بهبود اثربخشی حفاظتی سپرالکترومغناطیسی در برابر امواج راداری باند ایکس با استفاده از عامل پراکندگی

ویدا زراوشانی[۱]، علی خوانین[۲]، سید باقر مرتضوی[۳]، احمد جنیدی جعفری[۴]

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۰۴ تاریخ ویرایش: ۹۴/۰۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۴/۰۱

چکیده

زمینه و هدف: باند بسامدی X دارای محدوده بسامدی ۱۲/۵–۸ گیگاهرتز بوده و کاربردهای متنوعی مانند کنترل ترافیک هوایی، ارتباطات ناوبری دریایی و ... دارد. عدم کنترل مواجهه با این امواج می‌تواند باعث آسیب به سلامت شاغلین شود. استفاده از حفاظ، فعلاً راهکار کنترلی برتر در پیشگیری از مواجهه با امواج مایکروویو است. در این مطالعه سعی شد تأثیر تغییرات پراکندگی نانوذرات در تقویت یک نوع سپر الکترومغناطیس نانوکامپوزیتی بررسی گردد.

روش بررسی: در این تحقیق از رزین اپوکسی و نانوذرات اکسید نیکل (۷ درصد وزنی) در ضخامت‌های ۲، ۴ و ۶ میلی‌متر جهت ساخت نانو کامپوزیت‌ها استفاده شد. مدت زمان‌های ۱۰ و ۶۶ دقیقه به‌عنوان مدت زمان اختلاط نانوذرات در حلال جهت بررسی تغییرات پراکندگی در نظرگرفته شد و بر این اساس سپرهای ساخته شده با عنوان گروه‌های یک (مدت زمان اختلاط ۱۰ دقیقه) و دو (مدت زمان اختلاط ۶۶ دقیقه) نامگذاری شدند. با استفاده از دستگاه‌های X-ray Diffraction و Field Emission Scanning Electron Microscope نانو ذرات مورد استفاده مشخصه‌یابی و مقادیر اثربخشی حفاظتی نانو کامپوزیت‌ها با استفاده از دستگاه Vector Network Analyzer اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: پراکندگی نانوذرات در نانو کامپوزیت‌های گروه دو بهتر از گروه یک بود. میانگین مقادیر درصد کاهندگی در نانو کامپوزیت‌های گروه ۲ بیشتر از گروه ۱ بود. به گونه‌ای که این مقادیر برای ضخامت‌های مورد نظر در گروه ۱ به ترتیب برابر با ۴۶/۰۵، ۶۹/۰۳ و ۷۰/۸۳ و در گروه ۲ برابر با ۵۲/۰۲، ۷۸/۴۸ و ۸۴/۱۴ درصد بود. بیشترین درصد کاهندگی ۹۱/۱۲ درصد بود که توسط نانوکامپوزیت ۶ میلی‌متری (در گروه ۲) و در بسامد ۸/۸ گیگاهرتز به دست آمد. در این گروه با افزایش ضخامت، میانگین اثربخشی حفاظتی نانو کامپوزیت‌ها افزایش یافت.

نتیجه‌گیری: افزایش مدت زمان اختلاط نانوذرات در حلال باعث بهبود پراکندگی آن‌ها در ماتریس و افزایش مقادیر اثربخشی حفاظتی شد. می‌توان از این نانو کامپوزیت‌ها به‌عنوان حفاظ مناسب جهت کنترل امواج مایکروویو باند بسامدی X در محیط‌های کاری استفاده نمود و نانوکامپوزیت ۶ میلی‌متری در گروه دو، سپر مناسب برای این امر است. همچنین می‌توان برای کنترل شدت مایکروویو در بسامدهای ویژه‌ای مانند ۸/۸ و ۱۲/۵ گیگاهرتز به ترتیب از سپر ۶ و ۴ میلی‌متری در گروه ۲ استفاده نمود چراکه می‌توانند بیش از ۸۷ درصد از مقدار اولیه شدت امواج مورد نظر را کاهش دهند.

کلیدواژه‌ها: سپر الکترومغناطیس، مایکروویو، نانوکامپوزیت، اکسید نیکل، امواج الکترومغناطیس، پراکندگی.

مقدمه

امواج مایکروویو بخشی از امواج الکترومغناطیس هستند که دارای بسامد ۳۰۰ MHz تا ۳۰۰ GHz هستند و در صنایع نظامی، پزشکی، مخابرات و ...کاربردهای متنوعی دارند [۱، ۲]. باند بسامدی X که از دسته امواج مایکروویو است دارای محدوده بسامدی ۱۲–۸ گیگاهرتز بوده [۳] و طبق تعریف انجمن مهندسین برق و الکترونیک (Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)) دارای محدوده‌ی بسامدی ۱۲/۵ –۸ گیگاهرتز است [۴]. این باند بسامدی کاربردهای متنوعی از جمله ارتباطات ماهواره‌ای، راداری، شبکه‌ای و اینترنتی، فضایی، رادیویی، کنترل ترافیک هوایی، ارتباطات ناوبری دریایی و ایستگاه‌های هواشناسی دارد [۳]. انتشار این امواج در محیط کار می‌تواند شاغلین را تحت مواجهه قرار دهد. عدم کنترل مواجهه با امواج مایکروویو می‌تواند باعث آسیب به سلامت شاغلین شود؛ بنابراین کنترل این امواج به‌عنوان یکی از عوامل

۱- دانشجوی دکتری مهندسی بهداشت حرفه‌ای، گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲- (نویسنده مسئول) دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای)، دانشکده پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. khavanin@modares.ac.ir

۳- استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۴- دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

فیزیکی زیان‌آور محیط کار ضروری است. در یکی از مطالعات گذشته، اثرات بیولوژیک امواج الکترومغناطیس راداری روی ۴۰۵۸۱ سرباز قدیمی که مدت‌ها با این امواج مواجهه داشتند مطالعه شد که افزایش معنی‌دار ابتلا به سرطان خون غیر لیمفوسیتیک و نیز افزایش اندک مقدار مرگ و میر را در آن‌ها گزارش داد. این پژوهش می‌تواند نشان‌دهنده تعدادی از شاغلین مورد مواجهه با این امواج باشد [۵]. اقداماتی که در محیط‌های کاری برای کنترل امواج مایکروویو صورت می‌گیرد شامل کنترل مهندسی (استفاده از حفاظ[1] و...)، کنترل مدیریتی (رعایت حد مجاز، کاهش زمان مواجهه و ایجاد فاصله و...) و وسایل حفاظت فردی (لباس‌های حفاظتی) می‌باشد [۶، ۷]. یکی از انواع کنترل‌های مدیریتی که کاربرد فراوانی دارد رعایت حد مجاز مواجهه می‌باشد. OSHA[2] حد مجاز چگالی توان مؤثر در مدت زمان حداکثر ۰/۱ ساعت را برای بازه بسامدی ۱۰ مگاهرتز تا ۱۰۰ گیگاهرتز، ۱۰ میلی وات بر سانتی‌مترمربع تعریف نموده است. ACGIH[3] مقدار TLVs[4] را در سال ۲۰۰۸ برای پرتوهای مایکروویو در بازه بسامدی ۳ تا ۱۵ گیگاهرتز، ۱۰ میلی وات بر سانتی‌مترمربع برای ۶ دقیقه مواجهه اعلام نموده است [۶]. بر اساس استاندارد شماره ۸۵۶۷ که در سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به تصویب رسیده است حد مجاز پرتوگیری با پرتوهای رادیویی و مایکروویو برای شاغلین در بازه بسامدی ۲ تا ۳۰۰ گیگاهرتز ، ۱۳۷ ولت بر متر [5] یا ۰/۳۶ آمپر بر متر [6] یا ۵۰ وات بر مترمربع [7] برای مدت زمان حداکثر ۶ دقیقه تعریف شده است [۸]. بدیهی است این امر محدودیت‌های مختلفی را در محیط‌های کاری تحمیل می‌کند بنابراین اهمیت و اولویت استفاده از حفاظ به‌عنوان کنترل‌های مهندسی بیش از پیش مطرح می‌گردد. کنترل‌های مهندسی بهترین رویکرد ایمنی برای مایکروویو و امواج رادیویی هستند و استفاده از حفاظ می‌تواند مواجهه را به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد [۶]. در علم الکترومغناطیس، شاخه‌ای از دانش به‌عنوان سازگاری الکترومغناطیسی[8] وجود دارد که به بررسی اثرات مختلف سیستم‌های الکترومغناطیسی در مجاورت یکدیگر و ساز و کار این اثرات می‌پردازد و در کنار آن، شاخه‌ای دیگر از دانش به‌عنوان سپرهای مداخله‌ای الکترومغناطیس[9] وجود دارد. در این حوزه از حفاظ‌های مختلفی استفاده می‌شود [۹]. سپرهای فلزی یکی از متداول‌ترین این حفاظ‌ها می‌باشند که شامل ورقه‌های[10] سخت فلزی، توری‌ها و ورقه‌های فلزی نازک[11] می‌باشند [۲، ۶، ۱۰، ۱۱] و جنس آن‌ها بیشتر از مس ، آلومینیوم و فولاد می‌باشد [۶]. اما این نوع حفاظ‌ها برای بسامدهای پایین‌تر مناسب هستند و این یکی از معایب این حفاظ‌ها است [۱۲]. از آنجایی که سپرهای فلزی نقص‌هایی مانند وزن سنگین و کاهش مقاومت در برابر خوردگی دارند و بیشتر برای بسامدهای پایین مناسب هستند [۱۳]. بنابراین استفاده از کامپوزیت‌های پلیمری به دلیل داشتن امتیازهایی مانند وزن سبک، قیمت پائین، چندمنظوره بودن، مقاومت در برابر خوردگی و اثربخشی مناسب جهت کنترل امواج مایکروویو، برای حفاظت در برابر این امواج گسترش یافتند [۱۳-۱۶]. یکی از پلیمرهایی که در این حوزه به فراوانی استفاده شد، اپوکسی[12] است. اپوکسی به دلیل داشتن خواص مکانیکی و شیمیایی عالی ، خواص الکتریکی مناسب، قابلیت پخت در دمای اتاق، پایداری در برابر حرارت، خواص ضد باکتریایی و ... مورد توجه قرار گرفت. این در حالی است که کمتر ماده‌ای دارای تمامی این خواص

1. Shield
2. Occupational Safety and Health Administration
3. American Conference of Industrial Hygienists
4. Threshold limited values
5. واحد شدت میدان الکتریکی
6. واحد شدت میدان مغناطیسی
7. واحد چگالی توان
8. Electromagnetic Compatibility
9. Electromagnetic interference shielding (EMI)
10. Panels
11. Foils
12. Epoxy

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

است. [۱۷–۱۹]. بنابراین در بسیاری از تحقیقاتی که در خصوص ساخت سپرهای الکترومغناطیس انجام شده، از اپوکسی رزین استفاده شده است [۱۲، ۱۷، ۱۹–۲۴]. امروزه با ظهور فناوری نانو، استفاده از نانو کامپوزیت‌ها به‌عنوان لایه محافظ جهت پیشگیری از تداخلات الکترومغناطیسی رویکرد جدیدی است که اخیراً مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است [۱۲، ۱۴]. تاکنون در ساخت این نانو کامپوزیت‌ها از نانوذرات مختلفی به‌عنوان ماده‌ی پر کننده[۱۳] (فیلر)[۱۴] استفاده شده است. اخیراً نانوذرات اکسید نیکل به دلیل خواص کاتالیزوری، الکترونی و مغناطیسی خود مورد توجه قرار گرفته است [۲۵، ۲۶]. ذرات اکسید نیکل در اندازه‌های بیشتر از نانو دارای خاصیت سوپر پارامغناطیس [۲۷] بوده و جزء نیمه هادی‌های نوع P محسوب می‌شود [۲۵، ۲۸، ۲۹]. اگرچه بیشترین کاربرد اکسید نیکل در تولید باتری می‌باشد ولی کاربردهای دیگری مانند ساخت میکروباتری، پوشش دهی پلاستیک و پارچه، ساخت کاتالیست، حسگر[۱۵] دما و غیره نیز دارد [۲۵، ۲۶] امّا برای ساخت سپر الکترومغناطیس کمتر به آن توجه شده است. در این مطالعه سعی شد تا با بهره‌گیری از مباحث سازگاری الکترومغناطیسی و سپرهای مداخله‌ای الکترومغناطیسی، ضمن ساخت سپر نانوکامپوزیتی (اپوکسی / نانوذرات اکسید نیکل) جدید با رویکرد کنترل مهندسی مواجهه شغلی، اثر پراکندگی نانوذرات بر تقویت اثربخشی حفاظتی[۱۶] سپرهای مذکور نیز، بررسی گردد.

بهبود پراکندگی یکی از عوامل مؤثر در تقویت سپرهای الکترومغناطیسی و افزایش مقادیر اثربخشی حفاظتی است. امروزه ایجاد پراکندگی مطلوب، یک موضوع مهم و البته چالش‌برانگیز در بین محققان است که نقش کلیدی در دستیابی به سپرهای قوی‌تر را بازی می‌کند [۳۰].

با کاهش اندازه ماده‌ی پر کننده، پراکندگی این ذرات بسیار مشکل‌تر می‌شود. [۱۰، ۳۱]؛ بنابراین پراکندگی نانوذرات یکی از مباحث مهم در ساخت سپرهای نانوکامپوزیتی است. فراصوت (اولتراسونیک)[۱۷] یکی از معمول‌ترین روش‌ها به منظور ازدیاد پراکندگی نانوذرات و یا جلوگیری از انباشتگی مجدد آن‌ها در طی فرایند ترکیب و آمیزه کاری نانو کامپوزیت‌ها است [۳۲]. در این مطالعه نیز از حمام اولتراسونیک برای بهبود پراکندگی استفاده شده است.

روش بررسی

در این تحقیق که به روش تجربی در آزمایشگاه‌های گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای دانشگاه تربیت مدرس انجام شد از رزین اپوکسی با نام تجاری EI-403 و عامل پخت پلی آمید و آمین ایمادازولین[۱۸] با نام تجاری HA-14 به‌عنوان ماتریس (Matrix)[۱۹] و نانو ذرات اکسیدنیکل در اندازه‌ی ۳۵ نانومتر به‌عنوان ماده‌ی پرکننده استفاده شد. نانو ذرات اکسیدنیکل به شکل کروی و با خلوص ۹۹٪ از شرکت Nanomaterial Us-Research تهیه شد. در این مطالعه به منظور بررسی تأثیر پراکندگی نانوذرات بر اثربخشی حفاظتی سپرهای الکترومغناطیس، سپرهای نانوکامپوزیتی در دو گروه ساخته شدند. گروه ۱ که در آن، مدت زمان اختلاط نانو ذرات اکسیدنیکل و کلروفرم (حلال) ۱۰ دقیقه بود و گروه ۲ که در آن، مدت زمان اختلاط نانو ذرات اکسیدنیکل و کلروفرم (حلال) ۶۶ دقیقه بود. نانو کامپوزیت‌های مورد نظر در یک غلظت (۷٪ وزنی) و ۳ ضخامت مختلف (۲، ۴ و ۶ میلی‌متری) و در ابعاد ۳/۵ × ۳/۵ سانتی‌متر تهیه شدند. شایان ذکر است از هر ضخامت، سه نمونه و در مجموع ۱۸ نمونه ساخته شد.

---

[۱۳]. در مواد کامپوزیتی، ماده‌ی پر کننده به ماده‌ای گفته می شد که به صورت پراکنده، در بستر ماده‌ی اصلی که بخش اعظم ماده کامپوزیتی را تشکیل می‌دهد پراکنده شده و به منظور تقویت خواص بستر یا ماتریس استفاده می‌شود.

[14]. Filler

[15]. Sensor

[16]. Shielding Effectiveness

[17]. Ultrasonic

[18]. Polyamido Amine Immadazolin

[۱۹]. در مواد کامپوزیتی ، ماده‌ی اصلی که بخش اعظم ماده کامپوزیتی را تشکیل می‌دهد را بستر یا ماتریس می گویند.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

جدول ۱- توزین وزنی مواد مورد استفاده در ساخت نانوکامپوزیتهای مورد مطالعه

مواد مورد استفاده	ضخامت نانوکامپوزیتهای مورد مطالعه(بر حسب میلیمتر)		
	۲	۴	۶
	وزن مواد مصرفی (بر حسب گرم)		
اپوکسی	۲/۴۶۸	۴/۹۳۶	۷/۴۰۰
نانوذرات اکسید نیکل	۰/۱۷۳	۰/۳۴۶	۰/۵۱۸
کلروفرم	۰/۳۶۳	۰/۷۲۵	۱/۰۸۸
عامل سیلانی	۰/۰۱۷	۰/۰۳۵	۰/۰۵۲

توزین وزنی مواد مورد استفاده جهت ساخت هر یک از نانو کامپوزیت‌های مورد نظر در جدول شماره ۱ ارائه شده است. برای ساخت نانو کامپوزیت‌ها ابتدا نانو ذرات اکسیدنیکل و کلروفرم (حلال) ترکیب و مخلوط حاضر در مدت زمان‌های ۱۰ و ۶۶ دقیقه در حمام اولتراسونیک قرار داده شدند. سپس از یک عامل سیلانی با عنوان آمینو پروپیل تری اتوکسی سیلان[20] به‌عنوان جفت کننده استفاده شد [۱۲]. در مرحله بعد اپوکسی رزین به مخلوط فوق اضافه و مجدداً با استفاده از همزن مکانیکی به مدت ۳ دقیقه با نرخ ۷۰۰ دور در دقیقه با یکدیگر ترکیب شدند. سپس عامل پخت رزین (HA-14) اضافه شد و مخلوط مورد نظر به مدت ۳ دقیقه با نرخ ۷۰۰ دور در دقیقه در همزن مکانیکی ترکیب و پس از آن به مدت ۸ دقیقه در حمام اولتراسونیک قرار داده شد. در نهایت مواد مورد نظر درون قالب‌های سیلیکونی ریخته و به منظور حباب‌گیری در آون خلاء قرار داده شدند. پس از آن قالب‌ها در سطحی صاف و تراز و در دمای اتاق (۲۵°-۲۱°) قرار داده شدند تا عملیات پخت تکمیل شود. نمونه‌های ساخته شده پس از هفت روز به استحکام کامل رسیده و از قالب خارج شدند.

با استفاده از دستگاه‌های XRD[21] و FESEM[22] نانوذرات مورد استفاده مشخصه یابی شدند [۳۳]. شناسایی ترکیب اکسید نیکل با استفاده از دستگاه پراش اشعه ایکس مدل X Pert MPD ساخت شرکت فیلیپس هلند انجام شد و مورفولوژی نانو کامپوزیت‌های ساخته شده با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترون روبشی انتشار میدانی بررسی گردید. برای تهیه این تصاویر لایه نشانی طلا، روی نمونه‌ها انجام و از میکروسکوپ الکترون روبشی انتشار میدانی مدل HITACHI S-4160 جهت تهیه تصاویر از سطح مقطع نمونه‌ها استفاده شد. تصویربرداری مورد نظر، در پنج نقطه از هر یک از نانو کامپوزیت‌ها مطابق شکل ۱ انجام شد.

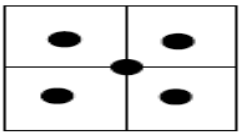
با استفاده از دستگاه Network (V.N.A) Vector Analyzer میزان اثربخشی حفاظتی سپرهای ساخته شده در محدوده‌ی بسامدی ۱۲/۵-۸ گیگاهرتز اندازه‌گیری شد. برای این کار با استفاده از دستگاه مذکور در ابتدا پارامترهای پراکندگی اندازه‌گیری شد و سپس با استفاده از معادلات ۱ و ۲ مقدار اثربخشی حفاظتی کل، برای هر یک از سپرهای ساخته شده به دست آمد [۱۲، ۳۴].

$$T = |S_{21}| = |S_{12}| \quad \text{معادله (۱)}$$

$$SE\,(\text{dB}) = -20\ \log_{10}|T| \quad \text{معادله (۲)}$$

پارامترهای معادلات فوق به شرح زیر می‌باشد:

S_{21} و S_{12} : پارامترهای پراکندگی مربوط به مقدار انرژی عبوری موج، T: توان موج عبوری، SE: مقدار اثربخشی حفاظتی



شکل ۱- نقاط مورد تصویربرداری با استفاده از FESEM

[20]. 3-Aminopropyl Triethoxy-Silane (APTES)
[21]. X- Ray Diffraction
[22]. Field Emission scanning electron microscope

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

سپس با استفاده از معادله ذیل درصد کاهندگی سپرها به صورت $SE_{\%}$ محاسبه شد [۳۵]:

معادله (۳)

$$\mathrm{SE}(+\mathrm{dB}) = 10log\frac{Pi}{Pt} \rightarrow SE_{\%} = \left(1-\left(\frac{1}{10^{\frac{SE}{10}}}\right)\right)\times 100$$

در این مطالعه سهم نانوذرات اکسید نیکل در ایجاد اثربخشی حفاظتی کل، در هر دو گروه تعیین شد. این امر با استفاده از تفاضل مقدار $SE_{\%}$ نانو کامپوزیت‌ها از مقادیر $SE_{\%}$ نمونه‌های شاهد به دست آمد. نمونه‌های شاهد مانند نمونه‌های نانوکامپوزیتی ساخته شدند با این تفاوت که در این نمونه‌ها از نانو ذرات اکسیدنیکل استفاده نشد.

یافته‌ها

جدول شماره ۲ مقادیر درصد اثربخشی حفاظتی را در بسامدهای مرکزی محدوده‌ی بسامدی ۱۲/۵–۸ گیگاهرتز نشان می‌دهد. مقایسه این مقادیر در دو گروه نانوکامپوزیت نشان می‌دهد، نانو کامپوزیت‌های گروه دو، در محدوده‌ی بسامدی ۱۲/۵–۱۰ گیگاهرتز، دارای مقادیر $SE_{\%}$ بیشتری نسبت به گروه یک هستند (به استثناء ضخامت ۲ در بسامد ۱۲ گیگاهرتز).

علاوه بر این نانوکامپوزیت ۶ میلی‌متری در گروه دو،

جدول ۲– مقادیر $SE_{\%}$ نانوکامپوزیتهای ساخته شده در بسامدهای مرکزی محدوده‌ی بسامدی ۱۲/۵–۸ گیگاهرتز

ضخامت (میلیمتر)	۲		۴		۶	
بسامد(گیگاهرتز)	گروه یک	گروه دو	گروه یک	گروه دو	گروه یک	گروه دو
۸	۵۲/۷۰	۴۷/۹۴	۸۰/۴۴	۸۰/۲۰	۸۶/۶۲	۸۹/۷۲
۸/۵	۵۷/۸۸	۴۷/۷۵	۸۲/۱۳	۷۹/۹۹	۸۷/۱۹	۸۸/۱۳
۹	۴۲/۳۲	۶۱/۶۱	۶۹/۷۶	۸۴/۱۲	۷۴/۶۹	۸۹/۱۳
۹/۵	۵۷/۶۹	۳۸/۴۹	۷۹/۰۹	۶۹/۰۲	۸۲/۰۴	۷۵/۹۰
۱۰	۳۲/۸۱	۵۱/۹۳	۶۱/۰۴	۸۱/۱۵	۶۳/۶۵	۸۵/۲۸
۱۰/۵	۴۷/۸۵	۵۵/۹۳	۷۰/۷۱	۷۸/۷۷	۷۲/۹۴	۸۵/۸۹
۱۱	۳۳/۶۷	۴۷/۵۶	۵۵/۴۰	۷۲/۰۱	۵۳/۱۸	۷۹/۴۰
۱۱/۵	۴۸/۸۷	۵۰/۸۷	۶۴/۷۴	۷۷/۵۵	۵۹/۲۲	۸۲/۹۵
۱۲	۵۶/۶۴	۵۲/۷۹	۶۹/۶۰	۷۷/۶۲	۶۳/۳۸	۸۱/۳۸
۱۲/۵	۵۳/۵۹	۷۰/۰۰	۶۸/۱۵	۸۷/۹۵	۶۱/۴۲	۸۴/۰۸

جدول ۳– میانگین و حداکثر مقادیر اثربخشی حفاظتی (برحسب درصد) برای نانوکامپوزیتهای ساخته شده در باند بسامدی X

گروه مورد مطالعه	ضخامتها (بر حسب میلیمتر)		
	۲	۴	۶
	$SE_{\%\ Average}$ (±SD)		
نانوکامپوزیتهای گروه یک	۴۶/۰۵ (±۰/۶۳)	۶۹/۰۳ (±۰/۹۸)	۷۰/۸۳ (۱±/۴۵)
نانوکامپوزیتهای گروه دو	۵۲/۰۲ (±۰/۶۱)	۷۸/۴۸ (±۰/۹۶)	۸۴/۱۴ (±۱/۱۵)
	$SE_{\%\ MAX}$		
نانوکامپوزیتهای گروه یک (بسامد)*	۵۹/۶۰ (۸/۵۵)	۸۲/۴۵ (۸/۵۳)	۸۷/۲۹ (۸/۵۱)
نانوکامپوزیتهای گروه دو (بسامد)	۷۰/۰۰ (۱۲/۵)	۸۷/۹۵ (۱۲/۵)	۹۱/۱۲ (۸/۸)

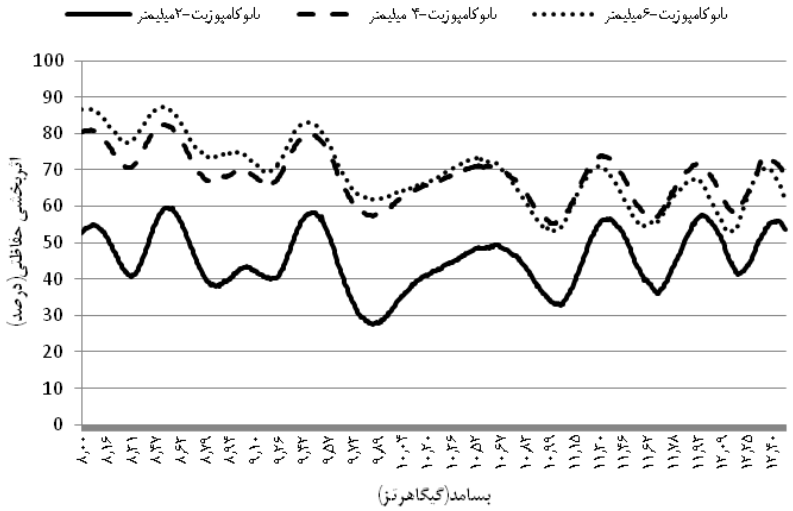
*بسامد مورد نظر بر حسب گیگاهرتز می باشد.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

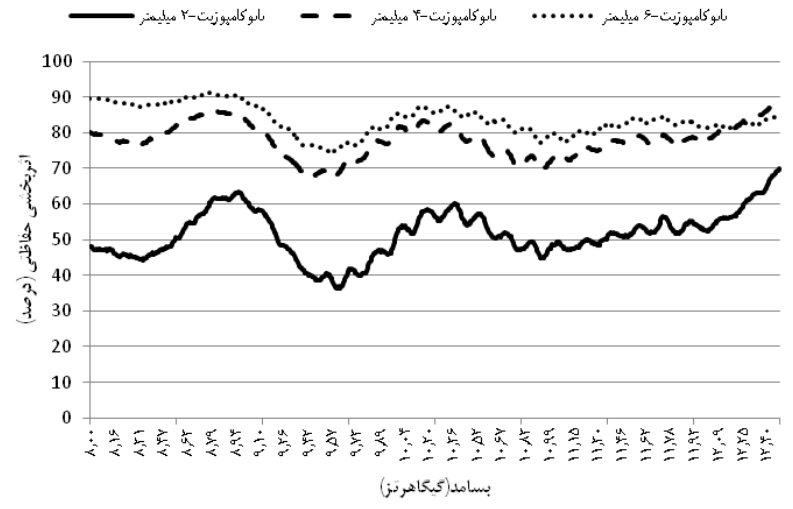
در تمامی بسامدها- به استثناء بسامد ۹/۵ گیگاهرتز- مقادیر SE% بیشتری نسبت به گروه یک دارد.

جدول شماره ۳ میانگین و حداکثر مقادیر SE% را برای هر دو گروه نانوکامپوزیت ساخته شده در باند بسامدی X نشان می‌دهد. بر این اساس تمامی مقادیر، در هر سه ضخامت در گروه دو بیشتر از گروه یک است.

این جدول نشان می‌دهد در هر دو گروه، ضخامت ۲ میلی‌متر دارای کمترین مقدار میانگین و ضخامت ۶ میلی‌متر دارای بیشترین مقدار میانگین SE% است. در گروه یک، حداکثر مقدار SE% در هر سه ضخامت در بسامدهای ابتدایی باند X به دست آمده در حالی که در



نمودار۱ – مقادیر اثربخشی حفاظتی هر یک از سپرهای نانوکامپوزیتی گروه یک در باند بسامدی X

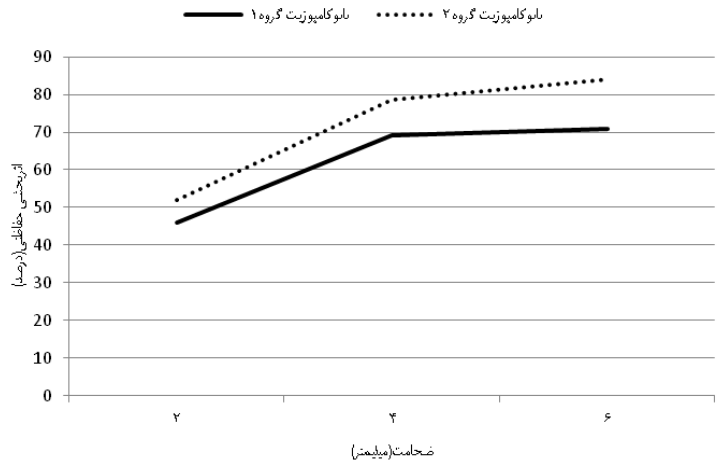


نمودار ۲- مقادیر اثربخشی حفاظتی هر یک از سپرهای نانوکامپوزیتی گروه دو در باند بسامدی X

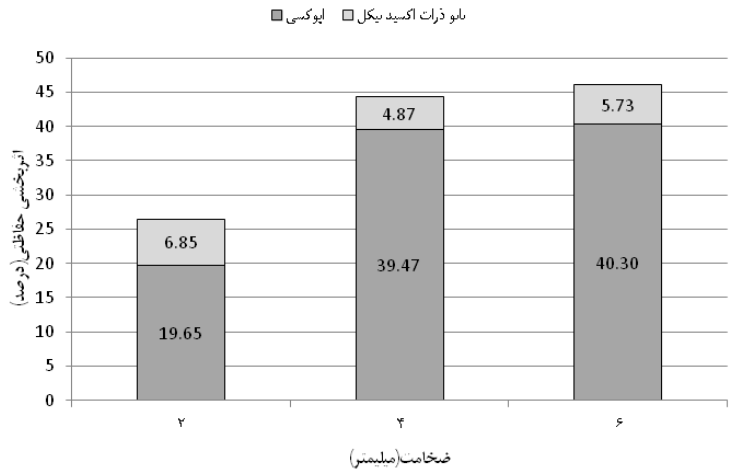
[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

گـروه دو، فقـط در ضـخامت ۶ میلی‌متـر، ایـن نتیجـه حاصل شده است. حداکثر مقدار SE% در ضخامت‌های ۲ و ۴ میلی‌متر در گروه دو، در بسـامد ۱۲/۵ گیگـاهرتز به دست آمده است. نمودار ۱ مقادیر اثربخشی حفاظتی هر یک از ضخامت‌های نانو کامپوزیت‌های گروه یک را در باند بسامدی X نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار، مقادیر SE%، در محدوده ابتدایی باند X بیشتر از سایر بخش‌های این باند بسامدی است.

در این گروه در ابتـدای بانـد فرکانسـی، ضـخامت ۶ میلی‌متری، بیشترین اثربخشـی را داشـته اسـت امّـا از بسـامد ۱۰/۶۸ گیگـاهرتز بـه بعـد، نانوکامپوزیـت ۴ میلی‌متری دارای بیشترین اثربخشی می‌شود؛ به عبارت دیگـــر، در محـــدوده‌ی بســـامدی ۱۲/۵ – ۱۰/۶۸ گیگاهرتز، مقادیر اثربخشی حفاظتی با افزایش ضخامت ارتباط مستقیمی ندارد. به‌گونه‌ای که در نانوکامپوزیت ۶ میلی‌متری میانگین اثربخشی حفاظتی تا قبل از بسـامد



نمودار ۳- مقایسه میانگین کاهندگی در دو گروه سپر نانوکامپوزیتی ساخته شده(در باند ایکس)

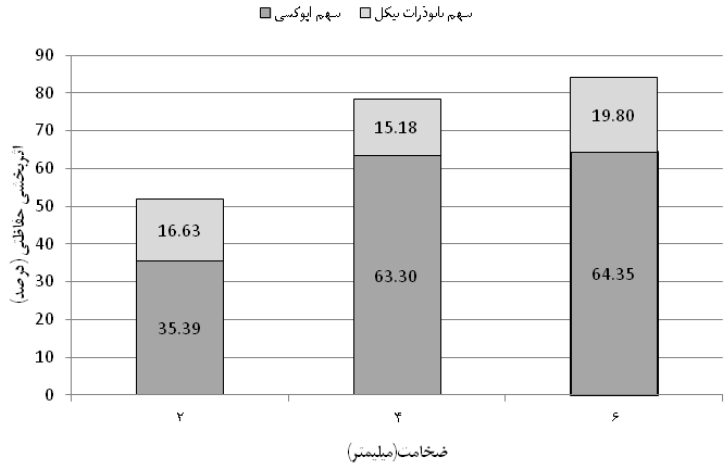


نمودار ۴- سهم نانوذرات اکسید نیکل و اپوکسی در اثربخشی حفاظتی سپرهای نانوکامپوزیتی گروه یک (بر حسب درصد)

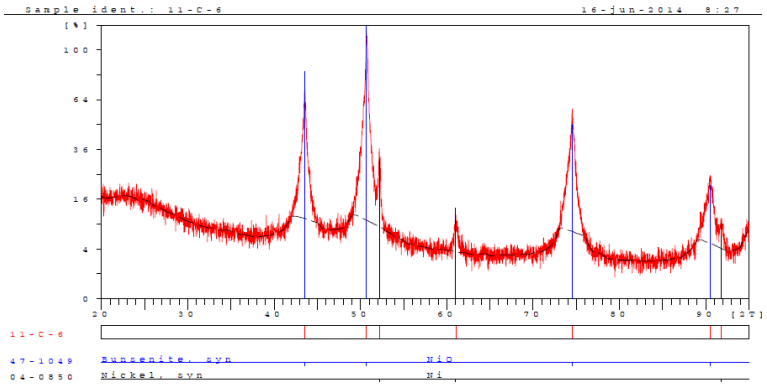
[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

۱۰/۶۸ برابر با ۶/۱۰ دسی‌بل و بعد از آن ۴/۲۵ دسی‌بل می‌شود.

نمودار ۲ مقادیر اثربخشی حفاظتی هر یک از ضخامت‌های نانو کامپوزیت‌های گروه دو را در باند بسامدی X نشان می‌دهد. طبق این نمودار، ضخامت‌های ۲ و ۶ میلی‌متر به ترتیب کمترین و بیشترین مقادیر SE را در تمامی محدوده بسامدی X دارند؛ به عبارت دیگر در تمامی محدوده بسامدی باند X با افزایش مقدار ضخامت، مقادیر SE هم افزایش یافته و مقادیر اثربخشی با افزایش ضخامت ارتباط مستقیمی دارد در حالی که چنین حالتی در گروه یک مشاهده نمی‌شد. نکته قابل‌توجه این است که مقادیر این نمودار بر خلاف نمودار ۱ از نوسانات کمتری نیز برخوردار است و مقادیر انحراف معیار در هر گروه، این امر را تائید می‌نماید. نمودار ۳ الگوی کاهندگی در دو گروه نانوکامپوزیت ساخته شده را نشان می‌دهد. بر این اساس، مقدار کاهندگی در نانو کامپوزیت‌های گروه دو بیشتر از گروه یک است. این شکل نشان می‌دهد، الگوی کاهندگی در هر دو گروه، روند صعودی دارد. در هر دو گروه، افزایش ضخامت از ۲ به ۴ میلی‌متر، تفاوت چشمگیری در اثربخشی حفاظتی می‌گذارد امّا این مقدار افزایش، در تغییر ضخامت ۴ به ۶ میلی‌متر

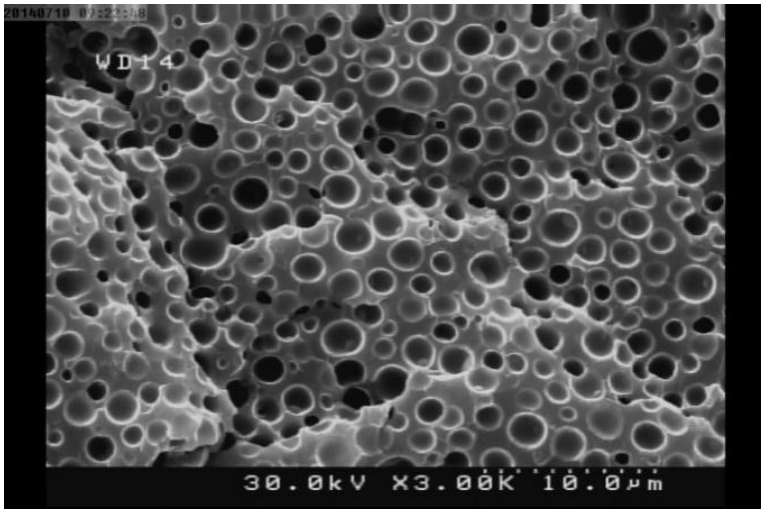


نمودار ۵- سهم نانوذرات اکسید نیکل و اپوکسی در اثربخشی حفاظتی سپرهای نانوکامپوزیتی گروه دو (بر حسب درصد)

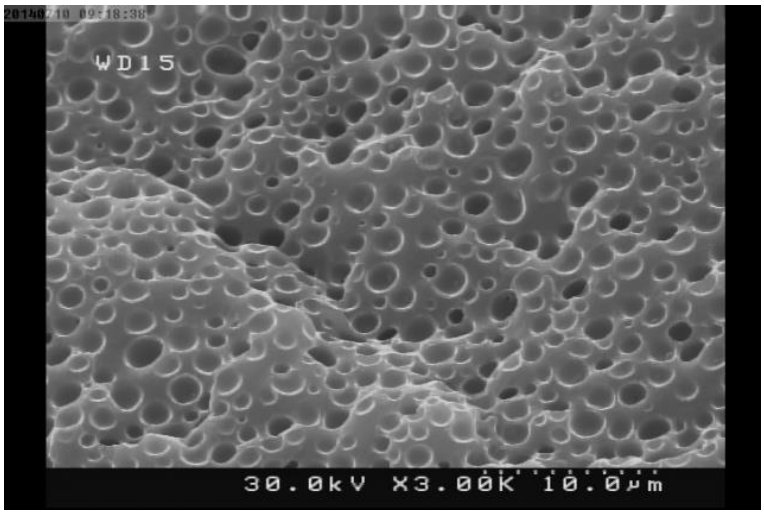


نمودار ۶- طیف XRD از نمونه نانوکامپوزیت ساخته شده (حاوی نانوذرات اکسید نیکل)

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]



شکل ۲- تصویر FESEM از نمونه نانوکامپوزیت گروه ۱ (حاوی نانوذرات اکسید نیکل)



شکل ۳- تصویر FESEM از نمونه نانوکامپوزیت گروه دو (حاوی نانوذرات اکسید نیکل)

دیده نمی‌شود.

اگرچه تفاضل مقدار SE% در ضخامت‌های ۴ و ۶ میلی‌متر در گروه دو بیشتر از گروه یک است اما به نظر می‌رسد در هر دو گروه مقادیر SE% ضخامت ۶ در مقایسه با ضخامت ۴ میلی‌متر قابل‌توجه نیست.

نمودار ۴ و ۵ سهم نانو ذرات اکسید نیکل و اپوکسی را در ایجاد اثربخشی حفاظتی کل در هر دو گروه نانوکامپوزیت مورد مطالعه نشان می‌دهد. مقایسه این دو نمودار نشان می‌دهد با افزایش مدت زمان اختلاط نانوذرات از ۱۰ به ۶۶ دقیقه، سهم نانو ذرات اکسید نیکل در ایجاد اثربخشی حفاظتی کل، افزایش می‌یابد. در عین حال این عمل توانسته مقادیر میانگین SE% کل را در گروه دو در مقایسه با گروه یک افزایش دهد.

نکته قابل‌توجه این است که در هر دو گروه، در ضخامت ۴ میلی‌متر، نقش نانوذرات، کمتر از دو ضخامت دیگر است و اپوکسی سهم بیشتری را در ایجاد اثربخشی حفاظتی کل داشته است.

نتایج آنالیز نمونه با استفاده از پراش اشعه ایکس و نیز تصویربرداری FESEM در نمودار ۶ و شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. نتایج XRD وجود نانوذرات اکسید

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

نیکل را در بستر اپوکسی تائید می‌کند (نمودار ۶) و تصاویر حاصل از FESEM نیز مقایسه پراکندگی نانوذرات اکسیدنیکل را در گروه‌های یک و دو نشان می‌دهد (شکل‌های ۲ و ۳). شکل ۳، ایجاد پراکندگی بهتر در نانوذرات اکسید نیکل موجود در نانو کامپوزیت‌های گروه دو را در مقایسه با گروه یک نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه که هدف آن تقویت اثربخشی سپرهای نانوکامپوزیتی جهت حفاظت در برابر امواج مایکروویو باند بسامدی X است، تأثیر مدت زمان اختلاط نانوذرات در حلال، به‌عنوان یک عامل مؤثر در بهبود پراکندگی نانوذرات بررسی شد. مقایسه تصاویر حاصل از FESEM از سطح مقطع نانو کامپوزیت‌های مورد بررسی نشان می‌دهد، افزایش مدت زمان اختلاط موجب بهبود پراکندگی نانوذرات شده است (شکل‌های ۲ و ۳). کنترل پراکندگی نانوذرات در ماتریس پلیمری یکی از مباحث بسیار حساس، حیاتی و چالش‌برانگیز است [۳۶] نتایج تجربی نشان داده‌اند که در اغلب مواد با افزایش مقدار انرژی عملیات ترکیب و اختلاط نانوذرات (زمان اختلاط یا سرعت اختلاط)، می‌توان به پراکندگی بهتر دست یافت [۳۰]. به عبارت دیگر می‌توان به این نتیجه رسید که افزایش مدت زمان اولتراسونیک و انجام همزن مکانیکی توانسته باعث بهبودی پراکندگی نانوذرات شود که با نتایج Qing و همکاران نیز همخوانی دارد [۳۷].

Bonaldi و همکاران نیز توانستند با استفاده از اولتراسونیک و همزن مکانیکی موفق به ایجاد پراکندگی مطلوب نانوذرات نقره و نانولوله‌های کربنی در کامپوزیت‌های مورد مطالعه و تهیه سپرهای همگن شوند [۳۵]. در نمودارهای ۱و۲ مقادیر اثربخشی حفاظتی دو گروه نانوکامپوزیت ساخته شده در باند بسامدی x نشان داده شده است. این نمودارها نشان می‌دهند در گروه یک، مقادیر SE در برابر بسامد از تغییرات شدیدتری نسبت به گروه دو برخوردار است . به عبارت دیگر در گروه یک، مقادیر SE% وابستگی شدیدتری به بسامد دارند. به‌گونه‌ای که پراکندگی داده‌ها در گروه یک بیشتر از گروه دو است و این امر را می‌توان از روی مقادیر انحراف استاندارد موجود در جدول ۳ مشاهده کرد. همچنین با افزایش مدت زمان اختلاط (از ۱۰ به ۶۶ دقیقه) علاوه بر بهبود پراکندگی نانوذرات ، وابستگی مقادیر SE% به بسامد کمتر و نیز اثربخشی حفاظتی در تمامی محدوده بسامدی باند X بیشتر شده است. در این مطالعه بهبود پراکندگی نانو ذرات توانسته موجب افزایش اثربخشی حفاظتی نانو کامپوزیت‌های گروه دو شود (جدول۳ و نمودار ۲). به نظر می‌رسد ایجاد پراکندگی یکنواخت در نانو کامپوزیت‌های گروه دو، باعث سهولت تشکیل شبکه رسانایی (Conductive network) شده و مقادیر اثربخشی حفاظتی کل را در این نانو کامپوزیت‌ها افزایش داده است [۳۸]. در کاربردهای الکتریکی و حرارتی ، پراکندگی خوب مقدار اندک نانوذرات در کامپوزیت، یک موضوع کلیدی و مهم در تشکیل شبکه در داخل ماتریس می‌باشد [۳۲] بنابراین بهبود پراکندگی می‌تواند باعث افزایش مقدار SE شود [۳۸] .به نظر می‌رسد در مطالعه حاضر نیز بهبود پراکندگی نانوذرات توانسته با ایجاد شبکه رسانایی در داخل ماتریس موجب افزایش مقادیر اثربخشی حفاظتی نانو کامپوزیت‌های گروه دو شود. شایان ذکر است مقدار ماده‌ی پرکننده، نسبت طول به قطر ماده‌ی پرکننده، جهت‌گیری ماده‌ی پرکننده به همراه پراکندگی ماده‌ی پرکننده، چهار عامل مؤثر بر رسانایی یک سپر نانوکامپوزیتی می‌باشد [۳۹]. در این مطالعه مقادیر اثربخشی حفاظتی سپرهای ساخته شده بر اساس درصد کاهندگی محاسبه شد. جدول ۳ را می‌توان ماتریس کاهندگی نامید. در این جدول مقدار تضعیف هر یک از سپرها ، بر حسب درصد کاهندگی ارائه و خانه‌های این جدول به رنگ‌های خاکستری و سفید نشان داده شده که به ترتیب مقادیر کمتر و مساوی ۵۰ درصد و بیشتر از ۵۰ درصد کاهندگی را نشان می‌دهند. بر اساس این جدول، توانایی همه سپرهای ساخته شده به‌جز

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

نانوکامپوزیت ۲ میلی‌متری در گروه یک، بیش از یک لایه نیم کننده است. برای مثال سپر نانوکامپوزیتی ۶ میلی‌متری در گروه دو توانسته به طور متوسط ، بیش از ۸۴ درصد از مقدار اولیه انرژی امواج مایکروویو مورد مطالعه را کاهش دهد. در این مطالعه لایه نیم کننده به‌عنوان ضخامتی از یک سپر که مقدار تشعشع را به نصف مقدار اولیه کاهش می‌دهد، تعریف می‌شود.همچنین این لایه را می‌توان به‌عنوان، ضخامت نیم کننده نیز نام برد [۲]. با استفاده از این ماتریس و نیز مقدار میرایی مورد نیاز، می‌توان ضخامت مناسب برای محیط کار را انتخاب نمود. همچنین نتایج این جدول نشان می‌دهد می‌توان در سپرهای نانوکامپوزیتی گروه ۱، اختصاصاً در بسامدهای ۸/۵۳ و ۸/۵۱ گیگاهرتز به مقدار کاهندگی بیش از ۸۰ درصد رسید. همچنین می‌توان در سپرهای نانوکامپوزیتی گروه دو، اختصاصاً در بسامدهای ۱۲/۵ و ۸/۸ گیگاهرتز، به ترتیب به مقدار کاهندگی ۸۷/۹۵ و ۹۱/۱۲ درصد دست یافت. شایان ذکر است نانوکامپوزیت ۶ میلی‌متری در گروه دو، در بسامد ۸/۸ گیگاهرتز به‌عنوان یک لایه یک‌دهم کننده عمل نموده است زیرا توانسته بیش از ۹۰ درصد از موج ورودی را تضعیف نموده و فقط ۱۰ درصد آن را از خود عبور دهد. بنابراین می‌توان از نانو کامپوزیت‌های نام برده به‌عنوان یک سپر اختصاصی عالی در بسامد مذکور استفاده نمود. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد در نانو کامپوزیت‌های هر دو گروه ، با افزایش ضخامت، میانگین مقدار اثربخشی حفاظتی افزایش می‌یابد و افزایش ضخامت تأثیر مستقیمی بر میانگین مقدار اثربخشی حفاظتی دارد (جدول ۲). امّا فقط در گروه دو ، با افزایش ضخامت ، افزایش مقادیر SE% در تمامی محدوده بسامدی باند X مشاهده می‌شود (نمودار ۲). بدین ترتیب ، بهبود پراکندگی در این گروه توانسته ضمن افزایش مقادیر میانگین اثربخشی حفاظتی در مقایسه با گروه یک، موجب افزایش SE% در تمامی محدوده بسامدی باند X نیز شود. همچنین یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد در گروه یک مقدار کاهندگی در ضخامت ۶ میلی‌متر، نسبت به ضخامت ۴ میلی‌متر از افزایش چشمگیری برخوردار نیست . به عبارت دیگر ضخامت ۴ میلی‌متر، ضخامت بحرانی می‌باشد، به این معنی که با افزایش ضخامت به بیش از این مقدار، نمی‌توان افزایش چشمگیری را در میانگین مقدار اثربخشی حفاظتی مشاهده نمود. اما در گروه دو افزایش ضخامت بعنوان یک عامل تاثیرگذار توانست موجب افزایش مستقیم و محسوس اثربخشی حفاظتی شود. (نمودار ۳). علاوه بر این، یافته‌های این مطالعه حاکی از آن است که در نانو کامپوزیت‌های گروه یک، نانو ذرات اکسید نیکل نقش چندانی در ایجاد اثربخشی حفاظتی نداشتند در حالی که در گروه دو، با افزایش مدت زمان اختلاط نانوذرات، نه تنها نقش این نانوذرات در ایجاد اثربخشی حفاظتی کل پررنگ‌تر شده بلکه مقدار اثربخشی حفاظتی ناشی از ماتریس (اپوکسی) نیز افزایش یافته است (نمودارهای ۴ و ۵). همچنین با بهبود پراکندگی نانوذرات به‌عنوان یک فاکتور مؤثر در تغییر فرایند ساخت سپرهای الکترومغناطیس ، می‌توان بسامدهای ویژه (بسامدهایی که در آن حداکثر مقادیر اثربخشی حفاظتی رخ داده است) را نیز تغییر داد. جدول ۳ نشان می‌دهد با بهبود پراکندگی، بسامدهای ویژه تغییر کرده و مقدار اثربخشی حفاظتی سپرهای ساخته نیز در آن بسامدها ، افزایش یافته است.

در این مطالعه تأثیر مدت زمان اختلاط نانوذرات به‌عنوان روشی برای بهبود پراکندگی و دستیابی به سپرهای الکترومغناطیسی قوی‌تر در باند بسامدی x بررسی شد. نتایج نشان داد مدت زمان اختلاط نانوذرات یک فاکتور مؤثر در ساخت سپرهای الکترومغناطیس است. به‌گونه‌ای که با افزایش مدت زمان اختلاط نانوذرات، می‌توان به پراکندگی مطلوب و اثربخشی حفاظتی بیشتر دست یافت. بر اساس شرایط تحقیق حاضر، می‌توان از نانو کامپوزیت‌های ساخته شده در گروه دو به‌عنوان حفاظهای مناسب جهت کنترل امواج مایکروویو باند بسامدی X در محیط‌های کاری استفاده نمود. نانوکامپوزیت ۶ میلی‌متری در گروه دو، به طور میانگین با ۸۴/۱۴ درصد کاهش در مقدار انرژی اولیه

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

امواج مایکروویو باند x، بیشترین حفاظت را ایجاد نموده است. از اینرو توصیه می‌شود در صورت لـزوم از ایـن نانوکامپوزیت به‌عنوان سپر مناسب جهت کنترل مواجهه شغلی با امواج مایکروویو باند بسامدی X در محیط‌های کاری استفاده شـود. همچنـین می‌تـوان بـرای کنتـرل شدت امواج مایکروویو در بسامدهای ویژه‌ای مانند ۸/۸ و ۱۲/۵ گیگاهرتز به ترتیب از سپر ۶ و ۴ میلی‌متری در گروه دو استفاده نمود زیرا می‌توانند بیش از ۸۷ درصد از مقدار اولیه شدت امواج مورد نظر را کاهش دهند. علاوه بر این، می‌توان با توجه به مقدار تضعیف موردنیاز و نیز صرفه اقتصادی، با استفاده از ماتریس کاهنـدگی، سـپر الکترومغنـاطیس مناسـب را انتخـاب نمـود. پیشـنهاد می‌گردد در پژوهش‌های آتی تأثیر مقدار ماده‌ی پرکننده بر تغییرات اثربخشی حفاظتی سـپرهای نانوکـامپوزیتی بررسی گردد.

تقدیر و تشکر

پژوهش حاضر برگرفته از بخشی از رساله دکتری در دانشگاه تربیت مدرس می‌باشـد. بدین‌وسـیله از جنـاب آقای مهندس سلیمانیان، مسئول آزمایشـگاه‌های گـروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و تمامی عزیزانی که ما را در به ثمر رسیدن این پژوهش یاری نمودند، کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

1. Kubacki R, editor. Biological interaction of pulse-modulated electromagnetic fields and protection of humans from exposure to fields emitted from radars; 2008. IEEE.

2. Cember. H, Johnson TE. Introduction tO Health Physics. FOURTH ed; 2009.

3. http//:en.wikipedia.org/wiki/X_band. X band. [cited]; Available from.

4. Kitchen R. RF and Microwave Radiation Safety Handbook. Second ed; 2001. p. 11.

5. Groves FD, Page WF, Gridley G, Lisimaque L, Stewart PA, Tarone RE, et al. Cancer in Korean war navy technicians: mortality survey after 40 years. American journal of epidemiology. 2002; 155(9):810-8.

6. RF & Microwave Safety Program. Cornell University; 2009.

7. Radiofrequency and Microwave Radiation in the Workplace. Radiation Protection Service of the Occupational Health and Safety Branch, Ministry of Labour; 2009.

8. Iran IoSaIRo. Non Ionizing Radiation-Exposure Limits. 1st.edition ed; 2006. p. 19-20. [Persian]

9. Cheldavi A. Electromagnetic Shielding. Tehran: Iran University of Science and Technology; 2014.

10. Chung DDL. Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon materials. Carbon. 2001;39(2): 279–85.

11. Geetha S, Satheesh Kumar K, Rao CRK, Vijayan M, Trivedi D. EMI shielding: Methods and materials—A review. Journal of applied polymer science. 2009;112(4):2073-86.

12. Jalali M, Dauterstedt S, Michaud A, Wuthrich R. Electromagnetic shielding of polymer–matrix composites with metallic nanoparticles. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2011;Part B 42:1420-6.

13. Zhang CS, Ni QQ, Fu SY, Kurashiki K. Electromagnetic interference shielding effect of nanocomposites with carbon nanotube and shape memory polymer. Composites Science and Technology. 2007;67(14):2973-80.

14. Al-Saleh MH, Sundararaj U. Electromagnetic interference shielding mechanisms of CNT/polymer composites. CARBON. 2009;47:1738-46.

15. Khastgira NC, Dasa D, Chakia TK, Chakrabortyb A. Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon black and carbon fibre filled EVA and NR based composites. Composites: Part A 2000; 31:1069-81.

16. Micheli D, Pastore R, Apollo C, Marchetti M, Gradoni G, Moglie F, et al. Carbon Based Nanomaterial Composites in RAM and Microwave Shielding Applications. 9th IEEE Conference on Nanotechnology; 2009:p. 226-35.

17. Kuzhir P, Paddubskaya A, Bychanok D, Nemilentsau A, Shuba M, Plusch A, et al. Microwave probing of nanocarbon based epoxy resin composite films: Toward electromagnetic shielding. Thin Solid Films. 2011;519:4114-8.

18. PITT CF, Barth BP, Godardf BE .Electrical Properties of Epoxy Resins. IRE Transactions on Component Parts. 1957;4(4):110-3.

19. Huo J, Wang L, Yu H. Polymeric nanocomposites for electromagnetic wave absorption. Journal of Materials Science. 2009;

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

and applied sciences; 2009 Islamic Azad University-Kermanshah branch. [Persian]

29. Sabohi N. production of two dimension of nickel oxide nanostructure on nickel sheet and investigation of its photocatalist properties Tehran: Islamic azad university-central Tehran branch; 2012. [Persian]

30. Al-Saleh MH, Sundararaj U. A review of vapor grown carbon nanofiber/polymer conductive composites. CARBON. 2009;47:2.

31. Chung DDL. Materials for Electromagnetic Interference Shielding. Journal of Materials Engineering and Performance. 2000;9(3):350-4.

32. Al-Saleh MH, Al-Anid HK, Hussain YA. CNT/ABS nanocomposites by solution processing: Proper dispersion and selective localization for low percolation threshold. Composites: Part A. 2013;46 53-9.

33. Simchi A. Acquaintance to nano particles (properties, production and application). Tehran: Sharif industry university; 2008. [Persian]

34. Schulz RB, Plantz VC, Brush DR. Shielding theory and practice. Electromagnetic Compatibility, IEEE Transactions on. 1988;30(3):187-201.

35. Bonaldi RR, Siores E, Shah T. Characterization of electromagnetic shielding fabrics obtained from carbon nanotube composite coatings. Synthetic Metals. 2014;187:1- 8.

36. Gass J, Poddar P, Almand J, Srinath S, Srikanth H. Superparamagnetic polymer nanocomposites with uniform Fe3O4 nanoparticle dispersions. Advanced Functional Materials. 2006; 16(1):71-5.

37. Qing Y, Zhou W, Luo F, Zhu D. Epoxy-silicone filled with multi-walled carbon nanotubes and carbonyl iron particles as a microwave absorber. Carbon. 2010;48(14):4074-80.

38. Fan Z, Luo G, Zhang Z, Zhou L, Wei F. Electromagnetic and microwave absorbing properties of multi-walled carbon nanotubes/ polymer composites. Materials Science and Engineering: B. 2006;132(1-2):85-9.

39. Huang JC. EMI shielding plastics: a review. Advances in polymer technology. 1995;14(2):137-50.

44(15):3917-27.

20. Micheli D, Pastore R ,Apollo C, Marchetti M, Gradoni G, Primiani VM, et al. Broadband Electromagnetic Absorbers Using Carbon Nanostructure-Based Composites. Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2011; 59(10):2633-43.

21. Allaouia A, Baia BS, Chengb HM, Baia JB. Mechanical and electrical properties of a MWNT/epoxy composite. Composites Science and Technology. 2002;62:1993-8.

22. Bellucci S, Coderoni L, Micciulla F, Sacco I, Rinaldi G, Kuzhir P, et al. Epoxy - nano-carbon shielding coating for super-high-frequency range. IEEE Transactions on Magnetics. 2011:57-60.

23. Nam IW, Lee HK, Jang JH. Electromagnetic interference shielding/absorbing characteristics of CNT-embedded epoxy composites. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2011; 42 1110–8.

24. Ramajo LA, Cristóbal AA, Botta PM, Porto López JM, Reboredo MM, Castro MS. Dielectric and magnetic response of Fe3O4/epoxy composites. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. [doi: 10.1016/j. compositesa.2008.12.017]. 2009;40(4):388-93.

25. Mohammadyani D, Hosseini SA, Sadrnezhaad SK. Characterization of Nickel Oxide Nanoparticles Synthesized Via Rapid Microwave-Assisted Route. International Journal of Modern Physics: Conference Series. 2012;5:270-6.

26. Sharanabasava VG, Ravishankar B, Raghunandan D, Venkataraman A. Synthesis and characterization of nickel oxide nanoparticles by self-propagating low temperature combustion method. Recent Research in Science and Technology. 2012;4(4):50-3.

27. Arabi H, Arasteh N, editors. Production of nano nickel oxide by Sol-Jel method and investigation of structure and magnetic properties. Iranian physics conference; Industrial Isfahan University. 2009. [Persian]

28. Sabbagh zadeh Ghomi L, Kashani Motlagh MM, Youzbashi AA, editors. Preparation and identification of nano nickel oxide by incorporation of microwave and liquid oxidation national conference of nanotechnology application in pure

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

Improvement of Electromagnetic Shielding Effectiveness for Radar Frequencies (X-band) Using Dispersion Factor

Vida Zaroushani[1], Ali Khavanin[2], Seyed Bagher Mortazavi[3], Ahmad Jnonidi[4]

Received: 2015/02/23 Revised: 2015/05/11 Accepted: 2015/06/22

Abstract

Background and aims: X-band with 8-12.5 frequencies range has various applications such as air control traffic, navy communication etc. Uncontrolled exposure with microwave can lead to adverse effect on workers. Currently, application of the shielding is a superior control for prevention of microwave exposure. This study investigated the effect of dispersion on shielding effectiveness improvement about a novel nanocomposit shiled.

Methods: Nanocomposites prepared by epoxy resin and nano nickel oxide (7wt%) with 2, 4 and 6 mm thicknesses. In order to investigate the effect of dispersion, 10 and 66 minutes was considered as mixing time. Nanoparticles characterized by X-ray Diffraction and Field Emission Scanning Electron Microscope. Shielding effectiveness measured with vector network analyzer.

Results: Dispersion of nanoparticles in group 2-nanocomposites was better than group 1-nanocomposites. Average of percentage attenuation in group 2-nanocomposites was better than group 1- nanocomposites. The Average of shielding effectiveness for three thicknesses in group 1 was 46.5, 69.03, 70.83 and for group 2 was 52.02%, 78.48% and 84.14%dB, respectively. Maximum attenuation obtained by the 6mm thickness in group 2- nanocomposites at 8.8 GHz frequency (91.12%). The Average of shielding effectiveness increased with increasing the thickness.

Conclusion: With increasing the mixing time, the dispersion and shielding effectiveness be improved. These nanocomposites could be used as appropriate shielding for exposure control of X-band frequency in workplace and nanocomposite with 4mm thickness is appropriate shield in this study. Both 4mm and 6mm thicknesses in group 2 are useful in specific frequency such as 8.8 and 12.5 GHz.the average of percentage attenuation for above thicknesses is more than 87%.

Keywords: Electromagnetic shielding, Microwave, Nanocomposite, Nickel oxide, Electromagnetic radiation, Dispersion.

1. PhD Student of Occupational Health Engineering, Department of Occupational Health, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2. (**Corresponding author**) Department of Occupational Health, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. khavanin@modares.ac.ir

3. Department of Occupational Health, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

4. Department of Environmental Health, Faculty of Medical Sciences, Iran Medical Sciences University, Tehran, Iran.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]