

تاثیر ترکیبات ضد چروک بر خواص فیزیکی پارچه‌های سلولزی

The effect of anti-wrinkle compounds on the physical properties of cellulosic fabric

مرضیه قائمی‌زاده، مریم شرزهبی

یزد، دانشگاه یزد، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۸۹۱۹۵-۷۴۱

چکیده

الیاف سلولزی نظیر پنبه از دیرباز در صنعت نساجی مورد استفاده قرار می‌گرفت. جذب بالای رطوبت و سازگاری با بدن از مزایای این الیاف است. امروزه با وجود پیشرفت و توسعه الیاف مصنوعی، همچنان الیاف سلولزی در زمره پرمصرف‌ترین الیاف در تولید منسوجات به شمار می‌رود. یکی از مهم‌ترین معایب استفاده از منسوجات سلولزی، عدم ثبات ابعادی و ایجاد چروک در ساختار پارچه می‌باشد که در صورت اعمال تنش در شرایط مرطوب ایجاد می‌گردد. از اوایل دهه بیستم میلادی تحقیقاتی به منظور ضد چروک کردن این منسوجات صورت گرفت. محققین استفاده از ترکیبات شیمیایی گوناگون نظیر رزین‌های فرمالدئید و پلی کربوکسیلیک اسیدها را برای رفع این مشکل پیشنهاد کردند. منسوج تکمیل شده با توجه به خواص ایجاد شده کاربردهای متفاوتی دارد. بعضی از ترکیبات ضد چروک علاوه بر بهبود چروک پذیری پارچه سلولزی باعث افزایش ثبات ابعادی و بهبود پرزدهی پارچه می‌گردند. هر چند به کار بردن این ترکیبات بر روی پارچه اثرات نامطلوبی از جمله: کاهش استحکام کششی، مقاومت در برابر پارگی و تغییر رنگ پارچه را در بر دارد. در این تحقیق برخی اثرات ناخواسته ایجاد شده در اثر مصرف مواد ضد چروک مورد بررسی قرار گرفته است.

۱- مقدمه

خودشان برگردند [۱، ۲، ۳].
آب از جمله موادی است که باعث شکستن پیوندهای هیدروژنی بین سلولز و در نتیجه هیدرولیز آن می‌شود. هیدرولیز شدن حلقه‌های پلیمری سلولز، باعث لغزش آسان آن‌ها روی هم می‌گردد. مولکول‌های آب میان زنجیرهای سلولزی قرار گرفته و سبب تورم این الیاف می‌شوند. مولکول‌های آب فقط قادر به نفوذ به مناطق آمورف بوده و امکان دسترسی به مناطق بلوری ساختار سلولز را ندارند. به همین دلیل تورم به صورت ناحیه‌ای ایجاد شده و سبب اعمال تنش به ساختار الیاف سلولزی و در نهایت ایجاد چروک می‌شود. به این ترتیب زنجیرهای مولکولی سازنده الیاف جابه‌جا شده و این امر سبب شکسته شدن پیوندهای هیدروژنی مابین زنجیرها و ایجاد

پوشاک سلولزی به دلیل راحتی پوشش نسبت به دیگر الیاف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پارچه پنبه‌ای هم در شرایط خشک و هم در حضور آب قابلیت چروک شدن دارد، علاوه بر این در حضور آب متورم شده و جمع می‌گردد. همین عوامل باعث به‌کارگیری عملیات تکمیل ضد چروک بر روی کالای سلولزی شده است. وارد کردن نیروی کششی و برشی به کالای سلولزی باعث شکستن پیوندهای هیدروژنی بین حلقه‌های سلولز می‌گردد (شکل ۱). این عامل به حلقه‌ها اجازه لغزش بر روی یکدیگر و در نتیجه ایجاد پیوند هیدروژنی جدید، در محل دیگر می‌دهد. هنگامی که این اتفاق بیفتد، دیگر نیروئی وجود ندارد که حلقه‌های مجاور را به حالت اولیه

کلمات کلیدی

تکمیل ضد چروک،
خواص فیزیکی،
پارچه سلولزی،
نانوذرات

با سلولز واکنش دهد، با این وجود فرمالدئید به عنوان یک ماده پر خطر و سمی معرفی شده که باعث خارش بینی، تحریک چشم و همچنین تحریک غشاء مخاطی می‌شود. در این دوران محصولات فرمالدئید برای تکمیل ضد چروک پارچه‌های ویسکوز، کتان یا پنبه معرفی گردید. در ابتدا، به طور عمده از محصولات اوره فرمالدئید و به دنبال آن ترکیبات ملامین فرمالدئید استفاده شد. در سال ۱۹۴۷ استفاده از محصولات دی‌متیلول اتیلن اوره شروع شد. یکی از قویترین محصولات این گروه (ترکیبات بر پایه فرمالدئید) دی‌متیلول دی‌هیدروکسی اتیلن اوره است که خاصیت ضد چروکی بالاتر از دیگر ترکیبات دارد. رزین‌های فرمالدئید به صورت زیر با سلولز واکنش می‌دهند:

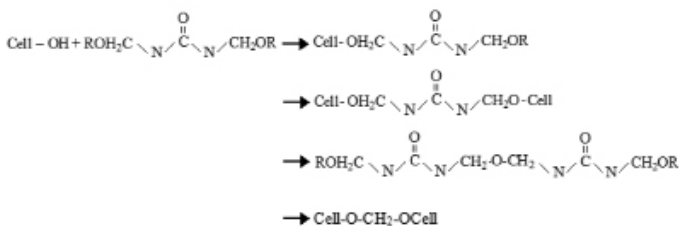
۱- اتصال یک‌طرفه با سلولز

۲- ایجاد اتصال عرضی با سلولز از هر دو جهت

۳- حضور گروه آمین آزاد باعث ایجاد اتصالات عرضی بین ماده تکمیلی می‌شود که در نهایت زنجیر پلیمری حاصل با سلولز وارد واکنش شده و می‌تواند با یک یا چند گروه متیلول اتصال برقرار کرده و محصول پایدار در برابر شستشو تولید کند.

۴- ایجاد پل‌های متیلنی با سلولز

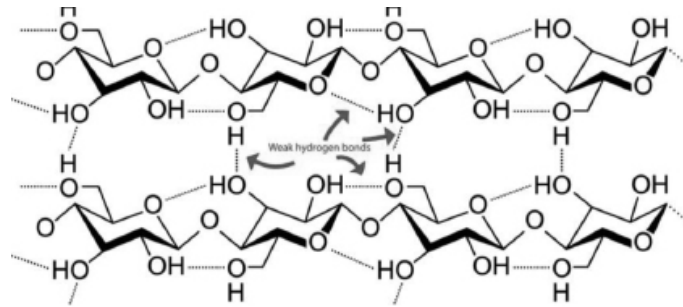
در طول دهه ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰، نگرانی در مورد فرمالدئید، استفاده از ترکیبات تکمیلی کراس‌لینک‌کننده سلولز با سطوح فرمالدئید آزاد کم (همچون دی‌متیل دی‌هیدروکسی اتیلن اوره) یا بدون فرمالدئید (کربوکسیلیک اسیدهایی چون سیتریک اسید و بوتان تتراکربوکسیلیک اسید (BTCA) توسعه یافت. تحقیقات تا به امروز ادامه داشته و محصولاتی با مقادیر بسیار کم فرمالدئید و همچنین محصولاتی که به‌طور کامل فاقد فرمالدئید هستند به بازار ارائه شد [۲، ۳، ۱۵، ۱۶، ۱۳، ۱۱، ۱۴]. در جدول ۱ تعدادی از این ترکیبات با ساختار شیمیایی و خلاصه‌ای از خصوصیات آورده شده است.



۳- تأثیر تکمیل ضد چروک بر خواص پارچه

از جمله تأثیرات اصلی تکمیل ضد چروک پایدار بر الیاف سلولزی، کاهش تورم و جمع‌شدگی، بهبود برگشت از چروک در حالت مرطوب و خشک، یکنواختی ظاهر پارچه پس از رنگرزی و بازگشت چروک می‌باشد. زاویه کلی برگشت چروک (CRA) که معادل مجموع زوایای برگشت چروک در راستای تار و پود پارچه است از حدود ۱۵۰ درجه (تکمیل نشده) به ۳۰۰ (تکمیل شده با رزین) افزایش می‌یابد. اغلب می‌توان پارچه با جمع‌شدگی کمتر از ۵٪ را به‌دست آورد [۳].

تکمیل‌های اتصال‌دهنده عرضی در سلولز، موجب کاهش خاصیت کشسانی و انعطاف‌پذیری الیاف، همچنین سبب کاهش قابل توجه در مقاومت سایشی، استحکام تا پارگی و استحکام کششی الیاف سلولزی



شکل ۱. پیوندهای هیدروژنی داخل و بین مولکولی سلولز [۴]

پیوندهای هیدروژنی در محل‌های جدید می‌گردد. عواملی همچون ظرافت الیاف، تاب نخ و ضخامت پارچه از عوامل فیزیکی عامل چروک هستند [۱-۳، ۵، ۶]. عملیات تکمیل با رزین‌ها به سه نوع تکمیل ضد چروک، تکمیل بشور و بپوش و تکمیل پرس دائم تقسیم می‌شود. از نظر فنی دوتای اول، یکی هستند و تفاوت در نوع و سطح تکمیل ضد چروک است. در تکمیل ضد چروک، زاویه برگشت از چروک ۲۳۰ درجه (تار+) (پود) رضایت بخش است. در حالت بشور و بپوش زاویه برگشت پذیری در حالت خشک و تر باید بالای ۲۴۰ درجه (تار+پود) باشد. این نوع تکمیل برای حالتی که نیاز به ایجاد چروک است مناسب نیست. تکمیل پرس دائم برای پوشاکی انجام می‌گیرد که چروک دائم برای ایجاد زیبایی در آن لازم است [۳]. خاصیت ضد چروک با روش‌های مختلفی از جمله اندازه‌گیری زاویه برگشت از چروک و پردازش تصویر اندازه‌گیری می‌گردد [۷، ۸، ۹]. محققین برای رسیدن به خواص مطلوب، تحقیقات گسترده‌ای بر روی انواع مواد ضد چروک و شرایط عملیات انجام داده‌اند. در سال‌های اخیر با پیشرفت فناوری نانو، برخی مواد نانو ساختار نیز به گروه ترکیبات ضد چروک اضافه گردیده است.

۲- ترکیبات ضد چروک

جلوگیری از تورم و چروک پارچه سلولزی به دو روش امکان دارد. یکی قرار دادن مواد پلیمری در حفره الیاف برای جلوگیری از نفوذ راحت مولکول آب به الیاف. و دیگری واکنش مواد چند عاملی ایجاد کننده پیوند عرضی با گروه‌های هیدروکسیل سلولز است که باعث جلوگیری از تورم الیاف می‌گردد. برخی از پلیمرها می‌توانند با ایجاد اتصال عرضی بین زنجیرهای پلیمری، الاستیک شوند. الاستومرها موادی هستند که به راحتی از تغییر شکل ناشی از فشار بازگشت پذیر هستند. از آنجا که لغزش زنجیرها در شرایط مرطوب، مسئول چین و چروک است، منطقی است که نتیجه‌گیری شود که اتصال عرضی زنجیرهای مجاور سلولز باید باعث بهبود خاصیت ضد چروک منسوجات گردد. بنابراین با استناد به این تئوری می‌توان خاصیت بازگشت از چروک پنبه را با اتصال زنجیر سلولز با واکنش‌دهنده‌های مناسب بهبود داد [۳، ۱۰، ۱۱، ۱۲].

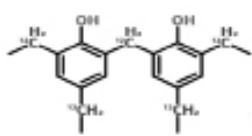
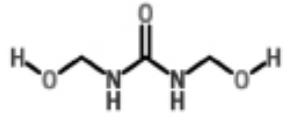
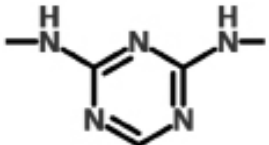
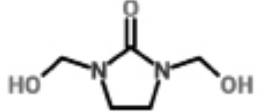
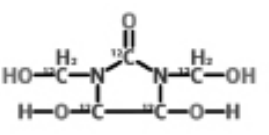
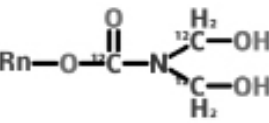
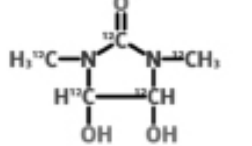
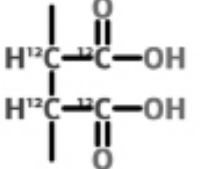
در اواخر سال ۱۹۲۰ تحقیق و جستجو، برای مقاوم کردن پارچه‌های پنبه‌ای در برابر چروک آغاز شد. دانشمندان پی بردند که فرمالدئید می‌تواند

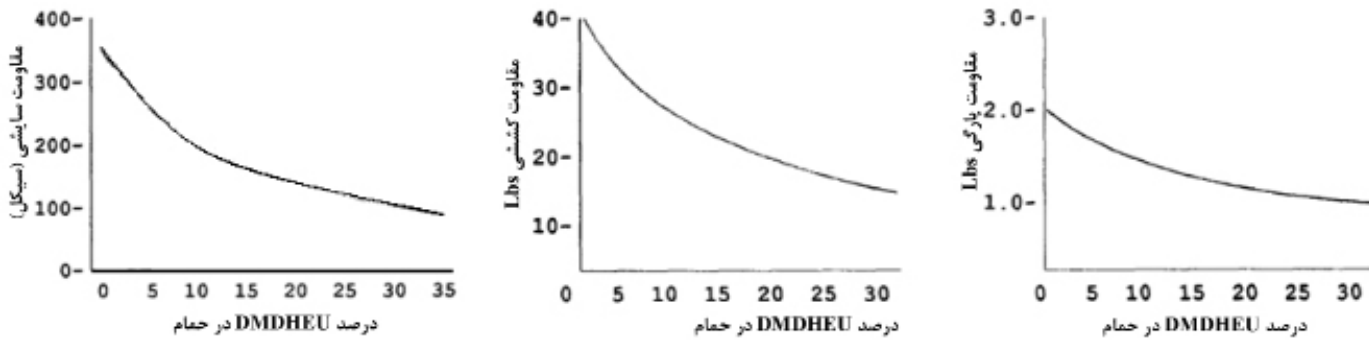
۳-۱- مقاومت کششی، پارگی و سایشی

حضور نایکناخت رزین بر روی کالا باعث می‌شود تا نیرو به راحتی روی سطح پخش نشود. بنابراین در نقاطی که رزین بیشتری جمع شده، تمرکز

خواهند شد. حضور مواد ضد چروک باعث تغییر رنگ و بوی پارچه می‌گردد. در این بخش به تاثیر این ترکیبات بر خواص ظاهری و مکانیکی پارچه می‌پردازیم [۱، ۳، ۱۹، ۲۰].

جدول ۱. ترکیبات ضد چروک و خواص آنها

ترکیبات ضد چروک	خصوصیات	ساختار شیمیایی
مواد پایه فرمالدئید	از ترکیب یک مول فنول و سه مول فرمالدئید تولید می‌شود. این ماده از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است، اما به دلیل حضور فرمالدئید و حلقه فنولی از جمله مواد سمی و بودار به شمار می‌آید. ضمن اینکه این رزین سبب زبر شدن زیر دست کالا شده و در اثر حرارت و نور منجر به زردی کالا می‌گردد [۲، ۶، ۱۲].	
	از واکنش دو مول فرمالدئید و یک مول اوره حاصل می‌شود. تمایل بیشتری به واکنش با خودش در مقایسه با سلولز دارد. طول عمر آن کوتاه است. پخت آن روی پارچه آسان بوده و ثبات ضد چروک خوبی ایجاد می‌کند. گرچه ماده ارزانی است اما مقدار مصرف آن بالا بوده و زبردست پارچه را خراب می‌کند. از جمله مهم‌ترین معایب این ترکیبات رهاش فرمالدئید، ثبات شستشویی ضعیف و کاهش ثبات نوری رنگینه‌های مستقیم و راکتیو می‌باشد. با سفیدکننده‌های آلی کلری واکنش داده و باعث کاهش استحکام پارچه می‌گردد [۲، ۶، ۳، ۴].	
	واکنش ملامین با ۶ مول فرمالدئید منجر به ایجاد تری متیلول ملامین می‌شود. این ترکیبات نیز در حضور سلولز از قابلیت خودپلیمریزاسیون برخوردارند، لیکن در مقایسه با ترکیبات اوره ثبات شستشویی بهتری دارند. مشکل زرد شدن پارچه در حضور سفیدکننده‌های کلردار در مورد آنها هم وجود دارد اما واکنش منجر به تخریب پارچه نمی‌گردد [۳، ۴].	
مواد با فرمالدئید کم	ماده اولیه این ترکیب، اتیلن اوره می‌باشد. طول عمر آن بیشتر از ترکیبات قبلی است. این ترکیب در حذف چروک بسیار موفق بوده و بر استحکام پارچه هم تاثیر منفی ندارد. این ماده همچنین بر ثبات نوری رنگینه‌های مستقیم و راکتیو تاثیر منفی دارد. از دیگر معایب این رزین می‌توان به مقاومت کم در برابر ترکیبات کلردار و هیدرولیز و در نتیجه ثبات شستشویی پایین آن اشاره کرد [۲، ۶، ۳].	
	این ماده که از واکنش فرمالدئید و ۴.۵ دی هیدروکسی اتیلن اوره حاصل می‌شود. این ترکیب ثبات شیمیایی بیشتری در حین فرایند انبارداری دارد. محصول تجاری دارای فرمالدئید آزاد کم است. این محصول عمر مفید بسیار خوبی دارد. ثبات شستشویی و مقاومت به سفیدکننده‌های کلردار آن قابل قبول است. باعث کاهش ثبات نوری الیاف رنگ شده با رنگ مستقیم و راکتیو می‌شود اما اثر آن بر ثبات نوری کمتر از DMEU می‌باشد [۲، ۶، ۱۷].	
	کاربامیت‌ها اورتان‌های ساده هستند. پخت این ترکیبات سخت است و نیاز به کاتالیزور قویتر و شرایط پخت بالاتری دارد. این منجر به کاهش بیشتر استحکام و مقاومت سایشی می‌شود. اتصال‌های عرضی در مقابل هیدرولیز قلیایی به شدت پایدار هستند و ثبات شستشویی خوبی دارند. مقاومت در برابر ترکیبات کلردار خوب است. محصولات تجاری آن فرمالدئید آزاد زیادی دارد [۲، ۳، ۴].	
مواد بدون فرمالدئید	از واکنش گلیوکسال و ان-دی متیل اوره حاصل می‌شود. مقاومت آن در برابر کلر و هیدرولیز اسیدی خوب است. همچنین این مزیت را دارد که در انجام فرآیند پخت تاخیر بیندازیم. این ترکیب گران بوده و کارایی آن به اندازه دی‌متیلول دی‌هیدروکسی اتیلن اوره نیست با این حال پارچه تکمیل شده با آن فاقد فرمالدئید آزاد است [۱، ۳].	
	در میان کربوکسیلیک اسیدها، BTCA بهترین بازده ضد چروک را دارد. گرانتیتم هستند. برای عملیات با آنها به دمای پخت بالا و مقادیر زیاد کاتالیزور نیاز است. از جمله معایب آنها، استفاده از کاتالیزور گرانتیتم هیپوفسفیت سدیم به مقدار زیاد است که می‌تواند سبب رنگ‌بری رنگینه‌های گوگردی و راکتیو شود. افزایش این ماده باعث کاهش جذب آب و زردی کالا می‌گردد [۳، ۶، ۱۸، ۱۷، ۴، ۳، ۱۴].	



شکل ۲. تغییرات مقاومت کششی، برشی و سایشی با افزایش میزان DMDHEU به عنوان ماده ضد چروک [۲].

آمین هیدروکلراید و منواتانول آمین استفاده کردند. حضور این سه ترکیب مقاومت سایشی و شاخص سفیدی را بهبود داد [۲۶]. هاشم و همکارانش ادعا کردند با انجام عملیات تکمیلی کربوکسی متیل دار کردن سلولز یا اتصال عرضی یونی توانسته‌اند پارچه پنبه‌ای ضد چروک با استحکام کششی بالا تولید کنند [۲۷].

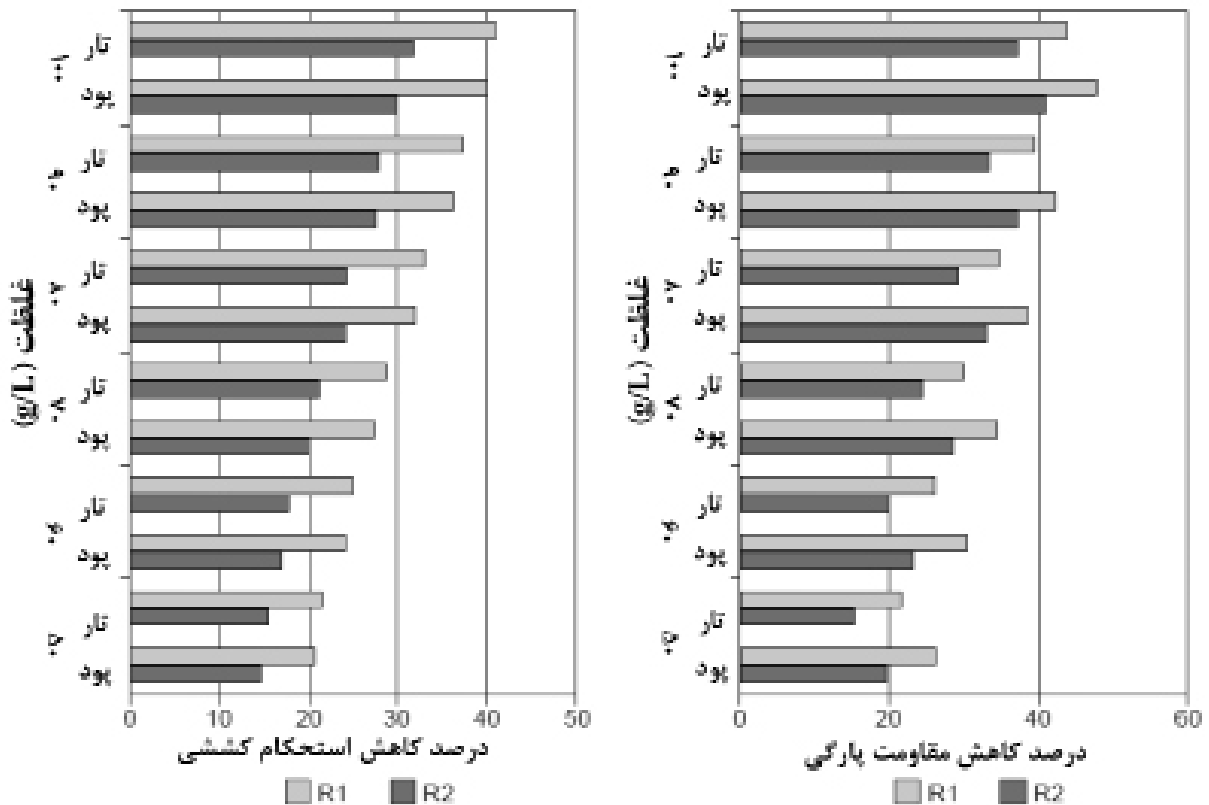
یکی دیگر از مواردی که در گذشته مشکل ساز بوده استفاده از کاتالیزور است. گروه ان-متیلول برای واکنش با سلولز نیاز به کاتالیزور اسیدی مناسب دارد. کاتالیست‌های اسیدی در دامی ۱۵۰-۱۷۰ به کار می‌روند. با افزایش درجه حرارت می‌توان زمان واکنش را کاهش داد. هر چه اسید قوی‌تر باشد واکنش سریعتر است. انتخاب کاتالیزور مناسب مهم است، زیرا اسیدها به الیاف سلولز آسیب می‌رسانند. در اینجا نیز هر چه اسید قوی‌تر باشد آسیب بیشتری می‌زند [۱، ۲]. حتی در مقاله‌ای به کاهش وزن مولکولی پنبه بعد از تکمیل با ترکیبات کربوکسیلیک اسید و اسیدهای لوئیس به عنوان کاتالیزور در تکمیل دی‌متیلول دی‌هیدروکسی اتیلن اوره اشاره شده است [۳۰].

در نهایت کاهش استحکام کششی بعد از تکمیل رزینی را به افت وزن مولکولی مرتبط دانسته‌اند. در تحقیقی دیگر این رفتار با بررسی آماری مطالعه شد، برای تکمیل رزینی، خاصیت چروک‌پذیری ۵۰٪ و پرزدهی ۵۹٪ اصلاح شده لیکن ۲۵٪ افت استحکام کششی گزارش شده است [۳۱]. از راه‌های به حداقل رساندن این آسیب، اجتناب از به کار بردن کاتالیزور خیلی قوی و پخت زیاد است.

استحکام کششی به‌طور مستقیم با میزان آسیب‌دیدگی الیاف متناسب است. استحکام پارگی نیز تحت تأثیر میزان آسیب وارده به الیاف و سختی پارچه می‌باشد. حتی اگر استحکام الیاف کاهش نیابد، پارچه‌های سفت آسان‌تر از پارچه‌های نرم پاره می‌شوند. با تغییر متغیرها و شرایط تکمیل می‌توان پارچه‌ای با خواص مناسب تولید کرد [۲]. یکی از روش‌های کاهش تخریب پارچه، انجام پروسه تکمیل به روش خیس است. در این حالت کاهش استحکام کششی و سایشی ناچیز خواهد بود. انجام عملیات ضد چروک به روش خیس باعث یکنواختی توزیع اتصال عرضی می‌شود در ضمن امکان واکنش با سلولز و همچنین تعداد اتصال عرضی در حضور رطوبت بیشتر است [۳، ۲۸]. در این زمینه تکمیل با محلول آمونیاک و افزایش سیلیکون‌ها، پلی‌وینیل استات و اورتان‌ها نیز مناسب گزارش شده است [۳].

نیرو داریم که باعث پارگی و کاهش استحکام کالا می‌گردد. با توجه به این موضوع پخش کردن یکنواخت ترکیبات ضد چروک بر روی پارچه از اهمیت بالایی برخوردار است. از طرف دیگر افت مقاومت در برابر کشش، پارگی و سایش در پارچه صد در صد پنبه‌ای به طور مستقیم با تعداد اتصال عرضی ارتباط دارد. رابطه بین مقاومت سایشی، مقاومت کششی و پارگی در مقایسه با افزایش رزین در شکل ۲ دیده می‌شود. شیب تند منحنی تا غلظت ۱۵٪ دی‌متیلول دی‌هیدروکسی اتیلن اوره تجاری (۷٪ جامد) در حمام است [۲، ۲۰]. به طور کلی می‌توان گفت که افزایش ۱۰ درجه‌ای زاویه برگشت چروک معادل افت ۷ درصدی استحکام سایشی و پارگی می‌باشد. در اثر تکمیل با اتصال دهنده عرضی، استحکام تا پارگی الیاف سلولزی بازیافتی در حالت خشک، تنها به میزان اندکی کاهش می‌یابد اما استحکام تا پارگی مربوط به دلیل افت شدید تورم، افزایش زیادی خواهد داشت [۱، ۱۹، ۳].

کاهش استحکام و مقاومت سایشی بین ۳۰ تا ۶۰ درصد نسبت به پارچه اصلی خواهد بود پارچه‌های عمل شده با مواد حاوی فرمالدئید کاهش مقاومت کششی، پارگی و سایشی بالاتری نشان دادند. شکل ۳ درصد کاهش مقاومت کششی و پارگی بر پارچه‌های پنبه‌ای را نشان می‌دهد، پارچه پنبه‌ای سفیدگری و تکمیل شده با درصد‌های مختلف رزین بر پایه فرمالدئید و بدون فرمالدئید که در دو امتداد تار و پود برش خورده اند. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود با افزایش غلظت رزین، میزان کاهش استحکام نیز افزایش می‌یابد. در بعضی موارد کاهش مقاومت پارگی بیشتر از کاهش استحکام بود که به سختی الیاف بستگی دارد [۱۹، ۲۱، ۲۲]. بررسی شرایط بهینه برای تکمیل پارچه‌ی پنبه‌ای با استفاده از سیتریک اسید گزارش شده است [۲۳]. افزایش این ماده‌ی اتصال دهنده‌ی عرضی با اصلاح خاصیت چروک‌پذیری همراه است هر چند که کاهش بیشتر استحکام کششی نیز تأیید می‌شود. لی و همکارانش از کوپلیمر اکریلات حاوی گروه‌های سولفون بر روی پارچه پنبه‌ای استفاده کرده و مشاهده کردند استحکام کششی و پارگی به ترتیب به ۷۰ و ۶۳٪ نسبت به پارچه تکمیل نشده رسید [۲۴]. کارلس و همکارانش در تحقیقی دریافتند کاهش مقاومت کششی حاصل از ترکیبات ضد چروک به ساختار مولکولی و واکنش آنها وابسته نیست [۲۵]. چتوپادهی و همکارانش از اسید سیتریک به عنوان ماده ضد چروک و نمک مالئیک اسید به عنوان کاتالیزور و افزودنی‌های مختلفی همچون تری اتانول آمین، تری اتانول



شکل ۳. بررسی تغییرات استحکام کششی و برشی با غلظت مواد ضدچروک: R1 حاوی فرمالدئید و R2 بدون فرمالدئید بر روی کالای پنبه‌ای (۲۱).

۳-۲- جمع‌شدگی

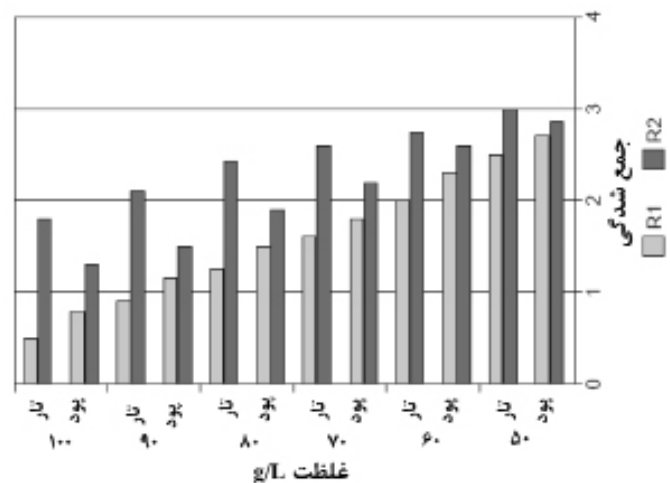
بخش عمده‌ای از جمع‌شدگی باقی‌مانده پارچه، نتیجه تنش‌هایی است که در طول پروسه مرطوب به آن وارد می‌شود. برخی از پارچه‌های بافته شده (تاری-پودی) در طول آماده‌سازی و رنگرزی در جهت عرض و طول جمع می‌گردد که برای حفظ عرض و طول مناسب، باید آنها را تحت کشش قرار داد. این تنش‌ها به جمع‌شدگی باقیمانده اضافه می‌شود. محصولات حلقوی به‌طور ذاتی در برابر چین و چروک مقاوم هستند. با این حال، برخی از آنها بیشتر از اندازه بافت پارچه کشیده می‌شوند که این نیز به

انقباض باقی‌مانده اضافه می‌گردد. بسیاری از تنش‌های عامل جمع‌شدگی را می‌توان با متراکم کردن (فشار مکانیکی) پارچه حذف کرد. فشردن، کاهش میزان تولید نهایی را در پی دارد. کراس لینک نیز باعث کاهش جمع‌شدگی پارچه می‌گردد. به همین دلیل، تثبیت شیمیایی پارچه سلولز دارای ارزش اقتصادی است. بدون پوشش رزین، جمع‌شدگی پارچه بالا خواهد بود.

خوشبختانه، تکمیل با یک رزین خوب، پارچه را تثبیت کرده و جمع‌شدگی آن را به کمتر از ۲٪ کاهش می‌دهد. شبکه سه بعدی موجود در پارچه عمل شده با اتصال کننده عرضی، حرکت مولکولی را کاهش داده و از تورم جلوگیری می‌کند. در ضمن گروه هیدروکسیل آزاد را با ایجاد اتصال عرضی قفل می‌کند [۲، ۱۹]. از آنجا که اتصال عرضی در ترکیبات دارای فرمالدئید بیشتر است میزان جمع‌شدگی در این ترکیبات کمتر از ترکیبات بدون فرمالدئید است (شکل ۴) [۳، ۲۱، ۲۹، ۲۲].

۳-۳- جذب آب

همان‌طور که قابل حدس است جذب آب در پارچه‌های تکمیل شده با انواع رزین کاهش می‌یابد. دلیل آن درگیر کردن گروه‌های هیدروکسیل سلولز (عامل جذب آب) با رزین در اتصال عرضی است که دسترسی به این گروه‌ها برای جذب رطوبت را کاهش می‌دهد. در واقع با کاهش میزان جذب رطوبت، زمان لازم برای جذب یک قطره آب افزایش پیدا می‌کند که این مقدار برای پارچه‌های عمل شده با ترکیبات بدون فرمالدئید کمتر است [۱۹، ۲۱، ۲۹].



شکل ۴. تغییرات جمع‌شدگی با غلظت رزین R1 حاوی فرمالدئید و R2 بدون فرمالدئید [۸]

۳-۴- رنگ پارچه

فرمالدئید در پارچه به دو صورت فرمالدئید آزاد و فرمالدئید آزاد شده وجود دارد. فرمالدئید آزاد به‌عنوان فرمالدئید مونومری ترکیب نشده که در محلول‌های تکمیل موجود است. معمولاً منابع آن افزودنی‌های استوکیومتری هستند که ممکن است در مرحله تولید رزین برای تحریک واکنش و/یا مقدار حاصل از تعادل ایجاد شده توسط واکنش دهنده خاص باشد. فرمالدئید آزاد شده مقدار فرمالدئیدی است که از پارچه در فضا رها می‌شود. سه نوع پیوند عامل رها سازی فرمالدئید هستند. یکی پیوند حاصل از چسبیدن مستقیم فرمالدئید به سلولز می‌باشد. دیگری گروه‌های انتهایی آن‌متیلول در رزین‌های پخت نشده است. این اتصالات نسبتاً ناپایدار هستند و به راحتی به مواد اولیه بازگردانده می‌شوند. پخت صد درصدی رزین مورد استفاده سخت است و نمی‌توان مطمئن بود که هیچ گروه آن‌متیلولی وجود ندارد. بنابراین، تمام پارچه‌ها دارای مقداری فرمالدئید هستند که میزان آن به چگونگی پخت پارچه بستگی دارد. سومین منبع فرمالدئید آزاد، خود اتصال عرضی سلولز است [۳، ۱۵].

میزان رها سازی فرمالدئید در اتمسفر به نوع و مقدار اتصال کننده عرضی وابسته است. همان‌طور که قابل حدس است با افزایش غلظت رزین، رها سازی فرمالدئید افزایش می‌یابد. نوع و میزان کاتالیزور و افزودنی‌های دیگر موجود در ترکیب ضد چروک، همچنین عملیات‌های بعدی انجام شده روی پارچه نیز آزاد سازی فرمالدئید را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند. شرایط تکمیل و نگهداری پارچه همچون دما، دمای پخت، زمان و pH نیز بر میزان رها سازی تأثیر می‌گذارند. چندین روش برای کاهش انتشار فرمالدئید بکار می‌رود. یکی شستشوی کالا بعد از تکمیل با مواد ضد چروک است. در این روش فرمالدئید آزاد حین فرآیند شستشو از کالا جدا می‌شود. روش دوم استفاده از گیرنده‌ها است. گیرنده‌ها موادی هستند که قادر به واکنش با مونمر فرمالدئید بوده و به آن متصل می‌شوند. این ترکیبات به فرمول بندی کامل اضافه می‌شوند و شامل دو دسته، ترکیبات نیتروژنی و الکل‌ها می‌باشند [۴، ۱۵].

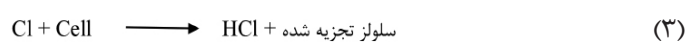
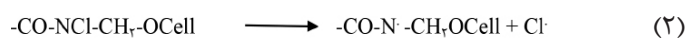
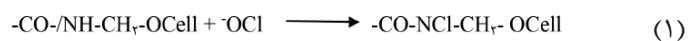
۳-۷- طول خمش

تکمیل ضد چروک باعث افزایش طول خمش و سفتی پارچه می‌شود. سفتی حاصل از مواد ضد چروک حاوی فرمالدئید بیشتر از مواد فاقد آن است. موکتای و همکارانش [۳۳] تأثیر تکمیل ضد چروک کالای پنبه‌ای با دی‌متیلول دی‌هیدروکسی اتیلن اوره را بر خواص منسوج انجام داده و مشاهده کردند طول خمش پارچه در جهت تار ۸٪ و در جهت بود ۶٪ افزایش نشان داد. شکل ۵ نشان می‌دهد که پارچه‌های تکمیل شده با بوتان تتراکربوکسیلیک اسید در مقایسه با مواد معمول، معمولاً طول خمش کمتری دارند، به این معنی که تمام پارچه‌های مورد استفاده در مقایسه با پارچه‌های کنترل کمتر شق و سفت می‌شوند. پارچه‌های عمل شده با بوتان تتراکربوکسیلیک اسید در مقایسه با پارچه‌های عمل شده با رزین‌های معمول، طول خمش کوتاه‌تری دارند. کاهش سفتی پارچه به دلیل کاهش سطح مقطع عرضی الیاف پنبه پس از تکمیل با بوتان تتراکربوکسیلیک اسید است. هنگامی که الیاف تحت تکمیل در مرحله پخت خشک می‌شوند، مولکول‌های بوتان تتراکربوکسیلیک اسید موجود در داخل الیاف با سطح سلولز واکنش نشان می‌دهد. از آنجا که

رنگ پارچه تکمیل شده با مواد ضد چروک اصولاً زرد می‌شود. عواملی همچون دمای پخت بالا و یا کاتالیزور بیش از حد، پارچه سلولزی را سوزانده و باعث زردی آن می‌گردد. برخی از واکنش دهنده‌ها دارای ساختار رنگی هستند که باعث زردی کالا می‌شوند. معمولاً رنگ ترکیبات نیتروژنی با حرارت از بین می‌رود. بافرها اغلب برای جلوگیری از مشکلات زرد شدن به مواد تکمیلی تجاری اضافه می‌شوند [۲، ۲۱]. لو [۳۲] در تحقیقی از ترکیب سیتریک اسید و فیبروئین پشم به عنوان ماده ضد چروک پنبه استفاده کرد. حضور فیبروئین به دلیل اثره کردن اسید سیتریک از زرد شدن پنبه جلوگیری کرده و شاخص سفیدی را افزایش می‌دهد.

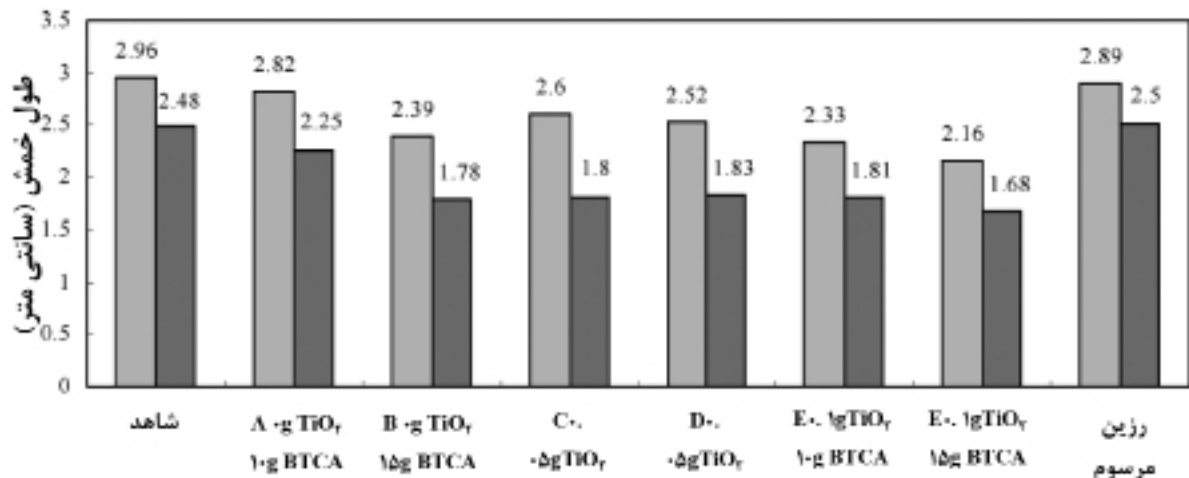
۳-۵- مقاومت در برابر مواد کلردار

اصطلاح مقاومت کلری شامل دو مشکل، زرد شدن پارچه توسط سفیدکننده و کاهش استحکام می‌باشد. تکمیل‌های نیتروژن‌دار با سفیدکننده هیپوکلریت واکنش داده و محصولی به نام کلر آمید تشکیل می‌دهد که با گرما تجزیه می‌شود. کلر آمیدها اسید هیدروکلریک آزاد می‌کنند که عامل تخریب سلولز است. پارچه سوخته به نظر می‌رسد در حالی که الیاف آن بسیار ضعیف شده است. گروه‌های NH- باقی مانده، مسئول تشکیل کلر آمیدها هستند [۲، ۳]. رزین‌ها و واکنش دهنده‌های حاوی گروه NH- باقی مانده و اتصالات عرضی که در شستشو هیدرولیز می‌شوند، تمایل به جذب کلر از حمام سفیدگری دارند. شکستن کلر آمید با حرارت و تشکیل اسید هیدروکلریک کاهش استحکام و سوختن پارچه را به دنبال دارد. واکنش‌ها به شرح زیر است [۲]:



۳-۶- بوی پارچه

پارچه تکمیل شده ممکن است شامل دو بوی ماهی و فرمالدئید باشد. پارچه‌هایی که بیش از اندازه پخت شده‌اند بوی سوختن یا ماهی می‌دهند. بوی ماهی ناشی از تری‌متیل آمین است که از واکنش فرمالدئید آزاد و آمونیاک به دست می‌آید. پخت بیش از اندازه ترکیبات دارای اوره، آن را به آمونیاک و کربن دی‌اکسید تجزیه می‌کند. استفاده از NH_4Cl به‌عنوان کاتالیزور خود منبع دیگری برای تولید آمونیاک است. تری‌متیل آمین به‌عنوان یک گاز فرار در پارچه حبس شده و به تدریج با زمان و رطوبت جدا می‌شود. اغلب، محصولات مصرفی (پرده، کمر بند و غیره) در کیسه‌های پلاستیکی مهر و موم حمل می‌شوند. وقتی بسته حاوی آنها برای اولین بار باز می‌گردد، بوی بدی از پارچه می‌آید. با گذشت زمان، در فضای باز، بوز بین می‌رود، بوی بد، ترکیبی از تری‌اتیل آمین و فرمالدئید است. فرمالدئید باعث اشکی شدن چشم و تحریک بینی می‌گردد. شستشوی پارچه با ترکیبات قلیایی به‌طور دائم این نوع بو را حذف می‌کند [۲].



شکل ۵. مقایسه طول خمش پارچه‌های تکمیل شده با رزین‌های معمول و BTCA [۸].

اتصال دهنده عرضی به صورت نانوذرات، خود باعث کاهش اثرات منفی مثل زردی و کاهش مقاومت سایشی می‌گردد [۳۷]. همچنین استفاده از نانوذرات علاوه بر کمک به بهبود خاصیت ضد چروک باعث ایجاد برخی خواص جدید در پارچه و همچنین کاهش بعضی اثرات جانبی ترکیبات ضد چروک می‌شود. چند نمونه از این نانو مواد در ادامه معرفی می‌گردند. استفاده از نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید همراه با مواد دیگر که عمدتاً در دسته عوامل اتصال دهنده عرضی هستند، سبب بهبود چروک پذیری پنبه می‌شود. استفاده از ترکیب نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید به همراه مواد ضد چروک سبب ایجاد خاصیت ضد پرتو فرابنفش و به حداقل رساندن اثرات جانبی تکمیل مثل کاهش استحکام پارگی پارچه می‌گردد [۳۴، ۳۶، ۳۸، ۳۹]. از مزیت‌های دیگر استفاده از نانو تیتانیوم دی‌اکسید به‌عنوان کاتالیزور، کاهش مقدار فرمالدئید آزاد ناشی از به‌کارگیری دی‌متیلول دی‌هیدروکسی اتیلن اوره است. این کاهش می‌تواند به دلیل تأثیر کاتالیزور در بهبود واکنش دی‌متیلول دی‌هیدروکسی اتیلن اوره باشد، این مزیت باعث گسترش کاربرد مواد شیمیایی حاوی فرمالدئید می‌شود [۴۰]. هانگ و همکارانش نشان دادند تیتانیوم دی‌اکسید با دی‌متیلول دی‌هیدروکسی اتیلن اوره پیوند هیدروژنی برقرار کرده و علاوه بر خاصیت ضد چروک، استحکام کششی و زردی پارچه را بهبود می‌دهد [۴۱]. افزودن نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید به همراه بوتان تتراکربوکسیلیک اسید، طول خمش پارچه‌ها را کاهش داد، این ممکن است به دلیل قرارگیری نانوذرات بین

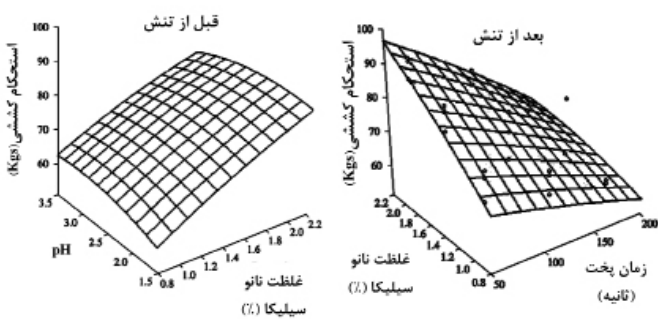
پیوندهای عرضی بین گروه‌های هیدروکسیل مولکول‌های سلولز از نوع کووالانسی هستند، به‌عنوان یک بازدارنده تورم عمل می‌کنند. با ثابت بودن بقیه عوامل، افزایش مقطع عرضی باعث افزایش سختی می‌گردد. جلوگیری از تورم ناشی از اتصالات عرضی موجب کاهش سطح مقطع عرضی الیاف پنبه و در نتیجه کاهش سختی پارچه پس از تکمیل با بوتان تتراکربوکسیلیک اسید می‌گردد [۱۹، ۴۴، ۲۹، ۳۴].

۳-۸- پرزدهی

پرزدهی زمانی اتفاق می‌افتد که سایش مکانیکی یا شستشو اجازه تحرک و در نتیجه ایجاد گلوله‌های کوچک الیاف روی سطح پارچه را بدهد. این خاصیت در پارچه‌های حاصل از مخلوط الیاف بیشتر مشاهده می‌گردد. تکمیل ضد چروک با کاهش میزان حرکت الیاف، بر میزان پرزدهی پارچه تأثیر می‌گذارد. محدود شدن حرکت الیاف باعث کاهش پرزدهی می‌شود. این خاصیت از مزیت‌های تکمیل ضد چروک به حساب می‌آید البته نه برای پارچه‌هایی که باید پرزدار شوند [۳، ۱۹، ۱۸، ۳۵].

۴- بکارگیری نانوساختارها در بهبود خواص پارچه تکمیل شده با ترکیبات ضد چروک

از ترکیبات نانوساختار در تکمیل ضد چروک منسوجات عمدتاً به منظور تقویت خاصیت کاتالیزوری در ایجاد اتصال عرضی بین سلولز و عامل ایجادکننده اتصال عرضی استفاده می‌شود. نانوذرات به دلیل نسبت بالای سطح به حجم، مکان‌های فعال بیشتری برای انجام واکنش‌های کاتالیز شده ایجاد می‌کنند. کاتالیزورهای خیلی ظریف اغلب فعال‌تر از همتایان درشت خود هستند که احتمالاً به دلیل مساحت جانبی بالاترشان است. بنابراین کاهش اندازه ذرات کاتالیزور می‌تواند باعث افزایش فعالیت آن شود. رویکرد دیگر برای تحلیل نقش نانو ذرات، قرارگیری نانوذرات بین الیاف است که سبب محدود شدن حرکت زنجیره‌های سلولز شده و از این طریق از چروک شدن پارچه جلوگیری می‌نماید [۳۴، ۳۶]. مصرف



شکل ۶. اثر نانوذرات سیلیکا، pH و زمان پخت بر استحکام کششی [۴۳]

نشان دادند که تکمیل پارچه با کیتوسان و کربوکسی متیل کیتوسان باعث بهبود زاویه بازگشت از چروک و افزایش طول خمش می‌گردد. در ضمن به کار بردن کیتوسان به همراه مواد ضد چروک خاصیت ضد باکتری به پارچه پنبه‌ای می‌دهد و امکان استفاده آن در موارد خاص مثل لباس پزشکان را فراهم می‌آورد [۴۲، ۴۹، ۵۰].

۵- نتیجه‌گیری کلی

انجام عملیات تکمیل رزینی بر روی پارچه‌های سلولزی باعث تغییر خواص آن می‌گردد، افت استحکام کششی، مقاومت سایشی، بوی نامطبوع، تولید فرمالدئید آزاد نمونه‌هایی از این اثرات نامطلوب هستند که در تحقیقات بسیاری مورد بحث قرار گرفته‌اند. اینکه چگونه می‌توان با این اثرات جانبی مقابله نمود و یا آن را تا حدودی کنترل کرد خود بحث مجزایی است که پیشنهادات گسترده‌ای در این زمینه مطرح می‌باشد. استفاده از تکمیل مرطوب در شرایط پد بیج با زمان طولانی نمونه‌ای از روش‌های کنترل کاهش استحکام کششی است چرا که در زمان مناسب، نخ و الیاف در محیط مرطوب با رهایش تنش‌های موجود در خود، می‌توانند به راحتی به شکل دلخواه در آید. لیکن این شرایط تعریف شده برای تولیدات کارخانه‌های بزرگ مطلوب نیست و زمان بر می‌باشد. افت مقاومت سایشی نیز با طراحی سیستم‌های برداشت کم مواد تکمیلی و کنترل یکنواخت پوششی مواد روی سطح پارچه امکان‌پذیر است که تکنولوژی‌های جدید و مدرن را می‌طلبد. استفاده از نانو ذرات همراه با مواد کربوکسیلیک اسید به عنوان ترکیبات کنترل کننده چروک پارچه در دو دهه ی اخیر گزارش شده است با وجود بهبود خواص فیزیکی مکانیکی پارچه می‌بایست هزینه ی مواد افزودنی را نیز در نظر گرفت. هنوز تحقیقات بیشتر در این زمینه ضروری است.

الیاف و محدود شدن تورم الیاف و در نتیجه کاهش سختی پارچه شود [۳۴، ۴۲].

استفاده از نانوذرات سیلیکا به عنوان بهبود دهنده خاصیت ضد چروک همراه با بوتان تتراکربوکسیلیک اسید به عنوان عامل ایجاد اتصال عرضی و کاتالیزور سدیم هیپوفسفات، از جمله تکمیل‌های ضد چروک با مواد نانو ساختار است. افزایش غلظت نانو ذرات سیلیکا در این تکمیل سبب بهبود خاصیت بازگشت از چروک و افزایش استحکام پارچه می‌شود (شکل ۶) [۴۳]. به کارگیری نانوذرات سیلیکا به همراه ترکیبات سیلان بر روی کالای پنبه‌ای با آب‌گریز کردن سطح باعث بازگشت از چروک ۹۵٪ آن گشته است [۴۴].

نانوذرات اکسید آلومینیوم مانند بقیه نمک‌های فلزی قابلیت کاتالیزی و کمک کاتالیزی در فرایند اتصال عرضی بوتان تتراکربوکسیلیک اسید با سلولز را دارد. علاوه بر افزایش خاصیت ضد چروک، کاهش استحکام و زردی کالا با حضور این نانوذرات کاهش یافت زیرا نانوذرات به عنوان کمک کاتالیزور عمل کرده و از مقدار مصرف کاتالیزور که عامل کاهش استحکام و زردی کالا است کم می‌کند [۴۵].

استفاده از نانولوله‌های کربن چند دیواره به همراه کربوکسیلیک اسیدها به عنوان عامل اتصال دهنده عرضی از طریق ایجاد پیوند عرضی بین نانولوله کربن و زنجیرهای سلولزی سبب کاهش انعطاف زنجیرها و ایجاد خاصیت ضد چروک می‌شود [۴۲]. حضور نانولوله‌های کربنی در ترکیب باعث بالا بردن مقاومت حرارتی کالا نیز خواهد شد [۴۶]. به کارگیری نانوذرات نقره به همراه بوتان تتراکربوکسیلیک اسید در تکمیل کالای سلولزی علاوه بر بهبود خاصیت برگشت‌پذیری از چروک و ضد باکتری، هیچ تغییر رنگی مشاهده نشد [۴۷].

استفاده از کیتوسان در ابعاد میکرو همراه با عامل اتصال دهنده عرضی سبب پوشاندن سطح شده و از ایجاد پیوندهای عرضی بین سلولز و عامل اتصال عرضی جلوگیری می‌نماید. گوپتا [۴۸] و همکارش در تحقیقی

۶- مراجع

1. Schindler. W. D., Hauser. P. J., Chemical finishing of Textiles, Woodhead Publishing Ltd, 2004.
2. Tomasino. C., Chemistry & Technology of Fabric Preparation & Finishing, North Carolina State University, 1999.
3. Chowdhury, A. K. R. Easy-care finishing, Principles of Textile Finishing, 245-284, 2017.
4. Vanneste, M. , Easy care finishes for textiles, Functional Finishes for Textiles – Improving Comfort, Performance and Protection, 1Ed: part 7, Woodhead Publishing, Roshan Paul, pp. 227-256, 2014.
5. Chattopadhyay. R. , Design of Apparel Fabrics: Role of fiber, yarn and fabric parameters on its functional attributes, J. Tex Eng, 54, 6, 179-190, 2008
6. Yu. X. , Cao. W. , Wei. Y. , Ding. X. , Wrinkling mechanism of woven cotton fabrics during domestic tumble drying, J. Drying Technology, 2017.
7. Schifer. H. F. , Evaluation of crease-resistant finishes for fabrics, National Bureau of Standards, 20, 1938.
8. Bridson. R. , Marino. S. , Fedkiw. R. , Simulation of Cloth-ing with Folds and Wrinkles, The Eurographics Association, 2003.
9. Liu. CH. , New Method of Fabric Wrinkle Measurement Based on Image Processing, FIBRES & TEXTILES, 22, 1, 103, 51-55, 2014.
10. Petersen. H. , The chemistry of crease-resist crosslinking agent, Coloration and Related , 17, 1, 7-22, 1987.

11. Xu. W. , Wang. X. , Understanding and Improving the Durability of Textiles, Woodhead Publishing Series in Textiles , 132, Woodhead Publishing Limited, 2012.
12. Hurwitz. M. D. , Conlon. L. E. , Dialdehydes as Cotton Cellulose Cross-Linkers. Textile Research Journal, 28, 3, 257–262, 1958.
13. Verma. M. , Khambra. K. , Yadav. N. , Singh. R. , effect of crease resistant finish on crease recovery properties of cotton fabric, International Journal of Textile and Fashion Technology , 3, 9-14, 2013.
14. Campbell. H. J. , Francis. T. , The Cross-Linking of Cotton Cellulose by Aliphatic Dicarboxylic Acids, Textile Research Journal, 35, 3, 260–270, 1965.
15. Reinhardt, R. M. , & Kottes Andrews, B. A. , Loss of Free Formaldehyde from Cotton Fabrics. Text. Res. J, 56, 2, 144–150, 1986.
۱۶. اسدی کنی، س. بشری، آ. کاربرد نانوفناوری در تکمیل ضدچروک منسوجات. نانوتکنولوژی، ۱۳۹۳.
۱۷. امامی قره‌حاجلو م، شاه‌بابائی ش، استوار ف، تأثیر تکمیل نانو بر روی بهبود چروک‌پذیری منسوجات. نساجی امروز، ۱۷۱، ۱۳۹۵.
18. Can. Y. , Akaydin. M. , Turhan. Y. , Ay. E. , Effect of wrinkle resistance finish on cotton fabric properties, J. Fibre Text, 34, 183-186, 2009.
19. Tania. I. S. , Uddin. Md. Z, Chowdhury. K. P. , Investigation on the Physical Properties of 100% Cotton Knit Fabric by Treating with Crosslinking Agents, J. Engine. Tech, 8, 2, 2018.
20. Kang. I. S. , Yang. C. Q. , Weishu. W. , Lickfield. G. C. , Mechanical Strength of Durable Press Finished Cotton Fabrics. Textile Research Journal, 68, 11, 865–870, 1998.
21. Farzana. N. , Naser. Md. A. , Haque. A. , Islam. A. , Smriri. S. A. , Comparative Enactment of Formaldehyde-free and Formaldehyde-based Cross-linkers on Cotton Woven Fabrics, Tekstilec, 60(2), 107-115, 2017.
22. Dhiman. G. , Chakraborty. J. N. , Assessment of durable press performance of cotton finished with modified DMD-HEU and citric acid, Fash Text, 4, 18, 2017.
23. Nallathambi. G. , Optimization of process parameters for cotton crease resistant finish using citric acid, J. Fibre & Textile Research, 34, 359-367, 2009.
24. Li. Z. R. , Fu. K. J. , Wang. L. J. , Liu. F. , Synthesis of a novel perfluorinated acrylate copolymer containing hydroxyethyl sulfone as crosslinking group and its application on cotton fabrics. Journal of Materials Processing Technology, 205, 243–248, 2008.
25. Yang. C. Q. , Weishu Wei, Lickfield. G. C. , Mechanical Strength of Durable Press Finished Cotton Fabric. Textile Research Journal, 70, 2, 143–147, 2000.
26. Chattopandhyay. D. P. , Sharma. D. N. , De. P. , Studies on formaldehyde-free crease-resistant finishing of cotton fabric using citric acid and selective chemical additives, J. Fiber& Textile research, 24, 284-289, 1999.
27. Hashem. M. , Ibrahim. N. A. , El-Shafei. A. , Refaie. R. , Hauser. P. , An eco-friendly – novel approach for attaining wrinkle free/soft-hand cotton fabric, Carbohydrate Polymers, 78, 4, 690–703, 2009.
28. Rowland, S. P. , Stark, S. M. , Cirino, V. O. , Mason, J. S. Structural Features of Cotton Treated by Pad-Dry-Cure, Mild-Cure, Poly-Set, and Wet-Fix, Text. Res. J. , 1, 57-64 1971.
29. Chowdhury. K. P. , Effect of Special Finishes on the Functional Properties of Cotton Fabrics, J. Text. Sci. Technol, 4, 49-66, 2018.
30. Yang. C. Q. , Wei. W. , Lickfield. G. C. Mechanical Strength of Durable Press Finished Cotton Fabric: Part III: Change in Cellulose Molecular Weight, Text. Res. J. , 70, 10, 910-915, 2000.
31. Can. Y. , Akaydin. M. , Turhan. Y. , Ay. E. , Effect of Wrinkle Resistance Finish on Cotton Fabric Properties, I. J. F. T. R. , 34, 183-186, 2009.
32. Lu. M. , Crease Resistant Finishing of Cotton Fabric with a Complex of Fibroin and Citric Acid, FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe, 18, 3, 86-88. 2010.
33. Mukthy. A. A. , Abu Yousuf Mohammad. A. Y. , Azim. A. , Effects of Resin Finish on Cotton Blended Woven Fabrics, International Journal of Scientific Engineering and Technology, 3, 7, 983-990, 2014.
34. Yuen. C. W. M, Ku. S. K. A. , Li. Y. , Cheng. Y. F. , Kan, C. W. F. , Choi. P. S. R. , improvement of wrinkle-resistant treatment by nanotechnology, J. Text. Inst. , 100, 2, 173–180, 2009.
35. Aksoy. S. A. , Genç. E. , Functionalization of cotton fabrics by esterification cross-linking with 1,2,3,4-butanetetracarboxylic acid (BTCA), J. Cellulose Chem. Technol, 49 (5-6), 405-413, 2015.
۳۶. نظری، ع، منتظر، م، رحیمی، م. ک، تکمیل هم‌زمان ضد میکروب و ضد چروک شدن کالای پنبه‌ای سفید و کاتیونی شده با استفاده از نانوتیتانیوم‌دی‌اکساید و بوتان تتراکربوکسیلیک اسید، علوم و

- تکنولوژی پلیمر، ۲۲، ۱، ۴۱-۵۱، ۱۳۸۸
37. [37]. Gupta. D. , Haile. A. , Multifunctional properties of cotton fabric treated with chitosan and carboxymethyl chitosan. *Carbohydrate Polymers*, 69, 1, 164–171. 2007
38. Lam, Y. L. , Kan, C. W. , Yuen, C. W. M. , Effect of concentration of titanium dioxide acting as catalyst or co-catalyst on the wrinkle-resistant finishing of cotton fabric. *Fibers Polym*, 11(4), 551–558, 2010.
39. Yuen. C. W. M. , Ku. S. K. A, Li. Y. , Cheng. Y. F. , Kan, C. W. F. , Choi. P. S. R. , Using nano TiO₂ as Co-catalyst for improving Werinkle-resistente of cotton fabric, *Surf. Rev. Lett.* , 14, 4, 571-575, 2007.
40. Lam. Y. L, Kan. C. W, Yuen. C. W. Wrinkle-resistant finishing with dimethyloldihydroxyethyleneurea (DMDHEU) – the effect of co-catalyst, *Text. Res. J.* , 81, 14, 2010.
41. Huang. K. S. , Yang. K. L. , Lin. S. J. , Lian. W. T. , Anti-wrinkle treatment of cotton fabric with a mixed sol of TE-OS-TTB/DMDHEU. *Journal of Applied Polymer Science*, 106, 4, 2559–2564, 2007.
42. Kan. C. W. , Plasma-Assisted Titanium Dioxide Wrinkle Resistant Treatment of Cotton Fabric, *Chem. Eng. Appl.* , 5, 3, 2014.
43. Nallathambia. G. , Ramachandranb. T. , Rajendranc. V. , Palanivelud. F. , Effect of Silica Nanoparticles and BTCA on Physical Properties of Cotton Fabrics, *Mater. Res.* ; 14, 4, 552-559, 2011.
44. Roe. B. , Zhang. X. , Durable Hydrophobic Textile Fabric Finishing Using Silica Nanoparticles and Mixed Silanes. *Textile Research Journal*, 79, 12, 1115–1122. 2009.
45. Korkmaz, N. , Alay Aksoy, S. , Enhancing the performance properties of ester-cross-linked cotton fabrics using Al₂O₃-NPs, *Text. Res. J.* , 86, 6, 636–648, 2015.
46. Alimohammadi, F. , Gashti, M. P. , Shamei, A. , A novel method for coating of carbon nanotube on cellulose fiber using 1, 2,3 ,4-butanetetracarboxylic acid as a cross-linking agent, *Prog. Org. Coat*, 74, 3, 470–478, 2012.
47. Montazer. M. , Alimohammadi. F. , Shamei. A. , Rahimi. M. K, Durable antibacterial and cross-linking cotton with colloidal silver nanoparticles and butane tetracarboxylic acid without yellowing, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 89, 196–202, 2012.
48. Kapar. B. , Gunesoglu. C. , The comparison between the effects of nano and conventional crease recovery treatment process parameters, *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*, 4, 4, 2018.
49. Arık. B. , Yavas. A. , Avinc. O. , Antibacterial and Wrinkle Resistance Improvement of Nettle Biofiber Using Chitosan and BTCA, *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 25, 3, 123, 106-111, 2017.
50. Huang. L. , Xiao. L. , Yang. G. , Chitosan Application in Textile Processing, *Curr Trends Fashion Technol. Text. Eng*, 4, 2, 2018.