

بررسی کاربرد پوشش‌های رسانای پایه نیکل در جاذب‌های امواج رادار با ساختار پرده سالیسبوری

ایزدیار ابراهیمی، عباس بشارتی سیدانی*

دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۹۴/۵/۲۷، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۹۶/۴/۱۱، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۹۶/۶/۶

چکیده در این تحقیق، پوشش‌دهی پارچه‌های پلی‌استر دو بعدی و سه بعدی با پوشش نیکل به روش الکترولس به منظور تولید پوشش‌های جاذب امواج راداری باند ایکس انجام گرفت. مورفولوژی، ضخامت پوشش، ترکیب شیمیایی پوشش، رسانایی و رفتار جذب امواج راداری آنها ارزیابی شد. با انجام پوشش‌دهی، رسانایی پارچه‌های دو بعدی و سه بعدی به ترتیب به 0.023 و 0.0043 سانتی‌متر مربع بر اهم افزایش یافت. بررسی مورفولوژی پوشش توسط میکروسکوپی الکترونی روبشی نشان داد که ذرات نیکل روی سطح الیاف دارای ساختارهای گنبدی شکل هستند. بررسی ریزساختاری پوشش‌های پلی‌استری ساخته شده توسط توزیع انرژی طیفی اشعه ایکس نشان داد که مقدار نیکل بارگذاری شده 64.56% می‌باشد. مطالعه جذب امواج راداری پارچه‌های دو بعدی و سه بعدی نشان داد هر دو آنها توانایی جذب بیش از 96.45% درصد امواج راداری باند ایکس ($8-12$ گیگاهرتز) را دارند. ارزیابی ثبات‌های شستشویی، سایشی و نوری پوشش‌های تهیه شده نشان داد که روش پوشش‌دهی الکترولس توانسته نیکل را به خوبی بر روی الیاف تثبیت کند به گونه‌ای که پارچه‌های رسانای تولید شده مقاومت بالایی در برابر این عوامل محیطی از خود نشان می‌دهند.

کلمات کلیدی: لایه‌نشانی الکترولس، الیاف رسانا، نیکل، پرده سالیسبوری، رادار.

Investigation of Using Nickel Based Conductive Coatings in the Radar Wave Absorbers With Salisbury Screen Structure

Izadyar Ebrahimi, Abbas Besharati-Seidani*

Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.

Abstract In this study, two- and three-dimensional polyester fabrics were coated with nickel via electroless plating method in order to produce X-band radar absorbing coatings. Morphology, thickness, coating composition, conductivity and radar absorption behavior of them were evaluated. After coating, the conduction of two- and three-dimensional fabrics was increased to 0.023 and 0.0043 cm^2/Ω , respectively. Checking the morphology of the coatings by scanning electron microscopy showed that the nickel particles on the surface of fibers have the dome-shaped structures. Microstructure investigation of fabricated polyester coatings by X-ray spectral energy distribution showed that the amount of loaded nickel is 64.56% . The study of the radar absorption behavior of two- and three-dimensional coatings showed that the both of them can absorb more than 96.45% X-band radar waves ($8-12$ GHz). The investigation of the washing, rubbing and light fastness of fabricated coatings showed that electroless plating method can fix nickel on the surface of fibers well so that these coatings show high stability against these environmental factors.

Keywords: Electroless plating, Conductive Fibers, Nickel, Salisbury screen, Radar.

۱- مقدمه

جذب امواج راداری این پوشش‌ها ارزیابی و با هم مقایسه گردید.

جذب امواج راداری توسط مواد به خواص و ساختار آنها بستگی دارد. یکی از روش‌های مهم برای کاهش انعکاس، تطبیق مقاومت ظاهری موج راداری در سطح مشترک هوا و جاذب است که به تابش راداری امکان می‌دهد که در جاذب پخش شود. روش دیگر، تشکیل یک فصل مشترک ویرانگر میان امواج منعکس شده از لایه‌های مختلف جاذب است. این نوع از جاذب‌ها به جاذب‌های رزونانسی معروف هستند. مهمترین این نوع جاذب‌ها پرده سالیسبوری^۲ است [۲۰].

پرده سالیسبوری توسط دانشمند آمریکایی به نام وینفیلد سالیسبوری^۳ در سال ۱۹۵۲ اختراع شد که یکی از اولین نظریه‌های مواد جاذب رادار بود و برای جلوگیری از تشخیص ادوات نظامی توسط دشمن به کار رفت. این ساختار برای اولین بار در کاهش سطح مقطع راداری کشتی به کار گرفته شد. اولین پرده سالیسبوری، از قابی از تخته چنودلا که پارچه کرباس پوشش داده شده با گرافیت روی آن کشیده شده بود ساخته گردید. با توجه به شکل (۱)، این ساختار از یک صفحه مقاوم و تلفاتی تشکیل شده است که در فاصله $\lambda/4 + \lambda n$ از صفحه فلزی (هدف) قرار دارد و به واسطه یک لایه میانی از هوا از آن جدا شده است. واژه تلفات در این مباحث به معنای افت و کاهش انرژی راداری به کار می‌رود و به لایه‌ی حاوی موادی که به این منظور استفاده می‌شوند، لایه تلفاتی گفته می‌شود. به جای هوا، اغلب از یک ماده با خاصیت دی‌الکتریکی کم به عنوان لایه میانی استفاده می‌شود که بسته به وسعت پهنای باند، ضخامت ساختار را کاهش می‌دهد. در این پژوهش برای دستیابی به جاذب امواج راداری باند ایکس، از ساختار پرده سالیسبوری استفاده خواهد شد. ساده‌ترین ساختار برای طراحی این پرده شامل سه لایه است:

- یک زمینه صاف که همان سطح فلزی است که باید مخفی گردد.
- یک دی‌الکتریک کم‌اتلاف با ضخامت معلوم ($\lambda/4$).
- یک صفحه یا ورقه تلفاتی نازک [۲۰].

استتار همواره یکی از مسائل مورد توجه در پدافند غیرعامل بوده است. روش‌های مختلفی برای استتار اهداف نظامی در نواحی مختلف طیفی وجود دارد. یکی از نواحی مهم طیف الکترومغناطیس که مورد توجه حسگرهای دشمن می‌باشد ناحیه راداری آن است. کلمه رادار^۱ (RADAR) به معنی آشکارسازی و فاصله‌یابی به کمک امواج رادیویی می‌باشد. رادار نوعی سنجنده فعال محسوب گردیده و یک سیستم الکترومغناطیسی برای تشخیص و آشکارسازی اهداف بوده و قادر است با ارسال موج خاصی به طرف هدف و دریافت موج بازگشتی اطلاعات مفیدی در مورد هدف از جمله: مکان‌یابی و فاصله‌یابی موقعیت، جهت، سرعت و اطلاعاتی از شکل هندسی را در اختیار استفاده کننده قرار دهد. بیشترین کاربرد رادارها در بازه بسامدی ۱۲-۸ گیگاهرتز می‌باشد که بر روی سکوهاى مختلف نصب می‌شوند. رادارها در بسامدهای مختلف و برای کاربردهای متناسب با بسامد آنها مورد استفاده قرار می‌گیرند. استتار راداری اهداف نظامی در همه محیط‌ها مورد توجه است زیرا اهداف نظامی انعکاس‌دهنده قوی امواج راداری بوده درحالی‌که پس زمینه انعکاس‌دهنده ضعیف این امواج می‌باشند. ارسال امواج راداری از سمت سنجنده به سمت اهداف نظامی و سپس دریافت انعکاس امواج راداری از سمت اهداف نظامی توسط سنجنده باعث کشف و شناسایی آنها خواهد شد. روش‌های استتار اهداف نظامی در برابر سنجنده های راداری به چهار طریق انجام می‌شود که عبارتند از: ۱- شکل‌دهی، ۲- بارگذاری فعال، ۳- بارگذاری غیرفعال و ۴- استفاده از مواد جاذب رادار [۲۰] که در این تحقیق برای ساخت پوشش‌های استتار راداری از مواد جاذب رادار با ساختار پرده سالیسبوری استفاده شد. در این ساختار پوشش شامل یک لایه عایق و یک لایه رسانا است.

در این تحقیق، لایه پارچه به عنوان لایه عایق عمل کرده و لایه فلز پوشش داده شده بر روی پارچه به عنوان لایه رسانا عمل خواهد کرد. فرآیند بر روی دو پارچه پلی‌استری با بافت و ضخامت‌های مختلف انجام شد و در نهایت میزان

² Salisbury Screen

³ Winfield Salisbury

¹ Radio Detection and Ranging

لایه‌نشانی الکترولس رایج‌ترین روش شیمیایی برای لایه‌نشانی فیلم‌های فلز از محلول، بدون استفاده از منبع جریان الکتریکی است. در این روش فیلم‌های فلز تنها روی سطوح فعال بدون جریان خارجی و به وسیله کاهش شیمیایی یون‌های فلز در محلول آبی شامل یک عامل کاهش‌ی تشکیل می‌شود. لایه‌نشانی الکترولس به عنوان یک فرآیند برای لایه‌نشانی فیلم‌های فلز به وسیله یک واکنش شیمیایی کنترل شده که به وسیله فلز یا آلیاژ نه‌نشین شده کاتالیز می‌شود تعریف می‌گردد [۷و۶].

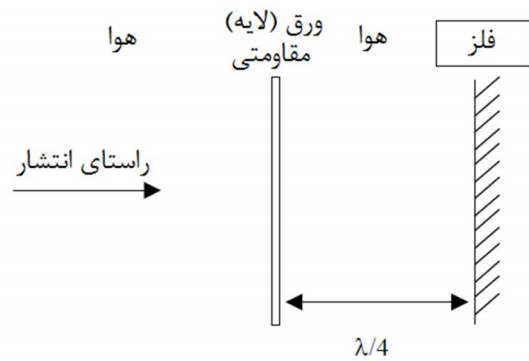
ژانگ و همکارانش در سال ۲۰۰۶ به مطالعه ریزساختار و رفتار جذب امواج الکترومغناطیس پارچه‌های پلی‌استر با پوشش الکترولس نیکل در بستر رزین اپوکسی پرداخته و به جذب ۹۰٪ امواج در فرکانس ۹۰۰ مگاهرتز دست یافتند [۸]. یوان و همکارانش در سال ۲۰۰۷ به مطالعه خواص فیزیکی و مکانیکی پارچه‌های پلی‌استر اصلاح شده با پلاسما با پوشش الکترولس نیکل پرداختند [۹]. گیواو و همکارانش در سال ۲۰۰۹ تأثیر شرایط حمام لایه‌نشانی بر مورفولوژی و رسانایی پارچه‌های پلی‌استر با پوشش الکترولس نیکل را مورد بررسی قرار دادند [۷]. لو نیز در سال ۲۰۰۹ ثبات شستشویی پارچه‌های پلی‌استر با پوشش الکترولس مس را مطالعه نمود [۵].

این مقاله به بررسی خواص ساختاری، جذب امواج راداری و ثبات در برابر عوامل محیطی پارچه‌های پلی‌استر دو بعدی و سه بعدی پوشش داده شده با نیکل با استفاده از روش الکترولس می‌پردازد.

۲- روش تحقیق

۲-۱ مواد مورد استفاده

دترجنت غیر یونی، کلرید قلع، کلرید پالادیوم، اسید کلریدریک ۳۸٪، سولفات نیکل، محلول آمونیاک و اسید بوریک از شرکت مرک آلمان و هیپوفسفیته سدیم از شرکت آلفا ایسر آلمان تهیه گردید. پارچه‌های پلی‌استر تار پودی با مشخصات: بافت تافته، تراکم تار در سانتی‌متر: ۳۶، تراکم پود در سانتی‌متر: ۱۴، نمره نخ تار: ۶۶۰ دنیر، نمره نخ پود: ۱۹۸۰ دنیر، وزن در متر مربع: ۲۷۰، ضخامت: ۰/۶۲ میلی‌متر و سطح مقطع تری‌گونال و پلی‌استر اسپیسر با طرح بافت راشل شامل

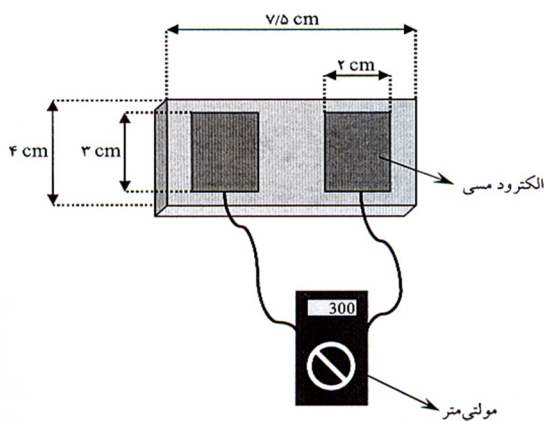


شکل ۱. ساختار صفحه سالیسبوری.

در پرده سالیسبوری هنگامی که موج راداری به سطح دی‌الکتریک‌ها برخورد می‌کند به دو موج با شدت یکسان بخش می‌شود. یکی از امواج از سطح لایه تلفاتی منعکس شده و دیگری که از لایه دی‌الکتریک عبور کرده است از سطح فلز (هدف) منعکس می‌شود و دوباره از دی‌الکتریک عبور کرده و به بیرون می‌رود. مسافت اضافی که موج دوم می‌پیماید دو برابر ضخامت دی‌الکتریک ($\lambda/4$) یعنی $\lambda/2$ است و سبب می‌شود هنگام بیرون آمدن از سطح دی‌الکتریک نسبت به موج اول ۱۸۰ درجه اختلاف فاز ۱ پیدا کند. وقتی موج دوم به سطح می‌رسد دو موج ترکیب می‌شوند و به علت پدیده تداخل مخرب، همدیگر را خنثی یا حذف می‌کنند؛ در نتیجه، هیچ انرژی بازتابیده‌ای جهت دریافت آنتن گیرنده رادار وجود نخواهد داشت [۱-۳]. از طرفی اگر مقاومت صفحه ۳۷۷ اهم بر سانتی‌متر مربع باشد، آنگاه انطباق امپدانسی خوبی نیز اتفاق می‌افتد [۱ و ۲و۴].

روش‌های گوناگونی به منظور تولید الیاف رسانا با پوشش دهی مواد فلزی مورد بررسی محققان قرار گرفته‌اند که از جمله این روش‌ها می‌توان به آبکاری، رسوب فیزیکی بخار، رسوب شیمیایی بخار، آرک اسپری و لایه‌نشانی الکترولس اشاره نمود. در میان این روش‌ها لایه‌نشانی الکترولس با داشتن مزایایی چون تولید پوشش با رسانایی بالاتر، قابلیت تولید در مقیاس صنعتی، آسان بودن روش لایه‌نشانی و انجام لایه‌نشانی در دمای پایین، مقرون به صرفه بودن، عدم نیاز به تجهیزات و مواد پیشرفته و تنوع وسیع در انتخاب زیرلایه و نوع فلز مورد پوشش‌دهی بسیار مورد توجه محققان قرار گرفته است [۵].

این استاندارد مقاومت سطحی نمونه‌ها در شرایط استاندارد (رطوبت نسبی ۶۵٪ و دمای °C ۲۴) توسط مولتی‌متر (Sunwa YX-360TRES ساخت ژاپن) اندازه‌گیری شد. برای استفاده از این استاندارد، دستگاهی مطابق شکل (۳) ساخته شد که از دو الکتروود ورقه‌ای مسی مستطیل شکل به ابعاد سه سانتی‌متر در دو سانتی‌متر و با ضخامت ۰/۵ میلی‌متر متصل به یک صفحه نگهدارنده تشکیل شده است. این الکتروودها دو سانتی‌متر از هم فاصله داشته و از طریق سیم‌های مسی به پراب‌های مولتی‌متر متصل شده‌اند. میزان نیروی فشاری وارده بر پارچه جهت گزارش مقاومت سطحی ۱۰ نیوتن انتخاب گردید. مقاومت سطحی هر نمونه ۱۰ بار (پشت و روی نمونه) اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها به عنوان مقاومت سطحی نمونه گزارش گردید.



شکل ۳. دستگاه اندازه‌گیری مقاومت سطحی.

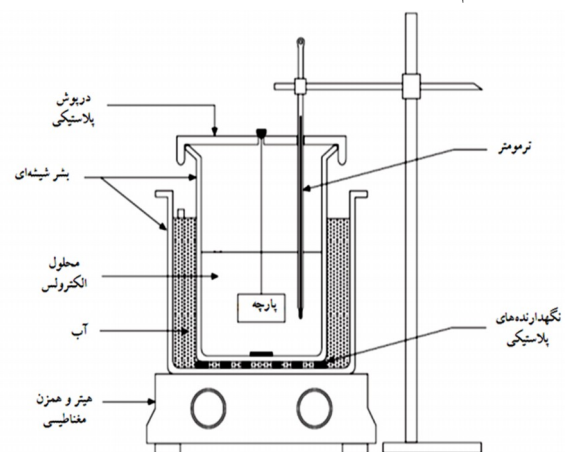
مورفولوژی پوشش و چسبندگی لایه فلز به سطح توسط میکروسکوپی الکترونی روبشی^۱ مدل KYKY EM3200 ساخت کشور چین ارزیابی شد. توزیع انرژی طیفی اشعه ایکس^۲ (EDX) نمونه‌ها با دستگاه OXFORD INDUSTRIES INCA PentaFETx3 ساخت کشور انگلستان انجام شد. آزمایش EDX در سه نقطه بر روی هر نمونه انجام و میانگین نتایج این سه نقطه گزارش گردید.

جهت ارزیابی حفاظت در برابر امواج میکروویو نمونه های پوشش داده شده از ابزار موج بر باند ایکس (شکل ۴) مجهز به تحلیل گر شبکه در محدوده بسامد ۸ تا ۱۲ گیگا هرتز استفاده گردید. با قرار دادن نمونه پوشش داده شده در مرکز موج بر، دو قطعه این موج بر از روبرو به هم متصل و امواج تولید شده توسط مولد امواج از طریق موج بر باند ایکس به

سه لایه با مشخصات: نمره نخ لایه رویی: ۵۰ دسی‌تکس ۲۴ فیلامنت، نمره نخ لایه میانی: ۳۳ دسی‌تکس مونوفیلامنت، نمره نخ لایه زیرین: ۲۰۰ دسی‌تکس ۷۲ فیلامنت، وزن در متر مربع: ۲۹۱، ضخامت: ۲/۳ میلی‌متر و درصد تخلخل: ۸۸/۴٪ در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۲ روش پوشش دهی الکترولس

پوشش دهی الکترولس در یک فرآیند چهار مرحله‌ای شامل آماده‌سازی، حساس‌سازی، فعال‌سازی و لایه‌نشانی انجام گرفت. در ابتدا نمونه توسط دترجنت غیر یونی ۱۰٪ در pH=۷ در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه انجام گرفت. حساس‌سازی با غوطه‌وری نمونه در محلول ۱۰ گرم بر لیتر کلرید قلع و ۴۰ میلی‌لیتر بر لیتر اسید کلریدریک ۳۸٪ در دمای محیط به مدت ۱۵ دقیقه انجام گرفت. سپس، نمونه‌ها با آب مقطر شستشو شد و جهت حساس‌سازی در محلول ۰/۵ گرم بر لیتر کلرید پالادیوم و ۲۰ میلی‌لیتر بر لیتر اسید کلریدریک ۳۸٪ در دمای محیط به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفت. پس از پنج دقیقه شستشوی نمونه با آب مقطر، نمونه وارد حمام لایه‌نشانی شد. حمام لایه‌نشانی شامل ۲۰ گرم بر لیتر سولفات نیکل، ۳۰ گرم بر لیتر اسید بوریک، ۴۰ گرم بر لیتر هیپوفسفیت سدیم شد. پوشش دهی در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه در pH=۱۰ با حضور محلول آمونیاک انجام گرفت. شماتیک حمام پوشش دهی در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲. شماتیک حمام پوشش دهی الکترولس.

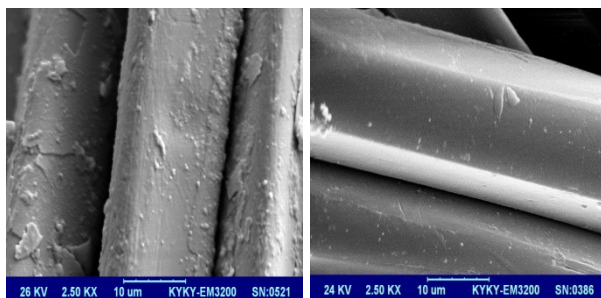
۳-۲ ارزیابی پوشش

مقاومت سطحی و رسانایی پارچه‌های پوشش داده شده براساس استاندارد AATCC 76-2000 تعیین شد [۱۰]. مطابق

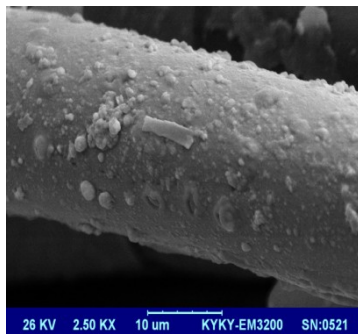
¹ Scanning Electron Microscope, SEM

² Energy Dispersive X-ray, EDX

طبق نتایج تحقیق گیواو و همکاران با کنترل دمای فرآیند الکترولس می‌توان به پوششی با ساختار یکنواخت دست یافت. این محققان نشان دادند که با افزایش دمای فرآیند بیش از ۵۰ درجه سانتی‌گراد میزان نیکل پوشش داده شده بر سطح کاهش یافته و ذرات نیکل بر روی سطح، ساختار نامنظمی به خود می‌گیرند [۷]. در ضمن ضخامت لایه نیکل پوشش داده شده بر روی الیاف نیز به کمک تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی سطح مقطع عرضی لیف‌ها و با اندازه‌گیری ضخامت لایه در ۱۰ نقطه و میانگین‌گیری از آنها تعیین گردید که در حدود $1/4 \mu\text{m}$ بود (شکل ۶).

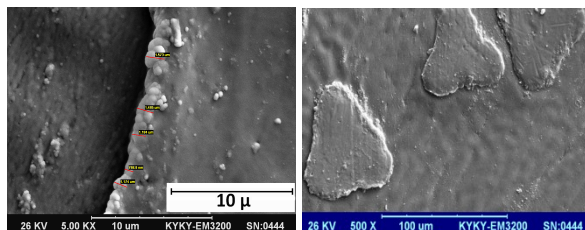


(الف) (ب)



(ج)

شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی پارچه‌های پلی‌استر (الف) بدون پوشش، (ب) پارچه تار پودی با پوشش نیکل و (ج) پارچه اسپیسر با پوشش نیکل.

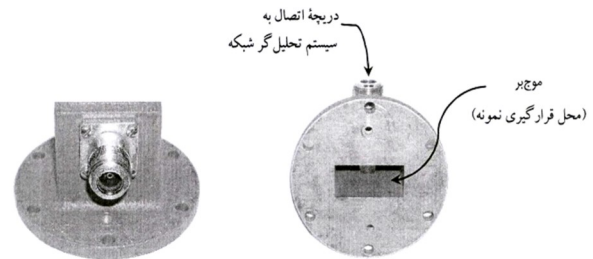


(الف) (ب)

شکل ۶. (الف) تصویر SEM سطح مقطع عرضی لیف‌های موجود در بستر اپوکسی و (ب) لایه نیکل در مقطع عرضی یک لیف.

پس از انجام پوشش‌دهی رنگ الیاف پلی‌استر از سفید به قهوه‌ای تیره تغییر رنگ می‌دهد (شکل ۷) که این نشان از

سطح نمونه تابیده و انعکاس امواج بازگشتی توسط دستگاه تحلیل گر شبکه HP C8103 مورد ارزیابی قرار گرفت و نمودار کاهش قدرت امواج (توان بازگشتی) بر حسب دسی‌بل ترسیم شد.



شکل ۴. تجهیزات موج بر باند ایکس ویژه آزمایش جذب امواج رادار.

ثبات شستشویی نمونه‌ها براساس روش ارائه شده توسط لو و همکاران ارزیابی شد. دو گرم نمونه پوشش‌دهی شده به مدت یک ساعت در حمام اولتراسونیک (UP200HHielscher Ultrasound Technology ساخت کشور آلمان) قرار گرفت و درصد کاهش وزن و مورفولوژی نمونه‌ها پس از شستشو به عنوان معیاری از ثبات لایه در برابر شستشو گزارش شد. ثبات نوری نمونه‌ها بر اساس استاندارد ISO 105-B01 ارزیابی شد [۱۱]. براساس این استاندارد نیمی از پارچه‌های پوشش داده شده به همراه معیار آبی^۱ با مقوا پوشانده و به مدت ۷۲ ساعت در دستگاه ثبات نوری مجهز به یک لامپ زنون با توان ۱۴۰ وات بر متر مربع (مشابه نور خورشید) و سیستم اسپری شبیه‌ساز بارش قطرات باران قرار داده شد. میزان تغییر رنگ پارچه‌ها در برابر نور به وسیله معیار آبی به عنوان معیاری از ثبات در برابر نور خورشید گزارش شد.

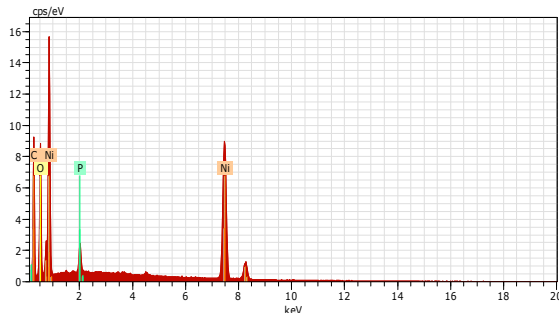
۳- نتایج و بحث

شکل (۵) تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی پارچه‌های پلی‌استری پوشش داده شده با نیکل-فسفر را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که سطح الیاف پیش از پوشش‌دهی به‌طور کامل صاف و هموار بوده و پس از پوشش‌دهی ذرات نیکل به‌طور یکنواخت و به شکل ساختارهای کروی روی سطح الیاف قرار گرفته‌اند. علت یکنواختی بالا در پوشش‌دهی ذرات نیکل بر سطح کنترل دمای فرآیند پوشش‌دهی بود. بر

^۱ Blue scale

به میزان فسفر می‌باشد به گونه‌ای که اگر میزان فسفر پوشش بیشتر از ۸٫۵ درصد وزنی باشد ساختار آلیاژ به دلیل بی‌نظمی شبکه ناشی از حضور فسفر در پوشش، آمورف خواهد بود [۱۳].

شکل (۹) توزیع انرژی طیفی اشعه ایکس الیاف پلی استر پوشش‌دهی شده با نیکل و جدول (۱) نتایج آن را نشان می‌دهد. با توجه به داده‌های جدول (۱) درصد کمی حضور نیکل در ساختار پوشش ۶۴٫۵۶٪ بود.



شکل ۹. توزیع انرژی طیفی اشعه ایکس الیاف پلی استر با پوشش نیکل.

جدول ۱. نتایج آنالیز عنصری EDX پلی استر با پوشش نیکل.

عنصر	درصد وزنی
C	۱۵٫۱۰
O	۱۳٫۷۳
P	۶٫۶۱
Ni	۶۴٫۵۶

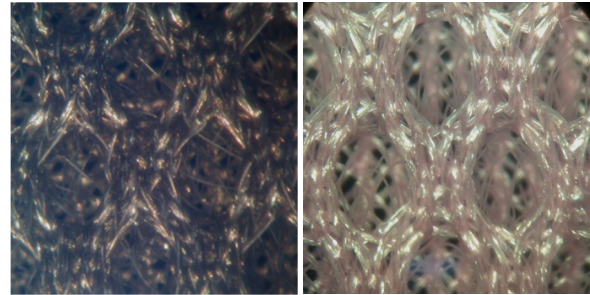
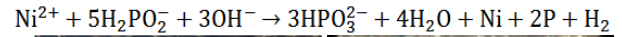
به منظور تعیین مقدار نیکل بارگذاری شده بر روی پارچه‌ها، وزن آنها قبل و بعد از فرآیند لایه‌نشانی الکترولس اندازه‌گیری شد و اختلاف وزن به صورت درصد در جدول (۲) گزارش گردید.

جدول ۲. نتایج ارزیابی میزان فلز پوشش داده شده در فرآیند الکترولس.

نمونه	وزن قبل پوشش (گرم)	وزن بعد پوشش (گرم)	میزان فلز پوشش داده شده (%)
پلی استر تار پودی با پوشش نیکل	۲٫۰۰۰۴	۲٫۳۹۷۰	۱۶٫۵۵
پلی استر اسپیسر با پوشش الکترولس	۲٫۰۰۲۹	۲٫۳۳۸۳	۱۴٫۳۴

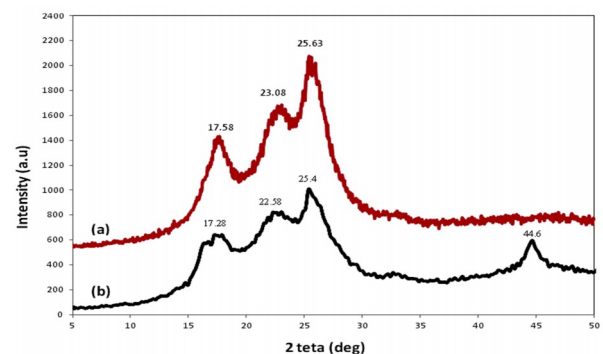
مقادیر اندازه‌گیری شده مقاومت سطحی و رسانایی نمونه‌ها در جدول (۳) نشان داده شده است. نتایج این جدول نشانگر کاهش مقاومت پارچه‌ها و یا افزایش رسانایی آنها بوده

احیاء سولفات نیکل به شکل نیکل اتمی بر سطح الیاف می‌باشد. واکنش احیاء نیکل در حضور احیاء‌کننده هیپوفسفیت سدیم و تولید نیکل فلزی در ادامه نشان داده شده است [۱۲].



شکل ۷. تصاویر میکروسکوپی نوری پارچه پلی استر اسپیسر (الف) بدون پوشش و (ب) با پوشش نیکل.

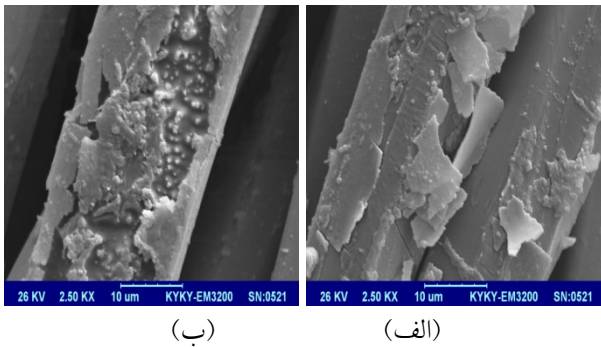
شکل (۸) منحنی پراش اشعه ایکس پارچه پلی استر تار پودی بدون پوشش و با پوشش الکترولس نیکل را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود الیاف پلی استر دارای سه پیک در زوایای پراش ۱۷٫۵۸، ۲۳٫۰۸ و ۲۵٫۶۳ است که به ترتیب مربوط به صفحات بلوری (۱۰۰)، (۱۱۰) و (۱۰۰) می‌باشد. در الگوی پراش اشعه ایکس پلی استر با پوشش نیکل علاوه بر پیک‌های مربوط به صفحات بلوری پلی استر، پیک پهنی در زاویه پراش ۴۴٫۶ مشاهده می‌شود که مربوط به ساختار آمورف آلیاژ نیکل - فسفر پوشش می‌باشد.



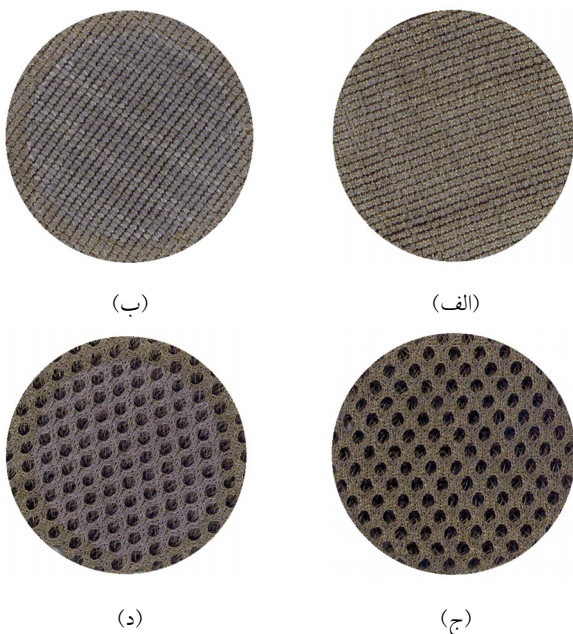
شکل ۸. منحنی پراش اشعه ایکس پلی استر تار پودی (a) بدون پوشش، (b) با پوشش نیکل.

این بدین معناست که ساختار لایه نیکل به صورت تمام بلور نبوده و این ساختار پوشش را ترد می‌کند. محققان بر این باورند که فسفر سبب بی‌نظمی شبکه بلوری نیکل می‌شود. بنابراین، ساختار بلوری آلیاژ نیکل - فسفر به طور عمده وابسته

شکل (۱۱) تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی پلی استر پوشش داده شده با نیکل را پس از سه روز قرارگیری در برابر نور نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که پرتوهای ماوراءبنفش نور توانسته ورقه‌هایی از پوشش نیکل را از سطح الیاف جدا کند. نفوذ پرتوهای پر قدرت ماوراءبنفش سبب گردیده تا علاوه بر سطح پوشش داده شده با فلز، بخش‌های داخلی الیاف نیز براساس سازوکار فوتوحرارتی ماوراءبنفش آسیب ببیند که این امر می‌تواند سبب کاهش استحکام تا حد پارگی، تخریب سریعتر الیاف و کاهش کارایی پارچه گردد. نتایج کاهش وزن نمونه‌ها بر اثر سایش و تغییر مقیاس آبی پارچه‌ها (جدول ۵ و شکل ۱۲) نشانگر آن است که نمونه‌ها ثبات سایشی و نوری بالایی دارند.



شکل ۱۱. تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی الیاف پلی‌استر تار پودی با پوشش نیکل (الف) ثبات سایشی، (ب) ثبات نوری.



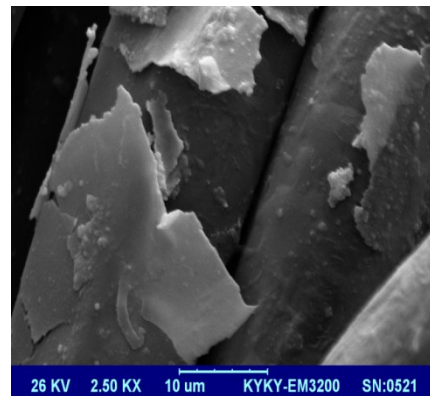
شکل ۱۲. تصاویر پارچه‌های پلی‌استر با پوشش نیکل قبل و بعد از سایش (الف) پارچه تار پودی قبل سایش، (ب) پارچه تار پودی بعد سایش (ج) پارچه اسپیسر قبل سایش، (د) پارچه اسپیسر بعد سایش

است. کاهش عمده مقاومت سطحی الیاف در اثر پوشش نیکل - فسفر با افزایش رسانایی الیاف همراه بوده و از آنجا که فلزات بازتابنده‌های قوی امواج الکترومغناطیس می‌باشند بالطبع یکی از کاربردهای عمده تورهای پوشش داده شده در حوزه استتار راداری می‌باشد.

جدول ۳. نتایج ارزیابی مقاومت سطحی و رسانایی.

نمونه	ضخامت (mm)	مقاومت سطحی (Ω/cm^2)	رسانایی (cm^2/Ω)
پلی‌استر تار پودی با پوشش نیکل	۰٫۷	۴۳٫۴۰	۰٫۰۲۳
پلی‌استر اسپیسر با پوشش نیکل	۲٫۷	۲۳۰٫۳۶	۰٫۰۰۴۳

شکل (۱۰) تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی پارچه پلی‌استر تار پودی پوشش داده شده با نیکل فسفر را پس از شستشو نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که پس از شستشو در حمام اولتراسونیک، ورقه‌هایی از پوشش نیکل - فسفر از سطح الیاف جدا می‌شود. نتایج بررسی مقاومت سطحی و کاهش وزن نمونه‌ها پس از شستشو (جدول ۴) نشان می‌دهد که نمونه‌ها ثبات شستشویی بالایی دارند.



شکل ۱۰. تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی پلی‌استر تار پودی با پوشش نیکل پس از شستشو در حمام اولتراسونیک.

جدول ۴. نتایج ثبات شستشویی.

نمونه	وزن قبل شستشو (گرم)	وزن بعد شستشو (گرم)	کاهش وزن (%)
پلی‌استر تار پودی با پوشش نیکل	۲٫۳۹۷۰	۲٫۳۹۲۶	۰٫۱۸
پلی‌استر اسپیسر با پوشش نیکل	۲٫۳۳۸۳	۲٫۳۳۱۲	۰٫۳۰

جدول ۵. نتایج ثابت سایشی و نوری.

ثبات نوری	ثبات سایشی			معیار آبی (۱-۸)
	وزن قبل سایش (گرم)	وزن بعد سایش (گرم)	کاهش وزن (%)	
پلی استر تار پودی با پوشش نیکل	۰,۲۰۳۳	۰,۲۰۱۸	۰,۷۴	۵
پلی استر اسپیسر با پوشش نیکل	۰,۲۵۴۵	۰,۲۵۳۶	۰,۳۵	۵

در این تحقیق به منظور بررسی میزان جذب امواج راداری با استفاده از ساختار پرده سالیسبوری از پوشش نیکل به عنوان لایه تلفاتی و از منسوجات پلی استری با بافت های متفاوت و ضخامت های مختلف به عنوان لایه دی الکتریک با ثابت دی الکتریک بالاتر از هوا یعنی ۲/۸-۱ (ثابت دی الکتریک پلی استر به صورت فیلم که یک لایه فشرده می باشد، ۲/۸ است. پارچه های پلی استری که فشرده گی حالت فیلمی را ندارند و درصدی هوا درون آنها موجود است، ثابت دی الکتریک بین حالت فیلمی و هوا دارند) استفاده شد. برای رسیدن به این هدف ابتدا لایه ای از فلز نیکل به روش الکترولس بر روی منسوجات پلی استری نشانده شد و سپس میزان جذب امواج راداری آن به کمک دستگاه تحلیل گر شبکه تعیین گردید.

شکل (۱۳) نمودار جذب امواج راداری (میزان تلفات بر حسب طول موج) پارچه های پلی استر تار پودی و اسپیسر با پوشش نیکل در باند ایکس (بسامدهای ۸ تا ۱۲ گیگاهرتز یا طول موج های ۳/۷۵ تا ۲/۵ سانتی متر) را نشان می دهد. با توجه به نمودارهای شکل (۱۳) مطالب ذیل قابل استنتاج است:

میزان جذب پوشش های تهیه شده وابسته به بسامد یا طول موج است. هر دو پوشش تهیه شده در همه فرکانس های باند ایکس، جذب بیش از ۹۶/۴۵٪ (تلفات ۱۴/۵ dB-) دارند. بهترین جاذب، پارچه اسپیسر بود که توانسته در بسامد ۹/۹ گیگاهرتز، ۹۹/۷۴٪ امواج (تلفات ۲۵/۸ dB-) را جذب نماید.

حالت بهینه در ساختار پرده سالیسبوری برای داشتن بیشترین میزان جذب امواج، استفاده از یک لایه تلفاتی با مقاومت ۳۷۷ اهم در فاصله ۱/۴ طول موج از سطح فلزی هدف می باشد به طوری که بین لایه تلفاتی و هدف یک لایه هوا با ثابت دی الکتریک یک وجود داشته باشد. تغییر هر یک از این پارامترها می تواند بر حالت بهینه پارامترهای دیگر تاثیر بگذارد. در بین پوشش های تهیه شده پارچه پلی استر اسپیسر در مقایسه با پارچه پلی استر تار پودی میزان جذب بیشتری داشته است. تفاوت پارچه ها در میزان جذب امواج راداری و نیز وابستگی به بسامد به خاطر اختلاف آنها در ضخامت، مقاومت و ثابت دی الکتریک (درصد ماده پلی استر و هوا در لایه دی الکتریک) می باشد. مقاومت پارچه پلی استر اسپیسر (۲۳۰/۳۶ اهم بر سانتی متر مربع) به ۳۷۷ اهم بر سانتی متر مربع و ضخامت آن

تحقیقات نشان داده در موادی که مقاومت الکتریکی بسیار پایین دارند نظیر فلزات به طور تقریبی تمام امواج تابیده شده به ماده بازتاب می شود. اکثر اهداف نظامی دارای بدنه فلزی می باشند. بنابراین، قسمت اعظم امواج راداری تابیده شده به اهداف نظامی توسط سیستم حسگری دشمن به سمت آشکار ساز آن باز می گردد که این موضوع باعث کشف و شناسایی اهداف نظامی توسط سیستم راداری دشمن خواهد شد. سازوکار عمل فلزات در مقابل برخورد امواج الکترومغناطیسی به دلیل رسانایی زیاد و وجود الکترون های آزاد در آنها به طور اساسی از نوع بازتاب امواج است. اما برای اینکه ماده قادر به جذب امواج الکترومغناطیسی باشد لازم است که دارای دوقطبی های الکتریکی یا مغناطیسی باشد تا این دوقطبی ها با میدان های الکترومغناطیسی امواج برهم کنش دهند. با توجه به فلزی بودن بدنه اهداف نظامی بهتر است از مواد جاذب رادار یا ساختارهای جاذب رادار برای پوشاندن اهداف نظامی استفاده شود. این پوشش ها با جذب امواج راداری مانع بازگشت آنها به سمت آشکار سازهای راداری دشمن خواهند شد. عدم بازگشت امواج راداری از اهداف نظامی باعث اختلال در کشف و شناسایی آنها خواهد شد.

یکی از ساختارهای جاذب رادار، ساختار پرده سالیسبوری است. در این ساختار یک لایه تلفاتی که دارای مقاومت است در فاصله ۱/۴ طول موج از سطح فلزی هدف قرار می گیرد. بین لایه تلفاتی و هدف یک لایه هوا (با ثابت دی الکتریک یک) قرار می گیرد که می توان به جای هوا از یک ماده با ثابت دی الکتریک بالاتر استفاده نمود. استفاده از یک ماده با ثابت دی الکتریک بالاتر باعث کاهش ضخامت این پوشش خواهد شد اما پهنای باند جذب آنرا کاهش خواهد داد.

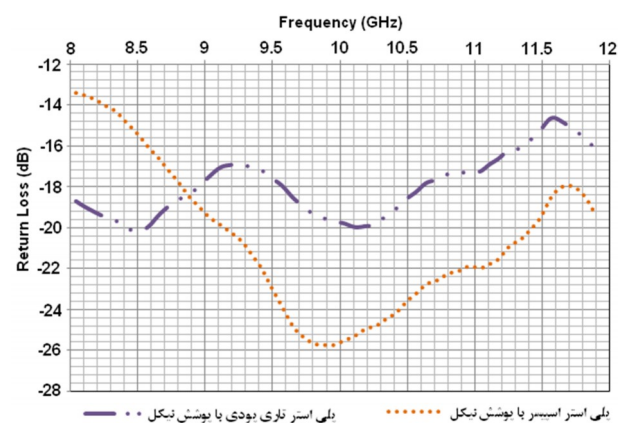
گرفت. با کنترل شرایط پوشش‌دهی امکان دستیابی به پوششی یکنواخت با چسبندگی لایه بالا، رسانایی بالا به دلیل درصد بالای نیکل در پوشش و پایدار در برابر عوامل محیطی (شستشو، سایش و نور) فراهم آمد. پوشش انجام شده نسبت به سایر روش‌های پوشش‌دهی فلز مزایای آشکاری چون قابلیت تولید صنعتی، ارزان بودن، یکنواختی بالا و عدم کاهش انعطاف‌پذیری نمونه را دارد.

مراجع

1. Saville, P., Review of radar absorbing materials, Defence R&D Canada – Atlantic, (2005).
2. Ramana Rao, J.V., Introduction to camouflage and deception, Defence Research & Development Organisation, Ministry of Defence, (1999).
3. Salisbury, W.W., Absorbent body for electromagnetic waves, US Patent 2599944. (1952).
4. Fante, R.L. and McCormack, M.T., Reflection properties of the Salisbury screen, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 36 (1988) 1443-1454.
5. Lu, Y., Electroless copper plating on 3-mercaptopropyltriethoxysilane modified PET fabric challenged by ultrasonic washing, *Applied Surface Science*, 225 (2009) 8430-8434.
6. Rounghui, G., A study of optimizing processes for metalized textile design application, PHD Thesis, Hong Kong Polytechnic University, Institute of Textiles and Clothing, (2010).
7. Guo, R.H., Jiang, S.Q., Yuen, C.W.M. and Ng, M.C.F., Microstructure and electromagnetic shielding effectiveness of electroless Ni-P plated polyester fabric, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 20 (2009) 735-740.
8. Zeng, W. and Tan, S.T., Preparation and EMI shielding properties of nickel coated PET fiber filled epoxy composites, *Polymer Composites*, 27 (2006) 24-29.
9. Yuen, C.W.M., Jiang, S.Q., Kan, C.W. and Tung, W.S., Influence of surface treatment on the electroless nickel plating of textile fabric, *Applied Surface Science*, 253 (2007) 5250-5257.
10. AATCC Test Method 76-2000, Electrical Surface Resistivity of Fabrics, American Association of Textile Chemists and Colorists (AATCC) Test Methods and Procedures, USA, 85 (2004) 101-102.
11. ISO Test Method 105-B01, Textiles-Tests for colour fastness Colour fastness to light: Daylight, the international organization for standardization (ISO), (1994).
12. Jiang, S.X. and Guo, R.H., Electromagnetic shielding and corrosion resistance of electroless Ni-P/Cu-Ni multilayer plated polyester fabric, *Surface and Coating Technology*, 205 (2011) 4274-4279.
13. Rajaguru, J.C., Au, C. and Duke, M., Study of electroless nickel plating on PerFactory™ rapid prototype model, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 55 (2012) 782-789.

(۲/۷ میلی‌متر) به $\frac{1}{4}$ طول موج (۰/۶۲۵ تا ۰/۹۳۸ سانتی‌متر) در مقایسه با پارچه پلی‌استر تار پودی نزدیکتر است.

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که مقاومت لایه تلفاتی مهمترین تاثیر را بر جذب امواج راداری دارد به‌طوری‌که با افزایش مقاومت سطحی منسوجات، جذب راداری آنها نیز افزایش می‌یابد. ضخامت پارچه دومین پارامتر تاثیرگذار است به‌طوری‌که پارچه اسپیسر با ضخامت بیشتر، دارای بیشترین میزان جذب امواج راداری است. سومین پارامتر، نوع بافت است که بر ثابت دی الکتریک پارچه اثر می‌گذارد. در پارچه های تار پودی، بافت از نوع تافته است. در این نوع بافت پیوستگی بین تارها و پودها باعث شده تا سهم هوا در بین آنها کاهش یابد در حالی‌که در دو پارچه اسپیسر سهم هوا به‌خاطر منافذی که در پارچه وجود دارد افزایش می‌یابد. بنابراین، پارچه‌های تار پودی بیشترین ثابت دی الکتریک و پارچه اسپیسر کمترین ثابت دی الکتریک را دارا می‌باشد. با افزایش ثابت دی الکتریک میزان جذب امواج راداری کاهش یافته و در عوض پهنای باند افزایش می‌یابد. همانطور که در نمودار شکل (۱۳) مشاهده می‌شود، پارچه تار پودی که ثابت دی الکتریک بیشتری دارد دارای کمترین میزان جذب ولی پهنای باند زیاد است. در مقابل پارچه اسپیسر که ثابت دی الکتریک کمتری دارد دارای بیشترین میزان جذب ولی پهنای باند باریک می‌باشد.



شکل ۱۳. نمودار جذب امواج مایکروویو باند ایکس پارچه‌های پلی‌استر با پوشش نیکرولس.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله پوشش‌دهی پارچه پلی‌استر دو بعدی و سه بعدی با پوشش نیکل جهت تولید تور استتار رسانا با قابلیت کاربرد در استتار راداری ادوات نظامی مورد بررسی قرار