AMNC
available online @ amnc.aut.ac.ir
نشریه علمی پژوهشی مواد پیشرفته و پوشش‌های نوین- ۳۹ (۱۴۰۰) ۲۹۰۷- ۲۸۹۸

کاربرد کاکتوس روی منسوجات به عنوان عامل محافظ در برابر امواج الکترومغناطیس

جواد مختاری[۱و۲*]، عطیه شادمان[۲]، عذرا غمگسار[۲]

۱. دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ایران، صندوق پستی ۱۵۹۱۶-۳۴۳۱۱

۲. گروه مهندسی نساجی، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران، صندوق پستی۴۱۶۳۵-۳۷۵۶

چکیده

منسوج پنبه‌ای با به کارگیری املاح کاکتوس برای تولید محافظ امواج الکترومغناطیس تهیه شد. برای انتقال خواص محافظتی به نانوکامپوزیت‌ها، آن‌ها باید تحت تکمیل‌های خاصی مانند تکمیل‌های سطحی یا انواع خاصی از مواد افزودنی قرار گیرند. از جمله مواد معدنی که برای محافظت از امواج رادیویی استفاده می‌شود، مس است؛ زیرا رادیو و سایر امواج الکترومغناطیسی را جذب می‌کند. پارچه پنبه‌ای با به کارگیری محلول کاکتوس به روش رمق‌کشی رنگرزی شد. برای بررسی ترکیبات شیمیایی و میزان اثربخشی محافظتی آن، آنالیزهای میکروسکوپ الکترونی روبشی، طیف‌سنج پراش انرژی پرتو ایکس و تحلیلگر شبکه انجام گردید. نتایج نشان دهنده این است که املاح معدنی موجود در کاکتوس روی منسوج مورد نظر قرار گرفته‌اند. هم‌چنین، میزان حفاظت از تداخل الکترومغناطیسی نمونه‌ها در محدوده ۲ تا ۷ گیگاهرتز اندازه‌گیری شد و نتایج نشان دادند که اثر محافظتی منسوجات با به کارگیری کاکتوس در محدوده فرکانسی ۴/۵-۵ گیگاهرتز از ۳۴/۱۹۵ به ۴۴/۹۱۲ دسی‌بل افزایش یافته است. از این رو، محلول کاکتوس بر میزان اثربخشی محافظتی منسوج مورد نظر موثر بوده است.

واژگان کلیدی: املاح کاکتوس، امواج الکترومغناطیس، پوشش محافظ، منسوج

تاریخ دریافت:
۱۴۰۰/۱۱/۱۲

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۰۱/۲۸

عهده دار مکاتبات: mokhtarij@aut.ac.ir

AMNC

Application of Cactus on Textiles as a Shielding Agent against Electromagnetic Waves

Javad Mokhtari *[1,2], Atiyeh Shademan [2] , Ozra Ghamgosar [2]

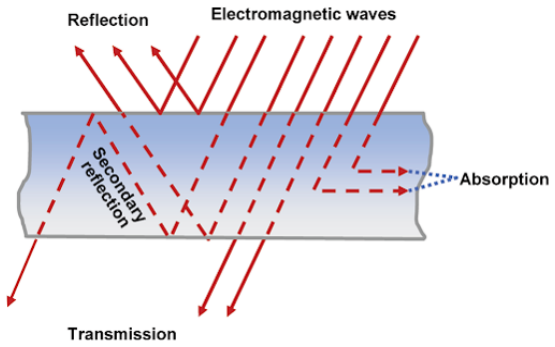
1- Department of Polymer Engineering and Color Technology, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Iran.
2- Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran

Abstract Cotton textile was prepared by using cactus salts to produce shielding for electromagnetic waves. To transfer shielding properties to nanocomposites, they must be subjected to certain finishes, such as surface finishing or certain types of additives. The minerals such as copper, which absorbs radio and other electromagnetic waves, used for shielding radio frequency. In this study, cotton textile was dyed using cactus solution by exhaustion method. Scanning electron microscopy and X-ray diffraction spectroscopy and network analyzer were performed to evaluate the chemical composition and its shielding effectiveness. The results showed that the mineral salts in the cactus have been applied to the textile. Also, the degree of shielding against electromagnetic interference of the samples was measured in the range of 2 to 7 GHz and the results showed that the shielding effectiveness of textiles with the use of cactus in the frequency range of 4-5.5 GHz has increased from 34.195 to 44.912 dB. Therefore, cactus solution has been effective on the shielding effectiveness of the textile.

Keywords Cactus solutes, Electromagnetic Waves, Shield, Textile

۱- مقدمه

با کشف الکتریسیته در قرن نوزده، ابعاد جدیدی از زندگی گشوده شد و نوآوری‌های فناوری پس از آن گسترش یافت. در حالی‌که جنبه مثبت این دانش و تکنولوژی، توسعه و تسهیل زندگی می‌باشد، جنبه منفی آن حاوی عناصر مختل‌کننده کیفیت زندگی هستند. هنگامی‌که بدن در معرض میدان الکتریکی قرار می‌گیرد، در پی رویداد القایی، بار الکتریکی روی سطح بدن جمع می‌شود. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده، هنگامی که امواج الکترمغناطیس به جسمی برخورد می‌کنند به چند بخش تقسیم می‌شوند: انعکاسی، جذبی و عبوری [۱]. وقتی موج الکترومغناطیس ساطع شده از یک دستگاه به دستگاه دیگری تداخل داشته و اختلالاتی در عملکرد آن ایجاد کند، از این مشکل تحت عنوان تداخل الکترومغناطیس یاد می‌شود. بدن انسان در معرض چنین فضایی قرار می‌گیرد. به خوبی شناخته شده است که قرارگیری در معرض تابش طولانی مدت اشعه الکترومغناطیسی می‌تواند تاثیرات منفی روی بافت انسان داشته باشد. گسترش اخیر وسایل الکترونیکی مانند تلفن‌های همراه و تجهیزات رایانه‌ای که اشعه الکترومغناطیسی را ساطع می‌کنند، این مشکل را به میزان قابل توجهی افزایش داده و نیاز به پوشش محافظ روزمره را ایجاد کرده است. منابع متداول پرتوهای الکترومغناطیس عبارتند از: پرتو ماوراء بنفش، تجهیزات پزشکی مثل MRI یا الکترودهای جراحی، انواع گیرنده‌ها و فرستنده‌های پزشکی، نظامی، رادیو و تلویزیون، تجهیزات الکتریکی، امواج ناوبری، ماهواره‌ها و تلفن و اینترنت و مخابرات [۲,۳]. در این راستا، انواع پارچه‌ها و پوشاک محافظ الکترومغناطیسی به منظور جلوگیری از تابش الکترومغناطیسی تهیه شده‌اند. به طور کلی، روش متداول برای حفاظت انسان‌ها از تابش الکترومغناطیس، حفاظت با ورقه‌ها و شبکه‌های فلزی است. با توجه به این نگرانی، چندین مطالعه با استفاده از مواد معدنی مختلف مانند نقره، مس، طلا، روی، تیتانیوم و آلومینیوم روکش‌شده روی پارچه، کامپوزیت‌ها و نخ‌ها انجام شده است [۴,۵]. محافظ الکترومغناطیسی، فرایند محدودکردن نفوذ میدان‌های الکترومغناطیسی به یک فضا، با مسدود کردن آن توسط سدی از رسانا است. مواد یا محافظی که از بدن، محیط و یا مدار در برابر اشعه مضر الکترومغناطیسی محافظت می‌کند، پوشش محافظ نامیده می‌شود. استفاده از محافظ، یک روش رایج برای محافظت از تجهیزات الکترونیکی و الکتریکی و انسان‌ها است. به طور متداول، چنین پوشش‌های محافظتی مبتنی بر استفاده از مواد فلزی سفت شناخته شده‌اند که انعطاف‌پذیری کافی و مناسب را ندارند. اخیرا، مواد با وزن کم و منعطف مانند نانوکامپوزیت‌های پوشیده شده توسط لایه‌ای از مواد رسانا مورد



شکل ۱: شماتیک برخورد امواج الکترومغناطیس به جسم

توجه قرار گرفته‌اند [۶]. لایه جاذب می‌تواند از مواد دی‌الکتریک و مغناطیسی با نسبت‌های مختلف ایجاد شود. معمولا جاذب‌ها از کامپوزیت‌های حاوی مخلوط‌های دی‌الکتریک مثل کربن‌سیاه، نانولوله‌های کربنی، گرافیت، مشتقات باریم، ورقه‌های آلومینیومی یا نانووایرهای مس‌اکسید ساخته می‌شوند [۷]. اکسید مس یک ماده نیمه رساناست و دارای مقدار زیادی ماده اولیه (Cu) است. این ماده غیرسمی است و با اکسیداسیون مس به راحتی به دست می‌آید. اکسید مس، یکی از مهم‌ترین اکسیدهای فلزی است که به دلیل هزینه کم، قابلیت دسترسی فراوان و هم‌چنین، خواص عجیب آن، توجه تحقیقات اخیر را به خود جلب کرده است [۸].

شناخته شده است که الیاف طبیعی مانند پشم، ابریشم و پنبه خاصیت آبدوستی نسبتا بالایی دارند و این خاصیت باعث می‌شود که الیاف طبیعی به دلیل داشتن نسبتا زیاد رطوبت جذب شده، از هدایت الکتریکی نسبتا بالایی برخوردار شوند. این رطوبت از ایجاد الکتریسیته ساکن جلوگیری می‌کند. موثرترین روش برای جلوگیری از پدیده‌های نامطلوب فوق، استفاده از الیاف با رسانایی بالا است. اما این مواد عایق معمولی به عنوان پوشش محافظ الکترومغناطیسی عمل نمی‌کنند. برای این منظور از الیاف فلزی، الیاف اندود شده به فلز، الیاف حاوی کربن سیاه و سفید به عنوان ماده رسانای الکتریکی و الیاف پوشش داده شده با یک پلیمر حاوی ماده رسانای الکتریکی، به عنوان الیاف رسانا شناخته می‌شوند. به عنوان مثال، الیاف فلزی، انعطاف‌پذیری خیلی ضعیفی دارند و در هنگام استفاده و یا در فرایند، به راحتی می‌شکنند. شکستگی منجر به کاهش اثر رسانایی لیف فلزی می‌شود. هم‌چنین، مخلوط کردن الیاف فلزی حلقوی و تاری-پودی با الیاف پلیمر آلی دشوار است. علاوه بر این، الیاف فلزی دارای رنگی هستند که گاهی اوقات برای استفاده در نساجی نامطلوب است. وقتی الیاف رسانا با فلزی روکش می‌شوند، لازم است یک لایه فلزی یکنواخت و روکش‌دار بر روی سطح لیف تشکیل شود. پس سطح لیف باید صاف و صیقلی باشد [۶]. پارچه‌های منسوج از دو دهه گذشته در مقیاس صنعتی با

فلزاتی مانند مس، نیکل، نقره و ترکیبات آن پوشانده شده بودند. روش پوشش استفاده شده عمدتا روش شیمیایی بود. فلزپوش کردن الیاف و منسوجات، معمولا براساس روش‌هایی مانند متصل کردن چند لایه آلومینیومی به یکدیگر و یا رنگرزی با سولفید مس انجام می‌شود [۶].

همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده، مواد منسوجی که برای محافظت در برابر تداخل امواج الکترومغناطیس مورد استفاده قرار می‌گیرند، بسته به دامنه کاربرد آن‌ها به دو گروه تقسیم می‌شوند: حفاظت حرفه‌ای یا استفاده عمومی [۹].

وحید بابا احمدی و همکاران در سال ۲۰۱۷، روی پارچه‌های رسانا برای کاربرد در محافظت EMI کار کردند. روشی جدید برای بهبود رسانایی پارچه‌های پلی‌اتیلن‌ترفتالات اصلاح شده از طریق افزودن نانوذرات نقره (AgNP) و اکسید گرافن کاهش یافته (rGO) در دمای پایین بر روی سطح الیاف PET توصیه کرد. در نتیجه، این پارچه بالاترین رسانایی الکتریکی (۵۸–۶۵ dB) را در بین سیستم‌های نساجی مشابه گزارش‌شده، نشان داد که بعد از شستشو این مقدار به ۴۰–۴۵ dB کاهش یافت [۱۰].

لی چونگ و همکاران در سال ۲۰۱۹، منسوجات تاری–پودی موجود در بازار را توسط نانو وایرهای نقره پوشش دادند. سپس ساختار کامپوزیتی برای ثبات شبکه‌های AgNW با یک لایه پلی‌اورتان پوشانده شد. میزان اثربخشی حفاظتی تداخل الکترومغناطیسی حاصل، دوام شستشویی خیلی خوب با اثربخشی محافظتی بسیار عالی (۶۳/۹ دسی بل) را نشان داد [۱۱].

کی وانگ در سال ۲۰۲۰، روی سنتز نانوذرات نقره به کمک نانوذرات مس بر روی پارچه‌های پلی‌استری تحقیقاتی انجام داد. همان‌طور که انتظار می‌رفت، نانوذرات مس به طور یکسان برروی سطح الیاف پراکنده شدند. میزان توانایی محافظت در برابر تداخل الکترومغناطیسی پارچه‌های Cu/Ag/PDA/PET برابر ۵/۱۵ dB بود [۱۲].

برای تهیه لایه‌ای از فلز با ضخامت یکنواخت، لازم است عملیات روکش فلزی با دقت انجام شود. شرایط باعث می‌شود هزینه این فرایند بسیار بالا باشد. هم‌چنین، لیف با پوشش فلزی از این حیث نامطلوب است که لایه فلزی اندود شده هنگام فرایند یا استفاده به راحتی از لیف جدا می‌شوند و از ماندگاری ضعیفی در هنگام استفاده برخوردار است. برای تهیه الیاف حاوی کربن سیاه تحت عنوان یک ماده رسانای الکتریکی با رسانایی مناسب، لازم است که کربن سیاه در مقدار زیادی حداقل ۱۵% براساس وزن پلیمر ماتریس لیف، موجود باشد. این مقدار زیاد از کربن سیاه باعث می‌شود که روند تولید لیف دشوار، پیچیده و گران شود. هم‌چنین، محصور کردن کربن سیاه در داخل الیاف طبیعی غیرممکن است [۶].

چانگل خو و همکاران در سال ۲۰۲۰، روی توسعه منسوجات محافظ الکترومغناطیس با استفاده از فیلم‌های بسیار نازک نانو لوله‌های کربنی تحقیقاتی انجام دادند. منسوج کامپوزیتی PA6/ Cu/CNT/PA6 تهیه گردید. همان‌طور که گفتهشد، لباس‌های محافظ تجاری به علت ضخامت زیاد بیش‌ترین میزان EMI SE را دارند؛ اما این منسوجات نازک PCCP که تهیه شدند، با میزان فلز کم‌تر، EMI SE آن‌ها ۴۰–۵۰ دسی بل بود. بنابراین، رسوب مس روی نانوکامپوزیت تاثیرگذار بوده است. این منسوج کامپوزیتی علاوه بر عملکرد محافظتی الکترومغناطیس، بسیار نرم و فوق‌العاده نازک با خاصیت ضدفرسودگی بود [۱۳].

کاکتوس در مناطق خشک و نیمه خشک (گرمسیری و نیمه‌گرمسیری) می‌روید و مقاومت بالایی دارد که در اکثر نقاط جهان هم یافت می‌شود. از جمله ترکیباتی که در کاکتوس وجود دارد، ترکیبات فنولی، اسیدهای چرب، انواع ویتامین‌ها و استرول‌ها، آمینواسیدها و ترکیبات معدنی و ... هستند. در دهه گذشته، شواهد قانع‌کننده‌ای در مورد توانایی و پتانسیل بهداشتی و تغذیه‌ای این کاکتوس توسط دانشمندان دانشگاهی و شرکت‌های خصوصی ارائه شده است. از آن‌جایی که مطالعه و تحقیقاتی توسط ناسا انجام شد، کاکتوس به عنوان جاذب امواج رادیواکتیو شناخته شده است؛ به خصوص برای جذب اشعه ناشی از رایانه‌ها و تلفن‌های همراه مفید است [۱۴,۱۵].

* **ترکیبات فنولی:** پلی‌فنول‌ها نمایانگر خانواده‌ای از مولکول‌های آلی هستند که به طور گسترده‌ای در گیاهان توزیع شده‌اند. این ترکیبات معمولا محصولات جانبی متابولیسم گیاه هستند. هم‌چنین، پلی‌فنول‌ها دارای فعالیت ضدسرطانی هستند.
* **اسیدهای چرب:** اسید پالمتیک، اسید اولئیک، اسید لینولئیک (c18:2) و (c18:3) و ...

جدول ۱: دامنه اثربخشی محافظتی الکترومغناطیسی منسوجات.

طبقه‌بندی	۵ (عالی)	۴ (خیلی خوب)	۳ (خوب)	۲ (متوسط)	۱ (نسبتا خوب)
استفاده حرفه‌ای	SE>60dB	60dB≥SE>50dB	50dB≥SE>40dB	40dB≥SE>30dB	30dB≥SE>20dB
استفاده عادی	SE>30dB	30dB≥SE>20dB	20dB≥SE>10dB	10dB≥SE>7dB	10dB≥SE>7dB

* **ویتامین‌ها:** ویتامین B3، B2، B1، C، K1، E و ...
* استرول‌ها: کمپسترول، استیگماسترول، لانوسترول و ....
* **ترکیبات معدنی:** کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، آهن، فسفر، روی، مس و منگنز و ...
* **آمینو اسید:** آلانین‌ها، اسپارژین، اسید گلوتامیک، گلوتامین، لوسین، میتونین، سرین و ...

هدف از تحقیق حاضر فراهم کردن بستر لازم برای ایجاد نانوکامپوزیت محافظ امواج الکترومغناطیس است. تحقیقاتی در این حوزه جهت تهیه نانو کامپوزیت‌های محافظ انجام شده است؛ اما منسوجات حاصله به دلیل استفاده از پوشش‌های فلزی روی نانوکامپوزیت، از انعطاف کمی برخوردار بودند و یا مقرون به صرفه نبودند. از این رو، جهت بهبود عملکرد این منسوجات فعالیت هایی صورت گرفت. از این رو، با توجه به حضور عنصر مس در ترکیبات معدنی کاکتوس، ممکن است این گیاه گزینه‌ای مناسب برای تهیه پوشش محافظ باشد.

برای تهیه پوششی محافظ در برابر امواج الکترومغناطیس، از املاح موجود در کاکتوس استفاده شد که مهم‌ترین اهداف و نوآوری آن، ایجاد پوشش محافظ امواج الکترومغناطیسی با ثبات شستشویی خوب، کاهش هزینه و افزایش انعطاف‌پذیری و زیست‌سازگاری منسوج حاصله می‌باشد. هم‌چنین، آزمون‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی، طیف‌سنج پراش انرژی پرتو ایکس و تحلیلگر شبکه برای بررسی ترکیبات شیمیایی، مورفولوژی و میزان اثربخشی حفاظتی نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد مصرفی

در پژوهش حاضر، پارچه پنبه‌ای سفیدگری شده دارای بافت ساده با تراکم تاری ۳۱ و تراکم پودی ۲۵ در سانتی‌متر، رنگزای Direct Yellow ۸۶ ساخت شرکت Everlight Chemical Industrial Crop، نمک NaCl (مرک آلمان) و محلول کاکتوس فیکوس اپونتیا ۱% به عنوان عامل محافظ در برابر امواج الکترومغناطیس مورد استفاده قرار گرفتند.

۲-۲-تهیه محلول کاکتوس فیکوس اپونتیا ۱%

به منظور تهیه محلول کاکتوس ۱% ابتدا، برگ‌های کاکتوس در دمای ۹۰°C در آون خشک گردیدند و سپس، در دمای اتاق با استفاده از هاون دستی تا حد امکان تبدیل به پودر شدند و محلول کاکتوس ۱% تهیه گردید (شکل ۲). اما برای یکنواخت‌سازی دیسپرسیون حاصل شده، از دستگاه همزن با امواج التراسونیک به مدت ۱۵ دقیقه استفاده شد؛ به این صورت که، پالس‌ها به مدت ۵ دقیقه، با فاصله دو ثانیه پالس- دو ثانیه استراحت با قدرت ۳۰ وات (انرژی ۹/۵۸ کیلوژول، دمای محیط) به نمونه‌ها اعمال گردید. در مرحله آخر، محلول توسط کاغذ صافی و پمپ خلا فیلتر و آخرین ذرات ناخالص و درشت آن جداسازی گردید.

شکل۲: محلول کاکتوس ۱%.

۲-۳- مراحل رنگرزی و به کارگیری محلول کاکتوس

در ادامه، محلول ۱% از رنگزای مستقیم تهیه شد. سپس، برای شروع آزمایشات، نمونه‌های پنبه‌ای ۱ گرمی برش داده شدند. در ادامه، نمونه‌ها به سه دسته تقسیم شدند:

* ابتدا رنگرزی و سپس به کارگیری محلول کاکتوس روی منسوج (ابتدا مراحل رنگرزی به طور کامل انجام می‌شود و سپس برای عمل‌آوری با محلول کاکتوس از یک حمام جداگانه استفاده می‌شود.)
* به کارگیری محلول کاکتوس و رنگرزی منسوج به طور همزمان (در هنگام رنگرزی، از محلول کاکتوس هم استفاده می‌شود.)
* ابتدا به کارگیری محلول کاکتوس روی منسوج و سپس رنگرزی آن (ابتدا عمل‌آوری با محلول کاکتوس به صورت جداگانه روی پارچه خام انجام می‌شود و سپس، مراحل رنگرزی آغاز می‌گردد.)

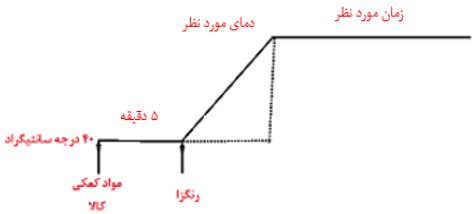
پارامترهای مورد بررسی در هر یک از سه حالت بالا عبارتند از: دمای رنگرزی، غلظت رنگزا، زمان رنگرزی، غلظت نمک.

طبق حالات گفته شده و دامنه تغییرات هر یک از پارامترها، ۱۲ حالت برای انجام آزمایش در نظر گرفته شد که در جدول ۲ نشان داده شده است. هم‌چنین، در جدول ۳ نسخه به کارگیری محلول کاکتوس آورده شده است. طبق نسخه رنگرزی رنگزای مورد استفاده، آزمایشات به روش رمق‌کشی و طبق گراف رنگرزی الیاف پنبه‌ای با رنگزای مستقیم که در شکل ۳ آورده شده است، انجام شدند.

به طور کلی، طبق گراف نشان داده شده در شکل ۲، رنگرزی از دمای ۴۰°C آغاز شده و منسوج پنبه‌ای به همراه آب در حمام

جدول۲: شرایط هر یک از آزمایش‌های صورت گرفته.

غلظت کاکتوس	پارامتر مورد بررسی	دامنه تغییرات متغیر		
کاکتوس ۳٪	دما (°C)	۶۰	۸۰	۱۰۰
	زمان جوش (min)	۳۰	۴۵	۶۰
	غلظت رنگزا (%)	۱	۲	۳
	غلظت نمک (g/l)	۱۰	۱۵	۲۰



شکل۳: گراف رنگرزی الیاف پنبه‌ای با رنگزای مستقیم.

جدول۳: نسخه به کارگیری محلول کاکتوس روی منسوج مورد نظر.

نسخه رمق‌کشی کاکتوس	
کاکتوس ۱%	۳
L.R	۳۰/۱
وزن کالا (g)	۱
دما (°C)	۱۰۰
زمان (min)	۴۵

رنگرزی قرار گرفت و به مدت ۵ دقیقه در آن دما باقی ماند. سپس رنگزای مستقیم ۱% به حمام افزوده شد. از آن‌جایی که رنگزا جزء کلاس C از رنگزای مستقیم محسوب می‌گردد، باید به تدریج نمک افزوده شود. با توجه به مقادیر هر یک از پارامترها، آزمایش مربوط به همان حالت صورت گرفت.

۲-۴- مشخصات دستگاه‌ها

برای تهیه دیسپرسیون یکنواخت محلول کاکتوس، شناسایی ترکیبات و خصوصیات و مورفولوژی و اندازه‌گیری کمی نمونه‌ها از تکنیک‌های متداولی مثل همزن با امواج التراسونیک ، میکروسکوپ الکترونی روبشی ، طیف‌سنج پراش انرژی پرتو ایکس و دستگاه تحلیلگر شبکه استفاده شده است. مشخصات دستگاه‌های مورد استفاده در ادامه آورده شده است:

دستگاه همزن با امواج التراسونیک: برای به دست آوردن دیسپرسیون یکنواخت از ذرات کاکتوس در آب، از دستگاه همزن SONOPLUS DW ۳۲۰۰ ساخت کشور آلمان، با قدرت ۳۰ وات (۹/۵۸ کیلووژول، دمای محیط) واقع در کارگاه الکتروریسی دانشکده فنی دانشگاه گیلان استفاده شد.

دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی: به منظور مشاهده ذرات کاکتوس روی کالای پنبه‌ای از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل MIRA3 ساخت کمپانی Tescan، واقع در آزمایشگاه میکروسکوپی شرکت آریا الکترون اپتیک استفاده شد.

دستگاه طیف‌سنج پراش انرژی پرتو ایکس: به منظور تشخیص درصد عناصر در نمونه‌های جامد از سیستم EDX مدل MIRA3 ساخت کمپانی Tescan واقع در شرکت آریا الکترون اپتیک استفاده گردید.

دستگاه تحلیلگر شبکه: به منظور اندازه‌گیری میزان اثربخشی محافظتی منسوجات، از دستگاه تحلیلگر شبکه موجود در دانشگاه یزد استفاده گردید. پارامترهای S آنتن (S_{11} و S_{21}) در محدوده ۲ تا ۷ گیگاهرتز به وسیله این دستگاه اندازه‌گیری شد.

۳-نتایج و بحث

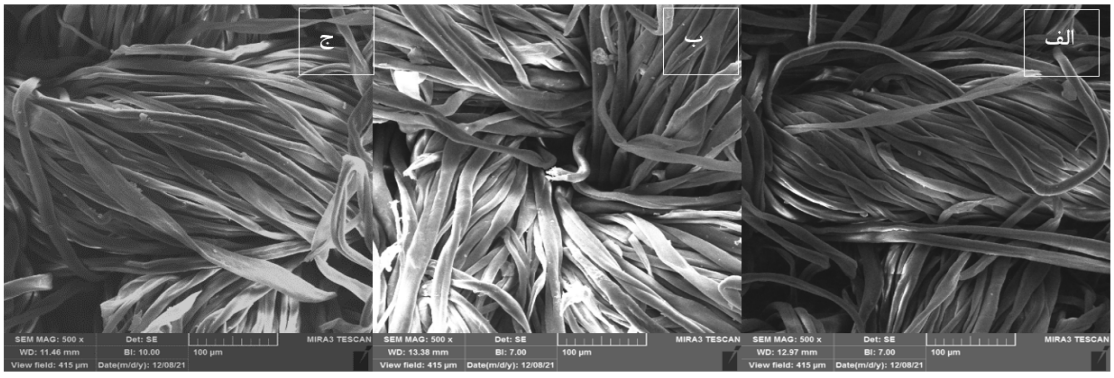
۳-۱-آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی

اثر افزودن املاح کاکتوس بر روی پارچه‌های پنبه‌ای در روند حفاظتیشان در برابر امواج الکترومغناطیس مورد بررسی قرار گرفت. به منظور ریخت‌شناسی نمونه‌های منسوج از آنالیز SEM استفاده گردید. این آنالیز با ولتاژ ۱۵ کیلو ولت و بزرگنمایی‌های ۲۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۵۰۰۰، ۱۰۰۰۰، ۲۵۰۰۰ و ۵۰۰۰۰ گرفته شده است. مورفولوژی منسوج پنبه‌ای صاف و انعطاف‌پذیر است که با قرارگیری املاح کاکتوس روی آن همچنان منعطف و صاف باقی می‌ماند. در شکل ۴ تصاویر SEM برخی از نمونه‌ها نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص شده، تصویر ۴ (الف) مربوط به نمونه خام، تصویر ۴ (ب) مربوط به نمونه فقط رنگرزی شده و تصویر ۴ (ج) مربوط به نمونه منسوج عمل‌آوری شده با کاکتوس (ابتدا به کارگیری کاکتوس ۳% و سپس رنگرزی با ۱۰ g/l نمک) می‌باشد. با توجه به مطالعاتی که در این زمینه انجام شد [۱۲و۱۶] و با مقایسه این سه تصویر می‌توان مشاهده کرد که در حالت الف و ب ذره‌ای به وضوح روی سطح منسوج مشاهده نشده است اما در حالت ج تعدادی ذرات روی الیاف مشاهده می‌شود که ممکن است حاکی از املاح موجود در کاکتوس روی سطح منسوج موردنظر باشند. از این رو، برای شناسایی و تشخیص میزان حضور املاح موجود در کاکتوس روی منسوج، از آنالیز EDX استفاده گردید.

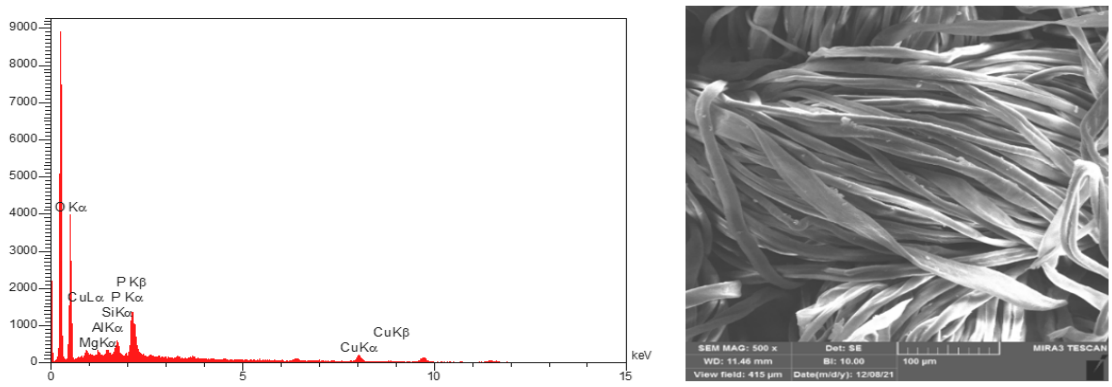
۳-۲ آنالیز طیف‌سنج پراش انرژی پرتو ایکس

برای تشخیص درصد عناصر هر یک از مواد، از طیف‌سنج پراش انرژی پرتو ایکس استفاده شده که در شکل ۵ الگوی EDX و تصویر SEM مربوط به نمونه با کاکتوس ۳% و نمک ۱۰ g/l نشان داده شده است. از EDX نمی‌توان به تنهایی برای تشخیص عناصر استفاده نمود؛ بلکه به نوعی می‌توان گفت مکمل سیستم SEM بوده و در حقیقت، بخشی از این میکروسکوپ محسوب می‌گردد. به عنوان مثال، Si Kα یعنی این پیک مربوط به انرژی سقوط الکترون به لایه اول (لایه k) در عنصر سیلیسیم است و وجود آلفا بعد از K نشان‌دهنده سقوط الکترون از یک لایه بالاتر از لایه اول (سقوط از لایه L به K) است. یا پیک Cu Lα، نشان می‌دهد که اشعه ایکس تولید شده به دلیل سقوط الکترون به لایه دوم (لایه L) عنصر مس از دو تراز بالاتر از لایه L (یعنی لایه N) روی داده است.

نتایج کمی حاصل از انجام ارزیابی بر روی این نمونه در جدول ۴ به طور کامل شرح داده شده است. همان‌طور که نشان داده شده، درصد وزنی عناصر C، O، Mg، Al، Si، P و Cu در نمونه به طور کامل آورده شده است. بیش‌ترین درصد وزنی مربوط به



شکل۴: تصاویر SEM مربوط به الف) نمونه خام ب) نمونه فقط رنگرزی شده و ج) نمونه منسوج با به کارگیری کاکتوس ۳% و نمک ۱۰ g/l.



شکل۵: الگوی EDX و تصویر SEM مربوط به نمونه با به کارگیری کاکتوس ۳% و نمک ۱۰ g/l.

جدول۴: نتایج کمی حاصل از EDX برای نمونه با به کارگیری کاکتوس ۳% و نمک ۱۰ g/l.

Elt	Line	Int	Error	K	Kr	W%	A%	ZAF	Ox%	Pk/Bg	Class	LConf	HConf
C	Ka	900.9	62.5434	0.5427	0.1599	47.57	56.60	0.3361	0.00	1885.55	A	46.99	48.15
O	Ka	448.5	44.5734	0.2745	0.0809	44.11	39.40	0.1834	0.00	526.00	A	43.35	44.87
Mg	Ka	43.7	207.1618	0.0280	0.0083	1.68	0.99	0.4909	0.00	14.27	A	1.59	1.77
Al	Ka	51.3	207.1618	0.0333	0.0098	1.66	0.88	0.5921	0.00	12.85	A	1.57	1.74
Si	Ka	96.2	207.1618	0.0635	0.0187	2.67	1.36	0.7008	0.00	17.85	A	2.57	2.77
P	Ka	40.2	207.1618	0.0270	0.0080	1.09	0.50	0.7295	0.00	8.19	A	1.03	1.15
Cu	Ka	34.0	0.4860	0.0310	0.0091	1.22	0.27	0.7491	0.00	4.53	A	1.14	1.29

C (۵۶/۶۰%) و کم‌ترین هم مربوط به Cu (۰/۲۷%) می‌باشد. با توجه به حضور درصد کمی از عنصر Cu بر روی منسوج، می‌توان نتیجه گرفت که املاح کاکتوس روی منسوج مورد نظر قرار گرفته‌اند. همان‌طور که گفته شد عنصر Cu روی اثربخشی حفاظتی منسوجات تاثیر مثبتی می‌گذارد [۱۲،۱۳].

۳-۳- آنالیز تحلیلگر شبکه

دستگاه Network Analyzer یا تحلیلگر شبکه وسیله‌ای برای اندازه‌گیری پارامترهای شبکه در شبکه‌های الکتریکی می‌باشد. هر تحلیلگر شبکه در دو مد فرکانس و زمان کار می‌کند و می‌توان امواج را در هر دو محیط بررسی کرد. هم‌چنین، جهت تست آنتن‌ها و کابل‌های انتقال مدارات و المان‌های فرکانس بالا کاربرد دارد و بسته به نوع N.A می‌تواند تا فرکانس ۲۰ گیگاهرتز و یا حتی بالاتر از آن کار کند. با توجه به مدل دستگاه (شکل ۶)، نمونه‌ها به صورت دایره‌ای برش داده شدند. قطر خارجی نمونه‌ها ۳/۹ و قطر داخلی آن‌ها ۰/۹ سانتی‌متر می‌باشد. دستگاه تحلیلگر شبکه موجود در دانشگاه یزد، توانایی اندازه‌گیری تا ۸ گیگاهرتز را دارد. برای محاسبه میزان اثربخشی محافظتی، باید مقادیر حفاظت ناشی از انعکاس (SE_R) و حفاظت ناشی از جذب (SE_A) محاسبه گردد. برای بررسی میزان حفاظت از تداخل امواج الکترومغناطیس منسوج مورد نظر در محدوده ۲ تا ۷ گیگاهرتز از این دستگاه استفاده گردید. با استفاده از دستگاه تحلیلگر شبکه، پارامترهای S آنتن به دست آمد که با جایگزینی در معادله‌های ۱-۴ میزان SE_T آن‌ها محاسبه گردید [۱۷،۱۸]. در شکل ۷ میزان اثربخشی محافظتی در نمونه خام (SE_X) (شکل ۷ (الف))، نمونه فقط رنگرزی شده (SE_Y) (شکل ۷ (ب)) و نمونه عمل‌آوری شده با کاکتوس ۳% (SE_L) (شکل ۷ (ج)) نشان داده شده است.

معادله ۱:

$$\begin{cases} A = 1 - S_{11}^2 - S_{21}^2 = 1 - R - T \\ T = |S_{21}|^2 \\ R = |S_{11}|^2 \end{cases}$$

معادله ۲:

$$SE_A = -10 \log T/(1-R)$$

معادله ۳:

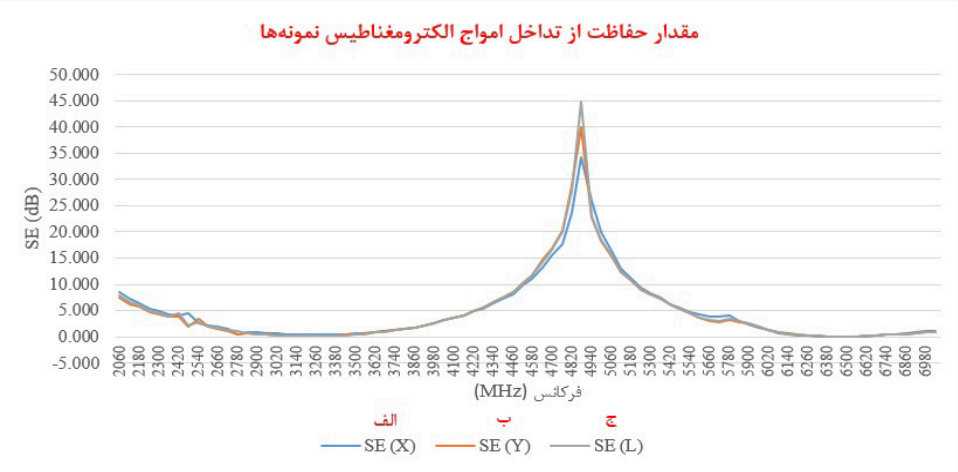
$$SE_R = -10 \log (1-R)$$

معادله ۴:

$$SE_T = SE_R + SE_A$$

میزان حفاظت از تداخل الکترومغناطیسی نمونه‌ها در محدوده ۲ تا ۷ گیگاهرتز اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان دادند که اثر محافظتی منسوجات با به کارگیری کاکتوس در محدوده فرکانسی ۴/۵-۵ گیگاهرتز از ۳۴/۱۹۵ به ۴۴/۹۱۲ دسی‌بل افزایش یافته است که بیش‌ترین میزان اثربخشی نیز می‌باشد. با این حال، با توجه به دامنه اثربخشی محافظتی منسوجات برای استفاده از آن‌ها به عنوان پوشش محافظ، باید میزان اثربخشی آن‌ها بیش‌تر از ۳۰ dB باشد [۹] که با نتایج به دست آمده، این منسوجات در فرکانس ۴۸۸۰ مگاهرتز دارای مقدار ۴۴/۹۱۲ دسی‌بل می‌باشد.

شکل۵: بخشی از دستگاه تحلیلگر شبکه.



شکل۷: نمودار اثربخشی محافظتی الف) نمونه خام، ب) نمونه فقط رنگرزی شده و ج) نمونه عمل‌آوری شده با کاکتوس ۳%.

همان‌طور که ذکر شد، در مطالعات مشابه با استفاده از سایز فلزات هم‌چون نقره و مس اکسید میزان EMI SE منسوجات با خواص محافظتی خوب بیش‌تر از ۴۰ dB بوده است [۱۰-۱۳]. در نتیجه، با مقایسه نتایج می‌توان بیان کرد که محلول کاکتوس بر میزان اثربخشی محافظتی منسوج مورد نظر موثر بوده است.

۴- نتیجه‌گیری

منسوج پنبه‌ای با به کارگیری املاح کاکتوس به روش رمق‌کشی تهیه شده است. به این منظور، از رنگزای مستقیم استفاده گردید و پارامترهای غلظت رنگزا، غلظت نمک، دما و زمان رنگرزی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی، در برخی از تصاویر تعدادی ذرات مشاهده شده که دلیل آن وجود املاح کاکتوس روی منسوج مورد نظر است. در ضمن، نتایج حاصل از آنالیزطیف‌سنج پراش انرژی پرتو ایکس نشان دادند که درصد وزنی کمی (۱/۲۲%) از عنصر مس موجود در کاکتوس روی منسوج قرار گرفته است. هم‌چنین، با استفاده از دستگاه تحلیلگر شبکه میزان عبور امواج در محدوده ۲ تا ۷ گیگا هرتز مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج مشاهده شده می‌توان نتیجه گرفت که محلول کاکتوس بر میزان اثربخشی محافظتی منسوج مورد نظر موثر بوده است و در محدوده فرکانسی ۴/۵-۵ گیگاهرتز میزان اثربخشی محافظتی نمونه از ۳۴/۱۹۵ به ۴۴/۹۱۲ دسی‌بل افزایش یافته است.

۵- مراجع

[1] E. Erensayin, N. Topaloğlu, MH. Calp, S. Savaş, Effect of Cactus Plants on Magnetic Fields Bruited by Computer Screens, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(1) (2019),70-79.

[2] R. Paul, Radiation Protection Finishes for Textiles, Woodhead Publishing Series in Textiles, (2015), 486-512.

[3] AK. Gupta, M. Bafna, S. Srivastava, RK. Khanna, YK. Vijay, Study of Electromagnetic Shielding Effectiveness of Metal Oxide Polymer Composite in Their Bulk and Layered Forms, Environmental Science and Pollution Research, 28(4) (2021), 3880-7.

[4] S. Maity, K. Singha, P. Debnath, M. Singha, Textiles in electromagnetic radiation protection, Journal of Safety Engineering, 2(2) (2013), 9-11.

[5] MZ. Islam, Y. Dong, NA. Khoso, A. Ahmed, H. Deb, Y. Zhu, Y. Wentong, Y. Fu, Continuous dyeing of graphene on cotton fabric: Binder-free approach for electromagnetic shielding, Applied Surface Science, (2019), 143636.

[6] R. Paul, Functional finishes for textiles: An overview. Functional Finishes for Textiles, Improving Comfort, Performance and Protection. (2015), 1-4.

[7] E. Yarahmadi, N. Bahri, KH. Didehban, Polymer Composites as Electromagnetic Wave Absorbs, Basparesh. 6(3) (2016), 13-22.

[8] K. Nithya, P. Yuvasree, N. Neelakandeswari, N. Rajasekaran, K. Uthayarani, M. Chitra, SS. Kumar, Preparation and characterization of copper oxide nanoparticles, Int. J. Chem-Tech Res, 6(3) (2014), 2220-2222.

[9] V. Tunakova, M. Tunak, V. Bajzik, L. Ocheretna, S. Arabuli, O. Kyzymchuk, V. Vlasenko, Hybrid knitted fabric for electromagnetic radiation shielding, Journal of Engineered Fibers and Fabrics, (2020), 1558925020925397.

[10] Babaahmadi V, Montazer M, Gao W. Low temperature welding of graphene on PET with silver nanoparticles producing higher durable electro-conductive fabric. Carbon. 2017 Jul 1; 118: 443-51.

[11] Jia LC, Ding KQ, Ma RJ, Wang HL, Sun WJ, Yan DX, Li B, Li ZM. Highly Conductive and Machine-Washable Textiles for Efficient Electromagnetic Interference Shielding. Advanced Materials Technologies. 2019 Feb;4(2):1800503.

[12] Wang K, Ma Q, Zhang Y, Wang S, Han G. Ag NPs-assisted synthesis of stable Cu NPs on PET fabrics for antibacterial and electromagnetic shielding performance.Polymers. 2020 Apr;12(4):783.

[13] Xu C, Zhao J, Chao Z, Wang J, Wang W, Zhang X, Li Q. Developing thermal regulating and electromagnetic shielding textiles using ultra-thin carbon nanotube films. Composites Communications. 2020 Oct 1; 21: 100409.

[14] J. López-Cervantes, DI. Sánchez-Machado, ON. Campas-Baypoli, C. Bueno-Solano, Functional properties and proximate composition of cactus pear cladodes flours, Food Science and Technology, 31(2011), 654-659.

[15] M. Syomiti, E. Maranga, G. Obwoyere, G. Gebru, H. Dana, Chemical Composition of Cactus (Opuntia ficus-indica) and Prosopis Species (Prosopis juliflora) as Drought-resilient Feed Resources in Kenya, Journal of Environment Natural Resources Management and Society, (2014), 41-47.

[16] M. Tian, M. Du, L. Qu, S. Chen, S. Zhu, G. Han, Electromagnetic interference shielding cotton fabrics with high electrical conductivity and electrical heating behavior via layer-by-layer self-assembly route, Rsc Advances, 7(68) (2017), 42641-52.

[17] M. Jaroszaewski, J. Ziaja, EM Shielding-Theory and Development of New Materials, Research Signpost, Kerala. (2012).

[18] HB. Zhang, Q. Yan, WG. Zheng, Z. He, ZZ. Yu, Tough graphene– polymer microcellular foams for electromagnetic interference shielding, ACS applied materials & interfaces, 3(3) (2011), 918-924.