شیمی نساجی

اثر عملیات پلاسمای فشار اتمسفری و به دنبال آن پیوندزدن با کیتوسان، بر روی ضدنمدی‌شدن و رنگ‌پذیری پارچهٔ پشمی

مسعود هاشمی

چکیده

اثـر کیتوسـان روی ضدنمـدی کـردن و رنگ‌پذیـریِ پارچـهٔ پشـمیِ در ابتـدا عمل‌شـده بـا تخلیـهٔ سـد دی‌الکتریـک (DBD)، تحـت ارزیابـی قـرار گرفـت. مـا از تخلیـهٔ سـد دی‌الکتریـک، در فشـار اتمسـفر هـوا بـرای عملیـات مقدماتـی پارچـهٔ پشـمی اسـتفاده کردیـم. کیتوسـان بـا اسـتفاده از تکنیـک پد-خشـک-پخت، بـر روی پارچـهٔ پشـمیِ از پیـش عمل‌شـده، بـکار بـرده شـد. خـواص ضدنمـدیِ نمونه‌هـای پشـمی مـورد مطالعـه قـرار گرفـت و نشـان داد کـه رفتـار مقاومـت در برابـر جمع‌شـدگی و ضدنمـدی پشـم بواسـطهٔ عملیـات مقدماتـی بـا تخلیـهٔ سـد دی‌الکتریـک و سـپس پیونددهـی بـا کیتوسـان بطـور قابل‌توجهـی بهبـود یافـت. علاوه‌برایـن رنگ‌پذیـریِ پارچه‌هـای پشـمی بعـد از عملیـات پلاسما/کیتوسـان بهبـود یافـت. برخـی ابـزار تجزیـه و تحلیـل مثـل طیف‌سـنجی مادون‌قرمـز تبدیـل فوریـه و میکروسـکوپ الکترونـی روبشـی بـرای بررسـی ویژگی‌هـای مختلـف پارچـهٔ عمل‌شـده مـورد اسـتفاده قـرار گرفتنـد.

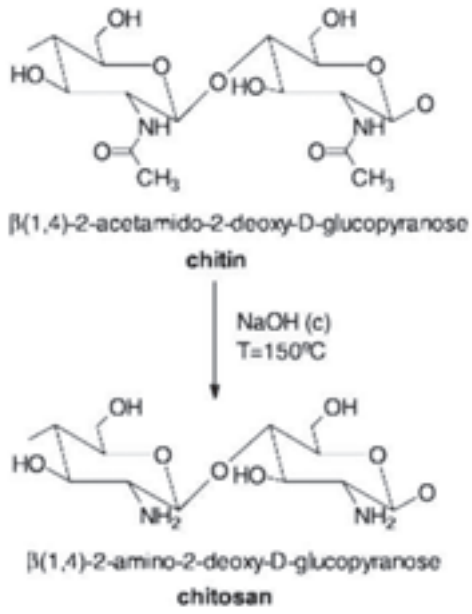
مقدمه

پشـم، لیفـی از پشـم گوسـفندان اهلـی می‌باشـد. پشـم یـک پروتئیـن طبیعـی، بافـت سـلولی چندگانـه و الیافـی کوتـاه می‌باشـد. دانسـیتهٔ پشـم g/cm3 ۱/۳۱ می‌باشـد، کـه آن را یـک پارچـهٔ بـا وزن متوسـط می‌سـازد. لیـف پشـم مجعـد، ظریـف تـا ضخیـم و منظـم می‌باشـد. پشـم ظریـف ممکـن اسـت در هـر سـانتی‌متر بیشـتر از ۱۰ مـوج داشـته باشـد، درحالیکـه پشـم ضخیـم دارای کمتـر از ۴ مـوج در ۱۰ سـانتیمتر اسـت.

لیـف پشـم دارای سـاختار شـاخص هسته-پوسـته (Core-shell) شـامل یـک هسـتهٔ پروتئینـی داخلـی بـه نـام کورتکـس و پوسـتهٔ خارجـی یـا سـطحی بـه نـام کوتیـکل می‌باشـد. کوتیـکل شـامل چندیـن لایـه می‌باشـد. لایـهٔ بالایـی، اپی‌کوتیـکل، شـامل لیپوپروتئیـن یـا پروتئین-هـای چـرب اسـت. قسـمت لیپوئیـدِ پروتئین‌هـای چـرب توسـط پیونـد سولفواسـتر بـه قسـمت پروتئینـی متصـل شـده اسـت. پروتئین‌هـای چـرب بـا لایـهٔ بالایـیِ اگزوکوتیـکل متصـل هسـتند. اگزوکوتیکـول توسـط اتصـالات دی‌سـولفیدی پیونـد عرضـی داده اسـت. مورفولـوژی سـطحی پشـم نقـش مهمـی در فـرآوری پشـم بـازی می‌کنـد، بطوریکـه طبیعـت آبگریـز کوتیکول و دانسـیتهٔ پیونـد عرضـی بـالا در خارجی-تریـن نقطـهٔ سـطح لیـف، یـک طبیعـت مانع یـا سـد نفـوذ ایجـاد می‌کنـد، کـه بـر خـواص جـذب سـطحی اثـر می‌گـذارد. بنابرایـن پشـم بایسـتی قبـل از فراینده‌ـا، بـرای بهبـود آبدوسـتی، رنگ‌پذیری و ضدنمدی‌شـدن، اصـلاح شـود. کیتوسـان، از کیتیـن دومیـن پلیمـر طبیعـی فـراوان در جهـان تهیـه می‌شـود (شـکل ۱). کیتوسـان اصـولاً از گلوکزامیـن و باقیمانده‌هـای N-اسـتیل گلوکزامیـن بـا پیوند بتا ۱،۴ تشـکیل شـده اسـت. کیتوسـان می‌توانـد توسـط دی‌اسـتیله‌کردن کیتیـن بدسـت آیـد، کـه از پوسـت خرچنگ‌هـا، حشـرات و دیگـر منابـع تولیـد می‌شـود. کیتوسـان یـک پلیمـر طبیعـیِ غیرسـمّی، زیسـت‌تخریب‌پذیر، و سـازگار بـا محیـط زیسـت اسـت و می‌توانـد در دامنـهٔ وسـیعی از کاربردهـا مـورد اسـتفاده قـرار گیـرد. کیتوسـان بطـور طبیعـی ضدمیکـروب، بندآورنـده یـا منعقدکننـدهٔ خـون، و سـازگار بـا محیـط زیسـت اسـت و بطـور گسـترده‌ای اعتقـاد بـر ایـن اسـت کـه خـواص شـفادهندهٔ خوبـی دارد. کیتوسـان برخـلاف دیگـر مـواد، بـه دلیل گروه‌هـای هیدروکسـیل و آمینـوی آن کـه در PHهـای کمتـر از ۶/۵ حامـل بـار مثبـت هسـتند، بسـیار واکنش‌پذیـر می‌باشـد.

در دهـهٔ گذشـته، کاربردهـای نسـاجی کیتوسـان محققـان زیـادی را بـه خـود جـذب کـرده بـود. کیتوسـان کاربـرد وسـیعی در رنگـرزی و تکمیـل منسـوجات دارد، بطوریکـه بـه عنـوان جانشـین برای مـواد شـیمیایی گوناگون در فرایندهـای نسـاجی اسـتفاده شـده بـود. ایـن پلیمـر طبیعـی بـه عنـوان عامـل عملیـات مقدماتـی در رنگـرزی پنبـه اسـتفاده شـده بـود. همچنیـن، بطـور گسـترده‌ای بـرای تکمیل‌هـای ضدمیکروبـی منسـوجات بـکار گرفتـه شـده بـود. گـزارش شـده بـود کـه کیتوسـان دارای پتانسـیل زیـادی بـرای جـذب یون‌هـای فلـزی و رنگزاهـا می‌باشـد.

بـرای بهبـود جـذب کیتوسـان روی پارچـهٔ پشـمی و افزایـش یکنواختـی توزیـع آن، ایـن امـر لازم می‌باشـد کـه گروه‌هـای آنیونـی روی سـطح پشـم گسـترش یابـد. بنابرایـن، بـرای بهبـود پیونـد یـا اتصـال کیتوسـان، ایـن امـر می‌توانـد مفیـد باشـد کـه تشـکیل گروه‌هـای آنیونـی جدیـد روی لیف بیشـتر شـود و انـرژی سـطحی الیـاف پشـم افزایـش یابـد. بـرای دسـتیابی بـه ایـن



شکل ۱- تهیهٔ کیتوسان

امر، یکی از روش‌های مورد استفاده عملیات LTP (پلاسمای با دمای پایین یا پلاسمای سرد) پشم می‌باشد.

تکنیک عملیات پلاسما یک روش اصلاح سطحی مؤثر برای کاهش هزینهٔ فرایند و اجتناب از مشکل آلودگی زیست‌محیطی می‌باشد. تکنولوژی‌های پلاسما که در بسیاری از فرایندهای صنعتی استفاده می‌شوند بسیار معروف هستند و مزایای تکنولوژی‌های پلاسما بیشمار می‌باشند: انرژی مؤثر برای اصلاح خواص سطحیِ هر ماده‌ای (همچنین مواد غیرفعال)، به اندازهٔ کافی ملایم (گاز پلاسما در دمای اتاق) برای استفاده به منظور عامل‌دار کردن مواد آلی، بیشتر فرایندهای خشک، امکان استفاده از گازهای زیادِ مختلف و اثر کم زیست‌محیطی. وابستگی بر مخلوط گاز مورد استفاده برای تولید فرایندهای مختلف پلاسما از قبیل لایه‌نشانی فیلم، خورندگی یا لایه‌برداری سطحی، پلیمریزاسیون و اسپاترینگ یا کندوپاش می‌تواند به منظور اصلاح لایه‌های سطحی ابتدایی مواد انجام شود.

اخیراً، اصلاح سطحی با استفاده از عملیات پلاسمای فشار اتمسفری بطور وسیعی مورد استفاده قرار گرفته است و می‌تواند در هوا بدون سیستم خلاء تحقق یابد. علاقهٔ روز افزونی در بررسی کاربردهای صنعتی تکنولوژی تخلیهٔ سد دی‌الکتریک ایجاد شده است. این نوع تخلیه دارای مزایایی نسبت به دیگر انواع تخلیه می‌باشد، بطوریکه تخلیهٔ سد دی‌الکتریک به سیستم خلاء نیازی ندارد و می‌تواند برای فرآوری نمونه‌های بزرگ نیز استفاده شود.

پشم به دلیل خارجی‌ترین بخش لیف (اپی‌کوتیکل) که از لایه‌های چربی و گروه‌های عاملی قابل تبدیل به یون تشکیل‌شده است، یک زمینه یا بستر جالب‌توجه برای اصلاح با پلاسما می‌باشد. گونه‌های فعال موجود در سطح اکسایش‌یافته با پلاسما، لایهٔ چربی آبگریز را بطور جزئی حذف می‌کنند و پیوندهای دی‌سولفیدی را می‌شکنند و هم بطور فیزیکی و هم شیمیایی با زمینه پیوند می‌دهند. تحقیقات گوناگون دربارهٔ اثر عملیات LTP روی الیاف پشم، نشان داد که خواص کارایی و فرآوری مثل ضدنمدی‌شدن، رطوبت‌پذیری، چسبندگی پلیمر به سطح، و رنگ‌پذیری می‌تواند بهبود یابد.

هدف کلّی این مطالعه، مطالعهٔ اثر عملیات پلاسمایِ DBD، و به دنبال آن عملیات محلول کیتوسان بر روی خاصیت ضدنمدی‌شدن و رنگ‌پذیری پارچه‌های پشمی می‌باشد.

تجربیات

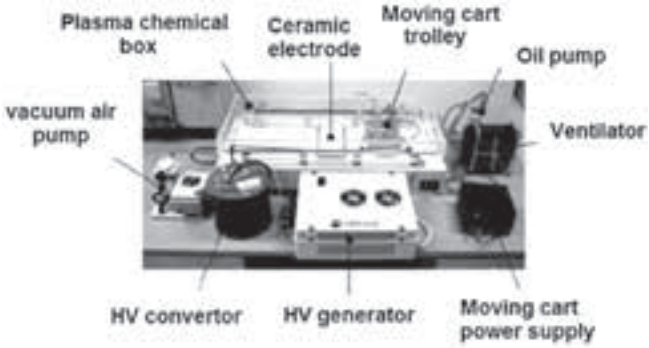
آماده‌سازی پارچه‌های پشمی

پارچه‌های پشمی با بافت ساده (کمپانی ایران مرینوس) که در این مطالعه استفاده شدند، با نخ‌های تار و پود ۲۰ دنیری متشکل از ۳۶ فیلامنت در هر اینچ مربع بافته شده بودند. قبل از عملیات پلاسمای با دمای پایین یا LTP، برای آماده‌سازی نمونه، آهار باقیمانده و آلودگی یا ناخالصی روی پارچه‌ها بوسیلهٔ فرایندهای شستشوی مرسوم زدوده شدند و پارچه‌ها با ۰/۵ گرم‌برلیتر کربنات سدیم و محلول ۰/۵ گرم‌برلیتر دترجنت غیریونی (نسبت رقیق‌سازی به آب = ۱:۱۰) در ۸۰ درجهٔ سانتیگراد به مدت ۸۰ دقیقه شسته شدند. شستشو دو بار با آب مقطر در ۸۰ درجهٔ سانتیگراد به مدت ۲۰ دقیقه و یک بار در دمای محیط برای ۱۰ دقیقه انجام شد. گازهای هوا (خلوص بالا) توسط کمپانی هوا (ایران) تأمین شد. اسید استیک از کمپانی فولکا تهیه شد. ما از رنگ اسیدی (C.I acid red 151) برای فرایندهای رنگرزی استفاده کردیم. کیتوسان (درجهٔ دی‌استیلاسیون ۸۵ درصد) از کمپانی مرک تهیه و استفاده شد. دیگر مواد شیمیایی دارای درجهٔ تجاری خلوص بودند.

عملیات تخلیهٔ سد دی‌الکتریک

در این مطالعهٔ تحقیقاتی، ما اثرات عملیات تخلیهٔ سد دی‌الکتریک را روی پارچه‌های پشمی مطالعه کردیم. نمونه‌ها بوسیلهٔ تخلیهٔ سد دی‌الکتریک تا ۱۰ دقیقه عمل‌آوری شدند. تجهیزات آزمایشگاهی در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. این دستگاه برای عمل‌آوریِ مواد مسطح در فشار اتمسفر بکارگرفته می‌شود. راکتور اساساً حاوی الکترود سرامیک Al_2O_3 (ناحیهٔ فعّال ۹× ۲۵ سانتی‌متر) و واحد تغذیهٔ با توان بالا (۵۰۰ وات) می‌باشد. الکترود توسط سیستم گردش روغن خنک می‌شود که توسط پمپ به کار انداخته می‌شود.

بعد از مجموعه‌ای از آزمایشات مقدماتی طولانی، مناسب‌ترین شرایط تجربی برای عملیات پلاسمایِ DBD سطح پارچه بدست آمد و نمونه‌ها با بهترین شرایط پلاسما عمل‌آوری شدند. شرایط منتخب برای راه‌اندازی دستگاه، ولتاژ (AC) ۲۰ کیلوولت و توان ۳۰۰ وات به مدت ۷ دقیقه بود. فاصلهٔ بین الکترودها می‌توانست در محدودهٔ ۰/۵ تا ۲/۵ میلی‌متر تنظیم شود. سیستم در هوا و در فشار اتمسفر کار می‌کرد، هرچند امکان استفاده از انواع مختلف گازها نیز به عنوان



شکل ۲- تجهیزات آزمایشگاهی

واسطهٔ تخلیهٔ وجود داشت. نمونه‌ها بوسیلهٔ یک مکندهٔ خلاء، به یک حامل متحرک متصل شدند. حامل متحرک که جابه‌جاییِ خطی را تأمین می‌کند، مسئول حرکت نمونه برای تماس با پلاسما می‌باشد.

عمل‌آوری پارچهٔ پشم با کیتوسان

برای آزمایش پیوندزدن یا اتصال، پودر کیتوسان در آب دیونیزه حاوی ۳ درصد اسید استیک حل شد. غلظت نهایی محلول کیتوسان ۳ و ۶ درصد وزنی بود. بلافاصله بعد از عملیات DBD، کیتوسان با استفاده از روش پد-خشک-پخت روی پارچه پشمی اعمال شد. پارچهٔ پشمی با محلول‌های کیتوسان با برداشت مرطوب ۱۰۰ درصد پد شد و در ۹۰ درجهٔ سانتیگراد به مدت ۵ دقیقه خشک شد و سپس در ۱۰۰ درجهٔ سانتیگراد به مدت ۳ دقیقه تحت پخت قرار گرفت. پارچه‌های پشمی پیونددادە با کیتوسان به منظور زدودن کیتوسان پیوندنداده از سطح نمونه‌ها، سپس توسط غوطه‌وری در آب دیونیزه به مدت ۵ دقیقه شسته شدند. شستشو ۲ بار تکرار شد. پارچه‌ها سپس در ۶۵ درجهٔ سانتیگراد به مدت ۲۰ دقیقه خشک شدند.

طیف‌سنجی مادون‌قرمز تبدیل فوریه

طیف‌سنج مادون قرمز تبدیل فوریهٔ Perkin-Elmer برای بررسی ساختار شیمیایی پارچه‌ها استفاده شد.

آنالیز SEM

مورفولوژی سطحی پارچه‌های پشمی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM, Philips, XL30 (هلند) با ولتاژ شتاب‌دهندهٔ ۲۵ کیلوولت مشاهده شد. نمونه‌ها از قبل با استفاده از روکش‌دهندهٔ اسپاتر ساخت سوئیس (SCDOOS, Bal-Tec) با طلا روکش داده شده بودند.

شیوهٔ رنگرزی

برای فرایندهای رنگرزی آنیونی، محلول‌های آبکی حاوی ۳ درصد وزنی رنگ بکار رفتند. نسبت حمام ۳۰:۱ (۱ گرم لیف در ۳۰ میلی‌لیتر محلول رنگ) بود. شرایط رنگرزی ذیل اتخاذ شدند: دمای اولیهٔ ۴۰ درجهٔ سانتیگراد، و سپس افزایش دما با نرخ ۳ سانتیگراد بر دقیقه تا ۸۰ درجهٔ سانتیگراد، و حفظ کردن دما به مدت ۳۰ دقیقه در ۸۰ درجهٔ سانتیگراد. ۲ گرم بر لیتر اسید استیک برای تنظیم PH، برای فرایند رنگرزی آنیونی اضافه شد. نمونه با آب شیر آبکشی شد و در دمای اتاق خشکانده شد.

شدت‌های رنگیِ پارچه‌های رنگرزی‌شده، با استفاده از اسپکتوفتومتر انعکاسیِ UV VIS–NIR (Varian, Carry 500)، روی محدودهٔ ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شدند و شاخص یا ضریب انعکاس (R) بدست آمد. سپس قدرت‌های رنگی (مقدار K/S) طبق رابطهٔ کیوبلکا-مانک، که K و S به ترتیب ضرایب جذب و انتشار هستند، به دست آمدند:

$$K/S = (1 - R)^2 / 2R$$

رابطه (۱)

ضدنمدی شدن

پارچه قبل از اندازه‌گیری تحت شرایط موردنظر قرار گرفت و جمع‌شدگی در طول در امتداد تار و پود سنجیده شدو در نهایت مساحت جمع‌شدگی محاسبه شد. درجهٔ جمع‌شدگی در طول و تغییر مساحت (بر حسب درصد) به ترتیب طبق معادلات ۲ و ۳ محاسبه شدند.

$$\text{تغییر طول} = [(L_f - L_o) / L_o] \times 100$$

رابطهٔ (۲)

$$\text{تغییر مساحت} = [(A - O) / O] \times 100$$

رابطهٔ (۳)

که در اینجا L_f، طول نهایی بعد از عملیات (میلی‌متر)، L_o طول اصلی قبل از عملیات (میلی‌متر)، A مساحت نهایی بعد از عملیات (میلی‌متر مربع) و O مساحت اصلی قبل از عملیات (میلی‌متر مربع) می‌باشند.

نتایج و بحث

طیف‌سنجی مادون‌قرمز تبدیل فوریه

طیف‌سنجی مادون‌قرمز تبدیل فوریه (FTIR) برای تجزیه و تحلیل گروه‌های عاملی نمونه‌های عمل‌آوری‌نشده، عمل‌شده با کیتوسان، و عمل‌شده با پلاسمای DBD/کیتوسان استفاده شد. همانطور که نشان داده شده است بعد از عملیات DBD، یک افزایش در باند جذبی در $1720\ cm^{-1}$ مربوط به گروه C=O و $1300-1080\ cm^{-1}$ مربوط به گروه C-O ملاحظه شد. پیک موجود در $3357\ cm^{-1}$ در ناحیهٔ پهنِ ۳۱۰۰-۳۴۷۰، می‌تواند مربوط به کشش OH، NH یا NH_2 باشد. باندهای OH و NH در ناحیهٔ $3400\ cm^{-1}$ دچار همپوشانی شده‌اند. این گروه‌های عاملی توسط واکنش بین گونه‌های فعال تولیدشده توسط پلاسما در فاز گازی و اتم‌های سطحی پارچه، روی پارچه ایجاد شده‌اند. پیک موجود در $1545\ cm^{-1}$ به دلیل وجود تغییرشکل‌های NH_2 و NH در آمیدها ظاهر شده است. همچنین ما می‌توانیم ببینیم که پیک جذبی گروه‌های نیتریل در $2240-2270\ cm^{-1}$، بعد از عملیات DBD/کیتوسان برجسته می‌باشد. پیکهای

موجـود در cm^{-1} ۳۴۵۱ و ۱۶۵۱ مربـوط بـه گروه‌هـای آمیـن و آمیـد کیتوسـان بـود.

میکروسکوپ الکترونی روبشی

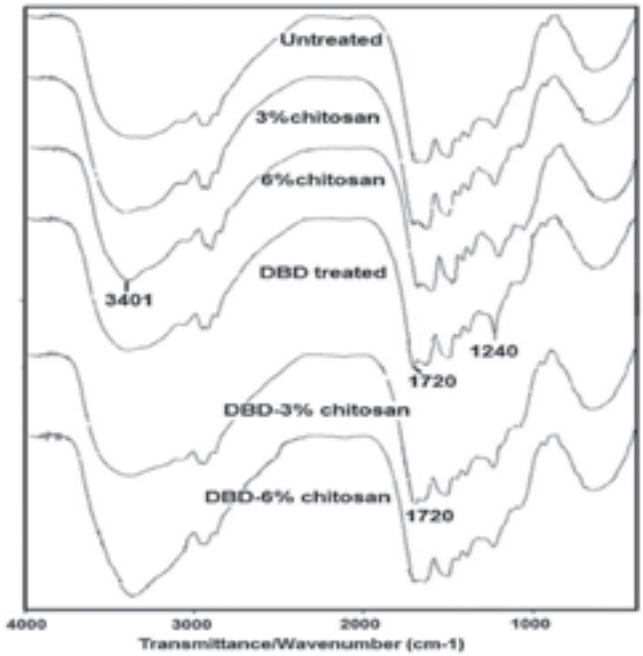
اثـر عملیـات کیتوسـان روی تغییـرات مورفولـوژی در نمونه‌هـای عمل‌آوری‌نشـده و عمل‌شـده بـا DBD در شـکل ۴ نمایـش داده شـده‌اند. همانطـور کـه می‌دانیـم، وجـود لایـهٔ آبگریـز میکرو-متخلخـل بـه نـام اپیکوتیکـول، سـطح لیـف را هنـگام مرطوب‌شـدن دچـار اشـکال می‌کنـد. همانطـور کـه در پارچه‌هـای پیونـد داده بـا کیتوسـان دیـده شـد، لایـهٔ پوشـاننده نشـان داد کـه نمونه‌هـای عمل‌آوری‌شـده، تغییـرات مورفولوژیکـی اندکـی روی سـطح خـود، بـا تشـکیل الگوهـای موج‌ماننـد، داشـتند. زمانـی کـه بعـد از فعالسـازی پلاسـما، سـطح بـا کیتوسـان پیونـد داد، سـطح منسـوجات پشـمی تغییـر کـرد.

مهم‌تریـن اثـر عملیـات DBD روی پشـم، تغییـر در خصلـت سـطح لیـف پشـم از آبگریـز بـه آبدوسـت و خـواص ضدنمدی‌شـدن می‌باشـد. ایـن اثـرات مرتبـط بـا بهبـود رطوبت‌پذیـریِ سـطح لیـف پشـم هسـتند.

همانطـور کـه در شـکل ۴ نشـان داده شـده اسـت، ذرات کیتوسـان بـه سـطح نمونـهٔ پشـم متصـل شـده بودنـد. همچنیـن ایـن شـکل نشـان داد کـه تعداد ذرات کیتوسـان روی سـطح نمونـهٔ عمل‌شـده بـا DBD بیشـتر از نمونـهٔ عمل‌نشـده بـود.

رنگ‌پذیری یا قابلیت جذب رنگ پارچه‌های پشمی

از آنجایـی کـه پارچـهٔ پشـمی بطـور قابل‌توجهـی توسـط کاربـرد پلاسـما و پیونددهـی بـا کیتوسـان عامـل‌دار شـده بـود، انتظـار می‌رفـت کـه رفتـار رنگـرزی آن نیـز اصـلاح خواهـد شـد. قـدرت رنگـی نسـبی (مقادیـر K/S) در شـکل ۵ نشـان داده شـده‌اند. رنگ‌هـای اسـیدی مـورد اسـتفاده در ایـن مطالعـه، جـذب رنـگ خوبـی روی پشـم عمل‌آوری‌شـده بـا ۶ درصـد کیتوسـان نسـبت بـه نمونه‌هـای عمل‌آوری‌شـده بـا ۳ درصـد کیتوسـان و عمل‌نشـده نشـان دادنـد. هرچنـد اثـر عملیـات پلاسـمای DBD و بـه دنبـال آن پیونددهـی بـا کیتوسـان روی جـذب رنگ پارچهٔ پشـمی بیشـتر مشـخص می‌باشـد. ایـن امـر می‌توانـد بـر اسـاس نیروهـای دافعـه و جاذبـه کـه انتظـار مـی‌رود در حیـن فراینـد رنگـرزی رخ دهـد، شـرح داده شـود. ایـن نیروهـا

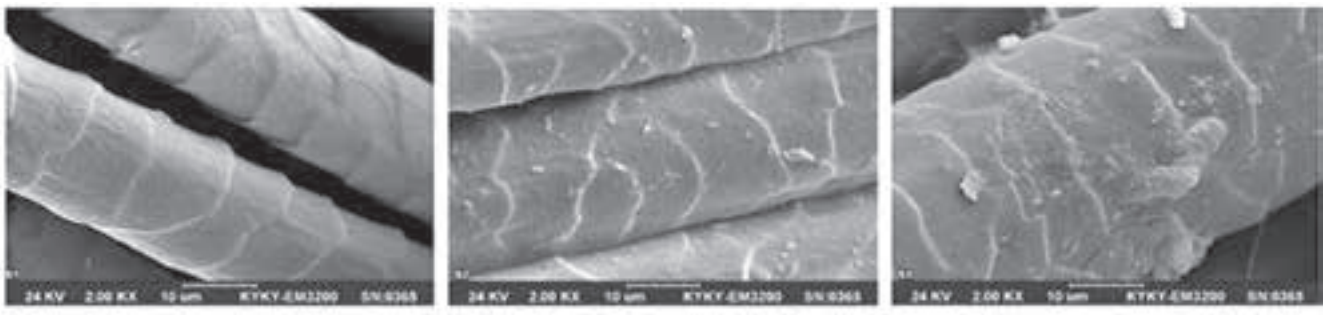


شکل ۳- نتایجِ FTIR مربوط به پارچه‌های عمل‌آوری‌نشده، از پیش عمل شده با پلاسمای DBD و عمل‌شده با کیتوسان.

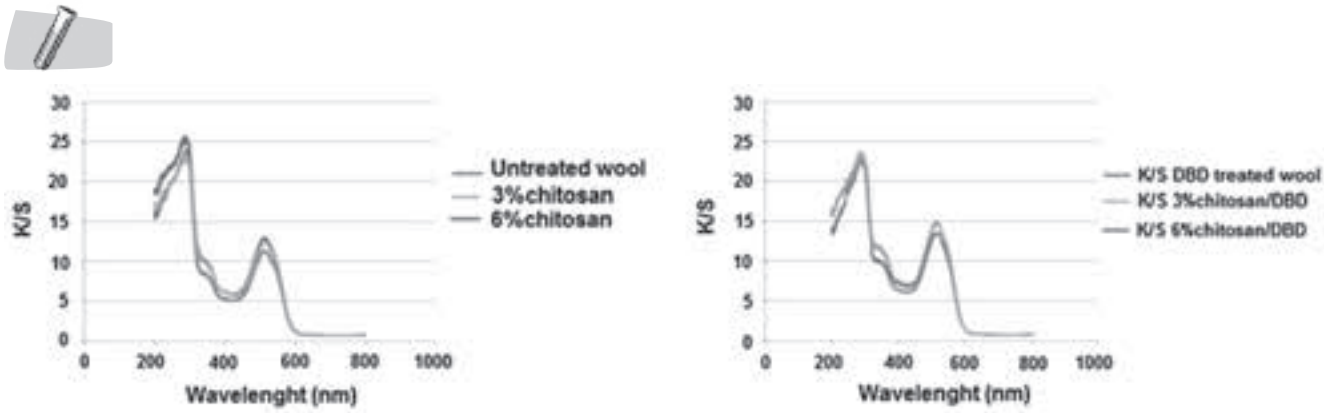
بـه دلیـل حضـور گروه‌هـای آزاد در پشـم عمل‌شـده بـا پلاسـمای DBD، گروه‌هـای آنیونـی موجـود در رنگزاهـا، یون‌هـای آمینـوی [+NH3] در کیتوسـان، درکنـار دیگـر عوامـل بوجـود می‌آینـد. در رنگـرزی بـا رنگزاهـای آنیونـی، گروه‌هـای آمینـوی موجـود بـر روی پشـم عمل‌آوری‌شـده بـا کیتوسـان، توسـط گروه‌هـای آنیونـی رنگزاهـا جـذب می‌شـوند. در نتیجـه، پارچه‌هـای عمل‌شـده بـا پلاسـمای DBD/کیتوسـان، بعـد از رنگـرزی بـا رنگزاهـای اسـیدی، قـدرت رنگـی بالاتـری را نشـان دادنـد (شـکل ۵).

جمع‌شدگی پارچه

در آزمایـش جمع‌شـدگی مـا مشـاهده کردیـم کـه تغییـرات ابعـادی الیـاف در امتـداد تـار بزرگتـر از امتـداد پـود هسـتند. هنگامـی کـه پارچـه در آب بـدون همـزدن غوطـه‌ور شـد، تغییـر ابعـادیِ افـت تنـش یـا اسـتراحت بـه وقـوع پیوسـت، بطوریکـه تنش‌هـا و کشـش‌های ایجادشـده در حیـن تولیـد پارچـه بتوانـد رهـا شـود. پارچـه سـپس خشـک شـد و دوبـاره در رطوبـت نسـبی ۶۵



شکل ٤- عکس‌های SEM پارچه‌های پشمیِ عمل‌نشده، عمل‌شده با کیتوسان و از قبل عمل‌شده با DBD / عمل‌شده با کیتوسان.



شکل ۵- مقادیر K/S برای پارچه پشمی عمل‌نشده، عمل‌شده با کیتوسان و عمل‌شده با پلاسمای DBD / کیتوسان.

درصد تحت شرایط مورد نظر برای اندازه‌گیری قرار گرفت. مشاهده شد که بعد از عملیات پلاسمای DBD، هیچ تغییری در ابعاد پارچه بعد از فرایند افت تنش وجود نداشت. امّا جمع‌شدگی برای پارچهٔ پشمی عمل‌آوری‌نشده، همانطور که در جدول ۱ دیده می‌شود، هم در امتداد تار و هم در امتداد پود در بیشترین مقدار خود بود. تغییر ابعادی نمدی‌شدن یک فرایند برگشت‌ناپذیر می‌باشد که در پارچهٔ پشمی، هنگامی که تحت آشفتگی یا همزدن در شستشو قرار گیرد، رخ می‌دهد.

مقدار بیشینهٔ تغییر ابعادیِ نمدی‌شدن در پارچهٔ پشمی عمل‌آوری‌نشده ۱۸/۴ درصد بود، که یک تغییر متوسط برای پارچهٔ عمل-نشده بود. امّا هنگامی که این مقدار با پارچهٔ عمل‌شده با پلاسمای DBD مقایسه شد، نشان داد که عملیات LTP می‌تواند اثرات مقاومت در برابر جمع‌شدگی و ضدنمدی‌شدنِ قابل‌توجهی را به پارچهٔ پشمی اعمال کند. جدول ۱ نشان می‌دهد که مساحت جمع‌شدگی، بعد از عملیات پلاسمای DBD بطور قابل‌توجهی کاهش یافته است و کیتوسان مورد استفاده دارای نقش مهمی در خواص مقاومت در برابر جمع‌شدگیِ

جدول ۱- تأثیر عملیات مقدماتی پلاسمای DBD و عملیات کیتوسان روی مساحت جمع‌شدگیِ نمدی‌شدنِ پارچه‌ها بعد از ۵ مرتبه شستشوی شبیه‌سازی‌شده.

Samples	Dimensional change (%) in warp direction	Dimensional change (%) in weft direction	Area felting shrinkage (%)
Untreated	18.4	14.2	30.1
3 % Chitosan treated	1.5	0	1.5
6 % Chitosan treated	0.7	0	0.7
DBD treated	0	0	0
DBD-3 % Chitosan treated	0	0	0
DBD-6 % Chitosan treated	0	0	0

نمونه‌های پشمی می‌باشد. به طور کلّی، جمع‌شدگی پارچهٔ پشمی با ضریب اصطکاک جزء سازندهٔ الیاف پشم مرتبط است و گفته می‌شود که عملیات پلاسما ضرایب اصطکاکِ خشک و مرطوب را در امتداد فلس و خلاف آن افزایش می‌دهد. امّا، اثر فرایند پلاسما با تغییرات متعددی روی سطح پشم، مثل تشکیل گروه‌های آبدوست جدید، حذف جزئی اسیدهای چرب پیوند کووالانسی‌داده متعلق به خارجی‌ترین سطح لیف، اثر لایه‌برداری سطحی، مرتبط می‌باشد و در مورد عملیات کیتوسان، می‌تواند مربوط به پوشش فلس‌ها باشد که ضرایب اصطکاک مشتقه را روی الیاف کاهش می‌دهد و بنابراین تمایل به جمع‌شدگیِ طبیعی را کاهش دهد.

نتیجه‌گیری

پلاسمای فشار اتمسفری به دلیل فرایند همراستا با امکانات، هزینهٔ نسبتاً کم و سازگار با محیط زیست و سلامت شخصی، یک روش جایگزین جالب نسبت به دیگر روش‌های عملیات مقدماتی (مثل پلاسمای فشار کم یا عملیات شیمیایی مرطوب) می‌باشد. در گزارش پیش‌رو، ما اثرات پلاسمای DBD در فشار اتمسفری و به دنبال آن عملیات کیتوسان را روی خواص شیمیایی و فیزیکی پارچهٔ پشمی مورد مطالعه قرار دادیم. عکس‌های SEM نشان داد که سطح پشم بعد از فعالسازی با پلاسما، با کیتوسان پیوند داده بود. این عملیات‌ها سببِ تبدیل سطح لیف پشم از آبگریز به آبدوست شدند. در این مطالعه هنگامی که پارچه‌ها با کیتوسان پیوند داده شدند قابلیت جذب رنگ آنها افزایش یافت و علاوه بر این پارچه‌های عمل‌شده با پلاسمای DBD/کیتوسان بعد از رنگرزی با رنگزای اسیدی قدرت رنگی بالاتری را نشان دادند. مقاومت در برابر جمع‌شدگی و ضدنمدی‌شدن نمونه‌های پشمی بعد از عملیات مقدماتی با پلاسمای DBD به شدت بهبود یافت. همچنین اثر پیونددهی کیتوسان روی بهبود خواص ضدنمدی‌شدن پشم قابل‌توجه می‌باشد. نتایج نشان داد که جمع‌شدگیِ ۳۰/۱ درصد مربوط به نمونهٔ عمل‌آوری‌نشده، به ۱/۵ درصد برای نمونهٔ عمل‌شده با کیتوسان کاهش یافت. برای نمونهٔ عمل‌شده با پلاسمای DBD / پیوند داده با کیتوسان، این مقدار به صفر رسید.