



طراحی و ساخت سیر الکترومغناطیس دولایه نوین در برابر پرتوهای راداری

ویدا زراوشانی^{۱*}، علی خوانین^۳، احمد جنیدی جعفری^۴، سکینه ورمزیار^۵، سکینه مهدوی^۶

۱- استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران

۲- مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران

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

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

۵- استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران

۶- مربی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم آباد، ایران

مقاله پژوهشی اصیل

تاریخ دریافت: ۹۷/۴/۲

تاریخ پذیرش: ۹۷/۷/۱۰

*نویسنده مسئول: ویدا زراوشانی، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران
تلفن:

پست الکترونیک:

V.zaroushani@qums.ac.ir

چکیده

مقدمه

مطالعه حاضر با هدف طراحی و ساخت سیر نانوکامپوزیتی دولایه نوین، جهت کنترل شدت پرتوهای راداری باند بسامدی ایکس صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

از رزین اپوکسی و نانوذرات اکسید نیکل به عنوان بستر و فیلر استفاده شد. سپرهای دولایه با قرارگیری سپرهای تک لایه بر روی یکدیگر در ۹ درصد وزنی مختلف و ۳ ضخامت متفاوت تهیه شدند. اثربخشی حفاظتی سپرهای دولایه با استفاده از دستگاه تحلیلگر شبکه و در باند بسامدی ایکس اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها

بیشترین میانگین اثربخشی حفاظتی در سپرهای دولایه ۵۲/۵۱ درصد بدست آمد. تغییر ضخامت از ۸ به ۱۰ میلیمتر و نیز از ۸ به ۱۲ میلیمتر موجب افزایش اثربخشی سپرهای دولایه شد. افزایش مقدار فیلر و تغییر ترتیب قرارگیری لایه‌ها نتوانست موجب تغییر محسوس در اثربخشی سپرهای دولایه شود.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، سیر نانوکامپوزیتی دولایه نوین جهت حفاظت در برابر پرتوهای راداری باند ایکس طراحی و ساخته شد که توانست مانند یک لایه نیم کننده عمل نماید. تمامی سپرهای دولایه توانستند در بسامدهای معینی از باند ایکس، قوی‌تر از یک لایه نیم کننده عمل نمایند. در این مطالعه ضخامت، مقدار نانوذرات و ترتیب قرارگیری لایه‌ها، نقش موثری در افزایش اثربخشی سپرهای دولایه نداشتند.

کلیدواژه‌ها

سیر الکترومغناطیسی، اکسید نیکل، سیر دولایه، پرتوهای راداری، نانوکامپوزیت



مقدمه

باند بسامدی ایکس از دسته پرتوهای میکروویو امواج الکترومغناطیس بوده و طبق تعریف انجمن مهندسی برق^۱ در محدوده بسامدی ۸-۱۲/۵ گیگاهرتز قرار دارد (۱). این دسته از پرتوها در موارد متنوعی از جمله ارتباطات ماهواره‌ای، راداری، شبکه‌ای و اینترنتی، فضایی، رادیویی، کنترل ترافیک هوایی، ارتباطات ناوبری دریایی، ایستگاه‌های هواشناسی استفاده می‌شوند (۲). با توجه به گستردگی موارد استفاده از این پرتوها در مشاغل مختلف و گزارش موارد بیماری‌زایی متعددی همچون تحریک رشد سلول‌های سرطانی (۳)، افزایش فشار خون (۴) و استرس اکسیداتیو (۵)، حفاظت شاغلین در برابر این پرتوها امری ضروری است. رعایت حدود استاندارد مواجهه، کاهش زمان مواجهه و استفاده از حفاظ از جمله روش‌های کنترلی موثر جهت حفاظت شاغلین در برابر این پرتوها می‌باشند (۶).

رعایت حدود مجاز مواجهه یکی از انواع کنترل‌های مدیریتی است که کاربرد فراوانی در کاهش خطرات این پرتوها دارد. اداره ایمنی و بهداشت آمریکا^۲ حد مجاز مواجهه را برای محدوده بسامدی ۱۰ مگاهرتز تا ۱۰۰ گیگاهرتز، ۱۰ میلی وات بر سانتی متر مربع (به مدت ۰/۱ ساعت یا بیشتر) اعلام نموده است (۷). انجمن دولتی متخصصین بهداشت صنعتی آمریکا^۳ در سال ۲۰۱۲ میلادی این مقدار را برای پرتوهای میکروویو در محدوده بسامدی ۳-۳۰ گیگاهرتز، ۱۰ وات بر متر مربع اعلام نموده است (۸).

بدیهی است کاهش مدت مواجهه می‌تواند محدودیت‌های مختلفی را در محیط‌های کاری تحمیل کند. بنابراین ضرورت استفاده از کنترل‌های مهندسی از جمله سپرهای الکترومغناطیس که این محدودیت‌ها را ندارند بیش از پیش مطرح می‌گردد. با توجه به اینکه مراجع بین

المللی مانند OSHA، ICNIRP^۴، IARC^۵ بر حفاظ گذاری^۶ به عنوان یک راهکار موثر مهندسی و بهترین رویکرد ایمنی پرتو (۹ و ۱۰) تاکید نموده‌اند از این‌رو استفاده از سپرهای نانوکامپوزیتی الکترومغناطیس می‌تواند رویکرد نوینی جهت کنترل مواجهه شغلی کارکنان با امواج میکروویو بویژه باندهای راداری باشد.

در سال‌های اخیر به منظور دستیابی به اثربخشی حفاظتی بیشتر و پهنای باند وسیع‌تر، طراحی و ساخت سپرهای الکترومغناطیس دولایه نانوکامپوزیت مورد توجه پژوهشگران در حوزه سازگاری الکترومغناطیس^۷ و تداخلات الکترومغناطیس^۸ واقع شده است (۱۱-۱۵).

به دلیل تازگی موضوع، تعداد مطالعات انجام شده در این زمینه محدود می‌باشد. همچنین در مطالعات گذشته، عمدتاً از نانوذرات کربنی مانند نانولوله‌های کربنی و کربن بلاک (۱۵ و ۱۶)، نانوذرات فریت مانند فریت باریم نیکل و کبالت (۱۴ و ۱۱ و ۱۷ و ۱۸) و نانوذرات فلزی مانند کربونیل آهن (۱۱ و ۱۲ و ۱۷) در بستر پلیمرهایی مانند اپوکسی، پلی وینیل کلراید، پلی آمید و کائوچو (۱۵-۱۱ و ۱۷) برای تهیه سپرهای دولایه استفاده شده است. نانوذرات فوق دارای نفوذپذیری مغناطیسی، رسانایی الکتریکی و ثابت دی الکتریک بالایی هستند (۲۱-۱۹) اما وزن سنگین، گران قیمت بودن، قابلیت اشتعال (۲۲ و ۲۳) و تمایل بالای این نانوذرات برای متراکم شدن (۲۴ و ۲۵)، از جمله مشکلاتی است که باعث شده تا پژوهش حاضر جهت طراحی و ساخت سپرهای نوین که ضمن دستیابی به اثربخشی حفاظتی مطلوب، معضلات نامبرده را نیز برطرف نموده باشد، انجام شد.

در این پژوهش از نانو ذرات اکسید نیکل استفاده شد چرا که فاقد مشکلات فوق بوده و از نظر الکتریکی نیز نیمه رسانا می‌باشد و

^۵ International Agency for Research on Cancer (IARC)

^۴ International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)

^۶ Shielding

^۷ Electromagnetic Compatibility (EMC)

^۸ Electromagnetic Interference (EMI)

^۱ Agglomeration

^۱ Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

^۲ Shield

^۳ Occupational Safety And Health Administration (OSHA)

^۴ American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)



پتانسیل بکارگیری در ساختار سپرهای الکترومغناطیس را دارد (۲۶ و ۲۷). با توجه به توضیحات ارائه شده، مطالعه حاضر با هدف طراحی و ساخت سپر نانوکامپوزیتی دو لایه نوین برای کنترل امواج راداری باند ایکس (با محدوده بسامدی ۸-۱۲/۵ گیگاهرتز) با استفاده از نانوذرات اکسید نیکل و اپوکسی انجام شد.

مواد و روش‌ها

مشخصات مواد مورد استفاده

در مطالعه حاضر از رزین اپوکسی با نام تجاری EI-403 (به همراه عامل پخت آن با نام تجاری HA-14 به عنوان بستر (Matrix) و نانو ذرات اکسید نیکل (ساخت شرکت Us Research Nanomaterial، آمریکا) به عنوان پرکننده (Filler) استفاده شد. بر اساس اطلاعات مندرج در کاربرگ فنی شرکت سازنده، نانوذرات مورد استفاده با خلوص ۹۹/۵ درصد، شکل تقریباً کروی و محدوده اندازه ۱۵-۳۵ نانومتر بودند.

تهیه سپرهای دولایه

سپرهای دولایه نوین طراحی و ساخته شدند. بدین منظور در ابتدا سپرهای تک لایه، در پنج درصد وزنی (۰، ۵، ۷، ۹ و ۱۱ درصد) و سه ضخامت مختلف (۲، ۴ و ۶ میلیمتر) که در مجموع شامل ۱۵ سپر تک لایه بودند ساخته شدند (۲۸ و ۲۹). در مقالات قبلی نویسندگان نحوه پر شدن بستر رزین اپوکسی با نانوذرات اکسید نیکل ارائه شده است لذا در این پژوهش از تکرار آن پرهیز می‌گردد (۳ و ۲۹). پس از ساخت سپرها، میانگین اثربخشی حفاظتی کل (SE Total) هر یک از سپرها اندازه‌گیری شد. سپس، در هر درصد وزنی، سپری که بیشترین میانگین اثربخشی را کسب کرده بود به عنوان سپر انتخابی جهت ساخت سپرهای دولایه تعیین شد. بر این اساس، سپرهای ۵-۶mm٪

۲، ۴-۷mm٪، ۶-۹mm٪ و ۴-۱۱mm٪ و شاهد ۶ میلیمتری^۳ به عنوان سپرهای تک لایه منتخب تعیین شدند (۲۸). لازم به ذکر است سپرهای دولایه مورد نظر در این پژوهش، که به SFADL^۴ موسوم شدند، از قرارگیری بدون فاصله^۵ دو سپر تک لایه بر روی یکدیگر ساخته شدند (جدول ۱).

نامگذاری سپرهای دولایه

اساس نامگذاری در سپرهای دولایه، درصد وزنی نانوذرات مورد استفاده است. بدین ترتیب نام سپرها با کدی که نشان دهنده درصد وزنی نانوذرات در سپر اول و دوم (که به ترتیب در سمت چپ و راست نوشته شده‌اند) است ارائه شده‌اند. برای مثال سپر دو لایه‌ای که لایه اول و دوم آن به ترتیب از سپرهای تک لایه ۴-۷ mm٪ و ۶-۵ mm٪ تهیه شده بود به اسم «سپر دولایه ۷-۴mm٪» نامگذاری شد.

مشخصه یابی سپرهای دولایه

مقدار اثربخشی حفاظتی سپرها با استفاده از دستگاه تحلیلگر شبکه^۶ Agilent 8510C و مطابق روشی که در مطالعه قبلی (با استفاده از شاخص پراکندگی) انجام شده بود اندازه‌گیری گردید (۲۸). دستگاه فوق بر اساس تکنیک انعکاس و عبور^۷ پرتوهای مایکروویو عمل می‌کند. قبل از شروع هر اندازه‌گیری، کالیبراسیون دستگاه بر اساس دستورالعمل شرکت Agilent با استفاده از کیت کالیبراسیون ۳/۵ میلیمتری مدل 85052B انجام شد (۲۹). اثربخشی حفاظتی (دسی بل) به صورت اندازه‌گیری مقدار کاهش امواج الکترومغناطیس

^۲ برای نامگذاری حفاظها از دو مشخصه درصد وزنی نانوذرات اکسید نیکل و ضخامت استفاده شد. برای مثال سپری که حاوی ۵ درصد وزنی از نانوذرات و ضخامت ۴ میلیمتر بود به اسم «سپر ۴mm-۵٪» نامگذاری شد.

^۳ روش ساخت این سپرها نیز مانند سپرهای تک لایه نانوکامپوزیتی بود با این تفاوت که در ساختار آنها از نانوذرات اکسید نیکل (فیلر) استفاده نشد و به عبارت دیگر حاوی صفر درصد وزنی از نانوذرات بودند.

^۴ Single Filler And Double Layers (SFADL)

^۵ Without Air Space

^۶ Vector Network Analyzer (V.N.A)

^۷ Transmission / Reflection coaxial line method

^۱ در مواد کامپوزیتی، ماده اصلی تشکیل دهنده بخش اعظم ماده کامپوزیتی را بستر یا ماتریس گویند.



باند بسامدی ایکس، مقادیر اثربخشی مستقل از بسامد تغییر می‌نماید. این نمودار نشان می‌دهد، سپر دولایه ۵٪-۱۱٪ در محدوده بسامدی ۸/۹۸-۹ گیگاهرتز نسبت به سایر سپرها از مقادیر اثربخشی حفاظتی بیشتری برخوردار بوده اما بعد از بسامد ۹/۹۸ گیگاهرتز دچار افت می‌شود. نکته قابل توجه دیگر این که تقریباً در تمام باند بسامدی ایکس، مقادیر اثربخشی حفاظتی سپرهای دولایه ۰٪-۷٪ و ۰٪-۹٪ بسیار به یکدیگر نزدیک بوده و از بسامد ۹/۹۸ گیگاهرتز به بعد، مقادیر اثربخشی این دو سپر، بیشتر از سایر سپرها می‌شود.

در فرکانس معین و به صورت کمی بیان می‌شود (۳۰-۳۲). بر اساس مکانیسم عملکرد حفاظت‌های الکترومغناطیس، مقدار اثربخشی حفاظتی کل (SE_{Total}) برحسب درصد، از رابطه زیر بدست می‌آید (۳۳).

$$SE(+dB) = 10 \log \frac{P_i}{P_t} \rightarrow SE_{\%} = \left(1 - \left(\frac{1}{10^{\frac{SE}{10}}} \right) \right) \times 100 \quad (1) \text{ معادله}$$

با توجه به اینکه در مطالعه قبلی به تفصیل به بررسی ساختار کریستالی و مورفولوژی نانوذرات مورد استفاده و چگونگی پراشیدگی آنها در بستر اپوکسی مورد مطالعه پرداخته شده بود (۲۹) از این رو از تکرار این بخش در این مقاله خودداری می‌گردد.

بررسی تعدادی از ویژگی‌های ساختاری بر اثربخشی حفاظتی سپرهای دولایه

در این مطالعه اثر افزایش ضخامت کل و درصد وزنی نانوذرات بر اثربخشی حفاظتی سپرهای دولایه بررسی شد. علاوه بر این، به منظور بررسی تاثیر تقدم و تاخر لایه‌ها بر اثربخشی حفاظتی سپرها، ترتیب قرارگیری لایه‌ها تغییر داده شد و در هر مرحله، اثربخشی حفاظتی سپر مورد نظر اندازه‌گیری گردید (جدول ۱). در نهایت با توجه به تعداد و ترتیب قرارگیری لایه‌ها، در مجموع اثربخشی حفاظتی برای ۲۰ مدل سپر دولایه اندازه‌گیری شد (یک سپر دولایه با مجموع ضخامت ۸ میلیمتر (در دو مدل)، شش سپر با مجموع ۱۰ میلیمتر (در دو مدل) و سه سپر با مجموع ضخامت ۱۲ میلیمتر (در دو مدل) تهیه شدند).

یافته‌ها

اثربخشی حفاظتی سپرهای دولایه

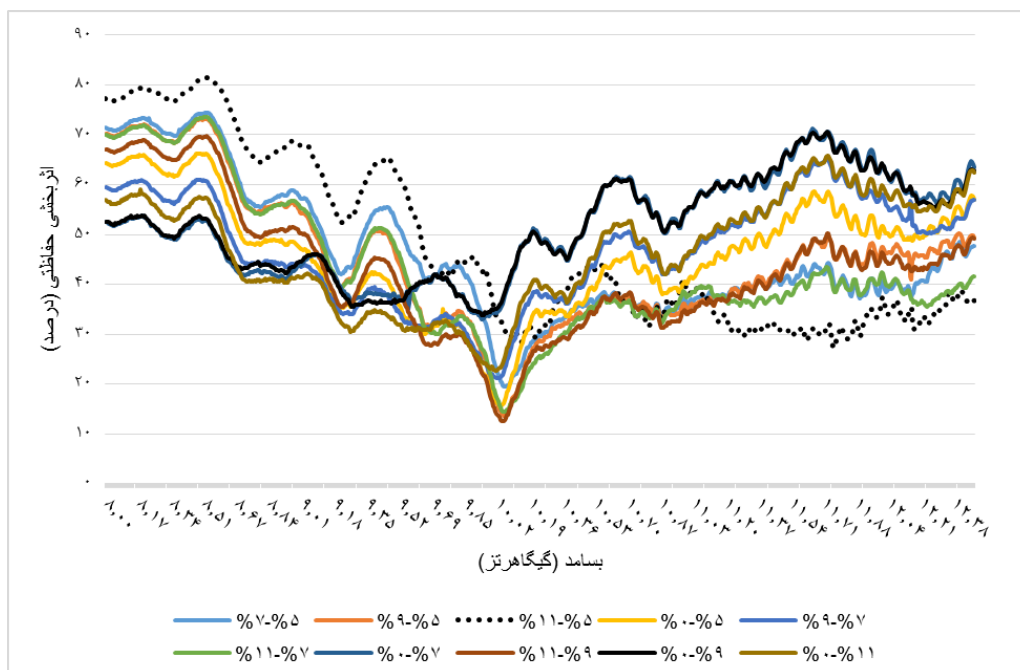
همانطور که نمودار ۱ نشان می‌دهد مقادیر اثربخشی حفاظتی هر یک از سپرهای دولایه، در طول باند ایکس متغیر بوده و با تغییرات بسامد، نوسان دارد. نتایج این پژوهش نشان داد، اثربخشی حفاظتی سپرها بصورت کامل و مستقیم به بسامد ارتباطی ندارند و در بخش‌هایی از

^۱ منظور از ۰٪ در نامگذاری سپرها، سپری است که به صورت شاهد استفاده شد. در این سپر از صفر درصد نانوذرات اکسید نیکل استفاده شده است.



جدول ۱- مشخصات ضخامت و درصد وزنی نانوذرات در سپرهای دولایه مورد مطالعه

نام سپرهای SFADL	%۹-۱۱	%۷-۱۱	%۷-۹	%۵-۱۱	%۵-۹	%۷-۵	%۱۱-۵	%۹-۵	%۷-۵	%۱۱-۵	%۹-۵	%۷-۵	%۱۱-۵
مجموع ضخامت سپر دولایه (میلیمتر)	۱۰	۸	۱۰	۱۰	۱۲	۱۰	۱۰	۱۰	۱۲	۱۰	۱۲	۱۰	۱۲
مجموع درصد وزنی نانو ذرات	۲۰	۱۸	۱۶	۱۶	۱۴	۱۲	۱۱	۹	۷	۵			



نمودار ۱- مقادیر اثربخشی حفاظتی سپرهای دولایه در باند ایکس

بخشی حفاظتی در پنج بسماد معین که شامل ۸/۵۲، ۸/۵۳، ۸/۴۸، ۱۱/۷۴ و ۱۱/۶۶ گیگاهرتز بودند، بدست آمد. در این میان سپر ۱۱٪-۵٪ در بسماد ۸/۵۳ گیگاهرتز بیشترین مقدار اثربخشی حفاظتی را داشت و توانست مقدار ۸۱/۵۰ درصد از مقدار انرژی اولیه امواج میکروویو باند ایکس را کاهش دهد. همچنین کمترین مقدار اثربخشی حفاظتی توسط سپر ۱۱٪-۹٪ بدست آمد و توانست مقدار ۱۲/۵۰ درصد از انرژی اولیه امواج میکروویو باند ایکس را در بسماد ۱۰/۰۵ گیگاهرتز کاهش دهد.

نتایج ارائه شده در جدول ۲ نشان می‌دهد کمترین و بیشترین میانگین اثربخشی حفاظتی در سپرهای ۱۱٪-۹٪ و ۷٪-۵٪ بدست آمد که به ترتیب توانستند ۲/۵۴ و ۳/۲۳ دسی بل معادل ۴۴/۳۱ و ۵۲/۵۱ درصد اثربخشی حفاظتی را بدست آورند. البته سپرهای ۹٪-۵٪ و ۱۱٪-۵٪ نیز به ترتیب دارای میانگین اثربخشی حفاظتی ۵۲/۴۸ و ۵۱/۴۲ درصد بودند که نزدیک به مقدار اثربخشی سپر ۷٪-۵٪ بود. بنابراین می‌توان در مجموع سه سپر مذکور را به عنوان سپرهای دولایه قویتر (از نظر میانگین اثربخشی حفاظتی) نام برد. بر اساس نتایج مندرج در جدول ۲، در میان سپرهای دولایه مورد مطالعه، بیشترین مقدار اثر



جدول ۲- بیشترین، کمترین و میانگین مقادیر اثربخشی حفاظتی سپرهای دو لایه مورد مطالعه در باند بسامدی ایکس

نام سپر دولایه	میانگین اثربخشی (دسی بل)	انحراف معیار (دسی بل)	میانگین اثربخشی (درصد)	بیشترین مقدار اثربخشی برحسب درصد بسامد(گیگاهرتز)	کمترین مقدار اثربخشی برحسب درصد بسامد(گیگاهرتز)
۱۱٪-۹٪	۲/۵۴	۱/۱۱	۴۴/۳۱	۶۹/۷۰ (۸/۵۲)	۱۲/۵۰ (۱۰/۰۵)
۱۱٪-۷٪	۲/۶۲	۱/۲۸	۴۵/۲۵	۷۳/۵۸ (۸/۵۲)	۱۴/۳۵ (۱۰/۰۷)
۹٪-۷٪	۲/۸۴	۰/۸۸	۴۷/۹۹	۶۵/۳۸ (۱۱/۷۴)	۲۱/۱۰ (۱۰/۰۳)
۱۱٪-۵٪	۳/۱۴	۱/۸۱	۵۱/۴۲	۸۱/۵۰ (۸/۵۳)	۲۷/۲۳ (۱۱/۷۷)
۹٪-۵٪	۲/۷۶	۱/۲۳	۴۷/۰۰	۷۳/۲۴ (۸/۵۲)	۱۳/۶۰ (۱۰/۰۶)
۷٪-۵٪	۲/۸۴	۱/۲۷	۴۷/۹۶	۷۴/۵۰ (۸/۵۲)	۱۹/۴۰ (۱۰/۰۸)
۰٪-۱۱٪	۲/۸۳	۰/۹۱	۴۷/۸۷	۶۵/۸۷ (۱۱/۷۴)	۲۲/۶۴ (۱۰/۰۲)
۰٪-۹٪	۳/۲۳	۰/۹۰	۵۲/۴۸	۷۰/۵۸ (۱۱/۷۴)	۳۳/۷۰ (۹/۹۵)
۰٪-۷٪	۳/۲۳	۰/۹۲	۵۲/۵۱	۷۱/۱۶ (۱۱/۶۶)	۳۳/۰۴ (۹/۹۵)
۰٪-۵٪	۲/۷۶	۰/۹۵	۴۷/۰۳	۶۶/۲۷ (۸/۴۸)	۱۵/۵۲ (۱۰/۰۴)

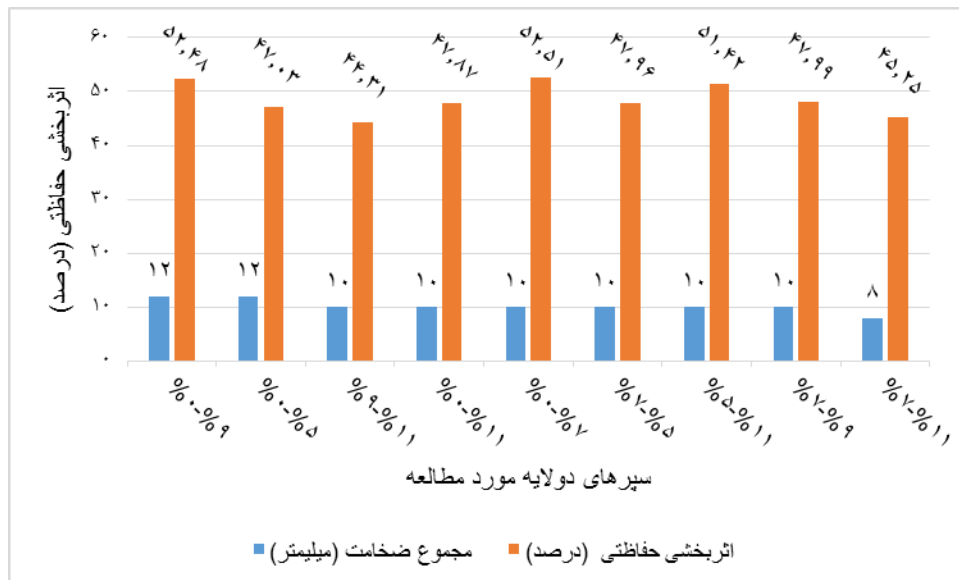
تأثیر تغییر ترتیب قرار گیری لایه‌ها

نتایج نشان داد تغییر در ترتیب قرار گیری لایه‌ها و جابجایی آنها از لایه بالایی به لایه پائینی و بالعکس، تأثیر محسوسی بر مقادیر اثربخشی حفاظتی سپرهای دولایه نداشت و مقادیر مندرج در جدول ۲ همچنان بدون تغییر باقی ماند. از اینرو در جدول مربوطه از تکرار مقادیر خودداری شد.

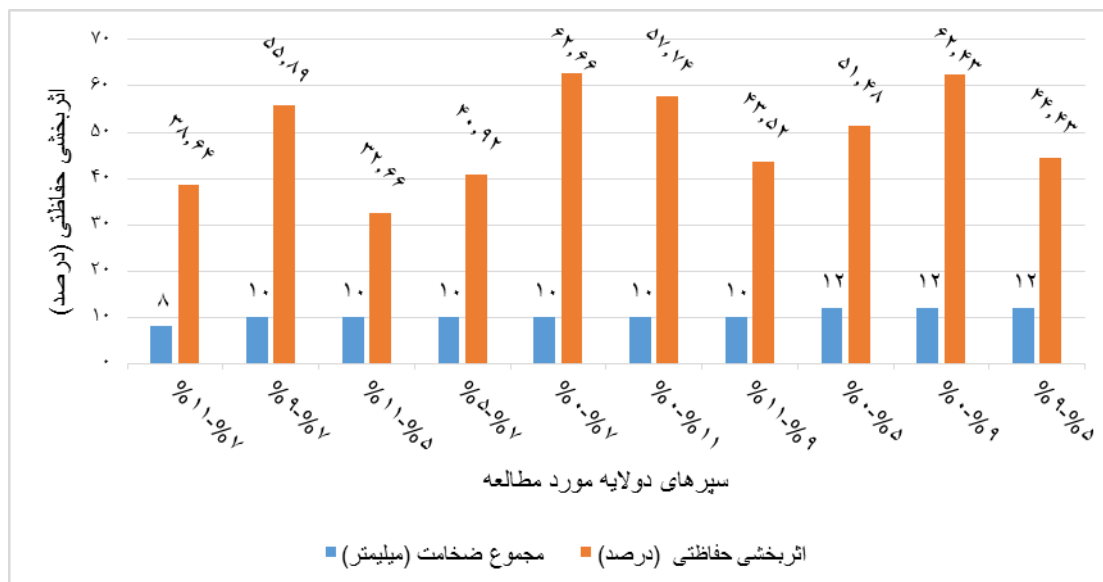
تأثیر افزایش ضخامت کل بر اثربخشی حفاظتی سپرهای دولایه

یافته‌ها نشان دادند میانگین اثربخشی حفاظتی تمام سپرهای ۱۲ و ۱۰ میلیمتری (به استثناء سپر ۱۱٪-۹٪) بیشتر از سپر ۸ میلیمتری

بود (نمودار ۲). همچنین نتایج این مطالعه نشان داد تغییر ضخامت از ۸ به ۱۰ میلیمتر و نیز از ۸ به ۱۲ میلیمتر موجب افزایش اثربخشی حفاظتی سپرهای دولایه (به استثناء سپر ۱۱٪-۵٪) در بخشی از باند ایکس و به طور مشخص در بازه بالایی این باند با محدوده بسامدی ۱۱/۱-۱۲/۵ گیگاهرتز گردیده است. اما این نتیجه در تغییر ضخامت از ۱۰ به ۱۲ میلیمتر بدست نیامد (نمودار ۳).



نمودار ۲- اثر مجموع ضخامت کل بر اثربخشی حفاظتی سپرهای دولایه در باند ایکس

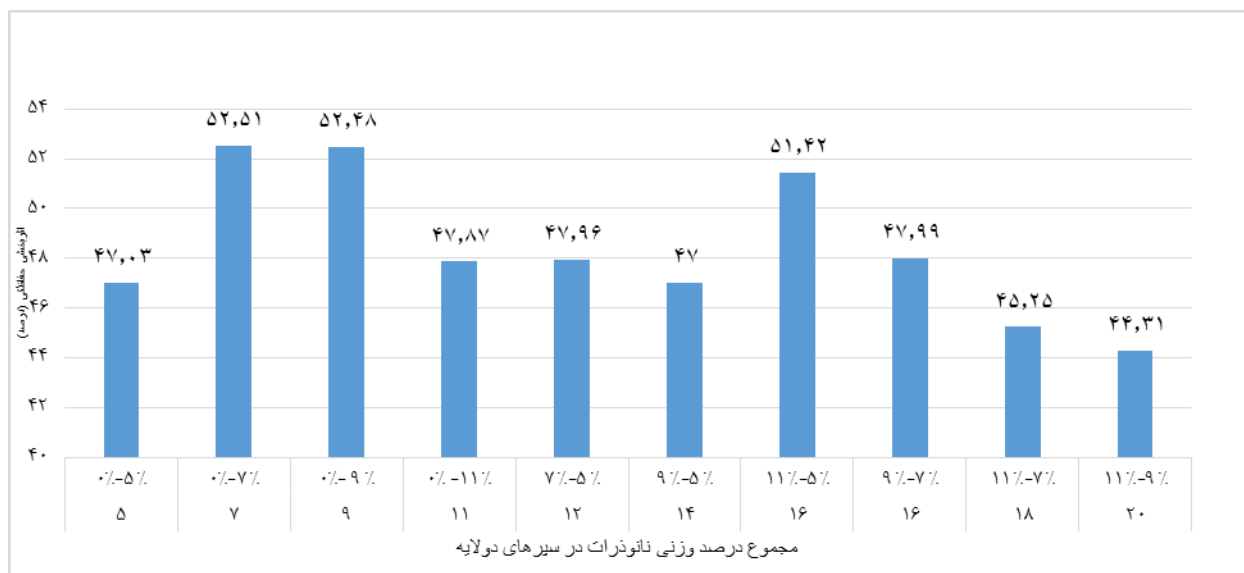


نمودار ۳- اثر مجموع ضخامت کل بر اثربخشی حفاظتی سپرهای دولایه در بازه بسامدی بالایی باند ایکس



تاثیر افزایش مجموع درصد وزنی نانوذرات اکسید نیکل بر اثربخشی حفاظتی سپرهای دولایه

در مطالعه حاضر، مجموع درصد وزنی نانوذرات مورد استفاده در سپرهای دولایه ۵-۲۰ درصد بود. یافته‌های موجود در نمودار ۴ نشان

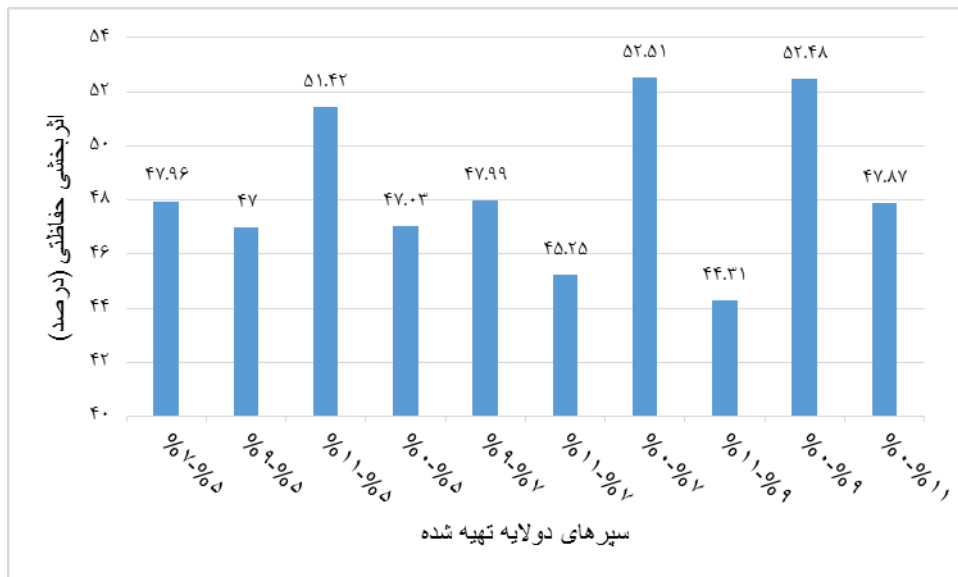


نمودار ۴- تاثیر افزایش درصد وزنی نانوذرات اکسید نیکل بر اثربخشی حفاظتی سپرهای دولایه در باند ایکس

مقدار اثربخشی حفاظتی در سپرهای دولایه به صورت چشمگیری کمتر از سپرهای تک لایه بود (نمودار ۵).

مقایسه اثربخشی حفاظتی سپرهای تک و دولایه

مقایسه میانگین اثربخشی حفاظتی سپرهای دولایه با سپرهای تک لایه متناظرشان که در مطالعه قبلی ارائه شده است (۲۸) نشان داد



نمودار ۵- میانگین اثربخشی حفاظتی سیرهای دو لایه با در این مطالعه

همکاران (۱۳)، کیوآ^۵و همکاران (۱۲)، هو^۶و همکاران (۱۵)، وانگ^۷

و همکاران (۳۵) و لیو^۸ و همکاران (۱۷) در مطالعات خود به اثربخشی حفاظتی بیشتری (بیش از ۸۷/۴۱ درصد) در سپرهای مورد مطالعه - شان دست یافتند. این در حالی است که مجموع ضخامت بکار رفته در مطالعات آنها (۴-۱ میلیمتر) کمتر از مطالعه حاضر (۱۰ میلیمتر) می - باشد. یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد افزایش ضخامت کل در سپرهای دولایه، نقش موثری در افزایش اثربخشی آنها نداشته است. با اینکه میانگین اثربخشی حفاظتی سپرهای ۱۰ میلیمتری (به استثناء سپر ۱۱٪-۹٪) بیشتر از سپر ۸ میلیمتری بدست آمد اما این نتیجه در سپرهای ۱۲ میلیمتری مشاهده نشد (نمودار ۲). به عبارت دیگر با افزایش ضخامت، اثربخشی حفاظتی سپرها افزایش نیافت. از این رو در این مطالعه پارامتر ضخامت کل، رابطه مستقیمی با اثربخشی حفاظتی نداشت و نتوانسته نقش موثری بر اثربخشی حفاظتی سپرهای دولایه داشته باشد.

بحث

مطالعه حاضر با هدف طراحی و ساخت سپر نانوکامپوزیتی دولایه نوین برای کنترل امواج راداری باند ایکس (با محدوده‌ی بسامدی ۵/۱۲-۸ گیگاهرتز) انجام شد. در این مطالعه، بیشترین میانگین اثربخشی حفاظتی توسط سپر دولایه ۰.۷٪ بدست آمد که توانست ۵۱/۵۲ درصد از مقدار اولیه انرژی پرتوهای مورد مطالعه را کاهش دهد و به عنوان یک لایه نیم کننده عمل نماید. بر اساس مطالعه قبلی نویسندگان، لایه نیم کننده به عنوان ضخامتی از سپر که مقدار تشعشع را به نصف مقدار اولیه می‌رساند در نظر گرفته شد (۳۴). محدوده اثربخشی حفاظتی سپر ۰.۷٪ (با ضخامت ۱۰ میلیمتر) ۷۱/۱۶ - ۳۳/۰۴ درصد بود.

اثربخشی حفاظتی این سپر نزدیک به نتایج مطالعه شن و همکاران (۶۰/۱۹ درصد) و یافته‌های مطالعه مینگ و همکاران (۶۰/۰۲ درصد) (۱۶ و ۱۱) بود. علاوه بر این داس و همکاران (۱۴) ، مشرام و

Qiao^o
Hou⁷
Wang^y
Liu[^]

Shen¹
Meng²
Das³
Meshram⁴



در جاذب‌های دو لایه معمولاً لایه اول با عنوان لایه تطبیق^۱ (و لایه دوم با عنوان لایه جاذب^۲ نام برده می‌شود (۱۱-۱۵). در مطالعات لیو و همکاران افزایش ضخامت لایه تطبیق نسبت به لایه جاذب به عنوان یک عوامل تاثیرگذار بر اثربخشی حفاظتی سپرهای دو لایه گزارش شد (۱۷).

یکی دیگر از نکات حائز اهمیت در پژوهش حاضر، مجموع مقدار نانوذرات بکار رفته (۷ درصد وزنی) در سپر برتر در این مطالعه (سپر ۷٪-۰٪) بود. بررسی پژوهش‌های پیشین نشان داد که در مقایسه با مطالعات قبلی (بجر مطالعه هو و همکاران (۱۵))، در مطالعه حاضر از مقدار بسیار کمتری فیلر استفاده شده است که باعث می‌شود تا سپر مورد نظر از مزایایی مانند صرفه اقتصادی و وزن کمتر برخوردار شود. در مطالعات قبلی از مقادیر ۶۰-۱۲۰ درصد وزنی انواع فیلر فریت باریم، کبالت و فریت کبالت، نانو ذرات کربنی و کربونیل آهن (۱۱-۱۵ و ۳۵) استفاده شده بود. این فیلرها دارای نفوذپذیری مغناطیسی، رسانایی الکتریکی و ثابت دی الکتریک بالایی هستند و به شدت اثربخشی حفاظتی را افزایش می‌دهند (۲۱-۱۹ و ۳۵). مقدار و خواص الکترومغناطیسی نانوذرات دو پارامتر موثر در افزایش اثربخشی حفاظتی می‌باشند. این امر یکی از دلایل برتری اثربخشی حفاظتی سپرهای پیشین نسبت به سپر ۷٪-۰٪ در این مطالعه است.

در این مطالعه از نانو ذرات اکسید نیکل به عنوان فیلر استفاده شد. اکسید نیکل در حالت بالکی پارامغناطیس و نیمه رسانا است (۲۶ و ۲۷). این خواص الکترومغناطیس در دستیابی به میانگین بالایی از اثربخشی در سپرهای دولایه مفید نبوده، با این حال می‌تواند در فرکانس‌های معینی از باند ایکس به اثربخشی مطلوبی به عنوان مقدار بیشینه دست یابد.

^۱ Matching Layer

^۲ Absorber Layer

بر اساس شرایط تحقیقاتی موجود در این مطالعه، افزایش مجموع مقادیر درصد وزنی نانوذرات اکسید نیکل نتوانست در باند ایکس موجب افزایش میانگین اثربخشی سپرهای دولایه شود. منگ و همکاران در مطالعات خود به نتایج مشابه تحقیق حاضر دست یافتند و عامل دیگری مانند نوع و مقدار نانوذرات در لایه اول را به عنوان عوامل تاثیرگذار بر اثربخشی حفاظتی جاذب‌های دو لایه معرفی کردند (۱۶). در مطالعه مذکور از نانوذرات کربونیل آهن در لایه اول و نانوذرات کربن بلاک در لایه دوم استفاده شده بود و نتایج مربوطه نشان داد نوع و مقدار نانوذرات در لایه اول تاثیر مهمی در اثربخشی دارد، بگونه‌ای که استفاده از ۵۰ درصد وزنی نانوذرات کربونیل آهن بهترین اثربخشی را نشان داد.

بخش دیگری از یافته‌های این پژوهش در خصوص تاثیر ترتیب قرارگیری لایه‌ها بر اثربخشی حفاظتی بود. تعداد اندکی از مطالعات گذشته به بررسی تاثیر ترتیب قرارگیری لایه‌ها در کارایی حفاظتی سپرهای دولایه پرداخته‌اند (۱۱ و ۱۷) در این راستا لیو و همکاران از نانوذرات فریت کبالت و کربونیل آهن در تهیه جاذب‌های دو لایه در محدوده فرکانسی ۲-۱۸ گیگاهرتز استفاده کردند. نتایج تحقیق این گروه نشان داد با جابجایی هر یک از کامپوزیت‌های تک لایه از لایه تطبیق به لایه جاذب و بالعکس، نتایج اثربخشی حفاظتی نیز تغییر می‌یابد. بهترین نتیجه اثربخشی (بیشترین اثربخشی و کمترین انعکاس) زمانی بدست آمد که فریت کبالت به عنوان لایه تطبیق و کربونیل آهن به عنوان لایه جاذب استفاده شد و مقدار اثربخشی حفاظتی آن در محدوده فرکانسی ۸-۱۲ گیگاهرتز، به بیشترین مقدار خود رسید و به شکل یک پیک نمایان شد (۱۷) اما در مطالعه حاضر چنین نتیجه‌ای بدست نیامد. همچنین شن و همکاران در مطالعه خود گزارش دادند تغییر مکانی کامپوزیت‌های دولایه از لایه زیرین به لایه بالایی یا بالعکس موجب تغییر قابل ملاحظه‌ای در اثربخشی حفاظتی آنها می‌شود. در صورت قرارگیری جاذب حاوی فریت W در لایه



زیرین، اثربخشی حفاظتی جاذب دولایه افزایش چشمگیری نسبت به حالت عکس داشت (۱۱).

اما یافته‌های پژوهش حاضر (در شرایط تحقیقاتی انجام شده) نشان داد، ترتیب قرارگیری لایه‌ها در سپرهای دولایه نقش موثری در اثربخشی حفاظتی آنها نداشته و به عبارت دیگر تغییر در ترتیب قرارگیری لایه‌ها و جابجایی آنها از لایه بالایی به لایه پایینی و بالعکس، تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر مقادیر اثربخشی حفاظتی سپرهای دولایه نداشته است. در سپرهای دولایه موجود در تحقیق حاضر از یک نوع پرکننده (نانوذرات اکسید نیکل) و بستر (اپوکسی) در هر دو لایه استفاده شده بود در حالیکه در بسیاری از مطالعات گذشته از فیلرهای مختلف در لایه اول و دوم استفاده شده بود (۱۷-۱۱). احتمال می‌رود این امر در ایجاد نتیجه فوق موثر بوده باشد. از اینرو پیشنهاد می‌گردد در مطالعات بعدی بررسی‌های بیشتری در این خصوص انجام شود.

قابل ذکر است در میان مطالعات پیشین، پژوهشی یافت شد که همانند مطالعه حاضر از یک نوع از فیلر و بستر در لایه اول و دوم استفاده شده بود. وانگ و همکاران همانند مطالعه حاضر از لایه‌های همجنس (اپوکسی و پودر کربید تیتانیوم) برای ساخت جاذب دولایه مورد مطالعه خود استفاده نمودند. اما در مطالعه آنها نقش جابجایی لایه‌ها در اثربخشی حفاظتی بررسی نشد و گزارشی منتشر نگردید (۳۵).

همچنین نتایج این مطالعه نشان داد بیشترین مقدار اثر بخشی حفاظتی سپرهای دو لایه‌ی مورد نظر، در پنج بسامد معین (۸/۵۲، ۸/۵۳، ۸/۴۸، ۱۱/۷۴ و ۱۱/۶۶ گیگاهرتز) بدست آمد. در این میان می‌توان سپرهایی را یافت که بیشترین مقدار اثربخشی آنها در یک بسامد مشترک با سایر سپرها بدست آمده است. بر این اساس می‌توان به ترتیب از سپرهای دولایه‌ی مورد نظر به عنوان سپر اختصاصی برای بسامدهای فوق استفاده نمود. بدین ترتیب سپرهای ۷/۵-٪، ۱۱-٪، ۵٪، ۵-۰٪، ۹-۰٪ و ۷-۰٪ که به ترتیب دارای ۷۴/۵۰، ۸۱/۵۰، ۶۶/۲۷ و ۷۰/۵۸ درصد اثربخشی هستند به عنوان به عنوان

سپر اختصاصی برای بسامدهای فوق معرفی می‌شوند. همچنین در پژوهش حاضر، بیشترین مقدار اثربخشی حفاظتی سپرهای دولایه در بسامد ۸/۵۳ گیگاهرتز و توسط سپر ۱۱-٪، ۵-٪ بدست آمد که ۸۱/۵۰ درصد می‌باشد. این مقدار در مطالعه منگ و همکاران ۸۴/۱۲ درصد گزارش شد (۱۶).

مقایسه اثربخشی حفاظتی سپرهای تک و دولایه موجود در این مطالعه نشان می‌دهد، مقدار اثربخشی حفاظتی در سپرهای دولایه به شکل محسوسی کمتر از سپرهای تک لایه مورد استفاده می‌باشد. بر خلاف یافته‌های موجود در این مطالعه، تعدادی از پژوهشگران از جمله شن و همکاران (۲۰۰۷)، کیوآ و همکاران (۲۰۱۲)، مشرام و همکاران (۲۰۰۴)، داس و همکاران (۲۰۱۵) و هو و همکاران در مطالعات پیشین خود، با دولایه کردن جاذب‌ها به اثربخشی حفاظتی بیشتری نسبت به جاذب‌های تک لایه مورد نظر رسیدند (۱۱-۱۵). علاوه بر این تعدادی از پژوهش‌های قبلی نشان دادند علاوه بر افزایش مقادیر اثربخشی حفاظتی، مقادیر حداکثر اثربخشی و موقعیت‌های بسامدی مربوطه در جاذب‌های دولایه، متفاوت و بیشتر از جاذب تک لایه شده است (۱۵-۱۳). اما در بخشی از مطالعه شن و همکاران، مشابه نتیجه بدست آمده در پژوهش حاضر، مقدار اثربخشی سپر دولایه کمتر از سپر تک لایه بدست آمد. با توجه به نتایج تحقیق حاضر و نیز یافته‌های پژوهش‌های پیشین، به نظر می‌رسد الزاماً با دولایه سازی سپرها نمی‌توان به اثربخشی حفاظتی بیشتر در سپرهای دولایه دست یافت.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه برای اولین بار، با استفاده از نانوذرات اکسید نیکل و اپوکسی سپر الکترومغناطیسی جدید دولایه جهت حفاظت شاغلین در برابر پرتوهای مایکروویو باند ایکس ساخته شد. سپر دولایه موسوم به ۷-۰٪ توانست بیش از نیمی از پرتوهای راداری باند ایکس را کاهش دهد و به عنوان لایه نیم کننده برای این باند بسامدی معرفی گردید. تمامی سپرهای دولایه مورد مطالعه توانستند در بسامدهای معینی از باند ایکس، بیش از یک لایه نیم کننده عمل نمایند و ۸۱/۵۰-۶۵/۳۸



لایه های اول و دوم یا تغییر نوع نانوذرات در لایه های اول و دوم (استفاده از نانوذرات اکسید نیکل در یک لایه و استفاده از نوع دیگری از نانوذرات در لایه دیگر) را مورد مطالعه قرار گیرد. همچنین اثر یکپارچه سازی سپرهای دولایه بر تغییرات اثربخشی حفاظتی نیز بررسی شود.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر برگرفته از بخش از یک رساله دکتری در گروه مهندسی بهداشت حرفه ای دانشگاه تربیت مدرس می باشد. بدین وسیله از همکاری و مساعدت معاونت محترم پژوهش، اساتید و کارشناسان گروه بهداشت حرفه ای، کارشناسان محترم آزمایشگاه های بهداشت حرفه ای، مهندسی پلیمر، مهندسی مواد، آزمایشگاه پراش اشعه ایکس دانشگاه تربیت مدرس و نیز مساعدت فراوان جناب آقای جلال حسنی دوآبی، که ما را در به ثمر رسیدن این پژوهش یاری نمودند، کمال سپاسگزاری به عمل می آید.

درصد از انرژی اولیه پرتوهای راداری باند ایکس را کاهش دهد به گونه ای که می توان از برخی از آنها به عنوان سپرهای اختصاصی برای بسامدهای مورد نظر استفاده نمود. با توجه به تاکید سازمان های مختلف ایمنی و بهداشت پرتوها، در خصوص پیاده سازی روش های کنترلی، می توان از سپرهای مورد مطالعه به عنوان لایه های کاهنده پرتوهای میکروویو، در ساخت بناهای ایمن استفاده نمود. در این مطالعه ضخامت کل، مجموع مقدار نانوذرات و ترتیب قرارگیری لایه ها، نقش موثری در افزایش اثربخشی سپرهای دولایه نداشت. همچنین در شرایط تحقیقاتی این مطالعه، دولایه سازی نتوانست موجب تقویت اثربخشی سپرهای مورد مطالعه گردد. با توجه به شرایط تحقیقاتی موجود در این مطالعه که در مقایسه با پژوهش های پیشین از مقادیر اندک فیلر (نانوذرات اکسید نیکل) با خواص الکترومغناطیسی نه چندان قوی (پارامغناطیس و نیمه رسانا) استفاده شده بود پیشنهاد می شود در مطالعات آتی اثر افزایش مقدار نانوذرات اکسید نیکل در

References

1. Kitchen R. RF and Microwave Radiation Safety Handbook. 2ed. UK: Elsevier; 2001.
2. Kubacki R. Biological interaction of pulse-modulated electromagnetic fields and protection of humans from exposure to fields emitted from radars. MIKON 2008 - 17th International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications. 2008; IEEE; pp. 1-7.
3. Yakymenko I, Sidorik E, Kyrylenko S, Chekhun V. Long-term exposure to microwave radiation provokes cancer growth: evidences from radars and mobile communication systems. Exp Oncol 2011;33(2):62-70.
4. Repacholi MH. Health risks from the use of mobile phones. Toxicol Lett 2001;120(1-3):323-31.
5. Vrhovac G, Gajski G, (Pazanin S, Sarolic A, (Domijan A-M, Flajs D, et al. Assessment of cytogenetic damage and oxidative stress in personnel occupationally exposed to the pulsed microwave radiation of marine radar equipment International. Int J Hyg Environ Health 2011;214(1):59-65.
6. Cember H, Johnson TE. Introduction to Health Physics. 4th ed. New York: McGraw Hill Professional; 2009.
7. Leavey J. RF & Microwave Safety Program: cornell university; 2009. Available from: [www.ehs.cornell.edu/File/RF_Microwave_Safety_Program_Guide\(2\).pdf](http://www.ehs.cornell.edu/File/RF_Microwave_Safety_Program_Guide(2).pdf).
8. Occupational exposure limits. Forth, editor. Tehran: Environmental and Occupational Health Center, Iran Ministry of Health and Medical Education; 2016. [Persian]
9. Curtis RA. Elements of a comprehensive RF protection program: role of RF measurements. occupational safety & health administration. 1999. Available from: https://www.osha.gov/SLTC/radiofrequencyradiation/elem_com.html
10. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. General approach to protection against non-ionizing radiation protection. Health Physics 2002;82(4):540-8.

11. Shen G, Xu M, Xu Z. Double-layer microwave absorber based on ferrite and short carbon fiber composites. *Materials Chemistry and Physics* 2007;105(2-3):268-72.
12. Qiao M, Cunrui Zhang, and Haiye Jia. Synthesis and absorbing mechanism of two-layer microwave absorbers containing flocs-like nano-BaZn_{1.5}Co_{0.5}Fe₁₆O₂₇ and carbonyl iron. *Materials Chemistry and Physics* 2012;135(2-3):604-9.
13. Meshram MR, Agrawal NK, Sinha B, Misra PS. Characterization of M-type barium hexagonal ferrite-based wide band microwave absorber. *J Magn Magn Mater* 2004;271(2-3):207-14.
14. Das S, Nayak GC, Sahu SK, Routray PC, Roy AK, Baskey H. Microwave absorption properties of double-layer composites using CoZn/NiZn/MnZn-ferrite and titanium dioxide. *J Magn Magn Mater* 2015;377:111-6.
15. Hou C, Li T, Zhao T, Zhang W, Cheng Y. Electromagnetic wave absorbing properties of carbon nanotubes doped rare metal/pure carbon nanotubes double-layer polymer composites. *Materials and Design* 2012;33:413-8.
16. Meng W, Yuping D, Shunhua L, Xiaogang L, Zhijiang J. Absorption properties of carbonyl-iron/carbon black double-layer microwave absorbers. *J Magn Magn Mater* 2009;321(20): 3442-6.
17. Liu Y, Liu X, Wang X. Double-layer microwave absorber based on CoFe₂O₄ ferrite and carbonyl iron composites. *J Alloys Compd* 2014;584:249-53.
18. Sunny V, Kurian P, Mohanan P, Joy PA, Anantharaman MR. A flexible microwave absorber based on nickel ferrite nanocomposite. *J Alloys Compd* 2010;489(1):297-303.
19. 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.
20. Idris FM, Hashim M, Abbas Z, Ismail I, Nazlan R, Ibrahim IR. Recent developments of smart electromagnetic absorbers based polymer-composites at gigahertz frequencies. *J Magn Magn Mater* 2016;405:197-208.
21. Celozzi S, Araneo R, Lovat G. *Shielding Materials*. In: Chang K, editor. *Electromagnetic Shielding*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.; 2008. p. 21-41
22. SIGMA-ALDRICH. Carbonyl iron-Material Safety Data Sheet 2012. Available from: <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/search?term=7439-89-6>.
23. US Research Nanomaterials. Nickel Nanoparticles (Ni)-Material Safety Data Sheet. Available from: <https://n.b5z.net/i/u/10091461/f/MSDS-NANOPOWDERS/US1120.pdf>.
24. Ramimoghadam D, Bagheri S, Abd Hamid SB. Stable monodisperse nanomagnetic colloidal suspensions: An overview. *Colloids Surf B Biointerfaces* 2015;133:388-411.
25. Jalali M. Improving electromagnetic shielding with metallic nanoparticles [Dissertation]. Montreal: Concordia University; 2013.
26. Mohammadyani D, Hosseini SA, Sadrnezhad SK. Characterization of nickel oxide nanoparticles synthesized via rapid microwave-assisted route. *Int J Mod Phys Conf Ser* 2012;5:270-6.
27. Sabohi N. production of two dimension of nickel oxide nanostructure on nickel sheet and investigation of its photocatalist properties [Dissertation]. Tehran: Islamic azad university-central tehran branch; 2012. [Persian]
28. Zaroushani V, Khavanin A, Jonidi Jafari A, Mortazavi SB, Khajenasiri F. Investigation of factors influencing the efficacy of electromagnetic shielding in X band frequency range. *JHSW* 2016;6(4):1-16.
29. Zaroushani V, Khavanin A, Jonidi Jafari A, Mortazavi SB. A New Microwave Shield Preparation for Super High Frequency Range: Occupational Approach to Radiation Protection. *J Res Health Sci* 2016;4(16):206-11.
30. Khastgira NC, Dasa D, Chakia TK, Chakraborty A. Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon black and carbon fibre filled EVA and NR based composites. *Composites: Part A* 2000;31(10):1069-81.
31. Wang Y, Jing X. Intrinsically conducting polymers for electromagnetic interference shielding. *Polymers for Advanced Technologies*. 2005;16(4):344-51.
32. Hemming, Leland H. shielding theory. In: Shaw L, editor. *Architectural Electromagnetic Shielding Handbook-A Design and Specification Guide*. New York: IEEE Press; 1992. p. 13-34.
33. Bonaldi RR, Siores E, Shah T. Characterization of electromagnetic shielding fabrics obtained from carbon nanotube composite coatings. *Synthetic Metals* 2014;187:1- 8.
34. zaroushani v, Khavanin A, Mortazavi S, Jonidi Jafari A, Moeini M, Javadzadeh M. The role of a new electromagnetic shielding in reducing the microwave radiation (A case study for the X-band frequencies). *ioh* 2015;12(5):90-9. [Persian]
35. Wang Y, Luo F, Zhou Wc, Zhu D. Dielectric and electromagnetic wave absorbing properties of TiC/epoxy composites in the GHz range. *Ceram Int* 2014;40(7):10749-54.