لایه نشانی ترکیبات بازتابنده بالای فرابنفش روی پارچه پنبه – نایلون ۶۶ بمنظور استتار اهداف نظامی در مناطق برفی

عباس بشارتی سیدانی[1*]، فرید اخوان صدر[2]

۱- استادیار، مجتمع دانشگاهی آمایش و پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

۲- کارشناس ارشد، مجتمع دانشگاهی آمایش و پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

*Abbasbesharati@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۲۱، تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۴)

چکیده

در این تحقیق با افزایش خاصیت انعکاس فرابنفش پارچه پنبه–نایلون ۶۶ پوشش مناسبی جهت استتار اهداف نظامی در مناطق برفی تهیه شد. برای این منظور ابتدا چند ترکیب با انعکاس فرابنفش بالا مانند سولفات باریم، دی اکسید سیلیسیم و پلی‌تترافلوئورواتیلن (PTFE) توسط اسید سیتریک و هیپوفسفیت سدیم (SHP) روی پارچه لایه نشانی شد و سپس توسط عملیات حرارتی تثبیت گشت. تأثیر پارامترهای موثر شامل نوع و مقدار ترکیبات، مقدار اسید سیتریک و SHP و دمای عملیات حرارتی مورد بررسی قرار گرفت. رفتار انعکاسی و مورفولوژی سطحی پارچه به‌ترتیب توسط طیف‌سنج انعکاسی فرابنفش- مرئی و میکروسکوپ الکترون روبشی (SEM) بررسی شد. نتایج نشان داد که با لایه نشانی ذرات سولفات باریم روی پارچه، میزان بازتاب فرابنفش و مرئی تا ۸۵٪ افزایش می‌یابد. بنابراین پوشش منسوجی مناسبی جهت استتار در مناطق برفی حاصل شده است. ثبات مالشی و شستشویی بسیار مناسب ذرات سولفات باریم تثبیت شده روی پارچه نشان می‌دهد که این ذرات توسط پیوندهای شیمیایی روی الیاف پارچه به‌ویژه الیاف پنبه متصل شده‌اند. بهرحال روش بکار گرفته شده در این تحقیق تاثیر قابل‌ملاحظه‌ای روی ساختار الیاف پنبه و نایلون ۶۶ ندارد. پارامترهایی همچون مقدار اسید سیتریک، SHP و دمای عملیات حرارتی دارای یک مقدار بهینه بوده و بنابراین بکارگیری آنها بیش از این مقدار سبب کاهش میزان بازتاب فرابنفش و مرئی پارچه لایه نشانی شده می‌گردد.

واژه‌های کلیدی:

استتار، برف، پارچه پنبه – نایلون ۶۶، انعکاس فرابنفش، پلی‌تترافلوئورواتیلن، سولفات باریم، دی اکسید سیلیسیم.

۱-مقدمه

نور خورشید و امواج الکترومغناطیس داری طیف وسیعی شامل ناحیه‌های مرئی (۴۰۰-۷۰۰ نانومتر)، فرابنفش (۱۰۰-۴۰۰ نانومتر) و مادون قرمز(>۷۰۰ نانومتر) می‌باشند. چشم انسان تنها قادر به شناسایی امواج و نور مرئی است و این امکان وجود ندارد که بتواند امواج ناحیه‌های مادون قرمز و فرابنفش را شناسایی کند [۱]. تقریباً تمام اشیاء در طبیعت قادر به انعکاس بخشی از ناحیه UVA فرابنفش (۳۱۰-۴۰۰ نانومتر) هستند و این امر فصل جدیدی در مباحث استتار باز نموده است [۲]. در حال حاضر

شناسایی‌های نظامی تنها با چشم غیر مسلح و دوربین‌های مرئی انجام نمی‌شود. در بسیاری از موارد عکسبرداری با فیلترهای فرابنفش یا شناساگرهای حساس فرابنفش جایگزین روش های معمول دیدبانی و شناسایی شده‌اند [۲-۳]. در طراحی منسوجات پیشرفته استتاری علاوه بر استتار در ناحیه مرئی به بازتاب محیط زمینه و منسوج در ناحیه فرابنفش نیز توجه شده است [۲-۳]. کاربرد روش‌های شناسایی فرابنفش در محیط‌های برفی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. برف تازه ٪۹۰-۸۰ و برف کهنه حدوداً ۵۰٪ امواج UVA را منعکس می‌کند این در حالی است که سایر مواد و اشیاء طبیعی و بشر ساخت مقدار ناچیزی از این امواج را منعکس می‌نمایند [۳-۴]. در عکسبرداری‌های فرابنفش، محیط‌های پوشیده با برف به‌دلیل انعکاس بالای این امواج، بصورت سفید مشاهده می‌شوند این در صورتی است که سایر مواد به سبب بازتاب نسبتاً کم، تیره‌تر دیده شده و قابل شناسایی خواهند بود [۵]. بر اساس استاندارد ارائه شده توسط ناتو هنگامی که انعکاس امواج فرابنفش و مرئی منسوجات و تجهیزات استتاری بین ۹۰-۷۰٪ باشد آنها توانایی استتار در مقابل آشکارسازها و عکسبرداری فرابنفش را خواهند داشت [۴].

تحقیقاتی در زمینه افزایش میزان بازتاب منسوجات در ناحیه فرابنفش انجام گرفته است که در اکثر آنها تلاش شده تا با استفاده از ترکیبات با خواص ذاتی بالای انعکاسUV مانند SiO_2، $MgSiO_2$، ZrO_2، $BaSO_4$، PTFE و ملامین $(C_3H_6N_6)$ مقدار این فاکتور افزایش یابد. Hepfinger وهمکارانش با جایگزینی ذرات ZrO_2 بجای TiO_2 در حین پروسه تولید الیاف نایلون ۶۶ میزان بازتاب در ناحیه مرئی و فرابنفش این الیاف را افزایش دادند [۵]. تحقیقات نشان داده پارچه بافته شده با الیاف سنتزی که دارای حفره‌های فراوانی در بخش داخلی الیاف هستند قابلیت انعکاس ۶۹٪ امواج فرابنفش را در طول موج ۳۶۰ نانومتر دارد [۵]. بطور کلی تغییر در ساختار و یا افزودن ترکیبات در حین پروسه ذوب ریسی الیاف، روشی دشوار و پیچیده می‌باشد در حالیکه لایه نشانی روی الیاف و پارچه با ترکیبات بازتابنده بالای UV توسط روش‌های تکمیل نساجی به‌مراتب آسانتر و کم هزینه‌تر می‌باشد [۵-۷]. برای مثال با ترکیب ذرات ریز بدست آمده از پلیمریزاسیون، ترکیبات تری‌آذین و رزین‌های پلی‌ونیل‌کلراید می‌توان لایه‌ای تولید نمود که ۹۷٪ امواج فرابنفش را در طول موج ۳۵۰ نانومتر انعکاس دهد [۶]. Zenda و همکارانش، یک ساختار کامپوزیتی فوم مانند حاوی ذرات SiO_2 و یا رزین ملامین را روی پارچه پنبه – نایلون ۶۶ پوشش دادند و میزان بازتاب آنرا در طول موج‌های ۴۰۰-۳۰۰ نانومتر به بیش از ۹۰٪ افزایش دادند و از این طریق منسوجی مناسب جهت استتار در مناطق برفی تولید نمودند. ضخامت لایه، ساختار فوم مانند متخلخل و نوع ترکیبات بکار رفته بر میزان انعکاس تأثیر گذار بوده است [۶]. Curry نیز مطالعاتی به‌منظور افزایش انعکاس فرابنفش منسوجات و استتار آنها در محیط‌های برفی انجام داد. وی با استفاده از تکمیل موقت منسوجات بوسیله ذرات $MgSiO_2$ و پیوند دهنده[1]، میزان بازتاب UVA منسوجات را تا ٪۵۰ افزایش داده که در این شرایط براحتی پارچه و البسه نظامی در مناطق پوشیده شده با برف کهنه استتار خواهند شد [۲].

۱،۲،۳،۴-بوتان تترا کربوکسیلیک اسید، اسید سیتریک و اسید مالیک از معروف‌ترین ترکیبات کربوکسیلیک اسیدها جهت پیوند عرضی زنجیره پلیمری سلولز می‌باشند [۸]. در تحقیات گوناگونی از این ترکیبات به‌عنوان تثبیت کننده ذرات روی الیاف استفاده شده است [۸-۱۰]. بر اساس گزارشات محققین ۱،۲،۳،۴-بوتان تترا کربوکسیلیک اسید بهترین ماده از خانواده کربوکسلیک اسیدها جهت تثبیت ذرات ریز و نانو ذرات روی الیاف پلی استر می‌باشد. همچنین گزارشات زیادی در خصوص استفاده از اسید سیتریک و یا ۱،۲،۳،۴-بوتان تترا کربوکسیلیک اسید جهت لایه نشانی و تثبیت ذرات و نانو ذرات مختلف مانند TiO_2 و ZnO روی الیاف مختلف وجود دارد [۸-۱۰]. در این تحقیق سعی گردیده با استفاده از اسید سیتریک ذرات با انعکاس بالای فرابنفش بر روی منسوج پنبه – نایلون ۶۶ لایه نشانی شده و از این طریق با افزایش میزان بازتاب فرابنفش، منسوجی مناسب جهت استتار اهداف نظامی در مناطق برفی تولید گردد.

۲- مواد و روش انجام آزمایش

۲-۱- مواد

پارچه تاری- پودی پنبه/نایلون ۶۶ (٪۵۰/٪۵۰) با تعداد ۱۶ تار و ۱۵ پود در سانتی‌متر مورد استفاده قرار گرفته است. اسید سیتریک (CA)، هیپوفسفیت سدیم (SHP) از شرکت مرک آلمان تهیه شده‌اند. دی اکسید سیلیسیم (SiO_2) و سولفات باریم ($BaSO_4$) مورد استفاده تولید شرکت MP Biomedical هلند بوده است. پلی‌تترافلوئورواتیلن (PTFE) تولید ایران بوده و شوینده غیر یونی توسط اطلس شیمی زرین- ایران تولید گردیده است.

۲-۲- روش کار

۲-۲-۱- شستشوی اولیه

ابتدا پارچه در ابعاد cm ۵×۵ بریده شده، سپس جهت بر طرف نمودن چربی‌ها و ناخالصی‌های موجود روی سطح الیاف به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای $60^{\circ}C$ در محلول آب مقطر شامل شوینده غیر یونی با غلظت $(\frac{g}{L})$ ۱ و نسبت:۱۴۰ شسته شد. در انتها نمونه‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای $70^{\circ}C$ درون آون خشک گردید.

۲-۲-۲- لایه نشانی ترکیبات با خواص انعکاسی بالا

در این پژوهش از روش پد-خشک- پخت[۲] جهت لایه نشانی ترکیبات با خواص ذاتی انعکاس بالای امواج فرابنفش استفاده شد. بدین منظور محلولی شامل ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر، ۱ گرم اسید سیتریک به‌عنوان ماده پیوند دهنده عرضی، ۰/۶ گرم SHP به‌عنوان کاتالیزور و عامل فعال‌کننده اسید سیتریک و ترکیبات مختلف با انعکاس بالای امواج فرابنفش شامل $BaSO_4$، SiO_2 و PTFE تهیه و به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای محیط توسط همزن مغناطیسی(۲۰۰ rpm) هموژن و یکنواخت شد تا محلولی شیری رنگ حاصل گردد. سپس پارچه در ابعاد cm ۵×۵ در حین هم خوردن و به‌مدت ۵ دقیقه در محلول قرار گرفت. در ادامه جهت لایه نشانی یکنواخت توسط یک غلطک دستی پد شد. پارچه مذکور درون آون حرارتی در دمای $80^{\circ}C$ به‌مدت ۱۰ دقیقه خشک و سپس در دمای $140^{\circ}C$ به‌مدت ۳ دقیقه تحت عملیات حرارتی قرار گرفت تا پیوند عرضی بین زنجیره‌های الیاف و ترکیبات بر قرار گردد. در انتها منسوج به‌وسیله آب مقطر و شوینده غیر یونی شسته شده تا ذراتی که بصورت فیزیکی به سطح الیاف چسبیده‌اند از روی آن جدا شوند.

به منظور بررسی تأثیر نوع ترکیبات و مقدار آنها، دمای عملیات حرارتی و مقدار اسید سیتریک آزمایشاتی طراحی گردیده است.

۲-۳- بررسی خواص کالا

جهت بررسی خواص انعکاسی منسوجات از دستگاه طیف‌سنج انعکاسی مرئی- فرابنفش مدل LAMBDA 950 UV/Vis/NIR ساخت شرکت پرکین المر کشور آمریکا استفاده شد.

مورفولوژی و خواص ریزساختاری با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل Hitachi S4160 ساخت ژاپن بررسی شد.

جهت بررسی ثبات شستشویی، نمونه‌ها در ابعاد cm ۵×۵ در محلول شستشویی با نسبت :۱۴۰ ۱ شامل آب مقطر و$(\frac{g}{L})$ ۲ شوینده غیر یونی در دمای $50^{\circ}C$ و rpm ۴۲ به‌مدت ۴۵ دقیقه در دستگاه ATLAS Launder-Ometer شستشو شدند. اثر هر سیکل شستشویی این روش معادل ۵ سیکل شستشویی خانگی در دمای $37^{\circ}C$ می‌باشد. این آزمایش طبق استاندارد AATCC 61(2A)- 1996 انجام شد.

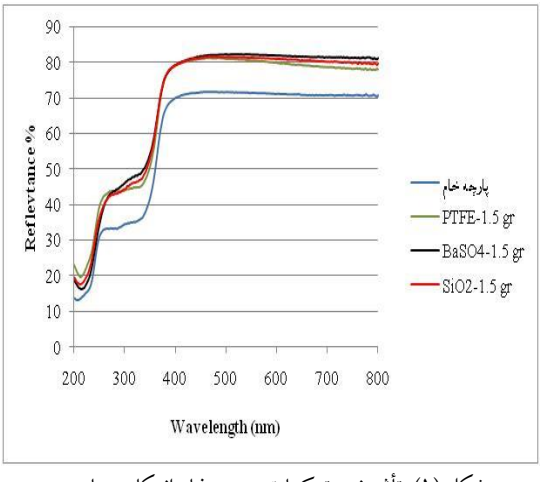
بررسی ثبات سایشی براساس استاندارد ملی ایران شماره ۲۰۴ و به‌وسیله دستگاه Shirley مدل SDL238A مورد بررسی قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تأثیر نوع ترکیبات

به‌منظور بررسی تأثیر نوع ترکیبات با خواص بالای بازتاب فرابنفش، پارچه پنبه- نایلون توسط ۱/۵ گرم PTFE، SiO_2 و $BaSO_4$ لایه نشانی شده است. با توجه به شکل ۱، پارچه خام پنبه- نایلون می‌تواند حدوداً ٪۳۵ امواج را در ناحیه UVA منعکس نماید. با افزایش طول موج، میزان بازتاب افزایش می-

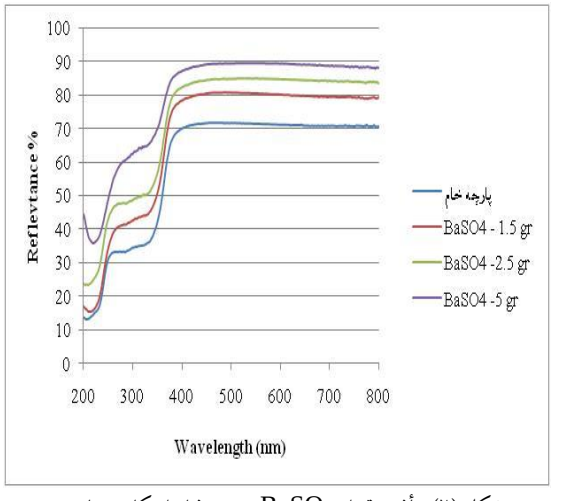
یابد به‌طوریکه ۷۰٪ امواج در طیف مرئی منعکس می‌شود. با لایه نشانی ترکیبات PTFE، SiO_2 و $BaSO_4$ روی پارچه پنبه- نایلون میزان انعکاس امواج فرابنفش در ناحیه UVA و UVB افزایش می‌یابد. همچنین این ترکیبات می‌توانند مقدار انعکاس در ناحیه مرئی را نیز تا مقدار ۸۰٪ افزایش دهند. در بین این ترکیبات به ترتیب $BaSO_4$، SiO_2 و سپس PTFE بهترین نتیجه را حاصل نمودند. پارچه‌های پوشش داده شده با این ترکیبات در طول موج ۳۲۰ نانومتر تقریباً ۴۵٪ امواج را منعکس نمودند، حال آنکه با افزایش طول موج میزان انعکاس آنها افزوده شده است. این نمونه‌ها در طول موج‌های ۳۵۰ و ۳۸۰ نانومتر به‌ترتیب ۵۵٪ و ۷۵٪ امواج را منعکس نمودند. میزان بازتاب در ناحیه مرئی نمونه‌های فوق در مقایسه با پارچه پنبه- نایلون خام حدوداً ۱۰٪ افزایش یافته است.



شکل (۱): تأثیر نوع ترکیبات روی رفتار انعکاسی پارچه

۳-۲- تأثیر مقدار $BaSO_4$

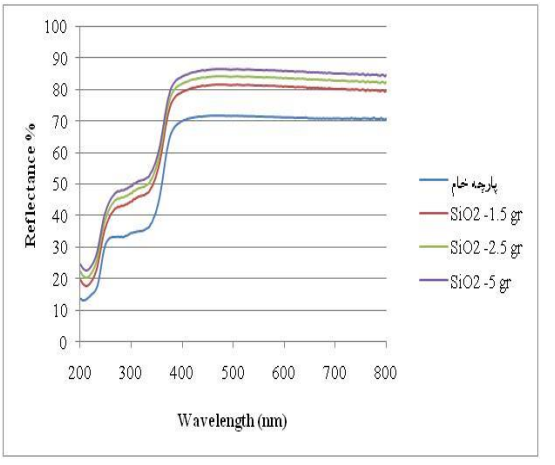
به‌منظور بررسی تأثیر مقدار ترکیب $BaSO_4$، پارچه پنبه- نایلون توسط ۱/۵، ۲/۵ و ۵ گرم از این ماده لایه نشانی شد. با توجه به شکل ۲، می‌توان دریافت افزایش مقدار $BaSO_4$ سبب افزایش میزان بازتاب پارچه پنبه – نایلون در ناحیه فرابنفش و مرئی شده است. حضور ۵ گرم $BaSO_4$ در محلول آزمایش باعث افزایش ۲۵-۳۰٪ انعکاس امواج در ناحیه‌های UVA و UVB شده است. با افزایش این ترکیب در محلول مقدار بیشتری از این ماده جهت پیوند فیزیکی یا شیمیایی با الیاف در دسترس بوده که در نهایت در مرحله پخت روی کالا تثبیت شده است. بنابراین با توجه به خواص ذاتی $BaSO_4$ خواص انعکاسی پارچه با افزایش مقدار این ترکیب افزایش یافته است. در این شرایط میزان انعکاس در طول موج‌های ۳۲۰ و ۳۸۰ نانومتر به‌ترتیب ۶۵٪ و ۸۵٪ بوده است. همچنین این نمونه در ناحیه مرئی توانایی بازتاب ۹۰٪ نور مرئی را داشته است.



شکل (۲): تأثیر مقدار $BaSO_4$ روی رفتار انعکاسی پارچه

۳-۳- تأثیر مقدار SiO_2

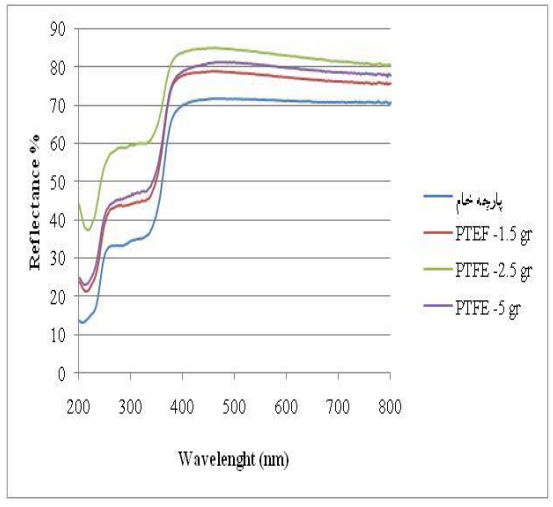
به‌منظور بررسی تأثیر مقدار ترکیب SiO_2 ، پارچه پنبه- نایلون توسط ۱/۵، ۲/۵ و ۵ گرم از این ماده لایه نشانی شد. با توجه به شکل ۳، مقدار SiO_2 روی میزان انعکاس پارچه تأثیر گذار است و افزایش آن سبب افزایش میزان انعکاس در ناحیه مرئی و فرابنفش می‌گردد. با حضور ۵ گرم از این ماده در حمام تکمیل، درصد انعکاس در طول‌موج‌های ۳۲۰ و ۳۸۰ نانومتر به‌ترتیب به ۵۰٪ و۸۵٪ رسید. همچنین در این شرایط میزان بازتاب نور مرئی نسبت به پارچه خام حدوداً ۱۵٪ افزایش یافته و به ۸۵٪ رسید.



شکل (۳): تأثیر مقدار SiO_2 روی رفتار انعکاسی پارچه

۳-۴- تأثیر مقدار PTFE

شکل ۴ تأثیر مقدار ترکیب PTFE را روی میزان انعکاس پارچه پنبه – نایلون نشان می‌دهد. در همه نمونه‌ها حضور PTFE سبب افزایش درصد انعکاس در ناحیه فرابنفش و مرئی شده که این میزان با توجه به مقدار ماده مورد استفاده متغیر بوده است. افزایش مقدار PTFE از ۱/۵ گرم به ۲/۵ گرم سبب افزایش چشمگیری در میزان انعکاس به‌ویژه در ناحیه فرابنفش شده است. مسلماً افزایش مقدار این ماده در محلول آزمایش سبب افزایش جذب فیزیکی PTFE توسط الیاف در مرحله غوطه وری شده که نهایتاً این ذرات در مرحله پخت توسط پیوند شیمیایی روی الیاف تثبیت شده‌اند. با توجه به شکل ۴، افزایش ماده PTFE به ۵ گرم سبب کاهش میزان انعکاس بخصوص در ناحیه فرابنفش شده است. علت اصلی این رفتار کاملاً مشخص نیست اما با توجه به نتایج سایر تحقیقات هنگامی که مقدار یک ماده در حمام تکمیل یا واکنش از حد معینی افزایش یابد با توجه به تمایل ذرات به تجمع با یکدیگر، موقعیت و مکان‌های جذب روی الیاف توانایی کمتری جهت جذب فیزیکی یا شیمیایی را خواهند داشت که این امر در نهایت کاهش مقدار نهایی ماده لایه نشانی شده روی الیاف را در پی خواهد داشت. بطور کلی در تئوری‌های جذب ذرات توسط سطوح متخلخل مانند پارچه، افزایش ماده تا حد مشخصی سبب افزایش جذب می‌گردد و بعد از آن بدیل تجمع و اثر متقابل ذرات مقدار جذب کاهش می‌یابد [۱۰]. نتایج نشانگر این مطلب است هنگامی که مقدار PTFE در محلول آزمایش ۲/۵ گرم انتخاب گردد بیشترین میزان انعکاس در ناحیه مرئی و فرابنفش رخ خواهد داد. در این شرایط منسوج می‌تواند مقدار ۶۰٪ از امواج UVA و ۸۵٪ نور مرئی را منعکس نماید.

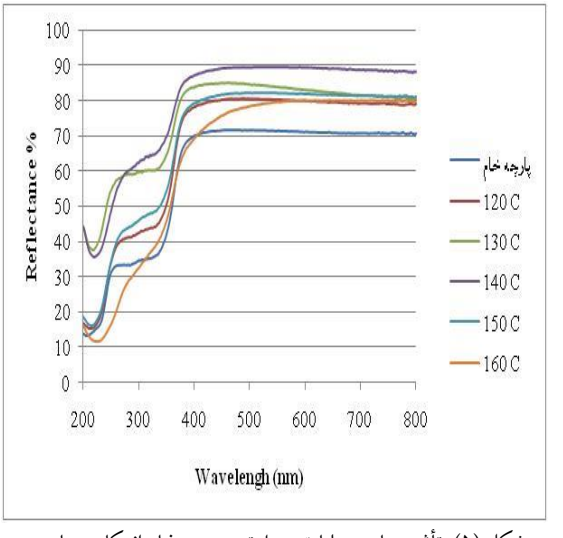


شکل (۴): تأثیر مقدار PTEF روی رفتار انعکاسی پارچه

۳-۵- تأثیر دمای عملیات حرارتی

به‌منظور بررسی تأثیر دمای عملیات حرارتی پارچه پنبه- نایلون توسط ۵ گرم $BaSO_4$ لایه نشانی گردید و در دماهای ۱۲۰-۱۶۰°C تحت عملیات حرارتی قرار گرفت. با توجه به شکل ۵، با افزایش دمای پخت از ۱۲۰°C تا حد معینی (۱۴۰°C) درصد انعکاس امواج در ناحیه مرئی و فرابنفش افزایش یافته اما بعد از آن افزایش این فاکتور سبب افت میزان انعکاس گردید. در این شرایط با انتخاب دمای پخت ۱۶۰°C، خواص انعکاسی پارچه تکمیل شده از پارچه خام پنبه- نایلون نیز کمتر شد. الیاف پنبه به‌شدت نسبت به شرایط اسیدی حساس می‌باشند بنابراین حضور اسید سیتریک روی پارچه سبب آسیب به زنجیره پلیمری این الیاف می‌گردد، شایان ذکر است میزان این آسیب در دماهای بالاتر افزایش می‌یابد [۱۱]. با آسیب الیاف و تغییر در آرایش زنجیره مولکولی پنبه شرایط و امکان تشکیل پیوند بین ذرات $BaSO_4$ و الیاف کاهش می‌یابد، بنابراین ذرات نمی‌توانند

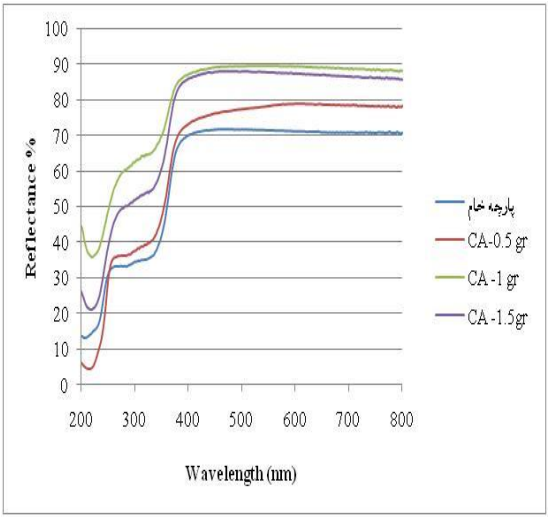
با الیاف پیوند شیمیایی برقرار نمایند و فقط به صورت فیزیکی روی سطح الیاف می‌چسبند. مسلماً جذب فیزیکی ثبات شستشویی لازم را نخواهد داشت بنابراین ذرات براحتی در مرحله شستشوی اولیه از سطح الیاف جدا می‌شوند و در نهایت مقدار کمتری از ماده $BaSO_4$ روی پارچه باقی می‌ماند. از طرفی حضور اسید سیتریک در دمای بالا سبب زردی الیاف پنبه می‌شود بنابراین علت کاسته شدن میزان انعکاس در ناحیه مرئی در دمای بالای عملیات حراراتی (۱۵۰-۱۶۰°C) زرد شدن الیاف پنبه می‌باشد [۸]. بطور کلی بهترین نتایج هنگامی حاصل می‌شود که دمای عملیات پخت ۱۴۰°C انتخاب شود.



شکل (۵): تأثیر دمای عملیات حرارتی روی رفتار انعکاسی پارچه

۳-۶- تأثیر مقدار اسید سیتریک

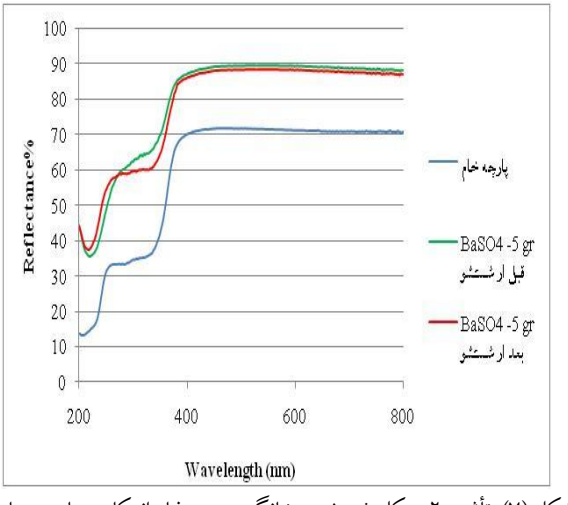
علت اصلی تثبیت ذرات $BaSO_4$ روی پارچه پنبه- نایلون پیوند این ماده با الیاف پنبه از طریق گروه‌های کربوکسیل موجود در اسید سیتریک می‌باشد، بنابراین مقدار این فاکتور به‌عنوان یک پارامتر است لذا به‌منظور بررسی تأثیر مقدار اسید سیتریک بر میزان بازتاب فرابنفش پارچه، مقدار ۵ گرم $BaSO_4$ توسط ۰/۵، ۱ و ۱/۵ گرم اسید سیتریک روی پارچه لایه نشانی شده است. هیپوفسفیت سدیم به‌عنوان فعال‌کننده و کاتالیزور در ایجاد پیوند عرضی توسط گروه‌های کربوکسیل می‌باشد. بنابراین مقدار این ترکیب نیز تعیین کننده میزان پیوند ذرات $BaSO_4$ با الیاف پنبه خواهد بود. بر اساس نتایج سایر تحقیقات بهترین نتیجه هنگامی حاصل می‌گردد که مقدار SHP ۶۰٪ وزنی اسید سیتریک باشد [۸]. بنابراین در این تحقیق نیز مقدار SHP معادل ۶۰٪ وزنی اسید سیتریک انتخاب شد. همانطور که در شکل ۶ قابل ملاحظه است، افزایش میزان اسید سیتریک از ۰/۵ گرم به ۱ گرم سبب افزایش چشمگیری در درصد انعکاس پارچه در ناحیه فرابنفش شده بطوریکه این مقدار به‌ترتیب در طول موج ۳۲۰ نانومتر از ۴۰٪ به ۶۵٪ و در طول موج ۳۸۰ نانومتر از ۷۰٪ به ۸۵٪ افزایش یافته است اما با افزایش این مقدار به ۱/۵ گرم، میزان انعکاس در طول موج ۳۲۰ نانومتر حدوداً به ۵۵٪ کاهش می یابد. بنابراین این فاکتور دارای یک نقطه بحرانی بوده که با گذر از آن، افزایش اسید سیتریک سبب کاهش خواص انعکاسی منسوج خواهد شد. اسید سیتریک به‌دلیل خاصیت اسیدی خود می‌تواند به الیاف پنبه آسیب برساند بنابراین علت کاهش درصد انعکاس در ناحیه فرابنفش به‌دلیل آسیب الیاف و در نهایت کاهش مقدار $BaSO_4$ تثبیت شده روی آن است. بطورکلی با انتخاب مقدار ۱ گرم اسید سیتریک و ۰/۶ گرم SHP بهترین نتیجه حاصل خواهد شد.



شکل (۶): تأثیر مقدار اسید سیتریک روی رفتار انعکاسی پارچه

۳-۷- ثبات شستشویی

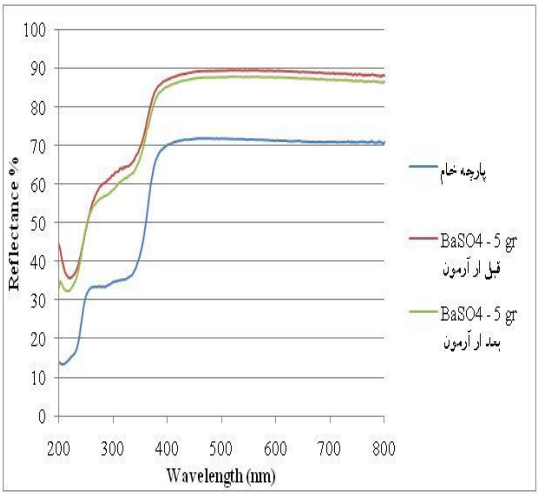
ثبات شستشویی ذرات $BaSO_4$ لایه نشانی شده روی سطح پارچه از اهمیت به سزایی برخوردار است. به این منظور ثبات شستشویی پارچه تکمیل شده (۵ گرم $BaSO_4$، ۱ گرم اسید سیتریک و ۰/۶ گرم SHP، عملیات حرارتی ۳ دقیقه در دمای ۱۴۰°C) بعد از ۲۰ سیکل شستشوی خانگی مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که در شکل ۷ قابل ملاحظه است پس از ۲۰ سیکل شستشویی مقدار حدوداً ۵٪ از انعکاس امواج در ناحیه UVA کاسته شده است. این کاهش مقدار چشمگیری نمی‌باشد بنابراین ذرات $BaSO_4$ لایه نشانی شده روی سطح الیاف به خوبی تثبیت شده است. مسلماً بعد از شستشوی اولیه هنوز مقداری از ذرات که بصورت فیزیکی به سطح الیاف متصل هستند که در شستشوهای بعدی از سطح آنها رها می‌شوند بنابراین اندک کاهش مشاهده شده در انعکاس امواج فرابنفش به‌دلیل رهایش مقدار اندکی از ذرات از سطح الیاف می‌باشد.



شکل (۷): تأثیر ۲۰ سیکل شستشوی خانگی روی رفتار انعکاسی پارچه حاوی $BaSO_4$

۳-۸- ثبات مالشی

ثبات مالشی ذرات $BaSO_4$ لایه نشانی شده روی پارچه پنبه- نایلون (۵ گرم $BaSO_4$، ۱ گرم اسید سیتریک و ۰/۶ گرم SHP، عملیات حرارتی ۳ دقیقه در دمای ۱۴۰°C) مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس شکل ۸ تغییر چشمگیری در درصد انعکاس در ناحیه مرئی و فرابنفش مشاهده نشده است. کاهش کمتر از ۵٪ انعکاس امواج فرابنفش در ناحیه UVA نشانده این مطب است که مقدار قابل ملاحظه ای از ذرات $BaSO_4$ پس از آزمون مذکور روی سطح پارچه باقی مانده است لذا نتایج این مهم را به اثبات می‌رساند که ذرات بارگذاری شده روی سطح الیاف ثبات مالشی قابل قبولی داشته است.

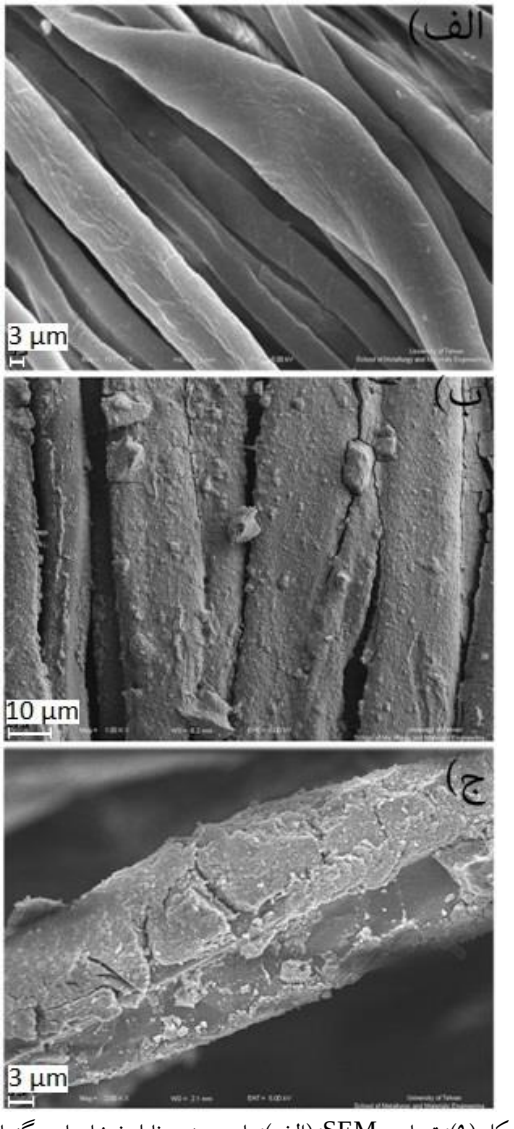


شکل (۸): تأثیر آزمون ثبات مالشی روی رفتار انعکاسی پارچه

۳-۹- تصاویر SEM

شکل ۹ تصاویر SEM و مورفولوژی سطحی الیاف پارچه پنبه- نایلون خام و لایه نشانی شده با $BaSO_4$ (۵ گرم $BaSO_4$، ۱ گرم اسید سیتریک و ۰/۶ گرم SHP، عملیات حرارتی ۳ دقیقه در دمای ۱۴۰°C) را قبل و بعد از ۲۰ سیکل شستشویی نشان می- دهد. در شکل ۹- الف، الیافی که حالت پیچ خوردگی دارند الیاف پنبه هستند در صورتیکه الیافی که سطح صاف و بدون پیچ خوردگی دارند الیاف نایلون را شامل می‌شوند. سطح پارچه پنبه- نایلون کاملاً صاف و عاری از هر گونه ترکیبات اضافی می باشد. تصویر SEM پارچه پوشیده شده با $BaSO_4$ (شکل ۹- ب) به خوبی نشان می‌دهد که سطح الیاف با یک لایه از این ماده پیوشیده شده است. با توجه به شکل ۹- ج، مورفولوژی سطحی الیاف پنبه بعد از ۲۰ سیکل شستشوی خانگی تغییر کرده است. مسلماً مقداری از ذرات $BaSO_4$ بصورت فیزیکی به سطح الیاف

پنبه متصل شده که در حین شستشو از سطح آنها جدا شده است. این در صورتی است که مقدار زیادی از این ترکیبات به وسیله پیوندهای شیمیایی یا حبس فیزیکی روی الیاف پنبه تثبیت شده است. بطور کلی بعد از لایه‌نشانی ترکیبات $BaSO_4$، الیاف حالت نرمال داشته‌اند بنابراین روش مورد استفاده سبب آسیب جدی روی منسوج نگردیده است.



شکل (۹): تصاویر SEM: (الف): پارچه پنبه- نایلون خام با بزرگنمایی ۱۰kx، پارچه پنبه- نایلون لایه نشانی شده با $BaSO_4$ (۵ گرم $BaSO_4$، ۱ گرم اسیدسیتریک و ۰/۶ گرم SHP، عملیات حرارتی ۳ دقیقه در دمای ۱۴۰°C)، (ب): قبل از شستشو با بزرگنمایی ۱kx و (ج): بعد از ۲۰ سیکل شستشوی خانگی با بزرگنمایی ۲kx

۴- نتیجه‌گیری

با استفاده از اسید سیتریک به‌عنوان ماده پیوند دهنده عرضی پنبه و SHP به‌عنوان کاتالیزور و عامل فعال‌کننده اسید سیتریک می‌توان ذرات $BaSO_4$، SiO_2 و PTEF را روی پارچه پنبه- نایلون ۶۶ لایه نشانی و تثبیت نمود و به این وسیله میزان بازتاب منسوج را در ناحیه‌های مرئی و UVA افزایش داد. نوع ترکیبات و مقدار آنها، مقدار اسیدسیتریک و SHP و دمای عملیات حرارتی روی مقدار بازتاب فرابنفش منسوج تأثیر گذار است. پارچه حاوی ذرات $BaSO_4$ توانایی بالاتری در انعکاس امواج فرابنفش داشته است. افزایش ترکیبات $BaSO_4$، SiO_2 و PTEF در حمام تکمیل سبب افزایش بازتاب فرابنفش منسوج می‌شود. با افزایش دمای پخت از ۱۲۰°C تا حد معینی (۱۴۰°C) درصد انعکاس امواج در ناحیه مرئی و فرابنفش افزایش یافته اما بعد از آن افزایش این فاکتور سبب افت میزان انعکاس می‌گردد. مقدار اسید سیتریک و SHP نیز دارای مقدار بهینه (۱ گرم اسید سیتریک و ۰/۶ گرم SHP) می‌باشد، افزایش آنها از مقدار بهینه سبب کاهش میزان انعکاس منسوج در ناحیه فرابنفش می‌گردد. با انتخاب ۵ گرم $BaSO_4$، ۱ گرم اسیدسیتریک و ۰/۶ گرم SHP، عملیات حرارتی ۳ دقیقه در دمای ۱۴۰°C بهترین نتیجه بدست آمده است. در این شرایط پارچه پنبه – نایلون ۶۶ توانایی بالایی در انعکاس امواج مرئی و UVA را دارد و قادر است به‌ترتیب بیش از ۶۵٪ و ۸۵٪ امواج فرابنفش را در طول موج‌های ۳۲۰ و ۳۸۰ نانومتر و ۹۰٪ نور مرئی را منعکس نماید. ثبات شستشویی و مالشی ذرات $BaSO_4$ لایه نشانی شده روی پارچه بسیار مناسب است که این امر نشان می‌دهد این ذرات توسط پیوندهای شیمیایی روی سطح الیاف به‌ویژه پنبه تثبیت شده‌اند. با توجه به تصاویر SEM روش فوق تأثیر چشمگیری روی مورفولوژی الیاف نداشته و به آنها آسیب نمی‌رساند. با مقایسه استاندارد استتاری بازتاب فرابنفش در نواحی برفی ناتو می‌توان دریافت با بکارگیری شرایط مذکور امکان تولید منسوج استتاری مناسب در نواحی برفی وجود دارد.

۵- مراجع

[1] U. Goudarzi, J. Mokhtari & M. Nouri, "Camouflage of cotton fabrics in visible and NIR region using three selected vat dyes", Color Research and Application, Vol. 39, pp. 200-207, 2014.

[2] R. F. Curry, "Camouflage in the near ultraviolet spectrum", Patent No. US8/220/379 B2, 2012.

[3] S. A. Butz, "UV camouflage system", Patent No. US8/277/876 B1, 2012.

[4] R. Horrakes, & S. C.Anand, "Handbook of technical textile", First edition, Woodhead Publishing Limited, England, 2000.

[5] M. J. Hepfinger, L. B. Hepfinger & P. J. Olejarz, "Preparation of fibers with enhanced UV reflectance for arctic camouflage", U.S. Army Natick Research, Development and Engineering Center Natick, Massachusetts, 1991.

[6] T. Zenda, Y. Simano, M. Nakamura & R. Takigaura, "Ultraviolet ray-reflecting fabric", Patent No. 5, 134, 025, 1989.

[7] W. D. Schindler & P. J. Hauser, "Chemical finishing of textiles", Woodhead Publishing Limited, England, 2004.

[8] T. Harifi & M. Montazer, "Past, present, and future prospects of cotton cross-linking: new insight into nanoparticles", Carbohydrate Polymers, Vol. 88, pp. 1125-1140, 2012.

[9] M. Montazer & E. Bigdeli Mehr, "Na-diclofenac-b-cyclodextrin nclusion complex on cotton wound dressing", Journal of Textile Institute, Vol. 101, pp. 373-379, 2012.

[10] M. Montazer & E. Pakdel, "Functionality of nano titanium dioxide on textiles with future aspects: focus on wool", Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, Vol. 12, pp. 239-303, 2011.

[11] Nazari, M. Montazer & M. B. Moghadam, "Introducing covalent and ionic cross-linking to cotton through polycarboxylic acids and nano TiO_2", Journal of Textile Institute, Vol. 103, pp. 985-996, 2012.

۶- پی نوشت

[1] Binder
[2] Pad-Dry-Cure