شیمی نساجی

آماده‌سازی و خصوصیات فیزیکی الیاف سلولزی دوباره تولید شده از پوشاک بلااستفاده پنبه‌ای

محدثه نعیمی*

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی بازیافت پوشاک بلااستفاده پنبه‌ای از طریق تولید دوباره الیاف بوده است. پارچه‌های پنبه‌ای که تحت تکمیل بشور و بپوش قرار گرفته‌اند و البسه‌ی جین بلااستفاده رنگرزی شده با رنگزای خمی به طرز موفقیت‌آمیزی خالص‌سازی گردید، در حلالی مناسب حل و به صورت الیاف ریسیده شد. خواص فیزیکی الیاف بدست آمده با الیاف لیوسل ریسیده شده از خمیر چوب مقایسه گردید و الیاف بازیافته از پوشاک بلااستفاده پنبه‌ای، خواص مولکولی و مکانیکی بهتری در مقایسه با الیاف معمول تولید شده از خمیر چوب از خود نشان داد. علاوه بر این نتایج نشان داده است که مخلوطی مناسب از خمیر چوب و خمیر حاصل از بازیافت پوشاک بلااستفاده می‌تواند الیافی با خواص بینابین پنبه و لیوسل تولید کند. نتایج بدست آمده، روشی جایگزین برای مدیریت منابع الیاف بوسیله‌ی تبدیل پنبه موجود در پوشاک بلااستفاده به الیاف سلولزی از طریق فرآیند بازیابی پیشنهاد می‌دهد. این روش در زمینه کاهش اثرات زیست محیطی و اقتصادی پوشاک بلااستفاده و مدیریت بهتر منابع مورد نیاز برای تولید پنبه و الیاف مصنوعی مشارکت می‌کند.

مقدمه

افزایش تعداد فصول مد در بازارهای خرده‌فروشی منجر به کوتاهتر شدن هر چه بیشتر عمر پوشاک نساجی و افزایش دورریز البسه، همراه با تغییر مد گردیده است. از این رو سهم منسوجات در زباله‌های شهری رو به افزایش بوده که افزایش میزان مالیات مربوط به زمین را نیز برای آنها در پی دارد. بنابراین کشف روش‌های جایگزین که پایداری بیشتری داشته و اثرات زیست محیطی منسوجات بلااستفاده و زائد را کمتر کند، مورد نیاز است. تعدادی از این روش‌ها جهت بازیافت پوشاک بلااستفاده پنبه‌ای شامل تبدیل پوشاک بلااستفاده ساخته شده از پنبه به منابع انرژی تجدید پذیر توسط روش‌های مختلف است. گرچه روش تبدیل پوشاک بلااستفاده به منابع انرژی تجدید پذیر به کاهش اثرات زیست محیطی پوشاک زائد کمک می نماید، اما متاسفانه کاهشی در زمینه کاهش فشار روی آب و زمین ناشی از اثرات تولید پنبه و الیاف مصنوعی وجود ندارد.

رایج ترین راه برای گسترش استفاده از پوشاک نساجی، صادرات آن به عنوان البسه دست دوم به آفریقاست. گرچه در قوانین اقتصادی و در تحقیقات انجام گرفته اشاره شده است که این نوع بازیافت، صنعت تولید منسوجات در آفریقا را به طور منفی تحت تاثیر قرار می دهد. بازیافت مکانیکی سنتی، پوشاک بلااستفاده را به نخ و الیاف و سپس مشارکت دوباره این الیاف در تولید نخ های بازیافتی برای کاربردهای نساجی یا کاربردهای دیگری همچون محصولات بی بافت، لایه زیرین فرش، عایق صدا و گرما، مواد تغییر دهنده فاز، ژئو تکستایل ها، مواد از بین برنده بو، فیلتر و دیگر موارد تبدیل می‌کند. گرچه بازیافت مکانیکی به دلیل شکست نخ در طول پروسه ریسندگی تنها می‌تواند نخ های با نمره نخ محدود تولید نماید و نخ های با نمره نخ بالاتر تنها در صورت مخلوط نمودن الیاف بازیافتی با الیاف پنبه خام بدست می‌آید. بنابراین تعدادی از استانداردها و ویژگی‌ها برای کاربردهای فنی همچون ژئو تکستایل ها، استفاده از نخ های بازیافت شده به صورت مکانیکی را صرفنظر از کارایی فیزیکی آنها ممنوع می-کند. از این رو آشکار

است کـه کیفیـت مـواد نسـاجی تهیـه شـده از بازیافـت مکانیکـی برابـر بـا منسـوجات تهیـه شـده از همـان مـاده در بـار اول نیسـت. بنابرایـن نیـاز بـه ارتقـای بازیافـت بـه وسـیله‌ی تبدیـل شـیمیایی پوشـاک بلااسـتفاده به الیـاف بـه منظـور اسـتفاده دوبـاره وجـود دارد. در تبدیـل شـیمیایی پوشـاک بلااسـتفاده بـه الیـاف جدیـد بایـد جداسـازی الیـاف مخلـوط و همچنینـی زدودن مـواد تکمیلـی همچـون رنگـزا و دیگـر مـواد تکمیلـی کـه مانـع پروسـه تبدیـل می‌شـود، در نظـر گرفتـه شـود.

بـه منظـور غلبـه بـر اثـرات اقتصـادی و زیسـت محیطـی منسـوجات بلااسـتفاده، ارتقـای تکنولـوژی بازیافـت در حـال بررسـی اسـت. اولیـن تـلاش هـا بـرای بازیافـت پوشـاک بلااسـتفاده پنبـه‌ای از طریـق تولیـد دوبـاره الیـاف، توسـط Firgo و همـکاران بـه ثبـت رسـید کـه فرآینـد شـامل حـل نمـودن پوشـاک بلااسـتفاده در محلـول ان- متیـل مورفولیـن ان- اکسـید (NMMO)، ریسـندگی و تولیـد دوبـاره الیـاف سـلولزی بـود. خـواص فیزیکـی الیـاف تولیـد شـده نسـبتا بالاتـر از دیگـر الیـاف بازیافته و الیـاف پنبـه بـود. گرچـه در اختـراع Firgo و همـکاران در مـورد اثـرات مواد تکمیلـی مثـل رنگـزا و مـواد تکمیلـی بشـور و بپـوش بـر روی حلالیـت پوشـاک بلااسـتفاده مطالعـه‌ای صـورت نگرفـت. بـه دنبـال آن Haule و همـکاران نشـان داده‌انـد کـه تکمیـل بشـور و بپـوش معمول روی پوشـاک پنبـه‌ای تقریبـا در طـول اسـتفاده پوشـاک پایـدار باقـی می‌مانـد. تحقیقـات بیشـتر نشـان داد کـه مـواد تکمیلـی بشـور و بپـوش بـه طـور ویـژه‌ای می‌توانـد حلالیـت پوشـاک بلااسـتفاده پنبـه‌ای در NMMO را در طـول فرآینـد تولیـد الیـاف کاهـش دهـد و روش هایـی بـرای از بیـن بـردن مـواد تکمیلـی بشـور و بپـوش بـه منظـور بهینـه سـازی تکنولـوژی فراینـد تولید پیشـنهاد گردیـد. بنابرایـن هـدف تحقیـق حاضـر گسـترش تحقیـق قبـل، از طریـق مطالعـه روی حلالیـت پوشـاک بلااسـتفاده خالـص سـازی شـده در محلـول NMMO و ریسـندگی الیـاف جدیـد اسـت.

انتخـاب محلـول NMMO بـه عنـوان حـلال بـرای پوشـاک بلااسـتفاده پنبـه‌ای بـه ایـن دلیـل اسـت کـه ایـن حـلال در کنـار بـی خطـر بـودن به هنـگام کار و همچنیـن بـی خطـر بـودن بـرای محیـط زیسـت می‌توانـد بـه طـور کامـل سـلولز را بـدون هیچگونـه تخریبـی حـل نمایـد و ۹۹٪ بازیافـت حاصـل کنـد. حـل شـدن سـلولز در محلـول NMMO از طریـق مخلـوط کـردن یکنواخـت همـراه بـا افزایـش دمـا و فشـار کاهـش یافتـه بـرای آب زدایـی از مخلـوط NMMO، آب و سـلولز و ایجـاد محلـول سـلولز- NMMO بـه دسـت می‌آیـد.

محلـول NMMO/ سـلولز آب زدایـی شـده در اسـپینرت شـکل مـی گیـرد، در شـکاف خـلا کشـیده مـی شـود و سـپس الیـاف سـلولزی در هـر مایـع غیـر قطبـی غیـر حـلال بـرای سـلولز رسـوب می‌کنـد. در طـول فرآینـد حـل شـدن بایـد مراقـب بـود تـا هیـچ اکسیداسـیونی در حـلال اتفـاق نیفتـد و در صـورت وجـود بایـد در پروسـه‌ی انحـلال از آنتـی اکسـیدان اسـتفاده شـود. فرآینـد انحـلال سـلولز در NMMO و تولیـد دوبـاره الیـاف بـه عنـوان فرآینـد لیوسـل و الیـاف بوجـود آمـده عمومـا بـه عنـوان الیـاف لیوسـل شـناخته می‌شـود. الیـاف لیوسـل بـه عنـوان درجـه آرایـش مولکولـی بـالای فیبریـل شـناخته مـی شـود و پیونـد هیدروژنـی درون فیبریلـی ضعیـف در الیـاف سـبب مـی شـود کـه تحـت عملیـات مکانیکـی و شـرایط مرطـوب در معـرض فیبریلـه شـدن قـرار گیرنـد.. گرچـه ایـن تمایـل بـه فیبریلـه شـدن در حالـت تـر مـی توانـد رنگـرزی الیـاف لیوسـل را مشـکل تـر کنـد امـا اگـر تحـت کنتـرل صـورت گیـرد، فیبریلـه شـدن مـی توانـد خـواص ظاهـری جـذاب و زیردسـت مطلوبـی را بـه منسـوجات تهیـه شـده از الیـاف لیوسـل بدهـد. دیگـر خـواص مفیـد الیـاف لیوسـل خاصیـت کشسـانی نسـبتا بـالا و رطوبـت بازیافتـی بـالای آن اسـت کـه خاصیـت شـکل پذیـری و راحتـی پوشـاک تهیـه شـده از ایـن لیـف را فراهـم می‌نمایـد. روی هـم رفتـه فرآینـد لیوسـل بـه عنـوان فرآینـد زیسـت محیطـی بـی خطـر شـناخته شـده و الیـاف لیوسـل دارای خـواص راحتـی و مکانیکـی جذابـی اسـت.

بنابرایـن در ایـن مقالـه فرآینـد لیوسـل بـرای تولیـد دوبـاره الیـاف از پوشـاک ۱۰۰٪ پنبـه‌ای بلااسـتفاده از منابـع مختلـف مـورد اسـتفاده قـرار گرفـت. پوشـاک بلااسـتفاده پنبـه‌ای خالـص سـازی گردیـد، در حـلال مناسـب حـل و بـه صـورت لیـف ریسـیده شـد. خـواص ایجـاد شـده ایـن الیـاف بازیافـت شـده همچـون وزن مولکولـی، دانسـیته، اسـتحکام و آنالیـز مکانیکـی دینامیکـی (DMA) مـورد بررسـی قـرار گرفـت و بـا توجـه بـه الیـاف لیوسـل اسـتاندارد مـورد بحـث قـرار گرفـت.

مواد و روش‌ها

روش‌ها

آماده‌سازی و خالص‌سازی پارچه‌ها

بـه منظـور شبیه‌سـازی اثـر شستشـوی گسـترده در زمـان اسـتفاده، پارچـه ۱۰۰٪ پنبـه ای بـا بافـت تـاری پـودی سـاده، ۱۵۲ g/m^2، ۵۰ بـار بـا شـوینده بـر پایـه ECE-فسـفات در ماشـین Wascator FOM-71 شسـته شـد و ایـن پارچـه مـاده اولیـه بـرای تبدیـل شـدن بـه خمیـر و ریسـندگی لیوسـل بازیافتـه تحـت عنـوان ReCell-1 گردیـد، بـه طـور مشـابه بـه منظـور آمـاده سـازی پارچـه پیونـد شـده بـا عوامـل ضـد چـروک، پارچـه پنبـه‌ای بافـت سـاده بـا ۱۰۰ g/L مـاده تکمیل بشـور بپـوش DMDHEU عمـل گردیـد. پارچـه پنبـه ای عمـل شـده بـا مـاده تکمیلـی بشـور بپـوش بـا ماشـین نامبـرده و شـوینده نامبـرده ۵۰ بـار شستشـو گردیـد و سـپس در محلـول اسـیدی-قلیایی خالص‌سـازی گردیـد. الیـاف ReCell-2 از مخلـوط ۲۰٪ خمیـر سـلولز بازیافتـه از خالص‌سـازی پارچـه پنبـه‌ای عمـل شـده بـا DMDHEU و ۸۰٪ خمیـر چـوب تهیـه شـده اسـت. بـه منظـور تهیـه پوشـاک جیـن بلااسـتفاده رنگـرزی شـده بـا رنگـزای خمـی بـرای تبدیـل شـدن بـه خمیـر چـوب بـرای ریسـندگی، ۵ عـدد جیـن بلااسـتفاده رنگـرزی شـده بـا رنگـزای خمـی بـا شـوینده نامبـرده یـک بـار شستشـو

شده، خشک گردید، زیپ، دکمه و نخ با دست از آن جدا شد و به عنوان ماده اولیه الیاف ReCell-Denim استفاده شد.

تخریب پارچه

پارچه پنبه‌ای توسط دستگاه Valley beater (Weverk 45486) به شکل خمیر درآورده شد. قبل از ورود به دستگاه، پارچه ها در اندازه های ۱۰ در ۱۰ میلی متر با دست بریده شد. پارامترهای مورد استفاده در این مرحله با توجه به استانداردهای انجمن فنی کاغذ و خمیر (TAPPI) تنظیم گردید. ۳۶۰ گرم از قطعات پارچه در ۲۳ لیتر آب برای بدست آمدن غلظت ۱/۵۶٪ مخلوط شد. شکاف بین غلتک و صفحه با قرار دادن وزنه ۴/۵ کیلوگرمی روی بازوی اهرم تنظیم شد. پس از کار کردن دستگاه به مدت ۹۰ دقیقه موجودی جمع آوری ، آبکشی و برای انجام تست های بعدی در هوا خشک شد.

تعیین خواص مولکولی خمیر تهیه شده

میانگین ویسکوزیته وزن مولکولی الیاف (M_v) به وسیله تعیین ویسکوزیته محدود کننده با استفاده از رابطه زیر تعیین شد:

$$[\eta] = K_m (M_v)^a \quad (۱)$$

که K_m و a اعداد ثابت بوده و برای محلول CED به ترتیب مقادیر ۱/۳۳ و ۰/۹ دارند و [η] ویسکوزیته محدود کننده سلولز است.

حل کردن و ریسندگی الیاف

به منظور ریسندگی الیاف، محلول ریسندگی مورد نیاز از طریق مخلوط کردن ۳۰۰ گرم محلول ۵۰٪ NMMO با ۲۷ گرم خمیر و ۰,۲ گرم ان- پروپیل با استفاده از میکسر درجه آزمایشگاهی آماده شد. فرآیند انحلال به وسیله‌ی مخلوط کردن خمیر و محلول NMMO با افزایش دما و در خلا در مراحل مناسب تا رسیدن به محلول ریسندگی شامل ۹٪ سلولز، ۱۳٪ آب و ۷۸٪ NMMO امکانپذیر شد. برای هر نمونه حلالیت محلول ریسندگی با استفاده از میکروسکوپ کوچک امتحان شد.

سپس این الیاف از طریق یک ماشین ریسندگی درجه آزمایشگاهی Lenzing AG,Austria ریسیده شد. اسپینرت مورد استفاده شامل ۱۹ سوراخ ۱۰۰ میکرومتری بوده و دمای ریسندگی نیز ۱۱۵ درجه سانتی گراد بود. خروجی محلول ریسندگی ۰,۰۳ گرم بر دقیقه به ازای هر سوراخ، شرایط شکاف خلا برابر با ۳۰ میلی متر، ۲۴ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۵۳٪ تنظیم گردید. سرعت باد ۲۵,۱ متر بر دقیقه و از آب برای ته نشینی الیاف استفاده شد. و سپس الیاف در طول یک شب در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد در آون خشک گردیدند.

اندازه گیری دانسته خطی

دانسیته خطی الیاف، L بر حسب dtex از ارتباط بین سرعت باد، W_s بر حسب متر بر دقیقه، درصد سلولز موجود در محلول ریسندگی (cel) و سرعت خروجی محلول ریسندگی از اسپینرت مانند رابطه زیر محاسبه گردید:

$$L = 121 \times \frac{D_s}{W_s} \times cel \quad (۲)$$

تعیین وزن مخصوص الیاف

دانسیته الیاف با استفاده از یک میکروبالانس (Metter Toledo den-sity balance) با دقت ۰,۰۰۰۱ g/m^3± به دست آمد و مایع مورد استفاده زایلن بود (با دانسیته ۰,۸۶۵g/m^3 در ۲۰ درجه سانتی‌گراد). الیاف ابتدا در محیط و سپس در مایع زایلن توزین شد. وزن الیاف در محیط (A) و در مایع (B) و دمای مایع غوطه وری ثبت گردید. دانسیته مایع غوطه وری در دمای ثبت شده با استفاده از رابطه زیر بدست آمد:

$$\rho_t = \frac{\rho_0}{\beta(T_f - 20) + 1} \quad (۳)$$

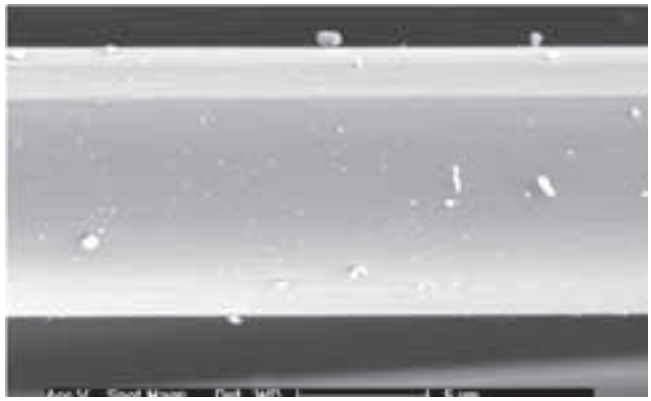
که ρ_t و ρ_0 به ترتیب دانسیته مایع زایلن در طول انجام آزمایش و در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد است. β ضریب دمایی حجمی مایع زایلن (۰,۰۰۰۸۶ v/v °C)، T_f دمای مایع زایلن در طول آزمایش نمونه و سپس دانسیته الیاف (ρ) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\rho = \frac{A}{(A-B)(\rho_t - \rho_z)} + \rho_z \quad (۴)$$

که ρ_2 دانسیته هوا (۰,۰۰۱۲ g/cm^3) است.

تعیین خواص کششی الیاف

خواص کششی الیاف با استفاده از ماشین Instron tester Series IX با نمونه تست شده آماده سازی شده در رطوبت نسبی ۶۵٪ و دمای ۲۳ درجه سانتی گراد برای ۲۴ ساعت و یا الیاف تر غوطه ور شده در آب به مدت ۲ ساعت اندازه گیری شد. آزمایش در شرایط اتاق در رطوبت نسبی ۶۵٪ و دمای ۲۳ درجه سانتی گراد انجام گرفت. روش آزمایش برای الیاف مطابق با استاندارد انگلیسی ۱۹۷۸ بود و یک تنش اولیه ۰/۵ cN/tex و سرعت mm/ ۱۰ min به الیاف اعمال شد. به منظور آنالیز موثرتر انتهای نمونه های الیاف در یک قاب مقوایی با رزین اپوکسی چسبانده شد. از داده‌های بدست آمده استحکام کششی میانگین و ازدیاد طول در نقطه شکست گزارش گردید.



شکل ۱- تصویر SEM الیاف لیوسل با بزرگنمایی 5000x

تعیین خواص آنالیز مکانیکی دینامیک

تغییر در خواص مکانیکی الیاف با دما به وسیله ی دستگاه DMA Q800 V7.5 حاوی گیره هایی برای ایجاد تنش در فیلم ها و الیاف بررسی شد. برای اطمینان از گیره کردن محکم و کمترین تغییر شکل نمونه، انتهای نمونه الیاف به قاب مقوایی با رزین اپوکسی چسبانده شد و سپس در فک ماشین قرار داده شد. محدوده آنالیز در دمای استاندارد برنامه با گرمای ۳ درجه سانتی گراد بر دقیقه از ۲۵ درجه تا ۲۰۰ درجه تنظیم شد و آزمایش در ازدیاد طول استاتیک ثابت و فرکانس ۱ هرتز انجام گرفت.

آنالیز میکروسکوپ الکترونی پویشی

ساختار سطحی الیاف با استفاده از میکروسکوپ Hitachi EDAX-S300N SEM مورد مطالعه قرار گرفت. نمونه ها قبل از آزمایش با استفاده از سیستم SEM E5100 با طلا پوشیده شدند. برای تمامی عکس‌های میکروسکوپ SEM، شناساننده الکترون ثانویه و ولتاژ شتاب دهنده ۵ کیلو ولت مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

شکل میکروسکوپ SEM الیاف لیوسل، ReCell-1، ReCell-Denim و ReCell-2، شکل‌های ۱ تا ۴، نشان داد که سطح کلیه الیاف صاف بدون تشکیل هیچ‌گونه ساختار فیبریلی بوده است. گرچه آلودگی هایی در سطح مشاهده می‌شد که می‌تواند به دلیل دست زدن به الیاف یا روند کلی فرایند باشد.

خواص مولکولی الیاف

آزمایش خواص مولکولی الیاف که به وسیله ویسکومتری اندازه‌گیری شده بود نشان داد که الیاف تولید شده از پوشاک و پارچه های پنبه ای بلااستفاده وزن مولکولی بالاتر از الیاف لیوسل استاندارد، جدول ۱. جرم مولکولی متوسط ReCell-Denim، ReCell-1 و ReCell-2 به ترتیب ۱۱۶٪، ۱۲٪ و ۴٪ بالاتر از جرم مولکولی الیاف لیوسل استاندارد بود. جرم مولکولی بالاتر الیاف ReCell به دلیل تفاوت در خواص مولکولی متناظر بین خمیر چوب و خمیر حاصله از پوشاک پنبه‌ای چندین بار شسته شده بود.

خواص مولکولی الیاف

جرم مولکولی پایین الیاف ReCell-Denim نسبت به لیوسل احتمالا به دلیل تخریب بالاتر جین در طول عمر شستشو و پوشش در دوران مصرف در مقایسه با ReCell-1 که از پارچه پنبه سفید تولید شده و فقط شستشوی گسترده ۵۰ بار را تحمل کرده بود، است. دانسیته کلیه الیاف بازیافته شبیه هم بود.

پس از ارزیابی مخلوط خمیر چوب و خمیر حاصله از پوشاک پنبه ای بلااستفاده (ReCell-2) بهبود در خواص مولکولی الیاف حاصله به سطحی که مابین لیوسل استاندارد و ReCell-1 است، پی برده شد. برای مثال، مخلوط ۲۰٪ خمیر حاصله از پوشاک پنبه‌ای بلااستفاده و ۸۰٪ خمیر چوب می‌تواند جرم مولکولی کلی را به میزان ۴٪ نسبت به لیوسل استاندارد افزایش دهد، جدول ۱. این مورد اثبات می‌کند که خمیر حاصله از پوشاک بلااستفاده پنبه‌ای می‌تواند برای تولید الیاف بازیافته با خواص مشابه الیاف ریسیده شده از ۱۰۰٪ خمیر چوب استفاده شود. علاوه بر این مخلوط خمیر چوب و خمیر حاصله از پوشاک بلااستفاده نیز می‌تواند الیاف با خواص مشابه تولید کند.

خواص مکانیکی الیاف

جدول ۱- وزن مولکولی و دانسیته الیاف ReCell و لیوسل

نوع الیاف	ویسکوزیته-وزن مولکولی متوسط (Mv g/mol)	دانسیته(g/cm^3)
Lyocell	۴۹۴	۱.۵۱±۰.۰۱
ReCell-1	۱۰۶۶	۱.۵۱±۰.۰۱
ReCell-Denim	۶۲۳	۱.۵۱±۰.۰۱
ReCell-2	۵۱۷	۱.۵۱±۰.۰۱

جدول ۲- خواص کششی الیاف ReCell و لیوسل

	Lyocell		ReCell-1		ReCell-Denim		ReCell-2	
	میانگین	CV	میانگین	CV	میانگین	CV	میانگین	CV
دانسیته خطی(dtex)	۱،۳	۹،۴	۱،۳	۸،۸	۱،۳	۹،۱	۱،۳	۴،۳
استحکام در حالت خشک (cN/tex)	۳۴،۷	۹،۶	۴۸،۷	۱۰،۱	۴۲،۵	۸،۴	۳۷،۲	۱۰،۴
استحکام در حالت تر(cN/tex)	۲۸،۸	۸،۸	۴۲،۴	۱۴،۶	۳۵،۲	۱۲،۵	۳۲،۶	۸،۱
ازدیاد طول در حالت خشک(٪)	۱۱،۲	۱۴،۱	۹،۲	۱۴،۱	۹،۷	۱۳،۴	۹،۹	۱۷،۱
ازدیاد طول در حالت تر (٪)	۱۳،۲	۱۴،۰	۱۱،۰	۱۳،۶	۱۴،۲	۱۸،۶	۱۴،۱	۱۷،۱
مدول در حالت خشک(cN/tex)	۲۰۵	۱۴۴	۳۰۳	۱۰۹	۲۹۸	۸۵	۲۱۰	۷۱
مدول در حالت تر(cN/tex)	۱۱۲	۸۹	۱۵۲	۵۶،۰	۱۶۲	۹۰	۱۱۶	۵۵

مقایسه خواص مکانیکی الیاف تولید شده از پوشاک پنبه‌ای بلااستفاده و الیاف لیوسل استاندارد، جدول ۲، نشان می‌دهد که پوشاک پنبه‌ای بلااستفاده می‌تواند به الیاف ReCell با دانسیته خطی تقریبا برابر با الیاف لیوسل استاندارد تبدیل شود. یکی از ویژگی‌های الیاف Re-Cell-2 ضریب تغییرات پایین تر دانسیته خطی آنها بود که ممکن است به دلیل رئولوژی بهبود یافته خمیر مخلوط باشد که تقریبا به راحتی تبدیل به الیاف می‌شود.

آزمایش استحکام خشک الیاف، جدول ۲، اندازه گیری شده در شرایط دمایی ۲۳ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۶۵٪ نشان داد که استحام به ترتیب زیر کاهش می یابد:

ReCell-1>ReCell-Denim>ReCell-2>lyocell

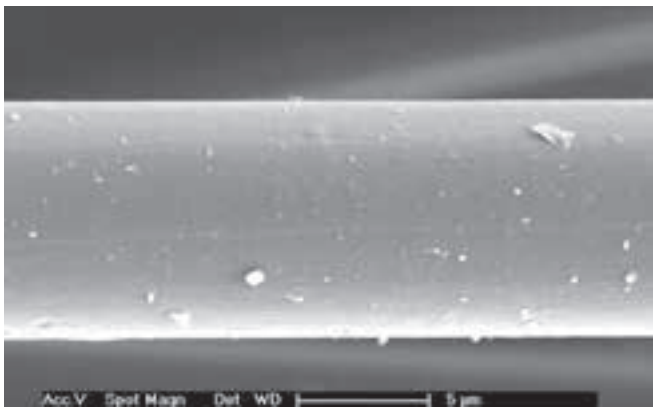
مقادیر استحکام ReCell-1 و ReCell-Denim به ترتیب ٪۴۰ و ٪۲۲ بیشتر از الیاف لیوسل استاندارد بود. الیاف تشکیل شده از مخلوط ۲۰٪ خمیر حاصل از پوشاک پنبه‌ای بلااستفاده و ۸۰٪ خمیر چوب یعنی الیاف ReCell-2، ۷٪ استحکام بیشتر نسبت به لیوسل استاندارد نشان داد. ازدیاد طول تا حد پارگی الیاف آماده سازی شده در شرایط استاندارد به ترتیب زیر کاهش پیدا کرد:

Lyocell>ReCell-2>ReCell-Denim>ReCell-1

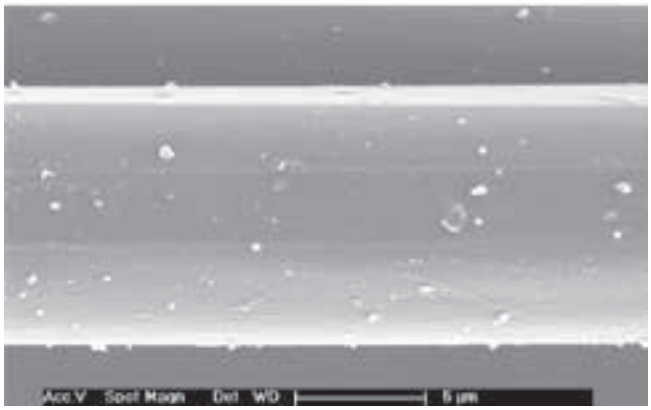
ازدیاد طول تا حد پارگی الیاف ReCell-1 و ReCell-Denim به ترتیب ۱۸٪ و ۱۳٪ کمتر از لیوسل استاندارد بوده و ازدیاد طول تا حد پارگی الیاف ReCell-2 نیز ۱۲٪ کمتر از لیوسل استاندارد به دست آمد. این موارد نشان می دهد که مخلوط کردن خمیر چوب و خمیر حاصله از پوشاک پنبه‌ای بلااستفاده می‌تواند الیاف با استحکام بالاتر و ازدیاد طول تا حد پارگی پایین تر از الیاف لیوسل تولید کند. تغییرات در استحکام و ازدیاد طول در پارگی بین الیاف تحت بررسی می تواند به دلیل تفاوت در خواص مولکولی آنها باشد. آزمایش مدول خشک الیاف نشان داد که مدول های الیاف به ترتیب زیر کاهش پیدا می‌کند:

ReCell-1>ReCell-Denim>ReCell-2>lyocell

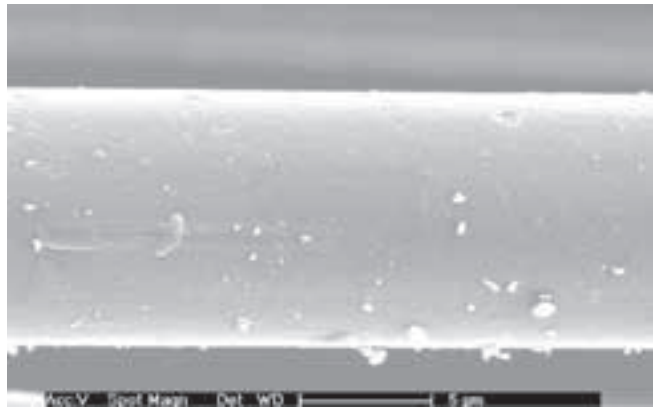
مدول الیاف ReCell-Denim ،ReCell-1 و ReCell-2 به ترتیب ۴۸٪، ۴۵٪ و ۲٪ بالاتر از مدول الیاف لیوسل به دست آمد. به طور مشابه آزمایش منحنی تنش/کرنش برای الیاف ReCell و لیوسل نشان داد که استحکام و مدول الیاف ReCell بالاتر اما ازدیاد طول تا



شکل۲- تصویر SEM الیاف ReCell-Denim با بزرگنمایی 5000x



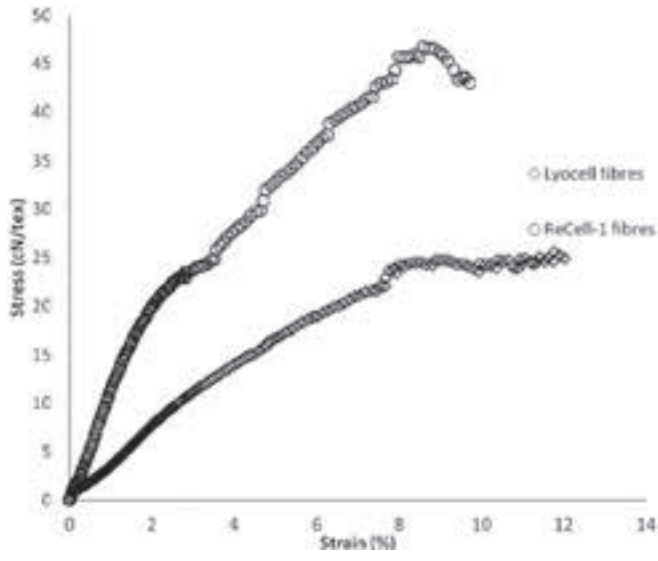
شکل۳- تصویر SEM الیاف ReCell-2 با بزرگنمایی 5000x



شکل ٤- تصویر SEM الیاف ReCell-1با بزرگنمایی 5000x

پارگی پایین تری از الیاف لیوسل دارند، شکل ۵. این استحکام و مدول بالاتر می‌تواند به دلیل تفاوت در خواص اولیه پنبه بازیافت شده و خمیر چوب و خواص رئولوژی محلول ریسندگی آنها باشد. ویسکوزیته محدود کننده یعنی درجه پلیمرزاسیون سلولز یک پارامتر مهم در کیفیت ریسندگی الیاف شناخته شده است. خمیر حاصل از پنبه بازیافت شده درجه پلیمرزاسیون بالاتر دارد که توزیع جرم مولکولی بهتر سلولز در طول انحلال و ریسندگی الیاف را نسبت به خمیر چوب در پی دارد که منجر به تولید الیاف با وزن مولکولی بالا و شکل ساختاری بهتر الیاف تولید شده از خمیر پنبه بازیافت شده نسبت به خمیر چوب می شود. استحکام و مدول بالاتر الیاف ReCell به طور اساسی به دلیل وزن مولکولی بالاتر بود که در جدول ۱ نشان داده شده است.

ویژگی خواص مکانیکی الیاف آزمایش شده تنوع غیرمعمول در ضریب تغییرات است، جدول ۲ و این مورد به دلیل روش استفاده شده برای نصب کردن الیاف برای آزمایش استحکام ایجاد می شود. تحقیقات آینده بهبود این جنبه از آنالیز الیاف را تحت بررسی



شکل۵- منحنی تنش/ کرنش الیاف lyocell و ReCell-1

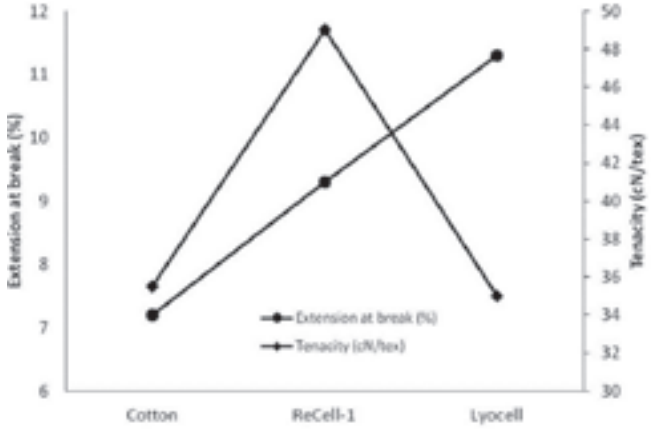
قرار می دهد.

آزمایش دوباره خواص الیاف ReCell و لیوسل در حالت تر نشان داد که هر دو نوع لیف کاهش در استحکام و مدول و افزایش در ازدیاد طول تا حد پارگی در حالت تر از خود نشان می‌دهند، جدول ۲. دو نوع الیاف تقریبا کاهش یکسان در استحکام و مدول در حالت تر از خود نشان دادند. به طور مشخص استحکام تر الیاف ReCell-1، ReCell-Denim و ReCell-2 به ترتیب ۱۳٪ ۱۷٪ و ۱۲٪ کاهش یافت در حالیکه این مقدار برای لیوسل ۱۷٪ کاهش پیدا کرد. علاوه بر این مدول تر برای الیاف ReCell-2، ReCell-Denim، ReCell-1 و لیوسل به ترتیب ۵۰٪ ۴۶٪ ۴۵٪ و ۴۵٪ کاهش پیدا کرد. ازدیاد طول تا حد پارگی برای الیاف ReCell-1 و لیوسل به ترتیب ۲۰٪ و ۱۸٪ کاهش پیدا کرد، در حالیکه ReCell-Denim و ReCell-2 ۴۶٪ و ۴۲٪ کاهش پیدا کردند. کاهش خواص مکانیکی الیاف بازیافت شده در حالت تورم به دلیل ضعیف شدن پیوندهای هیدروژنی درون زنجیر پلیمری سلولز در آب است. زمانی که الیاف سلولزی در آب متورم می شوند، مولکول قطبی آب با گروههای هیدروکسیل موجود در بخش های آمورف سلولز پیوند برقرار می‌کند که پیوندهای هیدروژنی داخل سلولز را شکسته و در نتیجه توانایی الیاف برای تحمل نیرو را کاهش داده و افزایش ازدیاد طول تا حد پارگی الیاف را به دنبال خواهد داشت. ماهیت کاهش نسبتا بالا در ازدیاد طول تا حد پارگی الیاف ReCell-Denim و ReCell-2 در حالت تر در حال حاضر نامشخص است اما احتمالا انعکاسی از اصلاح سلولزی عظیم تر در زمان استفاده اولیه از آنهاست.

مقایسه خواص کششی ReCell، لیوسل و پنبه نشان داد که استحکام ReCell بالاتر از پنبه و لیوسل استاندارد بود گرچه ازدیاد طول برای ReCell بین پنبه و لیوسل به دست آمد، شکل ۶. کشش پذیری مابین الیاف پنبه و لیوسل مشاهده شده برای الیاف ReCEll می تواند به عنوان یک فرصت در تولید پوشاک باشد.. استحکام تقریبا بالاتر الیاف ReCell نسبت به پنبه خام احتمالا به دلیل این حقیقت است که در طول خالص سازی و انحلال پوشاک پنبه ای بلااستفاده الیگومرهای تخریب شده و اصلاح شده و همچنین پلیمرها در محلول ریسندگی حل می شوند اما در طول ریسندگی بعدی برای تبدیل شدن به الیاف این مولکولهای ضعیف سلولزی به صورت الیاف سلولزی ساخته نمی شوند. از این رو الیاف تقریبا از وجود پلیمرهای ناقص آزاد هستند که منجر به افزایش توانایی برای تحمل نیروهای تنشی بالا می شوند.

آنالیز DMA الیاف

تکنیکDMA برای بررسی اثرات دما روی خواص مکانیکی الیاف ReCell-2، ReCell-1 و ReCell-Denim و مقایسه آن با الیاف لیوسل



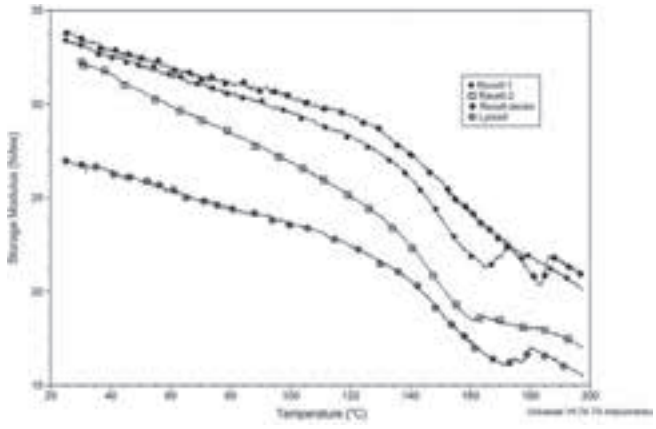
شکل٦- مقایسه ازدیاد طول تا حد پارگی و استحکام الیاف ReCell، Lyocell و پنبه.

استاندارد استفاده شد. نمونه با سرعت ثابت ۲۰۰-۲۰ درجه سانتی گراد حرارت داده شد و در طول حرارت نمونه در ازدیاد طول ثابت تحت فرکانس ۱ هرتز تغییر شکل داد.

مقایسه مدول ذخیره شده الیاف با افزایش دما نشان داد که الیاف حاصله از پوشاک بلااستفاده پنبه ای مدول ذخیره شده بهتر از الیاف لیوسل دارند، گرچه همه آنها نرخ مشابه تغییر مدول ذخیره شده با دما به خصوص در محدوده‌ی دمایی بین ۲۰ تا ۱۴۰ درجه سانتی گراد را نشان دادند ، شکل ۷.

مدول ذخیره شده بالاتر برای الیاف حاصله از پوشاک بلااستفاده مربوط به درجه پلیمرزاسیون نسبتا بالاتر آن بود. شباهت در شیب منحنی مدول ذخیره شده-دما برای الیاف ReCell و لیوسل به طور اساسی به دلیل شباهت در شرایط انحلال و ریسندگی بوده است.

در نتیجه می‌توان نتیجه گرفت که نتایج DMA شباهت رفتار بین الیاف ReCell ایجاد شده از پوشاک پنبه‌ای بلااستفاده و الیاف لیوسل استاندارد در واکنش خواص مکانیکی الیاف نسبت به تغییر شکل در اثر افزایش دما را مشخص تر می کند. از این رو مشخص می‌شود



شکل۷- مقایسه مدول ذخیره شده الیاف lyocell و ReCell با افزایش دما.

که الیاف ReCell می‌توانند مانند الیاف لیوسل شرایط فرآیند را تحمل نماید.

٤. نتیجه گیری

خمیر به دست آمده از پارچه پنبه‌ای مورد استفاده قرار گرفته، به طور موفقیت آمیز در محلول NMMO حل و به صورت لیف ریسیده شد. خواص مولکولی و مکانیکی الیاف، به‌دست آورده شد و با الیاف لیوسل استاندارد مقایسه گردید. خواص مولکولی آنها نشان داد که الیاف ریسیده شده از پوشاک پنبه‌ای بلااستفاده وزن مولکولی بالاتر و وزن مخصوص بالاتری از لیوسل استاندارد دارند. علاوه بر آن نتایج نشان داد که الیاف نوع ReCell خواص کششی بالاتر داشته و بازیابی استحکام در حالت تر بهتری در مقایسه با الیاف لیوسل از خود نشان می‌دهند. نتایج DMA نشان داد که مدول ذخیره شده الیاف بازیافت شده با دما کاهش می یابد. الیاف نوع ReCell به دلیل وزن مولکولی بالاتر مواد خمیر اولیه، مدول اولیه نسبتا بالاتر از الیاف لیوسل نشان دادند. از این مطالعه اولیه واضح است که پارچه‌های پنبه‌ای بلااستفاده بدون تکمیل بشور بپوش و رنگزای ایندیگو می‌توانند به صورت الیاف با خواص مکانیکی، حرارتی-مکانیکی و سطحی مشابه با الیاف لیوسل، دوباره تولید شوند. علاوه بر آن خمیر حاصله از پوشاک بلااستفاده پنبه‌ای می‌تواند با خمیر چوب مخلوط شود و الیاف با خواص مشابه لیوسل تولید نماید.

هدف کلی این تحقیق، گسترش تکنولوژی بازیافت بود که می‌تواند افزایش اثرات زیست محیطی پوشاک بلااستفاده پنبه‌ای را کاهش دهد. در حال حاضر عمر پوشاک به وسیله بازیافت و صادرات آن به صورت لباس دست دوم برای استفاده مجدد به کشورهای در حال توسعه در حال گسترش است. گرچه گزینه صادرات برای استفاده مجدد به دلیل اثرات نامطلوب شناخته شده از لباس دست دوم در کشور مقصد پایدار نیست. همراه با صادرات لباس دست دوم، اساسی ترین چالش تولید الیاف پنبه و الیاف مصنوعی و استفاده بهتر از کاهش منابع آب و زمین است. بنابراین این مقاله یک روش جایگزین برای مدیریت منابع الیاف و توسعه تکنولوژی برای تبدیل پوشاک بلااستفاده پنبه‌ای به فرآیند تولید دوباره‌ی الیاف سلولزی پیشنهاد می‌دهد. تحقیق آینده بر خواص الیاف تولید شده از پوشاک بلااستفاده پنبه ای به منظور تهیه اطلاعات از خواص و ساختار الیاف و عملکرد فرآیند همراه آنها، تمرکز خواهد کرد.

* کارشناس آزمایشگاه و کنترل کیفیت شرکت هپی لند

منابع در دفتر مجله موجود است.