فصلنامه‌ی علمی پژوهشی

علم و مهندسی سرامیک

دوره‌ی ۶، شماره‌ی ۳، پاییز ۱۳۹۶

سنتز و مشخصه‌یابی نانوساختار سه لایه جاذب امواج مایکروویو در محدوده فرکانسی Ku

فرهود حیدری[۱*]، مهرداد منطقیان[۲]، سید سلمان سید افقهی[۳]، محمد جواد تقی زاده[۴]

[۱] دانش آموخته رشته مهندسی نانوفناوری، نانومواد، دانشگاه تربیت مدرس

[۲] استاد دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تربیت مدرس

[۳] استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)

[۴] استادیار دانشکده شیمی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)

* farhod.heidari@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله:

دریافت: ۳ اردیبهشت ۱۳۹۶

پذیرش: ۱۰ دی ۱۳۹۶

کلید واژه:

پلیمریزاسیون بذر افشانی، همرسوبی، خواص مغناطیسی، جذب امواج مایکروویو

چکیده:

در این تحقیق نانوکامپوزیت هسته- پوسته پلی آنیلین- نانولوله کربنی (CNT- PANI) از طریق پلیمریزاسیون بذر افشانی ساخته شده است. تست‌های SEM، TEM، FTIR، UV-Vis و XRD نمونه‌های ساخته شده نشان دهنده‌ی رسوب نانوذرات اکسیدی نیکل- کبالت بر سطح (CNT- PANI) می‌باشد. انجام تست مغناطیس سنجی ارتعاشی نمونه‌های سنتز گردیده قبل و بعد از عملیات حرارتی آنیل به ترتیب مغناطیس اشباع ۰/۹۳ emu/g و ۱/۹۶ emu/g و نیز نیروی پسماندزدای ۲۶/۵ و ۱۲۰۰ اورستد را نشان می‌دهد. اتلاف انعکاسی امواج مایکروویو برخوردی به این ناوذرات در محدوده فرکانسی ۱۲/۴ تا ۱۸ گیگاهرتز توسط دستگاه آنالیز کننده شبکه برداری بررسی گردیده و افزایش میزان جذب را با افزایش مقدار نانوذرات توزیع شده در زمینه پلی یورتان از ۱ تا ۱۰ درصد وزنی شاهد بوده‌ایم. بیشترین میزان اتلاف انعکاسی در نمونه‌های ساخته شده جذب حاوی ۱ و ۱۰ درصد وزنی از نانوذرات ساخته شده به ترتیب ۳/۸۱- دسی بل در فرکانس ۱۵/۷۹ گیگاهرتز و ۷/۱۳- در فرکانس ۱۷/۰۴ گیگاهرتز می‌باشند.

۱- مقدمه

مواد جاذب امواج مایکروویو به طور وسیعی در تکنولوژی اخفای هواپیماها، تداخل تصاویر تلویزیونی در ساختمان‌های بلند؛ اتاق تاریک مایکروویو و همچنین تداخل امواج الکترومغناطیسی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱- ۴]. در بین پلیمرهای هادی؛ پلی آنیلین (PANI)، بعنوان ماده جاذب مناسب امواج مایکروویو شناخته شده است. از جمله مزایای این پلیمر می‌توان به سنتز آسان، هزینه کمتر، ویژگی‌های مناسب، ثبات حرارتی و شیمیایی، دانسیته کم، هدایت الکتریکی قابل تنظیم و بالا در محدوده فرکانسی مایکروویو اشاره نمود [۵- ۷]. گزارش گردیده است که در حضور

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1396.6.3.7.8]

نانوذرات مغناطیسی اکسید آهن (Fe_2O_3)، خاصیت جذب امواج مایکروویو توسط پلیمرهای هادی جاذب اصلاح گردیده است [۸]. به عنوان یک ماده جاذب می‌توان به نانولوله‌های کربنی اشاره نمود که نسبت به جاذب‌هایی چون پودرهای فلزی و فریتی، دانسیته بسیار کمتری داشته و دارای خاصیت جذب بالایی می‌باشد [۹، ۱۰]. در این پژوهش؛ نانولوله‌های کربنی با پلی آنیلین همچون بعضی از تحقیقاتی که در گذشته انجام گرفته است جفت شده‌اند [۱۱- ۱۴]، جنبه نوآوری تحقیق سنتز اکسید نیکل و کبالت از طریق احیای یون‌های Ni^{2+} و Co^{2+} بر سطح شاخه‌های پلی آنیلین در محیطی با دمش گاز آرگون می‌باشد. در نهایت خواص مغناطیسی و جذب امواج مایکروویو توسط این نانوذرات مطالعه گردیده‌اند. در این تحقیق نانوذرات مغناطیسی بر سطح نانولوله‌های کربنی رسوب داده شده‌اند در این پژوهش از عامل فعال کننده سطحی سمی و مخرب محیط زیست استفاده نگردیده و توسط اعمال پوشش پلیمری بر سطح نانولوله‌های کربنی مکان‌های مناسب برای جوانه‌زنی و رشد نانوذرات مغناطیسی ایجاد گردیده است. روش سنتز مورد استفاده شیمیایی بوده و برخلاف روش‌های فیزیکی معمول در ساخت نانوذرات نیاز به استفاده از تجهیزات گران قیمت وجود ندارد.

۲- فعالیت‌های تجربی

۲-۱- مواد

آنیلین (شرکت مرک)، نانولوله‌های کربنی (با طول ۱۰ الی ۳۰ میکرومتر، قطر خارجی ۱۰ الی ۲۰ نانومتر و مساحت سطحی بیش از ۲۰۰ متر مربع بر گرم از شرکت نوترینو)، هیدروکلریک اسید، آمونیوم پرسولفات، نیترات نیکل ۶ آبه، نیترات کبالت ۶ آبه، سدیم بورو هیدرات، هیدروکسید سدیم و اتیلن گلیکول، اسید سولفوریک و اسید نیتریک از شرکت MP هلند و اتانول از شرکت پارس شیمی ایران خریداری شده است.

۲-۲- آماده سازی

۲-۲-۱- سنتز CNT- PANI با ساختار هسته- پوسته

در ابتدا ۱۷۵ میلی لیتر محلول اسیدی حاوی اسید نیتریک و اسید سولفوریک با نسبت حجمی ۲ به ۵ تهیه نموده و ۱ گرم نانولوله کربنی چند دیواره را به آن اضافه نموده و عمل توزیع توسط دستگاه ماوراصوت حمامی به مدت ۶ ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. در ادامه سوسپانسیون حاصل گردیده فیلتر شده و توسط آب مقطر تا رسیدن PH به حدود ۵، عمل شستشو ادامه پیدا کرد سپس نانولوله‌های کربنی در داخل کوره و تحت دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردیدند. در ادامه، ۱ گرم نانولوله کربنی در ۵۰ سی سی محلول آبی حاوی ۳/۷۱ سی سی اسید هیدروکلریک اضافه گردیده و به مدت ۳۰ دقیقه تحت امواج فراصوت قرار گرفت در طی این زمان، ۷/۰۴ سی سی آنیلین قطره قطره به مخلوط اضافه گردید سپس عمل همزنی به طور پیوسته در حمام یخ در دمای حدود ۰ الی ۴ درجه سانتی گراد انجام گرفته و پلیمریزاسیون با افزودن قطرات محلول آمونیوم پر سولفات (۰/۰۶ گرم آمونیوم پرسولفات در ۱۰۰ سی سی آب مقطر) آغاز گردید و عمل همزنی به مدت ۱۲ ساعت ادامه پیدا کرد. در نهایت مخلوط واکنش فیلتر گردیده و توسط آب مقطر چندین مرتبه شسته شد و محصول بدست آمده در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد کوره به مدت ۲ ساعت خشک گردید.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1396.6.3.7.8]

۲-۲-۲- آلاییدن CNT- PANI با نانوذرات اکسیدی نیکل- کبالت

۳۰ میلی گرم CNT-PANI، ۱۱۰ میلی‌گرم نیترات نیکل ۶ آبه و ۱۱۰ میلی گرم نیترات کبالت ۶ آبه را به ۵۰ میلی لیتر اتیلن گلیکول اضافه نموده و به مدت ۳۰ دقیقه تحت امواج فراصوت حمامی قرار گرفت. ۱۶۲ میلی گرم هیدروکسید سدیم و ۷۸۰ میلی گرم سدیم بوروهیدرات را در ۱۰ میلی لیتر اتیلن گلیکول حل نموده و این محلول، تحت دمش گاز آرگون و در مدت ۳۰ دقیقه قطره قطره به سوسپانسیون تهیه گردیده اضافه گردید. در نهایت همزنی ترکیب حاصل گردیده به مدت ۲ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد و تحت دمش گاز آرگون ادامه پیدا کرد. جداسازی نانوذرات از محلول توسط سانتریفیوژ و با ۲۰۰۰ دور بر دقیقه انجام گرفت و شستشو توسط اتانول انجام شد و در نهایت خشک نمودن همانند مراحل قبل انجام گرفت. مقداری از ماده ساخته شده را جهت بررسی اثر اندازه نانو ذره و اثر افزایش کریستالینیتی بر خواص مغناطیسی در دمای ۵۰۰°C تحت عملیات حرارتی آنیلینگ، در کوره خلا قرار گرفته شدند.

۲-۳- مشخصه یابی

طیف سنجی مادون قرمز با استفاده از دستگاه FT-IR مدل Bruker و طیف سنجی مرئی فرا بنفش با استفاده از دستگاه UV- Vis مدل PerkinElmer انجام گرفت. برای شناسایی ترکیب فازی پودر سنتز شده از دستگاه پراش اشعه ایکس مدل XMD 300 که منبع X- ray مورد استفاده در آن تفنگ، نشر کننده CuKα بود استفاده شد و انجام عملیات پراش در محدوده ۱۰-۸۰ درجه صورت گرفت. جهت بررسی مورفولوژی پودر از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل VEGA/TESCAN-LMU و نیز دستگاه میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) مدل Zeiss- EM10C-80 KV استفاده شد. خواص مغناطیسی توسط مغناطیس سنج ارتعاشی (VSM) مدل LAKESHORE VSM 7404, Lake Shore Cryotronics, Inc., USA و خواص مربوط به جذب امواج مایکروویو توسط دستگاه تحلیل گر شبکه برداری VNA مدل E8263BAgilent Technologies انجام گرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مشخصه‌یابی ریزساختاری

۳-۱-۱- طیف سنجی مادون قرمز

شکل ۱- الف طیف حاصل از نانو کامپوزیت (Ni, Co) oxide - PANI- CNT می‌باشد. باندهای مشخصه در موقعیت‌های ۱۱۱۱ بر سانتی متر و ۱۶۴۶ برسانتی متر به ترتیب مربوط به حالت کششی در ارتعاش C-C و C=C می‌باشند که می‌توان آنها را به ساختار نانولوله‌های کربنی یا پلی آنیلین نسبت داد. باندهای مشخصه در موقعیت ۱۴۵۶ بر سانتی‌متر مربوط به وضعیت کششی پیوند C=C حلقه بنزنی در ساختار پلی آنیلین می‌باشد. همچنین پیک مشاهده گردیده در موقعیت ۱۲۷۶ بر سانتی‌متر را می‌توان به حالت کششی پیوند C-N در ساختار پلی آنیلین نسبت داد. بر طبق این نتایج؛ حضور پلی آنیلین تایید می‌گردد [۱۵]. باندهای مشاهده گردیده در موقعیت‌های ۱۳۹۰ و ۳۴۴۰ بر سانتی‌متر مربوط به گروه‌های کربوکسیلیک اسید ایجاد گردیده بر سطح نانولوله‌های کربنی می‌باشند و باند مشاهده گردیده در موقعیت ۱۰۲۳ بر سانتی متر مربوط به لرزش

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-20]

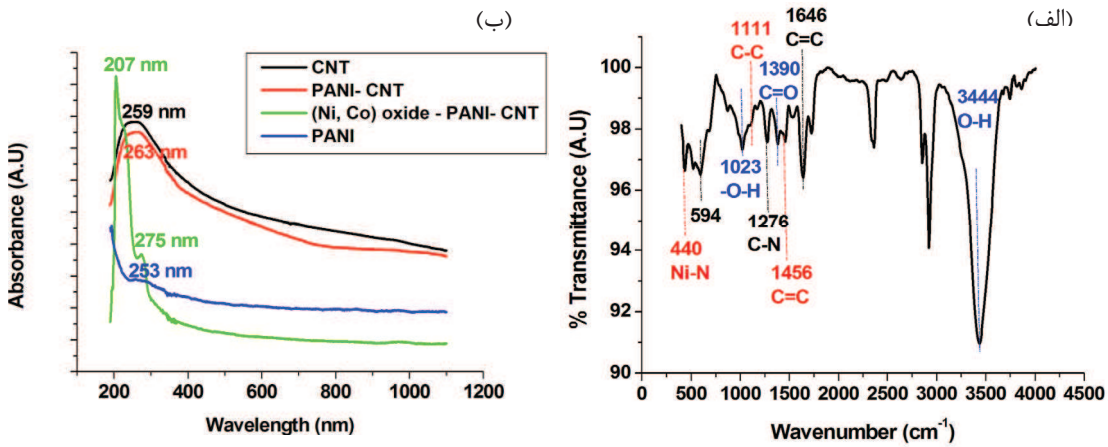
[DOR: 20.1001.1.23222352.1396.6.3.7.8]

اعوجاجی پیوند O-H می‌باشد [۱۶]. باند ۱۲۷۶ بر سانتی‌متر به وضعیت کششی نامتقارن پیوند C-N ساختار پولارون مولکول‌های پلی آنیلین می‌باشد [۱۷]. پیک مشاهده گردیده در موقعیت ۴۴۰ بر سانتی‌متر را می‌توان به کشش داخلی پیوند کووالانسی کوئوردیناسیونی Ni-N نسبت داد که از طریق ایجاد پیوند بین یون‌های نیکل و جفت الکترون‌های غیر پیوندی موجود در ساختار پلی آنیلین حاصل گردیده‌اند [۱۸]. پیک‌های مشاهده گردیده در موقعیت‌های ۴۴۰ و ۵۹۴ بر سانتی‌متر نیز از طریق ارتعاش یون‌های نیکل و کبالت ایجاد گردیده‌اند؛ جابجایی اندکی در موقعیت این پیک‌ها نسبت به آنچه که در مقالات قبلی گزارش گردیده‌اند مشاهده می‌گردد [۱۹].

۳-۱-۲- آنالیز طیف مرئی- فرابنفش

طیف UV- Vis حاصل گردیده از نانو لوله‌های کربنی، پلی آنیلین و کامپوزیت نانولوله کربنی- پلی آنیلین و نیز کامپوزیت نانولوله کربنی- پلی آنیلین- اکسید (نیکل، کبالت) در شکل ۱- ب نشان داده شده است. نانولوله کربنی و پلی آنیلین به ترتیب پیک‌های جذبی در موقعیت‌های ۲۵۹ نانومتر و ۲۵۳ نانومتر نشان داده‌اند.

در کامپوزیت CNT-PANI پیک جذبی در طول موج ۲۶۳ نانومتر مشاهده گردیده است که بترتیب به میزان ۴ نانومتر و ۱۰ نانومتر در مقایسه با پیک‌های مشاهده گردیده در طیف‌های CNT و PANI اختلاف دارد که علت آن می‌تواند ناشی از ناشی از فعل و انفعال انجام گرفته بین نانو لوله‌های کربنی و لایه پلیمری و حالت الکترونی القا شده باشد که در اثر آن، فعل و انفعال بین موقعیت‌های ایمینی در پلی آنیلین و گروه‌های کربوکسیلیک موجود در سطح نانو تیوب‌ها انجام گرفته و تسهیل در جابجایی الکترونی در داخل کامپوزیت نتیجه می‌گردد، و لذا افزایش هدایت الکتریکی کامپوزیت پلیمری را خواهیم داشت [۲۰] در طیف حاصل از نانوکامپوزیت دوپ شده توسط عناصر نیکل، کبالت و اکسیژن؛ پیک‌هایی را در موقعیت‌های ۲۰۷ نانومتر و ۲۷۵ نانومتر مشاهده می‌نماییم؛ این نتایج نشان دهنده‌ی افزایش جذب نور در محدوده فرابنفش می‌باشد و نشان می‌دهد که فلزات انتقالی نیکل، کبالت و نیز اکسیژن سبب افزایش فاصله‌ی نوار ظرفیت و هدایت در نانوکامپوزیت PANI- CNT گردیده است.



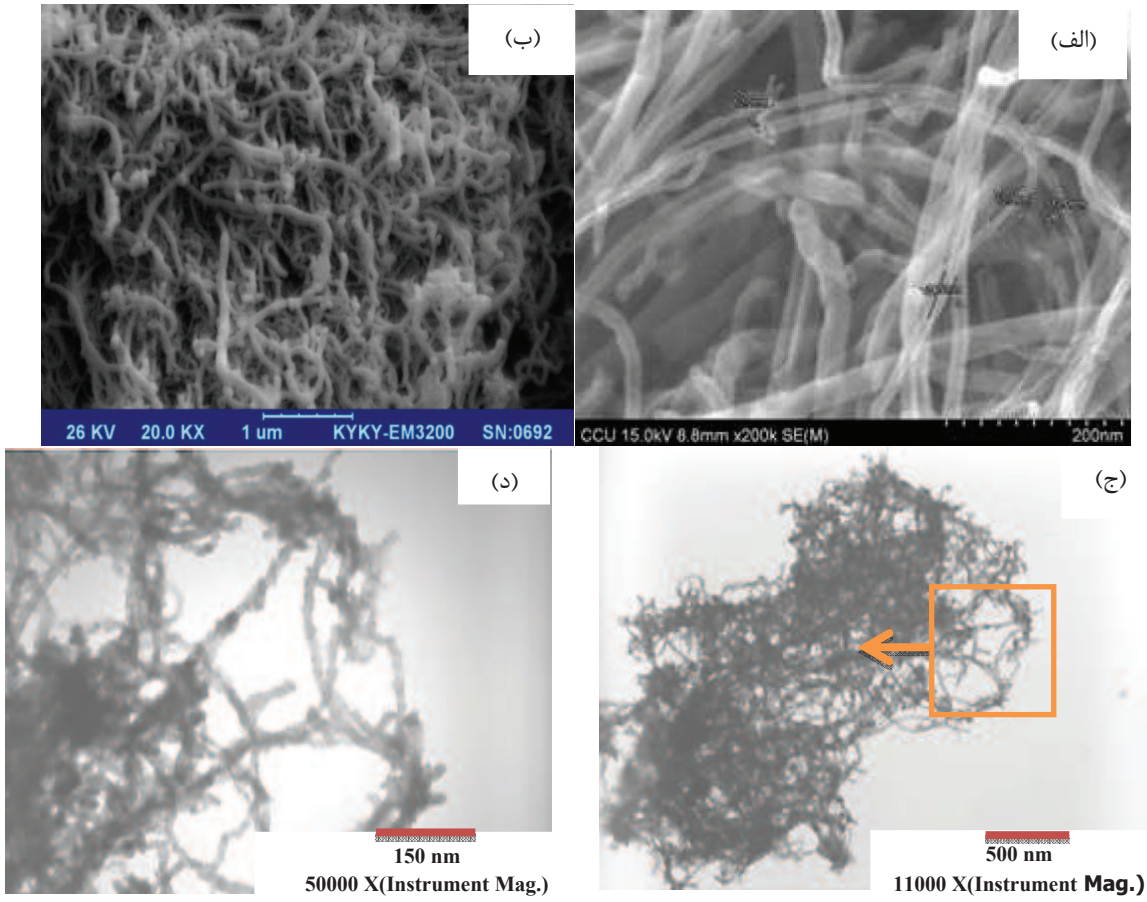
شکل ۱- (الف)- طیف FTIR حاصل از نانوکامپوزیت (Ni, Co) oxide - PANI- CNT **(ب)- طیف مرئی- فرابنفش حاصل از** CNT، PANI، PANI- CNT **و نانوکامپوزیت** (Ni, Co) oxide - PANI- CNT

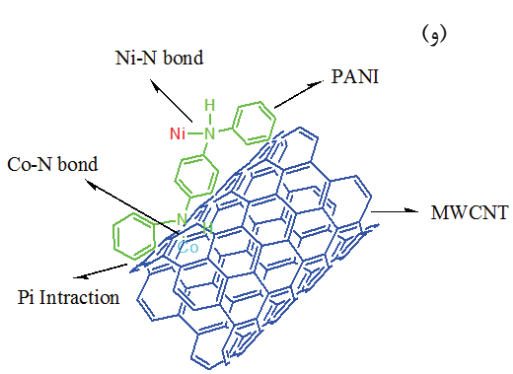
[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-20]

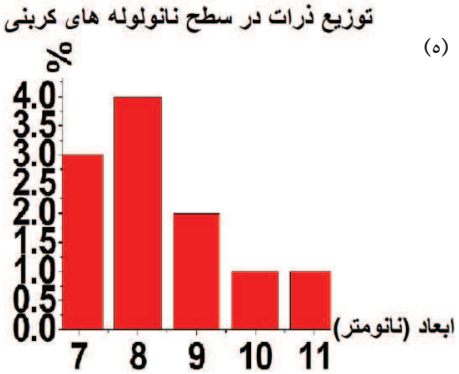
[DOR: 20.1001.1.23222352.1396.6.3.7.8]

۳-۱-۳- بررسی ریزساختاری و کمیتی

در شکل (۲- الف و ب) بترتیب تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از نانولوله‌های کربنی و نانوکامپوزیت PANI- CNT نشان داده شده است.







شکل ۲- الف- تصویر SEM از نانولوله‌های کربنی ب-تصویر SEM از نانوساختار PANI- CNT ج- د- تصویر TEM از نانوساختار (Ni, Co) oxide - PANI- CNT ه- منحنی ستونی توزیع اندازه نانوذرات رسوب داده شده بر سطح PANI- CNT و- شماتیک نانوکامپوزیت نهایی

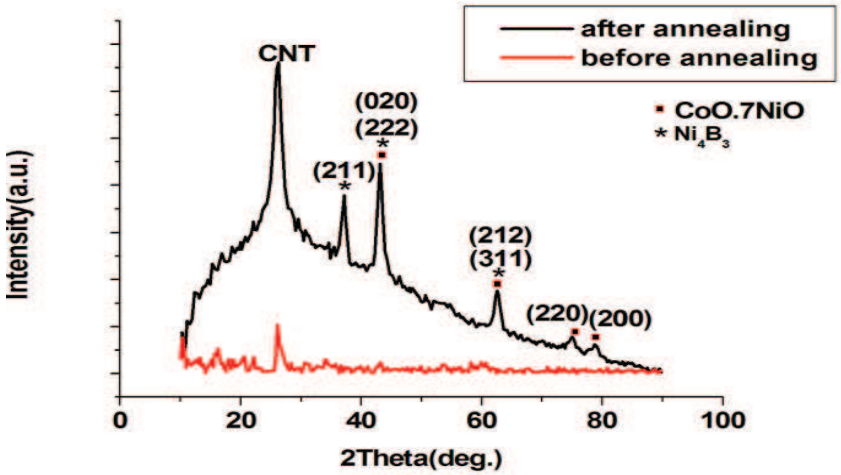
[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1396.6.3.7.8]

همانطور کـه مـشاهده مـی‌گـردد ایـن نانوکامپوزیـت دارای مورفولوژی یکنواختی می‌باشد و پوششی بـر سـطح خـارجی نانولوله‌های کربنی اعمال گردیده است و از شکل حاصـل از میکروسـکوپ الکترونـی عبـوری (۲- ج-د) و (جـدول- ۱)، استنباط می‌گردد که نـانوذرات اکـسیدی نیکـل- کبالـت در سطح نانوکامپوزیت PANI- CNT بـه همـدیگر پیوسـته و خوشه‌های بزرگتری را تشکیل داده‌اند. نمودار سـتونی رسـم گردیده در شکل (۲- ه) نشان دهنده‌ی توزیع اندازه ذرات در سطح PANI- CNT مـی‌باشـد و توزیـع بـاریکی از انـدازه نانوذرات رسوب کرده در محدوده ۷ الی ۹ نـانومتر در سـطح نانو لوله‌های کربنی مشاهده می‌گردد که علت آن را می‌توان به تعداد بالای شاخه‌هـای پلیمـری در سـطح نانوکامپوزیـت PANI- CNT نسبت داد کـه مکـان‌هـای مناسـبی بـرای جوانه‌زنی نانوذرات بـوده و از آگلومراسـیون آنهـا جلـوگیری می‌نمایند و در شکل (۲- و) نیز شـماتیک نـانوذرات سـاخته شده نشان داده شده است.

۳-۱-۴- طیف پراش پرتو ایکس

بر طبق شکل ۳، در نمونه قبل از آنیل، تنها یک پیـک و در موقعیت $2\theta = 26.10^{o}$ مشاهده گردیده است که مربوط بـه انعکاس از صفحات (۰۰۲) نانولوله‌های کربنی می‌باشد [۲۱]، علت عدم مشاهده پیک دیگری را می‌توان ناشی از آمـورف بودن نانوذرات موجود در ترکیب دانـست. در الگـوی پـراش حاصـل از نمونـه آنیـل شـده، پیـک‌هـای مشخـصه‌ای در موقعیت‌هـای 2θ برابـر $43,13^{o}$ (۲۲۲)، $62,63^{o}$ (۳۱۱)، 75^{o} (۲۲۰) و $78,87^{o}$ (۲۰۰) مشاهده می‌گردند که مطابق با کـد مرجع PDF2 00-003-0997 بوده و بـه سـاختار مکعبـی وجوه پر $CoO.\ 7NiO_4$ نسبت داده شده و نیـز پیـک‌هـای مشخصه‌ای در موقعیت‌هـای 2θ برابـر 37^{o} (۲۱۱)، $43,18^{o}$ (۰۲۰) و $62,6^{o}$ (۲۱۲) مشاهده می‌گردد که مطـابق بـا کـد مرجع PDF2 01-073-1793 بـوده و بـه سـاختار Ni_4B_3 نسبت داده می‌شود. این الگو بیانگر بلورینگی مناسب بوده و ظهور پیک‌های نسبتا پهن نیز ناشی از کوچک بـودن انـدازه ذرات می‌باشد.



شکل ۳- الگوی حاصل از پراش پرتو ایکس حاصل گردیده از نانوکامپوزیت‌ها قبل و بعد از عملیات آنیل

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1396.6.3.7.8]

اندازه دانه‌ی نانوذرات اکسیدی با استفاده از رابطه شرر محاسبه گردیده است:

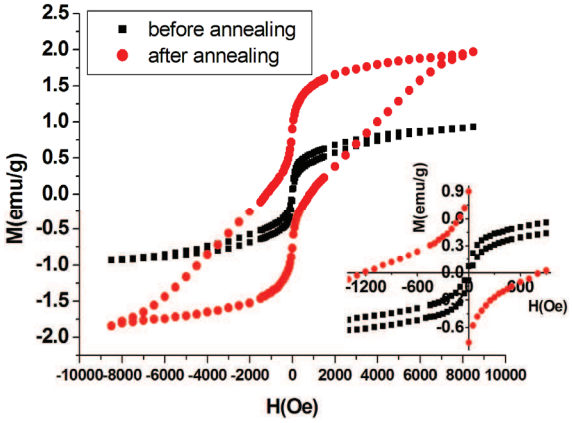
$$d = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \qquad (۱$$

در این رابطه d اندازه دانه، β پهنای پیک در وسط ارتفاع بلندترین پیک و K مقدار ثابت می‌باشد. اندازه توسط دانه در فازهای CoO. 7NiO و Ni_4B_3 بترتیب ۱۳/۱ نانومتر و ۱۳/۳ نانومتر می‌باشند. بنابراین با در نظر گرفتن طرح حاصل از پراش اشعه ایکس و آنالیزهای قبلی نتیجه می‌گیریم که قبل از عملیات آنیل نانوکامپوزیتی حاوی نانوذرات اکسیدی نیکل- کبالت آمورف به همراه نانولوله‌های کربنی و پلی آنیلین و بعد از عملیات آنیل اکسید نیکل- کبالت و بورید نیکل بلورینه به همراه نانولوله‌های کربنی حاصل گردیده است.

۳-۲- تحلیل مغناطیسی

۳-۲-۱- بررسی خواص مغناطیسی با استفاده از مغناطیس سنج نمونه ارتعاشی

همانطور که در شکل ۴ و جدول ۲ مشاهده می‌گردد نمونه آنیل شده رفتار فری مغناطیسی نرم داشته و مغناطیس اشباع نمونه و نیروی پسماندزدا نسبت به نمونه آمورف افزایش قابل توجهی داشته است. افزایش نیروی پسماندزدا بیانگر آن است که عبور از مانع انرژی موجود برای تغییر جهت محور آسان مغناطیسی با انجام آنیل، دشوارتر گردیده است.



شکل ۴- حلقه پسماند مغناطیسی از نانوکامپوزیت‌های ساخته شده قبل و بعد از عملیات آنیل

جدول ۱- تست مغناطیس سنجی نمونه ارتعاشی

نمونه	M_s (emu/g)	M_r (emu/g)	H_c (Oe)
قبل از آنیل	۰/۹۳	۰/۰۷۱	-۲۶/۵
بعد از آنیل	۱/۹۶	۰/۹	-۱۲۰۰

علاوه بر این، همانطور که ذکر شد میزان مغناطیس اشباع از ۰/۹۳ emu/gr به ۱/۹۶ emu/gr افزایش یافته است؛ در حقیقت فعل و انفعال تبادلی در ترکیبات فری مغناطیسی مثبت بوده و جهت گیری اسپین‌ها نسبت به همدیگر در جهت موازی می‌باشند اما زمانی که اندازه ذره کاهش می‌یابد درصد قابل توجهی از اتم‌ها و اسپین‌ها در سطح نانوذرات قرار می‌گیرند [۲۲]، عدد همسایگی اتم‌های موجود در سطح کمتر از اتم‌های داخلی نانوذرات می‌باشد و از آنجایی‌که گشتاورهای مغناطیسی تمایل به ارتعاش دارند و در سطح آزادی عمل بیشتری یافته‌اند در نتیجه عدم جفت شدگی و اندرکنش نامناسب بین دوقطبی‌های مغناطیسی این اتم‌ها را خواهیم داشت بنابراین بی‌نظمی اسپین‌ها اصطلاحا منجر به ایجاد لایه مرده در سطح نانوذرات می‌گردد [۲۳]؛ با انجام آنیل و افزایش اندازه نانوذرات،

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1396.6.3.7.8]

مساحت لایه مرده کاهش یافته و در نتیجه افزایش گشتاورهای دوقطبی‌های مغناطیسی منجر به افزایش مغناطیس اشباع گردیده است.

۳-۲-۲- جذب امواج مایکروویو

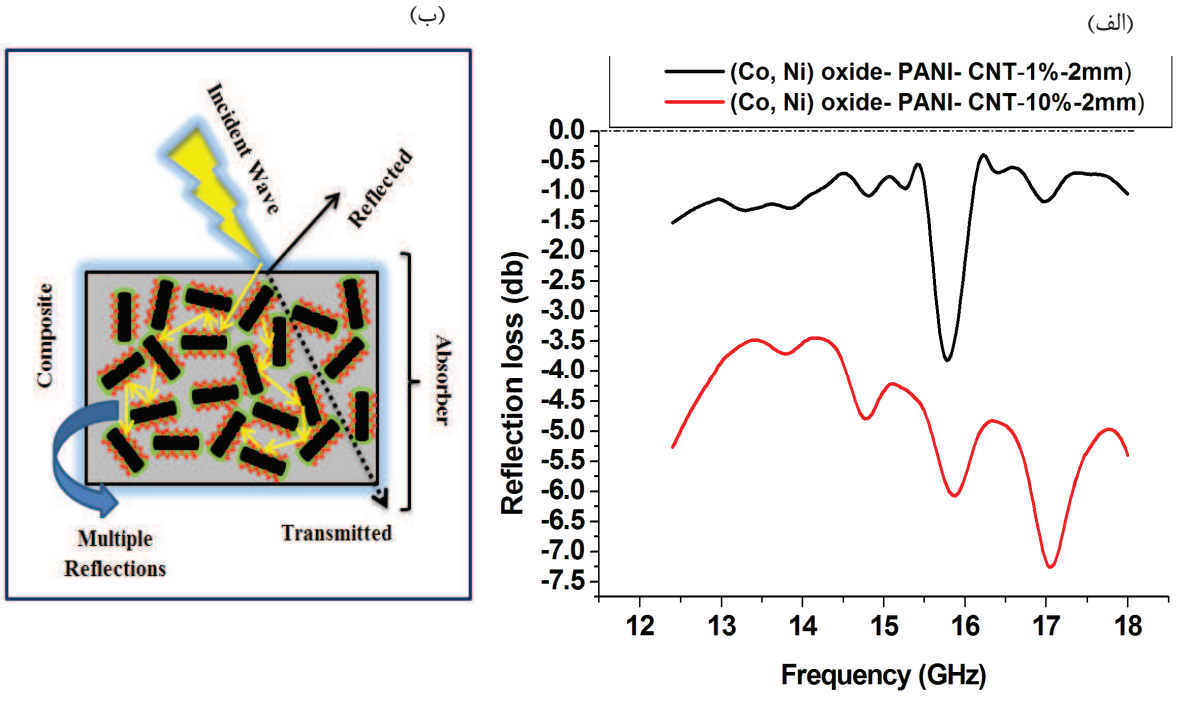
اتلاف انعکاسی (RL) میدان‌های الکترومغناطیسی برخوردی بر سطح مواد پوشش داده شده بر زیر لایه‌ی هادی به صورت ذیل تعریف گردیده است [۲۴]:

$$R(dB) = -20\log\left|\frac{Z_{in}-1}{Z_{in}+1}\right| \qquad (۲$$

در این رابطه Z_{in} امپدانس فصل مشترک جاذب و هوا می‌باشد که مربوط به پارامترهای دی الکتریکی و مغناطیسی مواد جاذب بوده و از رابطه ذیل حاصل می‌گردد [۲۴]:

$$Z_{in} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}}\tanh\left[j\left(\frac{2\pi}{c}\sqrt{\mu_r\varepsilon_r}\right)f.d\right] \qquad (۳$$

μ_r و ε_r بترتیب بیانگر نفوذپذیری مغناطیسی مختلط و گذردهی الکتریکی مختلط می‌باشند، C سرعت نور در فضای آزاد، f فرکانس و d ضخامت جاذب می‌باشد. در یک جاذب ایده آل، امپدانس ورودی برابر ۱ فرض می‌گردد (Z_{in}=1). در شکل ۵، تغییرات اتلاف انعکاسی بر حسب فرکانس در نمونه جذب از نانوذرات کامپوزیتی حاوی (Ni, Co) oxide- PANI- CNT گزارش گردیده است. میانگین اتلاف انعکاسی در محدوده فرکانسی Ku (۱۲,۴ تا ۱۸ گیگاهرتز) برای نمونه‌های حاوی ۱ و ۱۰ درصد وزنی از نانوذرات به ترتیب ۱/۱۴- دسی بل و ۴/۷- دسی بل می‌باشد.



شکل ۵- تغییرات اتلاف انعکاسی بر حسب فرکانس

الف- برای نمونه‌های جذب حاوی ۱ و ۱۰ درصد وزنی از نانوذرات ب- شماتیکی از فرآیند جذب توسط نانوذرات

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1396.6.3.7.8]

همانطور که مشاهده می‌گردد، اتلاف انعکاسی با افزایش درصد نانوذرات توزیع شده در نمونه جذب افزایش می‌یابد. این نتیجه را می‌توان بر این اساس توجیه نمود که با افزایش درصد نانوذرات بارگذاری شده انعکاس چند گانه را داشته که منجر به کاهش احتمال گریز امواج برخوردی گردیده و در نتیجه افزایش میزان جذب را شاهد می‌باشیم، همچنین با افزایش درصد نانوذرات توزیع شده در زمینه، انتقال موقعیت اتلاف ماکزیمم از ۱۵/۷۹ گیگاهرتز به ۱۷/۰۴ گیگاهرتز انجام می‌گیرد.

توانایی یک جاذب برای جذب مناسب امواج وابسته به پارامترهای مختلفی است که در در ذیل به مواردی از آنها اشاره می‌گردد: الف- بایستی میزان انعکاس از سطح جاذب حداقل باشد و به عبارتی موج توانایی ورود به داخل ماده جاذب را داشته باشد که این امر با تطابق امپدانسی بالای ماده جاذب و هوای اطراف حاصل می‌گردد. ب- همانطور که در شکل ۵- ب نشان داده شده است، هرچه امکان جابجایی موج در داخل نمونه جاذب بیشتر باشد و از خروج آن جلوگیری گردد آنگاه به نانوذرات بیشتری برخورد نموده و این بر جذب موثر ماده جاذب تاثیرگذار می‌باشد.

نانوکامپوزیت ساخته شده در این پژوهش متشکل از دو ماده دی الکتریک یعنی نانولوله کربنی و پلی آنیلین هادی و مواد مغناطیسی اکسید نیکل و کبالت می‌باشد. پلاریزاسیون الکتریکی در فصل مشترک نانولوله کربنی- پلی آنیلین و پلی آنیلین- نانوذرات اکسیدی (نیکل، کبالت) انجام می‌گیرد که ناشی از اختلاف در هدایت الکتریکی اجزای نانوکامپوزیت می‌باشد. اتلاف مغناطیسی ناشی از رزونانس فرومغناطیسی بوده و مقاومت الکتریکی اکسید نیکل و کبالت در برابر جریا نهای گردابی ایجاد شده توسط میدان‌های مغناطیسی نیز مکانیزمی موثر در اتلاف انرژی امواج می‌باشد. با افزایش نانوذرات توزیع گردیده در زمینه همانطور که در منحنی‌های ۵- الف مشاهده می‌گردد مکانیزم‌های اشاره گردیده با شدت و قدرت بیشتری عمل نموده و در نتیجه انرژی بیشتری از امواج تلف می‌گردد لذا استفاده از نانوکامپوزیت‌های چند جزئی سبب فعال گردیدن مکانیزم‌های جذب الکترومغناطیسی مختلفی گردیده و در نتیجه جذب مناسب امواج را خواهیم داشت و علاوه بر این بهینه سازی میزان نانوذرات توزیع شده در زمینه نیز منجر به افزایش میزان جذب می‌گردد.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش نانوکامپوزیت مغناطیسی- دی الکتریکی (Ni, Co) oxide - Pani- CNT با موفقیت توسط روش شیمیایی موثر، کم هزینه و ساده سنتز گردیده است که دارای ساختاری هسته- پوسته و زیر خوشه‌ای می‌باشد. مشخصه‌یابی ساختار و ترکیب توسط روش‌های FTIR، XRD، SEM و TEM و خواص مغناطیسی و نوری آن به ترتیب توسط VSM و UV-Vis انجام گرفت. در نهایت کاربرد این نانوذرات به عنوان جاذب امواج مزاحم در محدوده Ku توسط دستگاه آنالیزگر شبکه برداری انجام شد. از نتایج حاصل از مشخصه‌یابی و اتلاف انعکاسی می‌توان استنباط نمود که اتلاف دی الکتریک ناشی از پلاریزاسیون در اجزای نانوکامپوزیت و در فصل مشترک این اجزا با همدیگر می‌باشد و اتلاف مغناطیسی ناشی از رزونانس فرومغناطیس و اتلاف امواج در دیواره دامنه‌های مغناطیسی

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1396.6.3.7.8]

موجود در نانوذرات مغناطیسی می‌باشد. نمونه‌های جذب ساخته شده حاوی ۱ و ۱۰ درصد وزنی از نانوذرات به ترتیب بیشترین میزان جذب ۳/۸۱- دسی بل در فرکانس ۱۵/۷۹ گیگاهرتز و ۷/۳- دسی بل در فرکانس ۱۷/۰۴ گیگاهرتز را نشان داده‌اند.

مراجع

[1] S. Kimura, T. Kato, T. Hyodo, Y. Shimizu, and M. Egashira. "Electromagnetic wave absorption properties of carbonyl iron-ferrite/PMMA composites fabricated by hybridization method", Journal of magnetism and magnetic materials, Vol. 312, pp. 181-186, 2007.

[2] K. H. Wu, W. C. Huang, G. P. Wang, and T. R. Wu. "Effect of pH on the magnetic and dielectric properties of SiO2/ NiZn ferrite nanocomposites", Materials research bulletin, Vol. 40, pp. 1822-1831, 2005.

[3] Dosoudil, Rastislav, Marianna Ušáková, Jaroslav Franek, Jozef Sláma, and Vladimír Olah, "RF electromagnetic wave absorbing properties of ferrite polymer composite materials", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 304, pp. 755-757, 2006.

[4] S. M. Abbas, A. K. Dixit, R. Chatterjee, and T. C. Goel, "Complex permittivity, complex permeability and microwave absorption properties of ferrite–polymer composites", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 309, pp. 20-24, 2007.

[5] Tar-Hwa. Hsieh, Ko-Shan. Ho, Ching-Hung. Huang, Yen-Zen. Wang and Zhi-Long. Chen, "Electromagnetic properties of polyaniline/maghemite nanocomposites: I. The effect of re-doping time on the electromagnetic properties", Synthetic metals, Vol. 156, pp. 1355-1361, 2006.

[6] Sadia. Ameen, Vazid. Ali, M. Zulfequar, M. Mazharul Haq and M. Husain, "Preparation and measurements of electrical and spectroscopic properties of sodium thiosulphate doped polyaniline", Current Applied Physics, Vol. 9, pp. 478-483, 2009.

[7] Sook-Wai. Phang, Tetsuo. Hino, M. H. Abdullah, and Noriyuki Kuramoto, "Applications of polyaniline doubly doped with p-toluene sulphonic acid and dichloroacetic acid as microwave absorbing and shielding materials", Materials chemistry and physics, Vol. 104, pp. 327-335, 2007.

[8] Zhongzhu. Wang, Hong. Bi, Jian. Liu, Tao. Sun and Xianliang. Wu, "Magnetic and microwave absorbing properties of polyaniline/γ-Fe2O3 nanocomposite", Journal of magnetism and magnetic materials, vol. 320, pp. 2132-2139, 2008.

[9] Chen. Wang, Ruitao. Lv, Feiyu. Kang, Jialin. Gu, Xuchun. Gui and Dehai. Wu, "Synthesis and application of iron-filled carbon nanotubes coated with FeCo alloy nanoparticles", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 321, pp. 1924-1927, 2009.

[10] Zhuangjun. Fan, Guohua. Luo, Zengfu. Zhang, Li. Zhou and Fei. Wei, "Electromagnetic and microwave absorbing properties of multi-walled carbon nanotubes/polymer composites", Materials Science and Engineering B, Vol. 132, pp. 85-89, 2006.

[11] Wolfgang. Bauhofer and Josef Z. Kovacs, "A review and analysis of electrical percolati-on in carbon nanotube polymer composites", Composites Science and Technology, Vol. 69, pp. 1486-1498, 2009.

[12] Ying-ke. Zhou, Ben-lin. He, Wen-jia. Zhou, Jier. Huang, Xiao-hong. Li, Bin. Wu and Hu-lin. Li, "Electrochemical capacitance of well-coated single-walled carbon nanotube with polyaniline

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1396.6.3.7.8]

composites", Electrochimica Acta, Vol. 49, pp. 257-262, 2004.
[13] O'Connell, Michael J., Peter Boul, Lars M. Ericson, Chad Huffman, Yuhuang Wang, Erik Haroz, Cynthia Kuper, Jim Tour, Kevin D. Ausman, and Richard E. Smalley, "Reversib-le water-solubilization of single-walled carbon nanotubes by polymer wrapping", Chemical physics letters, Vol. 342, pp. 265-271, 2001.
[14] Guo, Limin and Zhangquan Peng, "One pot synthesis of carbon nanotube-polyaniline-gold nanoparticle and carbon nanotube-gold nanoparticle composites by using aromatic amine chemistry", Langmuir, Vol. 24, pp. 8971-8975, 2008.
[15] Lee, Huang-Yu, Walter Vogel and Peter Po-Jen Chu, "Nanostructure and surface composition of Pt and Ru binary catalysts on polyaniline-functionalized carbon nanotubes", Langmuir, Vol. 27, pp. 14654-14661, 2011.
[16] Dhand, Chetna, Sunil K. Arya, Surinder Pal Singh, Bhanu Pratap Singh, Monika Datta, and B. D. Malhotra, "Preparation of polyaniline/multiwalled carbon nanotube composite by novel electrophoretic route", Carbon, Vol. 46, pp. 1727-1735, 2008.
[17] S. Quillard, G. Louam, J. P. Buisson, M. Boyer, M. Lapkowski, A. Pron and S. Lefrant, "Vibrational spectroscopic studies of the isotope effects in polyaniline", Synthetic metals, Vol 84, pp. 805-806, 1997.
[18] Joanna M. Ramos, Maurício T. de M. Cruz, Anilton C. Costa Jr, Otávio Versiane and Claudio A. Téllez Soto, "Fourier transform infrared spectrum: Vibrational assignments using density functional theory and natural bond orbital analysis of the bis (guanidoacetate) nickel (II) complex", ScienceAsia, Vol. 37, pp. 247-255, 2011.
[19] Maensiri, Santi, Chivalrat Masingboon, Banjong Boonchom, and Supapan Seraphin, "A simple route to synthesize nickel ferrite (NiFe2O4) nanopartic-les using egg white", Scripta Materialia, Vol. 56, pp. 797-800, 2007.
[20] T. Jeevananda, Nam Hoon Kim, Seok-Bong Heo, and Joong Hee Lee, "Synthesis and characterization of polyaniline-multiwalled carbon nanotube nanocomposites in the presence of sodium dodecyl sulfate, " Polymers for Advanced Technologies, Vol. 19, pp. 1754-1762, 2008.
[21] Parvez A. Shaikh, R. C. Kambale, A. V. Rao and Y. D. Kolekar, "Structural, magnetic and electrical properties of Co–Ni–Mn ferrites synthesized by co-precipitation method", Jou-rnal of Alloys and Compounds, Vol. 492, pp. 590-596, 2010.
[22] D-X. Chen, O. Pascu, A. Roig and A. Sanchez, "Size analysis and magnetic structure of nickel nanoparticles", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 322, pp. 3834-3840, 2010.
[23] Ramo, Simon, John R. Whinnery and Theodore Van Duzer, Fields and waves in communication electronics, John Wiley & Sons, 2008.
[24] Sun, Shulin, Qiong He, Shiyi Xiao, Qin Xu, Xin Li and Lei Zhou, "Gradient-index meta surfaces as a bridge linking propagating waves and surface waves", Natur materials, Vol. 11, pp. 426-431, 2012.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1396.6.3.7.8]