در مورد  $\gamma=0/067$ ، همین روند را برای ۵/۱۱ گرم SDS، ۲/۵۲ گرم اتر نفت و ۳۲ گرم محلول اکسند تکرار می نماییم (استوبرناچ، ۲۰۰۹ - اواندو و همکاران، ۲۰۱۱ - یان و همکاران، ۲۰۰۰ - رونگ و همکاران، ۲۰۰۸)

### ۲-۲-۳. تهیه میکروامولسیون پیروول

به منظور تولید میکروامولسیون روغن در آب پیروول، از محلول ۰/۲۵ مولار سدیم کلرید و پیروول به ترتیب به عنوان فاز آبی و آلی استفاده می شود. روش کار در این مورد نیز همانند مراحل قبل می باشد با این تفاوت که برای جرم کلی ۲۴ گرم، برای  $\gamma=0/05$ ، از ۱/۱۹ گرم SDS، ۱/۱۹ گرم پیروول، ۱۹/۲ گرم محلول سدیم کلرید و در  $\gamma=0/067$ ، از ۲/۴۵ گرم SDS، ۱/۲۱ گرم پیروول، ۱۵/۳۶ گرم فاز آبی استفاده شده است (اواندو و همکاران، ۲۰۱۱ - یان و همکاران، ۲۰۰۰ - جانگ و همکاران، ۲۰۰۳)

### ۲-۳. سنتز نانوذرات

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 ها را بر دیگری بیفزاییم. به منظور تهیه مگنتیت برای هر  $\gamma$ ، میکروامولسیون آهن را تحت گاز بی اثر و با سرعت ۰/۲ میلی لیتر در دقیقه به میکروامولسیون باز اضافه می کنیم و در پایان کار به مدت ۴ ساعت اجازه می دهیم با سرعت ثابت همزن، واکنش کامل شود. سپس قسمت اعظم فاز آلی را به کمک تقطیر در خلا خارج کرده و

رسوب باقی مانده را دو بار با مخلوط ۱:۵ آب و اتانول شست و شو داده و خشک می کنیم. با توجه به آبدار بودن اکسید حاصل، به منظور پخت، نانوذرات را به مدت ۲ ساعت تحت دمای ۵۰۰ °C قرار می دهیم تا به طور کامل کلسینه شوند. با در نظر گرفتن این نکته که ۷ برای هر کدام از سیستم های W/O و O/W دو مقدار متفاوت دارد، در کل برای ساختار هسته-پوسته چهار حالت خواهیم داشت. با این وجود، برای هر کدام از دو نوع مگنتیتی که در این مرحله مورد استفاده قرار می گیرند، شرایط تشکیل میکرومولسیون با سیستم روغن در آب برای پیرویل یکسان است. روش کار به این صورت است که ابتدا برای هر چهار حالت، ۱ گرم مگنتیت را در ۳ گرم پیرویل تحت حمام فراصوت به مدت ۱ ساعت توزیع می کنیم، پس از آن مطابق با دستورکار تشکیل میکرومولسیون پیرویل عمل می کنیم. اکنون در مرحله نهایی، مطابق با هر ۷ برای پیرویل، میکرومولسیون اکسند مربوطه را با سرعت ۰/۲ میلی لیتر در دقیقه و تحت گاز بی اثر به سیستم حاوی پیرویل و مگنتیت اضافه می کنیم. در پایان کار اجازه می دهیم واکنش در مدت ۳ ساعت کامل شود و سپس رسوب حاصل را دو بار با مخلوط ۵:۱ اتانول و آب شست و شو داده و خشک می کنیم.

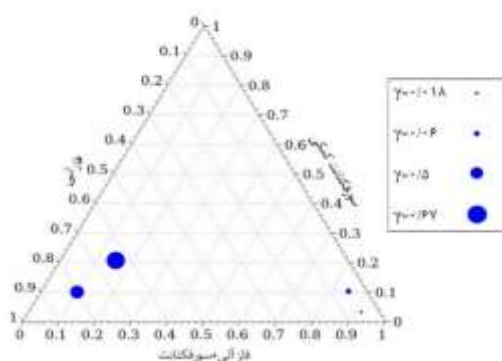
#### ۲-۴. روش تهیه نمونه برای اندازه گیری:

ابتدا مقدار ۷ گرم رزین اپوکسی (اپیران ۰۱) را وزن کرده و سپس ۱/۴ گرم حلال تولوئن به آن اضافه شده و در حمام آلتراسونیک قرار داده تا با انحلال رزین در تولوئن ویسکوزیته رزین پایین آمده و برای اختلاط نانو ذره آماده شود. پس از آن ۳/۵ گرم نانو ذره هسته -پوسته مگنتیت و پلی پیرویل را وزن کرده و به آهستگی به رزین اضافه کرده تا تحت آلتراسونیک به خوبی پخش شود و این کار را تا زمانی که کل نانو ذره در رزین پخش شود ادامه می دهیم. سپس مقدار ۲/۱ گرم هاردنر دی اتیلن تترآ آمین را به مخلوط اضافه می کنیم تا کامل حل شود. بستر اول : ۷ گرم از مخلوط آماده شده را بر روی فویل آلومینیومی که از قبل با ابعاد ۵×۵ سانتیمتر آماده شده، ریخته و در دمای محیط گذاشته تا پخت اولیه انجام گیرد. بستر دوم: پارچه کتان با ابعاد ۵×۵ سانتیمتر آماده کرده و مخلوط رزین و نانو ذره را با استفاده از قلمو بر روی پارچه اعمال می کنیم . و در دمای محیط پخت اولیه انجام می شود. پس از ۴ ساعت نمونه ها به آون با دمای ۵۰ درجه منتقل شدن و به مدت ۱۰ ساعت در این شرایط قرار می گیرند.

#### ۳. نتایج و بحث

##### ۳-۱. بررسی نمودارهای فازی

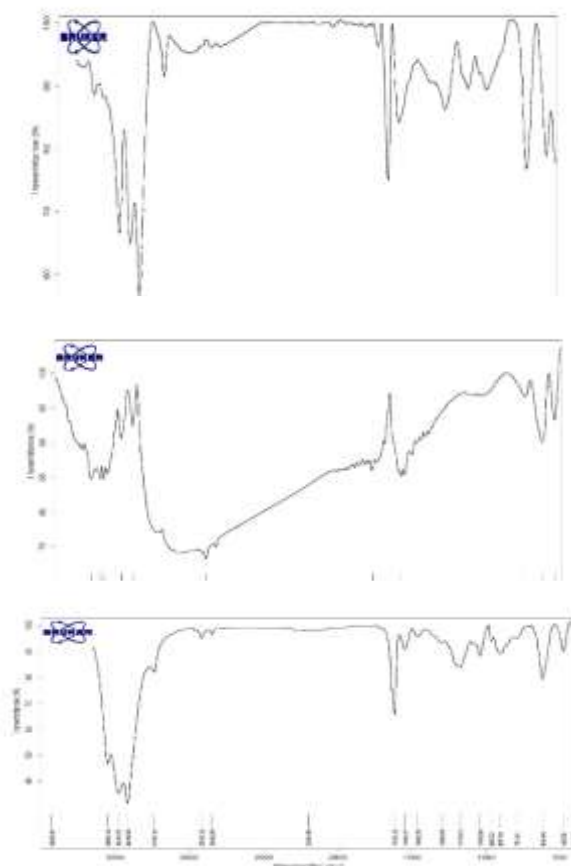
یکی از عواملی که راه را برای توسعه کاربردهای میکرومولسیون تسهیل می کند، روش های دقیق آشکارسازی است. بهترین روش کلاسیک در این مورد نمودار مثلثی می باشد. روش های پیچیده آشکارسازی می توانند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی میکرومولسیون را به همراه اکثر متغیرهای مهم به عنوان تابعی از محیط و ترکیب مشخص کنند (شکل ۳-۱) ( وانگ و همکاران، ۲۰۱۳ - کاپک، ۲۰۰۴ - مورالس و همکاران، ۲۰۰۳ - پایول و همکاران، ۲۰۰۱ )



### کل ۳-۱: نمودار مثلثی سیستم های میکرومولسیونی چهارگانه.

#### ۳-۲. بررسی طیف های FT-IR

در طیف پلی پیروول، پیک  $621 \text{ cm}^{-1}$  ارتعاش خمشی خارج از صفحه کربن-هیدروژن ( $=\text{C}-\text{H}$ )، پیک  $907 \text{ cm}^{-1}$  ارتعاش خمشی خارج از صفحه کربن-کربن ( $\text{C}-\text{C}$ )، پیک  $1043 \text{ cm}^{-1}$  ارتعاش خمشی درون صفحه ای کربن-هیدروژن ( $=\text{C}-\text{H}$ )، پیک  $1209 \text{ cm}^{-1}$  ارتعاشات کششی کربن-کربن ( $\text{C}-\text{C}$ ) و کربن-نیتروژن ( $\text{C}-\text{N}$ ) (همانطور که ملاحظه می شود 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  $1543 \text{ cm}^{-1}$  ارتعاشات مربوط به حلقه پیروول، پیک  $1620 \text{ cm}^{-1}$  ارتعاش کششی کربن-کربن ( $\text{C}=\text{C}$ )، پیک  $1692 \text{ cm}^{-1}$  ارتعاش کششی کربن-نیتروژن ( $\text{C}=\text{N}$ )، پیک  $3237 \text{ cm}^{-1}$  ارتعاش کششی کربن-هیدروژن ( $\text{C}-\text{H}$ )، پیک  $3416 \text{ cm}^{-1}$  ارتعاش کششی نیتروژن-هیدروژن ( $\text{N}-\text{H}$ ) را نشان می دهند (شکل ۳-۲).  
جهت تفسیر طیف  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ، به طور کلی محدوده  $400-700 \text{ cm}^{-1}$  به ارتعاشات شبکه کریستالی مگنتیت (اسپینل معکوس) مربوط می شود. باندهای آهن-اکسیژن ( $\text{Fe}-\text{O}$ ) در  $667 \text{ cm}^{-1}$  که ارتعاشات کششی سایت های تتراهدرال آهن را نشان می دهد و در  $533 \text{ cm}^{-1}$  که نشانگر ارتعاشات کششی سایت های اکتاهدرال آهن هستند، قابل مشاهده است. پیک  $1744 \text{ cm}^{-1}$  به ارتعاشات کششی  $\text{FeOOH}$  مربوط می شود. در نهایت پیک  $2923 \text{ cm}^{-1}$  معرف ارتعاش های گروه  $\text{OH}$  می باشد (شکل ۳-۳).  
پس از جداسازی محصول هسته-پوسته به وسیله آهنربا علاوه بر پیک های مگنتیت، پیک های پلی پیروول نیز در طیف ترسیم شده و در **Error! Reference source not found.** قابل رویت می باشد.



شکل ۳-۴: طیف FT-IR نانوذرات هسته-پوسته مگنتیت-پلی پیروول.

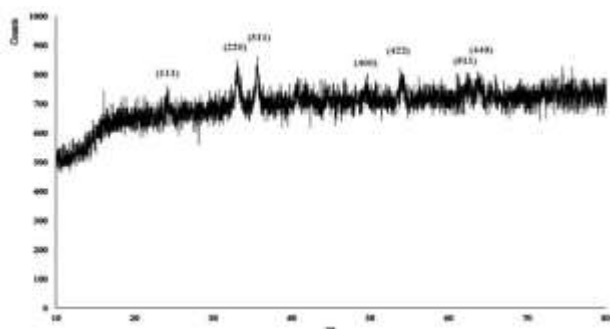
### ۲-۳. بررسی طیف XRD

الگوی XRD مگنتیت ( $\gamma=0/06$ ) در **Error! Reference source not found.** نشان داده شده است. مقادیر انعکاس برگ ارزیابی شده برای توالی پیک های پراش عبارتند از: حدود  $\theta_2=24$  با مختصات (۱۱۱)، حدود  $\theta_2=33$  با مختصات (۲۲۰)، حدود  $\theta_2=35/7$  با مختصات (۳۱۱)، حدود  $\theta_2=49/7$  با مختصات (۴۰۰)، حدود  $\theta_2=53/9$  با مختصات (۴۲۲)، حدود  $\theta_2=62/3$  با مختصات (۵۱۱)، حدود  $\theta_2=63/6$  با مختصات (۴۴۰). مطابق معادله شرر معادله **Error! Reference source not found.** برای محاسبه پهنای پیک در نصف ارتفاع آن (FWHM) استفاده می شود.

$$d = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \quad 1-3$$

$$a = \frac{n\lambda}{2\sin\theta} \sqrt{(h^2+k^2+l^2)} \quad 2-3$$

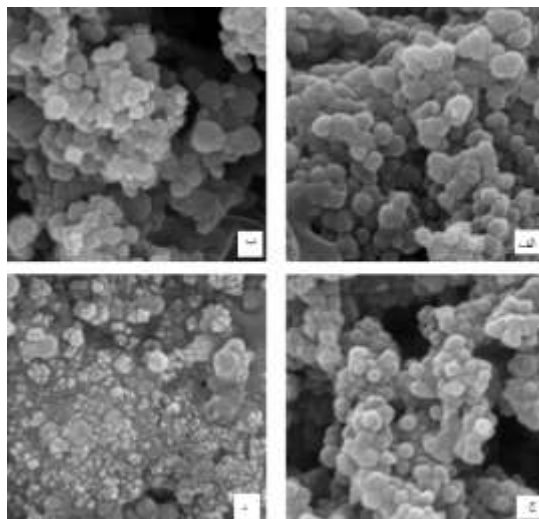
در معادله مذکور،  $k$  برابر با ضریب شکست بلور ( $0/89$  برای مگنتیت)،  $\lambda$  نشانگر طول موج تولیدکننده پرتوی X (با توجه به استفاده از پرتو  $k\alpha$  مس مساوی  $0/154$  nm است)، پهنای پیک در نصف ارتفاع بیشینه (FWHM) که برحسب درجه بوده و باید به واحد طول تبدیل گردد،  $\theta$  زاویه پراش (برحسب درجه) است. با محاسبه پارامتر شبکه معادله **Error! Reference source not found.** به صورت  $a=0/833143$  nm اندازه متوسط کریستال های مگنتیت حدود  $9$  nm تخمین زده می شود.



شکل ۳-۵: الگوی XRD نانوذرات مگنتیت ( $\gamma=0/06$ ).

### ۴-۳. بررسی تصاویر SEM

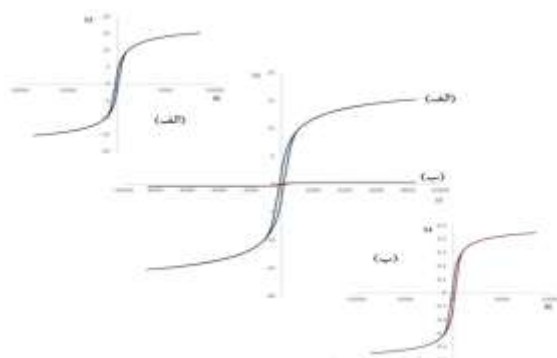
انتظار می رود در سنتز نانوذرات هسته-پوسته مگنتیت-پلی پیرول نسبت دو برابری سورفکتانت بین  $\gamma=0/5$  و  $\gamma=0/67$  تغییر اندازه ای با همین ضریب را موجب شود؛ اما با وجود اینکه نانوذرات پلی پیرول تهیه شده در  $\gamma=0/5$  چه حاوی مگنتیت تولید شده در  $\gamma=0/18$  شکل **Error! Reference source not found.** (الف-۶) باشد چه در  $\gamma=0/06$  شکل **Error! Reference source not found.** (ج-۶)، دارای ساختار کروی، با کمترین میزان درهم آمیختگی و کلوخه و همچنین با اندازه های مشخص و یکنواخت ( $85$  nm برای  $\gamma=0/18$  و  $75$  nm برای  $\gamma=0/06$ ) هستند. در مقابل، نانوذرات مربوط به  $\gamma=0/67$  که بایستی ابعادی کوچک تر از مورد پیشین و نزدیک به نصف آن مقدار را نشان می دادند، در هر دو مورد طیف وسیعی از اندازه ها را شامل شدند. (اواندو و همکاران، ۲۰۱۱ - یان و همکاران، ۲۰۰۰ - رونگ و همکاران، ۲۰۰۸ - پایول، ۲۰۰۱)



شکل ۳-۶: تصاویر SEM مربوط به نانوذرات مگنتیت-پلی پیرول در چهار حالت متفاوت از  $\gamma$ : الف) ۰/۱۸-۰/۱۵ (ب) ۰/۱۸-۰/۱۸-۰/۱۶۷ (ج) ۰/۱۵-۰/۱۰۶ (د) ۰/۱۶۷-۰/۱۰۶.

### ۳-۵. بررسی منحنی های VSM

مواد مغناطیسی از نظر رفتار مغناطیسی بعد از اعمال میدان خارجی به دو گونه سخت و نرم دسته بندی می شوند. 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 می شوند. اگر ماده ای تحت میدان مغناطیسی H قرار گیرد، یک ممان مغناطیسی M در آن القا می شود. در VSM نمونه در محفظه ای مجاور یک مگنت (الکترومگنت یا مگنت ابر رسانا) و سیم پیچ حسگر قرار می گیرد و دچار ارتعاشات سینوسی می شود. تغییرات شار مغناطیسی حاصل، یک ولتاژ در سیم پیچ حسگر اعمال می کند که با ممان مغناطیسی نمونه تناسب دارد. دماهای مختلف می تواند توسط بخش های برودتی و حرارتی دستگاه به نمونه اعمال شود (شکل ۳-۷).

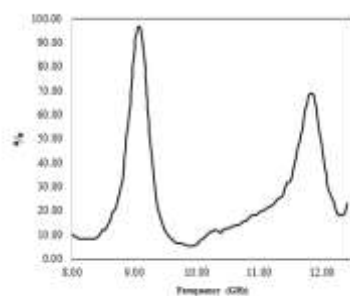
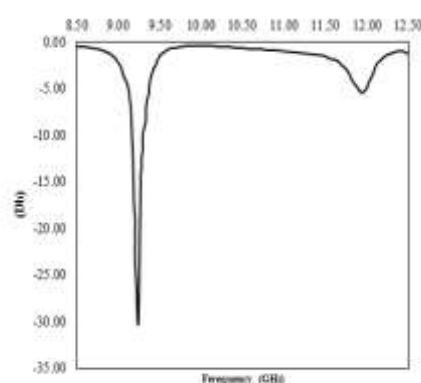


شکل ۳-۷: منحنی VSM مربوط به: الف) نانوذرات  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ، ب) نانوذرات هسته-پوسته  $\text{polypyrrole-Fe}_3\text{O}_4$

### ۳-۶ بررسی میزان جذب نمونه ها

میزان جذب امواج الکترومغناطیس نمونه‌های فرآوری شده در محدوده‌ی باند X امواج رادیویی (۸-۱۲ GHz) در فرکانس‌های مختلف توسط دستگاه Vector Network Analyzer انجام گرفته است. در این دستگاه امواج تولید شده به نمونه تابیده سپس امواج بازتابیده شده از نمونه توسط دستگاه ارزیابی می شود و توسط نرم افزار مربوطه، نمودار کاهش قدرت امواج بر حسب دسی بل رسم می‌شود.

با توجه به شکل (۳-۸) مشاهده می شود که نمونه ی فرآوری شده دارای میزان جذب قابل قبولی در محدوده ی باند X هستند. در شکل های (۳-۸) و (۳-۹) خواص جذب و درصد جذب بهترین نمونه آورده شده است. همان طور که مشاهده می کنید یک جذب قوی در محدوده فرکانس ۸/۵ تا ۹/۵ گیگاهرتز برابر ۳۰- دسی بل و در فرکانس ۱۱ تا ۱۲ گیگا هرتز برابر ۶- دسی بل بدست آمده است (شکل ۳-۸). بررسی میزان جذب امواج الکترومغناطیس برای نمونه های دیگر نیز انجام گرفته و نتایج حاصل در جدول (۳-۱) آورده شده است.



شکل ۳-۹: نمودار بررسی درصد جذب امواج رادا

ردیف	بستر	ضخامت کامپوزیت	(Cm <sup>2</sup> ابعاد)	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
---	--------------	---------	-----	-----	-----

### جدول ۳-۱: تاثیر پارامتر ضخامت و تعداد لایه ها بر روی خواص جذب امواج الکترومغناطیس

۳-۷. مقایسه روش پیشنهادی با روش های دیگر

در جدول (۳-۲) روش پیشنهادی در این پژوهش با روش های دیگر که قبلا انجام شده اند مقایسه شده است، با مقایسه نتایج جدول (۳-۲) 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.

عنوان روش	میزان جذب رادار (دسی بل)	درصد جذب	رنج فرکانس رادار (گیگاهرتز)	هزینه (مناسب، متوسط، گران)	منابع
کامپوزیت زمینه پلیمری فریت باریم	-۱۹	-	۱۱-۱۲	متوسط	[۳۱]
نانو ذرات فریت کوپل شده با گرافن	-۳۰	-	۲-۵	گران	[۳۲]
نانو ذرات نیکل-گرافن	-۱۳	-	۴/۷-۶/۴	گران	[۳۳]
ترکیب فریت پوشیده شده با شیشه کروی	-۱۰	-	۱۰/۳-۱۳/۹	گران	[۳۴]
گرافن اکسید و نقره پوشش داده شده	-۱۸/۶	-	۱۳/۱-۱۷/۲	گران	[۳۵]
کامپوزیت نانو ذرات رسانای پخش شده	-۲۰	-	۸/۴-۱۲	گران	[۳۶]
نانو کامپوزیت چهاروجهی	-۲۰	۹۹	۲/۷-۳/۷	متوسط	[۳۷]
نانو ذرات فریت پوشیده شده با گرافن	-۲۰	-	۰/۵-۴/۵	گران	[۳۸]
روش پیشنهادی	-۳۰	۹۸/۵	۸/۵-۹/۵	ارزان	-

### جدول ۳-۲: جدول مقایسه روش های انجام شده با روش پیشنهادی

#### 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 روی نانو ذرات مگنتیت سنتز شده، خاصیت اتلاف دی الکتریکی پلی پیرول بر روی خاصیت مغناطیسی مگنتیت باعث افزایش جذب امواج رادار در محدوده ۸/۵ الی ۹/۵ گیگا هرتز شده است. که در این فرکانس با جذب حدود ۹۸/۵٪ یکی از بهترین جاذب هایی می باشد که تا کنون 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 درصد نانو ذرات، ۱۰ درصد حلال، ۵۰ درصد رزین، ۱۵ درصد 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 انبوه از این ماده بنظر می رسد.

#### ۵ - منابع :

۱. مقنی اوجانی، وحید، مجتهدی، فائزه و کیان وش، عباس، ۱۳۸۸، خواص جذب امواج الکترومغناطیس در کامپوزیت زمینه پلیمری فریت باریم نوع M با جایگزینی کاتیونهای Zr, Mn، هفتمین کنگره سرامیک ایران، شیراز، انجمن سرامیک ایران.
2. Brito, d'Assunção, Maniçoba, Begaud, X., 2013, "Metamaterial inspired fabry-pérot antenna with cascaded frequency selective surfaces," MOP Microw. Opt. Technol. Lett., 55, 981-985.
3. Boned, Peyrelasse, Heil, Zradba, Clausse, 1982, "Partition of the w/o area of Winsor IV phases," YJCIS, J. Colloid Interface Sci.; 88, 602-604.

4. Cao, Su, Che, Du, Xu, 2012, "One-step chemical vapor synthesis of Ni/graphene nanocomposites with excellent electromagnetic and electrocatalytic properties," *Synth. Met.*; 162, 968-973.
5. Capek, 2004, "Preparation of metal nanoparticles in water-in-oil (w/o) microemulsions," *Adv Colloid Interface Sci*; 110, 49-74.
6. Choi, Lee, 2015, "Radar absorbing composite structures dispersed with nano-conductive particles," *Compos. Struct.*; 122, 23-30.
7. Dezhong, 2005, "Preparation of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> magnetic fluid by one-step method with a microemulsion reactor,"
8. Huang, Hu, Liu, 2014, "Graphene based tunable fractal Hilbert curve array broadband radar absorbing screen for radar cross section reduction," *AIP Advances*; 4, 117103.
9. Gao, Co, 2009, "Non-Aqueous Microemulsions," 211-229.
10. Jang, Yoon, 2003, "Facile fabrication of polypyrrole nanotubes using reverse microemulsion polymerization," *Chem. Commun.*; 720-721.
11. Kotajima, Fujita, 1981, "A novel radar reflector with variable RCS," *ECJA Electro. Commun. Jap. (Part I: Communications)*; 64, 58-64.
12. Lederer, 1986, "An introduction to Radar Absorbent Materials (RAM)"; Royal Signals and Radar Establishment: Malvern, Worcestershire,
13. Liang, Jia, Cao, Sun, Yang, 2010, "Microemulsion synthesis and characterization of nano- Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> particles and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanocrystalline," *J Dispersion Sci Technol*; 31, 1043-1049.
14. Lima, Nasar, Rezende; Araújo, 2008, "Ni-Zn nanoferrite for radar-absorbing material," *J. Magn. Magn. Mater.*; 320, 1666-1670.
15. Liu, Chu, Yang, 2006, "Adjusting the inner-structure of polypyrrole nanoparticles through microemulsion polymerization," *Mater. Chem. Phys.*; 98, 304-308.
16. Liz, Quintela, Mira, Rivas, 1994, "Preparation of colloidal Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ultrafine particles in microemulsions," *J. Mater. Sci.*; 29, 3797-3801.
17. Morales, Gutierrez, Garcia-Celma, Solans, 2003, "A Study of the Relation between Bicontinuous Microemulsions and Oil/Water Nano-emulsion Formation," *Langmuir*; 19, 7196-7200.
18. Ovando-Medina, Peralta, Mendizábal, Martínez-Gutiérrez, Lara-Ceniceros, Ledezma-Rodríguez, 2011, "Synthesis of polypyrrole nanoparticles by oil-in-water microemulsion polymerization with narrow size distribution," *Colloid Polym Sci*; 289, 759-765.
19. Papoulias, Seiwatz, 1992, "Radar absorber," ed: Google Patents,
20. Paul, Moulik, 2001, "Uses and applications of microemulsions," *Curr. Sci.*; 80, 990-1001.
21. Ren, Wu, Lu, Chen, Zhu, Gao, *et al.*, 2012, "Quaternary nanocomposites consisting of graphene, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>- Fe core- shell, and ZnO nanoparticles: synthesis and excellent electromagnetic absorption properties," *ACS appl. mater. interfaces*; 4, 6436-6442.
22. Reung-U-Rai, Prom-Jun, Prissanaroon-Ouajai, Ouajai, 2008, "Synthesis of highly conductive polypyrrole nanoparticles via microemulsion polymerization," *J. Magn. Magn. Mater.*; 18, 27-31.

23. Ruck, 1970, "Radar cross section handbook Vol. 2 Vol. 2"; Plenum Press: New York, NY
24. Ruck, 1970, "Radar cross section handbook Vol. 1 Vol. 1"; Plenum Press: New York, NY
25. Saville, 2005, "Review of radar absorbing materials," DTIC Document.
26. Singh, Kumar, Meena, Agarwala, 2012, "Analysis of frequency selective surfaces for radar absorbing materials," Prog. Electromagn. Res. B; 38, 297-314.
27. Skolnik, 2008, "Radar Handbook"; McGraw-Hill Professional: New York
28. Stubenrauch, 2009, "Microemulsions : background, new concepts, applications, perspectives"; Wiley: Chichester, West Sussex, U.K.; Ames, Iowa,
29. Sun, Shi, Li, Chu, He, Liu, 2012, "Synthesis and characterization of polypyrrole/Au nanocomposites by microemulsion polymerization," Colloids Surf. A; 397, 8-11.
30. Sun, Zou, Qian, Sun, Jiang, Li, 2013, "Controlled synthesis of porous Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-decorated graphene with extraordinary electromagnetic wave absorption properties," *Acta Materialia*; 61, 5829-5834.
31. Teber, Unver, Kavas, Aktas, Bansal, 2016, "Knitted radar absorbing materials (RAM) based on nickel-cobalt magnetic materials," J. Magn. Magn. Mater.; 406, 228-232.
32. Qu, Zhu, Li, Zhang, Chen, 2016, "Coupling Hollow Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-Fe Nanoparticles with Graphene Sheets for High-Performance Electromagnetic Wave Absorbing Material," ACS appl. mater. interfaces; 8, 3730-3735.
33. Wang, Li., Zhao, Hu, Gu, , 2011, "Research progress on nanostructured radar absorbing materials," Ener. Pow. Eng.; 3, 580.
34. Wang, Zhang, 2013, "Microemulsions for Drug Solubilization and Delivery," 287-323.
35. Wang, Zhang, Sun, Chen, Wang, 2016, "Combined use of lightweight magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-coated hollow glass spheres and electrically conductive reduced graphene oxide in an epoxy matrix for microwave absorption," *J. Magn. Magn. Mater.*; 401, 209-216.
36. Wang, Sun, Chen, Wang, Xu, 2015, "Enhanced microwave absorption performance of lightweight absorber based on reduced graphene oxide and Ag-coated hollow glass spheres/epoxy composite," *J. Appl. Phy.*; 117, 154903.
37. Yamada, Tanaka, Nishikawa, 2005, "Radar cross section for pedestrian in 76GHz band," in 2005 European Microwave Conference, p. 4 pp.
38. Yan, Xue, Zhou, 2000, "Preparation of electrically conducting polypyrrole in oil/water microemulsion," J. Appl. Polym. Sci; 77, 135-140.