شیمی نساجی

اثرات عمل با آنزیم سلولاز روی خواص پارچه‌های حوله‌ای پنبه‌ای

مترجم: امین رضایی

چکیده

پارچه‌های حوله‌ای در معرض شستشوهای مکرر قرار دارند و از این رو باید در برابر آب، قلیا، مواد شوینده و سایش مقاومت داشته باشند. مواد شوینده اغلب حاوی آنزیم‌های سلولاز هستند. اثر دو نوع از آنزیم‌های سلولاز روی خواص پارچه حوله‌ای ٪۱۰۰ پنبه بررسی شده است. مخلوط سلولاز کامل و سلولاز غنی از اندوگلوکاناز مورد استفاده قرار گرفتند. استحکام، مقاومت سایشی، قابلیت تر شدن، زیردست، سفیدی و دیگر خواص پارچه اندازه‌گیری شد. علاوه بر این، اثر پروسه‌های پیش عملیات مختلف روی خواص پارچه بررسی شد. پارچه به وسیله قلیا یا آنزیم‌های پکتیناز شسته و با استفاده از هیدروژن پراکسید یا پر استیک اسید سفیدگری شد. ملاحظه شد که شستشوی آنزیمی و سفیدگری با پر استیک اسید انرژی و آب کمتری را مصرف می‌کند اما پارچه‌ها سفیدی و قابلیت تر شدن کمتری خواهند داشت که تنها برای رنگرزی با شیدهای تیره مناسب خواهند بود. سلولاز باعث تضعیف خواص پارچه حوله‌ای می‌شود؛ با این حال، این تضعیف برای مخلوط سلولاز کامل بیشتر است.

۱- مقدمه

پارچه حوله‌ای، پارچه‌ای نرم و معمولاً از جنس پنبه است که از نخ‌های تار و پود به همراه نخ‌های خاب که تشکیل حلقه می‌دهند تولید می‌شود. پارچه حوله‌ای به دلیل حجیم بودن، جذب آب بالا و عایق حرارت بودن بسیار رایج است. پارچه‌های حوله‌ای به دلیل ماهیتشان در معرض شستشوهای مکرر قرار دارند. آن‌ها باید در برابر آب، قلیا، سطح فعال‌ها و سایش مقاوم باشند. مواد شوینده مختلف برای شستشوی این پارچه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. مواد شوینده که اغلب حاوی اکسیدان‌ها و آنزیم‌ها هستند می‌توانند منجر به پس دادن رنگ شوند. افزودن نرم‌کننده‌ها نیز به دلیل کاهش میزان جذب پارچه توصیه نمی‌شود.

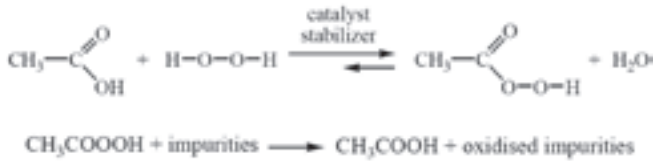
الیاف پنبه خام باید در معرض فرآیندهای شیمیایی مختلف قرار بگیرند تا خواص مناسب برای استفاده را به دست آورند. در اثر شستشو مواد غیر سلولزی (واکس، پکتین، پروتئین‌ها، همی‌سلولز و ...) جدا شده و الیاف آبدوست می‌شوند. پروسه‌های متداول شستشوی پنبه، در دماهای بالا تا حدود ۱۰۰°C و در محیط قلیایی با سدیم هیدروکسید (pH ۱۰-۱۲) انجام می‌شوند. از آنجا که یک واکنشگر انتخابی استفاده نشده است، علاوه بر حمله به ناخالصی‌ها روی قسمت سلولزی لیف نیز اثر می‌گذارد. مواد افزودنی مختلفی مانند مواد ترکننده و عوامل امولسیون کننده که موجب بهبود در راندمان شستشو و کاهش آسیب به الیاف می‌شوند نیز به حمام شستشو اضافه می‌شوند.

معمولاً بعد از شستشو پروسه سفیدگری انجام می‌شود که پیگمنت‌های طبیعی الیاف پنبه را از بین می‌برد. الیاف پنبه اغلب با استفاده از هیدروژن پر اکسید سفیدگری می‌شوند. پروسه سفیدگری در حمام قلیایی با pH ۱۰-۱۲ و در دماهای تا حدود ۱۰۰°C انجام می‌شود. به دلیل دمای بالا، انرژی زیادی مصرف می‌شود. در نتیجه خنثی‌سازی حمام قلیایی، مقادیر زیادی نمک حاصل می‌شود.

برای رعایت کردن مقررات زیست محیطی و همچنین صرفه‌جویی در مصرف آب و انرژی، بیوتکنولوژی و آنزیم‌های مختلفی در صنعت نساجی مورد استفاده قرار گرفته است. مقالات بسیاری در مورد استفاده از آنزیم‌های مختلف در تکمیل کالاهای نساجی ارائه شده است. پکتینازها جایگزینی کارآمد برای سدیم هیدروکسید برای از بین بردن مواد غیرسلولزی از سطح الیاف پنبه هستند. این پروسه در دماهای متوسط

و محیط با خاصیت قلیایی یا اسیدی کم انجام می‌شود. از آنجا که آنزیم‌ها انتخابی عمل می‌کنند، در این عملیات به الیاف آسیبی وارد نمی‌شود.

سفیدگری با پر استیک اسید روشی جایگزین برای استفاده از هیدروژن پر اکسید است. این روش در غلظت‌ها و دماهای پایین و در محیط‌های خنثی و اندکی قلیایی کارآمد است. مواد حاصل از تجزیه آن زیست تخریب‌پذیر هستند. محصولات مختلفی در دسترس است که ترکیب متوازنی از پر استیک اسید، استیک اسید و هیدروژن پراکسید هستند. امروزه محصولات پر استیک اسید موجود در بازار، بی‌خطر، آسان برای استفاده و از نظر هزینه به صرفه هستند. شکل ۱ واکنش‌هایی را که در هنگام استفاده از پر استیک اسید برای سفیدگری اتفاق می‌افتد نشان می‌دهد. سلولازها به عنوان عوامل اصلاح سطح الیاف و پارچه در پروسه‌های تر روی منسوجات به خوبی جای خود را پیدا کرده‌اند. بهترین کاربردهای شناخته شده برای آن‌ها، زیست سنگ شور کردن پارچه دنیم و زیست پرداخت برای سطوح پارچه‌های تمیزکاری با از بین بردن میکروفیبریل‌ها، پرزها و الیاف جدا شده است. آن‌ها همچنین در مواد خشک‌شویی برای از بین بردن الیاف تیره از سطح پارچه مجدد رنگ شده استفاده می‌شوند.



شکل ۱- ترکیب متوازنی از پر استیک اسید، هیدروژن پراکسید و استیک اسید (بالا) و واکنش سفیدگری با پر استیک اسید (پایین)

قارچ‌ها و باکتری‌های مختلفی که از چوب تغذیه می‌کنند سلولاز را در طبیعت تولید می‌کنند. سلولاز ترکیبی چندجزئی از آنزیم‌های تجزیه‌کننده سلولز است. حداقل ۳ دسته اصلی از سلولازهایی که در هیدرولیز سلولز نقش دارند وجود دارد:

- اندوگلوکاناز (اندو -۱، ۴-β-D-گلوکانوهیدرولاز)، که زنجیرهای سلولز را به صورت تصادفی، ترجیحاً در مناطق آمورف هیدرولیز می‌کند.
- اگزوگلوکاناز یا سلوبیوهیدرولاز (۱، ۴-β-D-گلوکان سلوبیوهیدرولاز)، که سلوبیوز را از انتهای زنجیر سلولز جدا می‌کند و در مناطق بلوری نیز فعال است.
- β- گلوکوزیداز (β-4،1- گلوکوزیداز)، که سلوبیوز را به گلوکز هیدرولیز می‌کند.

همهٔ آنزیم‌ها در حین تجزیه سلولز به صورت هم افزایی عمل می‌کنند. در ابتدا، اندوگلوکاناز به صورت تصادفی به زنجیر سلولز حمله می‌کند و انتهاهای زنجیر جدیدی پدید می‌آورد. اگزوگلوکاناز به صورت تصاعدی روی انتهاهای زنجیر عمل می‌کند و گلوکز و سلوبیوز را به عنوان محصولات اصلی واکنش به وجود می‌آورد. سلوبیوز نیز توسط β- گلوکوزیداز به گلوکز تبدیل می‌شود. شرایط بهینه کاری برای سلولاز در pH ۴-۵/۵ و دمای ۵۰-۵۵°C است. دمای بالای ۶۰°C و pH بالاتر از ۹ برای بی اثر کردن فعالیت آن‌ها بعد از عملیات توصیه شده است.

مشکل اصلی در ارتباط با استفاده از سلولاز، کاهش وزن و استحکام کششی پارچه است. یک راه برای مقابله با کاهش استحکام، انتخاب یک ترکیب سلولاز با خاصیت تهاجمی کمتر یا تک جزئی است. مشخص شده است که کاهش در مقاومت گسیختگی برای پارچه‌های پنبه‌ای عمل شده با اندوگلوکاناز کمتر از پارچه عمل شده با سلولاز کامل است.

هدف کار ما بررسی امکان جایگزینی پروسه‌های پیش عملیات موجود برای پارچه‌های حوله‌ای پنبه‌ای با یک پروسه جدید و دوستدار محیط زیست بود. بدین منظور پارچه حوله‌ای با قلیا یا پکتیناز شسته و در ادامه با هیدروژن پر اکسید یا پر استیک اسید سفیدگری شد. علاوه بر این، هدف دیگر این تحقیق مشخص کردن فعالیت سلولاز روی پارچه‌های پنبه‌ای شسته و سفیدگری شده با روش‌های مختلف بود. بعد از شستشو و سفیدگری، نمونه‌ها در معرض عمل با ترکیب سلولاز کامل و محلول سلولاز غنی از اندوگلوکاناز قرار گرفتند.

تجربیات

مواد

پارچه حوله‌ای پنبه‌ای آهارگیری شده با وزن در متر مربع ۴۰۰ گرم از Svilanit در اسلوونی تهیه شد. Pectinase Beisol Pro از Bezema سوئیس تهیه شد. هیدروژن پر اکسید، ۳۵٪ و پر استیک اسید، ۱۵٪، به صورت محلولی به تعادل رسیده در ماده سفیدگری تجاری Persan S15 از Belinka اسلوونی تهیه شد.

محلول سلولاز غنی از اندوگلوکاناز Indiage RFW (CE) و ترکیب سلولاز کامل Indiage 44L (CM) از Genencor دانمارک خریداری شد. سدیم هیدروکسید از ampionkaŠ اسلوونی و استیک استات، استیک اسید و سدیم کربنات از Riedel- de Haen آلمان تهیه شد. ماده تر کننده Invatex MD و پایدار کننده پر اکسید Stabilizer SIFA از Clariant تهیه شد.

روش‌های عمل

پارچه حوله‌ای پنبه‌ای تحت شستشوی قلیایی وآنزیمی قرار گرفت. پارچه شسته شده با استفاده از دو عامل سفیدگری یعنی هیدروژن پر اکسید و Persan S15 سفیدگری شد. بعد از سفیدگری نمونه‌ها با سلولاز عمل شدند. دستورالعمل‌ها و

جدول ۱- دستورالعمل‌ها و شرایط شستشو

شستشوی آنزیمی	شستشوی قلیایی	
Beisol Pro %4		
۱ ml/l Na_2CO_3 ۱۰٪	۲ g/l Na_2CO_3 calc	
	۱ ml/l Invatex MD	
۷/۷	۱۱/۵	pH
دقیقه۶۰، ۵۵°C	دقیقه۶۰، ۹۵°C	زمان، دما
دقیقه۱۵، ۸۰°C		آبکشی

جدول ۲- دستورالعمل‌ها و شرایط سفیدگری

	شستشوی قلیایی	شستشوی آنزیمی
		Beisol Pro %4
	۲ g/l Na_2CO_3 calc	۱ ml/l Na_2CO_3 ۱۰٪
	۱ ml/l Invatex MD	
pH	۱۱/۵	۷/۷
زمان، دما	دقیقه۶۰، ۹۵°C	دقیقه۶۰، ۵۵°C
آبکشی	دقیقه۱۵، ۸۰°C	

جدول ۳- دستورالعمل‌ها و شرایط عمل با سلولاز

	سلولاز غنی از اندوگلوکاناز	ترکیب سلولاز کامل
	۲/۸ g/l CH_3COONa	
	۶ ml/l CH3COOH	
	۳٪ Indiage RFW	۳٪ Indiage 44L
pH	۴/۵	
زمان، دما	دقیقه۳۰، ۵۵°C	
آبکشی	دقیقه۱۰، ۸۰°C	

شرایط شستشو، سفیدگری و عمل با سلولاز در جداول ۳-۱ آمده است.
در تمام پروسه‌ها از آب مقطر استفاده شد. تمام عملیات‌ها در یک ماشین رنگرزی Starlet-2 DaeLim ساخت کره انجام شد. محفظه‌های رنگرزی ۵۰۰ میلی‌لیتری با ۵۰ گرم پارچه در L:R ۱:۱۰ پر شدند. اسامی مخفف نمونه‌ها و مراحل تکمیلی آن‌ها در جدول ۴ مشاهده می‌شود.

روش‌های تحلیلی

قبل از انجام محاسبات، پارچه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۰°C و رطوبت نسبی ۶۵٪ قرار گرفتند. نمونه‌های محلول‌های شستشو و سفیدگری باقی‌مانده بعد از اتمام

جدول ٤- اسامی مخفف استفاده شده در این مقاله

مراحل عمل	اسم مخفف
شستشوی قلیایی	Alkali
شستشوی آنزیمی	Bio
سفیدگری با پر اکسید	HP
سفیدگری با پر استیک اسید	PAA
بدون سفیدگری	NO
عمل با سلولاز غنی از اندوگلوکاناز	CE
عمل با سلولاز کامل	CM
بدون عمل با سلولاز	no

عملیات‌ها جمع‌آوری شدند.
کربن آلی کل (TOC) با استفاده از دستگاه Shimadzu TOC-5000A و بر اساس استاندارد ISO 8245 و pH با استفاده از pH سنج ISKRA MA5740 که در دو نقطه کالیبره شده بود محاسبه شد.
مقدار ماده خشک از طریق وزن کردن بشر خالی و وزن کردن آن بعد از تبخیر شدن و خشک شدن ۵۰ میلی‌لیتر از محلول تعیین و به صورت درصد بیان شد.
درجه سفیدی با استفاده از دستگاه Spectraflash (Datacolor, Switzerland) SF600 Plus و با روش CIE بر اساس استانداردهای EN ISO 105- (E) J02:1997 و EN ISO 105-J01:1997 (E) محاسبه شد.
میزان جذب آب با محاسبه زمان فرو رفتن ۱ گرم از نمونه که از ارتفاع ۱۰-۱ سانتی‌متری به داخل یک بشر پر شده با آب مقطر گرم با دمای ۲۰°C انداخته شد، تخمین زده می‌شود. مدت زمان لازم برای فرو رفتن نمونه اندازه‌گیری و میانگین آن برای ۴ بار اندازه‌گیری محاسبه شد. اندازه‌گیری استحکام کششی در ماکزیمم بارگزاری با استفاده از دستگاه Instron Tensile Tester (Instron, UK) Model 5567 انجام شد. میانگین درجه پلیمریزاسیون (DP) با استفاده از روش ویسکومتری در cuoxam تعیین شد. مقاومت در برابر خمش بر اساس استاندارد ASTM D1388-96 انجام شد. مقاومت در برابر سایش با استفاده از دستگاه Martindale SDL 253 (Atlas, USA) universal wear tester با نیروی ۱۲ نیوتن بر اساس استاندارد SIST EN ISO 12947-3:2000 انجام شد. حوله‌ها تحت ۲۵۰۰ سیکل سایش قرار گرفتند. کاهش وزن در اثر سایش با وزن کردن پارچه قبل و بعد از تست سایش محاسبه و بر حسب درصد بیان شد.
زیردست پارچه توسط گروهی متشکل از ۸ نفر ارزیابی شد که نمونه‌ها را لمس کرده و آن‌ها را بر اساس مقیاس ۱ تا ۵ علامت‌گذاری کردند، که ۱ به معنای زیردست سفت و بدون احساس، و ۵ به معنای زیردست نرم، دلپذیر و احساس راحتی بود. سپس مقادیر میانگین محاسبه شد.

نتایج و بحث

پارچه‌های حوله‌ای پنبه‌ای مورد استفاده در محصولات بهداشتی در معرض شستشوی قلیایی و سفیدگری با هیدروژن پر اکسید قرار می‌گیرند. هدف این تحقیق بررسی امکان جایگزینی این پروسه‌ها با شستشوی آنزیمی و سفیدگری با پر استیک اسید بود. از آنجا که این پارچه‌ها اغلب با مواد شوینده حاوی مخلوطی از سلولازها شسته می‌شوند، ما می‌خواستیم اثر آن‌ها را روی پارچه‌های با پیش عملیات‌های مختلف نیز بررسی کنیم.
جداول ۷-۵ پارامترهای حمام‌ها را قبل و بعد از عمل، و برای اولین حمام شستشو: pH، مقدار ماده خشک و TOC را نشان می‌دهد.
شستشوی قلیایی و سفیدگری با پر اکسید در pH بسیار بالا انجام می‌شود که حتی بعد از شستشو نیز بالا باقی می‌ماند. به همین دلیل شستشوی بیشتر یا خنثی‌سازی لازم است که موجب مصرف آب زیادی می‌شود. شستشوی آنزیمی و سفیدگری

جدول ۵- مقادیر pH حمام‌های شستشو، سفیدگری و عمل با سلولاز قبل و بعد از عمل و همین مقادیر برای اولین حمام شستشو

عمل	pH		
	قبل	بعد	شستشو
Alkali	۱۱/۶	۹/۷	۹/۶
Bio	۷/۷	۶/۸	۷/۵
HP	۱۲/۲	۱۱/۷	۱۱/۶
PAA	۷/۴	۵/۴	۵/۶
CE	۴/۵	۴/۳	۴/۴
CM	۴/۲	۴/۳	۴/۴

جدول ٦- مقادیر ماده خشک در حمام‌های شستشو، سفیدگری و عمل با سلولاز قبل و بعد از عمل

عمل	مقادیر ماده خشک، ٪			
	قبل	بعد	شستشو	جدا شده
Alkali	۰/۲۵	۰/۷۰	۰/۱۹	۰/۶۶
Bio	۰/۱۷	۰/۵۳	۰/۱۴	۰/۴۹
HP	۰/۳۸	۰/۵۵	۰/۲۱	۰/۳۶
PAA	۰/۴۵	۰/۴۷	۰/۱۱	۰/۱۲
CE	۰/۹۹	۱/۱۰	۰/۲۳	۰/۳۴
CM	۰/۹۹	۱/۱۸	۰/۲۵	۰/۴۴

جدول ۷- مقادیر TOC حمام‌های شستشو، سفیدگری و عمل با سلولاز قبل و بعد از عمل

عمل	TOC			
	قبل	بعد	شستشو	جدا شده
Alkali	۳۷۸	۱۶۷۶	۷۹۸	۲۰۹۶
Bio	۵۳۷	۱۵۳۳	۷۲۰	۱۷۱۵
HP	۲۱۹	۱۲۴۷	۵۸۳	۱۶۱۱
PAA	۱۸۷۸	۱۹۷۵	۵۵۶	۶۵۳
CE	۲۸۹	۴۳۰۴	۱۲۳۰	۲۶۴۳
CM	۲۸۵۸	۴۴۳۴	۱۳۲۷	۲۹۰۳

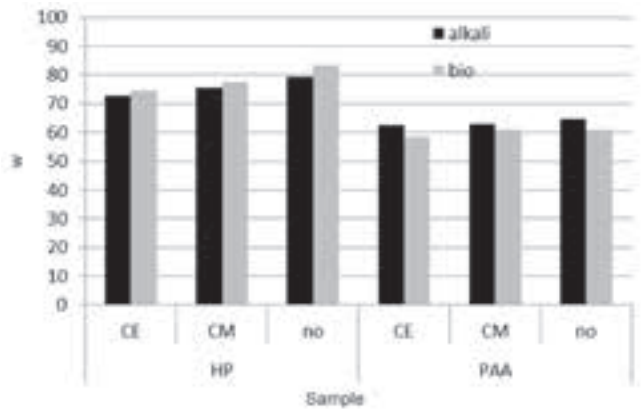
با پر استیک اسید نزدیک به pH خنثی انجام می‌شود. یک شستشوی کوتاه بدون خنثی‌سازی برای به دست آوردن ماده خنثی کافی است. در نتیجه مصرف آب بسیار کمتر است. pH محلول‌های سلولاز اندکی اسیدی است و با اولین شستشو خنثی می‌شود.

همانطور که انتظار داشتیم و در جدول ۶ نیز مشاهده می‌شود، در شستشوی قلیایی و سفیدگری با پر اکسید در مقایسه با شستشوی آنزیمی و سفیدگری با پر استیک اسید، مواد بیشتری از پنبه جدا می‌شود. مقدار ماده جدا شده در عمل با سلولاز بسیار زیاد است که در مورد سلولاز کامل بیشتر از سلولاز غنی از اندوگلوکاناز است. در هیچ یک از موارد مقدار ماده خشک از نقطه نظر زیست محیطی مشکل‌ساز نیست. مقادیر TOC نشان‌دهنده مقدار مواد آلی در محلول‌های آبی است. با این TOC که یک پارامتر زیست محیطی است، اما می‌تواند به عنوان سنجشی برای مواد جدا شده از الیاف نیز به کار رود. در جدول ۷، می‌توان باز هم مشاهده کرد که مقدار مواد آلی جدا شده در مورد شستشوی قلیایی و سفیدگری با پراکسید بیشتر از شستشوی آنزیمی و سفیدگری با پر استیک اسید است. بر خلاف این، در محلول‌های قبل از عمل، شستشوی آنزیمی مقدار TOC بیشتر از شستشوی قلیایی و سفیدگری با پر استیک اسید نیز مقدار TOC بیشتری از سفیدگری با پراکسید دارد. هر دو عامل، آنزیم‌ها و پر استیک اسید، ترکیبات آلی هستند و به تنهایی در مقدار بیشتر TOC نقش دارند. مقادیر TOC در همهٔ اولین فاضلاب‌ها بسیار بالاتر از آن است که بتوان آن‌ها را در سیستم فاصلاب تخلیه کرد. حمام‌های عمل با سلولاز مقادیر TOC اولیه بالایی دارند که بعد از عمل و در نتیجه جدا شدن زنجیرهای سلولز و حل شدن آن‌ها در آب، این مقادیر بیشتر نیز می‌شوند. مقدار مواد آلی جدا شده برای سلولاز کامل بیشتر از سلولاز غنی از اندوگلوکاناز است.

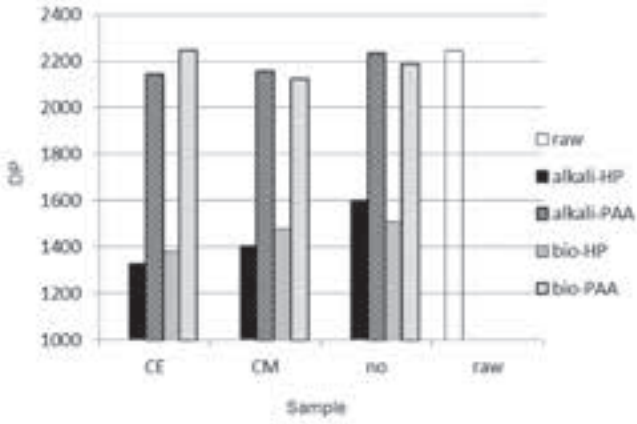
سفیدگری با هیدروژن پر اکسید مقادیر سفیدی بالاتری را نسبت به پر استیک اسید در تمام موارد نشان می‌دهد (شکل ۲). علاوه بر این، نمونه‌های شستشوی قلیایی در تمام موارد سفیدتر از نمونه‌های شستشوی آنزیمی هستند، که قابل انتظار بود چون شستشوی قلیایی شدیدتر بوده و مقادیر بیشتری از ناخالصی‌ها را نسبت به شستشوی آنزیمی از بین می‌برد. تحقیقات دیگر نیز روشن‌تر و سفیدتر بودن پنبه شستشوی قلیایی را نسبت به پنبه شستشوی آنزیمی تائید می‌کنند. عمل با سلولاز باعث کاهش مقادیر سفیدی تمام نمونه‌های شسته و سفیدگری شده می‌شود.

محاسبه زمان فرو رفتن برای اندازه‌گیری قابلیت تر شدن استفاده شد. شستشو، قلیایی یا آنزیمی، به تنهایی جذب آب کافی ایجاد نمی‌کند. زمان‌های فرو رفتن بیشتر از ۲ ثانیه است (شکل ۳).

تمام نمونه‌های شستشوی قلیایی زمان‌های فرو رفتن کمتری نسبت به نمونه‌های شستشوی آنزیمی دارند که به معنای آن است که آن‌ها قابلیت تر شدن بیشتری



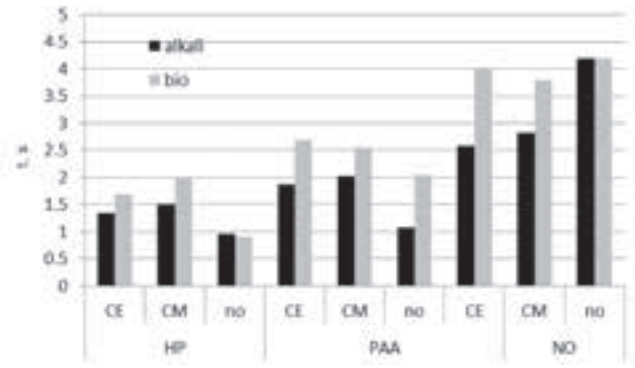
شکل ۲- مقادیر سفیدی نمونه‌های شسته شده، سفیدگری شده و عمل شده با سلولاز



شکل ۳- زمان فرو رفتن (t) نمونه‌های شسته شده، سفیدگری شده و عمل شده با سلولاز

دارند. این مطلب در مورد نمونه‌های سفیدگری شده با هیدروژن پر اکسید در برابر نمونه‌های پر استیک اسید نیز صادق است و نمونه‌های پر اکسید قابلیت تر شدن بیشتری دارند. عمل با سلولاز قابلیت تر شدن نمونه‌های شسته شده را افزایش می‌دهد، اما قابلیت تر شدن نمونه‌های شسته شده و سفیدگری شده را کاهش می‌دهد، که به دلیل تفاوت در دیواره اولیه الیاف پنبه پیش عملیات شده است. تنها الیاف شسته شده مقداری مواد غیر سلولزی را در دیواره اولیه خود حفظ می‌کنند که الیاف را تا حدی آبگریز نگه می‌دارد و از آن‌ها را در برابر حمله سلولاز محافظت می‌کند. سلولاز تا حدی زنجیرهای کوتاه سلولز در دیواره اولیه را تجزیه می‌کند و به بهبود آبدوستی کمک می‌کند. تحقیقات دیگر نیز منجر به این نتیجه‌گیری شده است که سلولاز قابلیت تر شدن الیاف پنبه را افزایش می‌دهد. با این حال، اثر سلولاز روی الیاف پنبه بعد از سفیدگری متفاوت است، به این دلیل که سلولاز می‌تواند وارد فاز آمورف الیاف شده و زنجیرهای سلولز را به میزان قابل توجهی تجزیه کند. آب تنها می‌تواند وارد فاز آمورف الیاف شود و زمانیکه میزان فاز آمورف کاهش یابد، قابلیت جذب آب الیاف نیز کاهش می‌یابد.

در این تحقیق تائید شد که شستشوی قلیایی و سفیدگری با پر اکسید، سفیدی و قابلیت تر شدن بیشتری را نشان می‌دهد؛ با این حال زمانیکه آسیب وارده به الیاف با

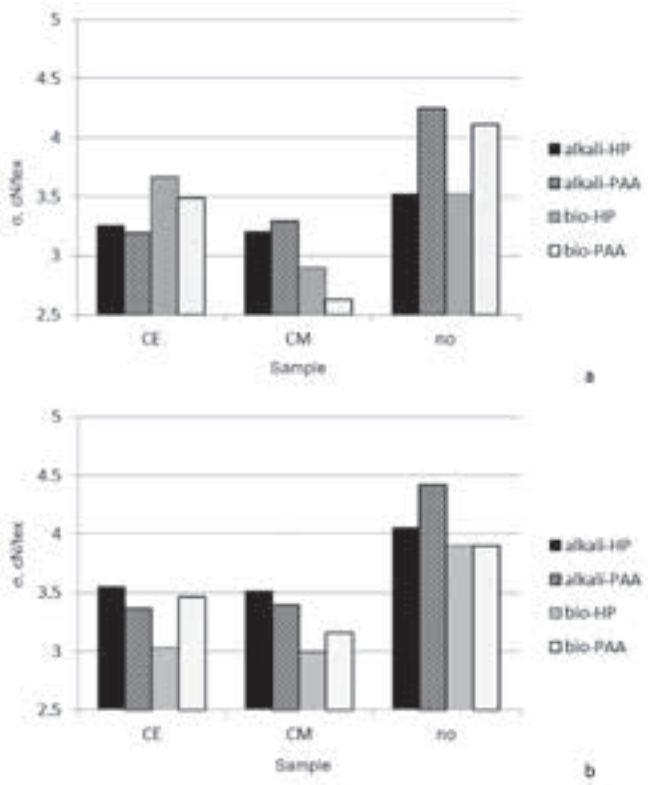


شکل ٤- درجه پلیمریزاسیون نمونه‌های شسته شده، سفیدگری شده و عمل شده با سلولاز با روش‌های مختلف

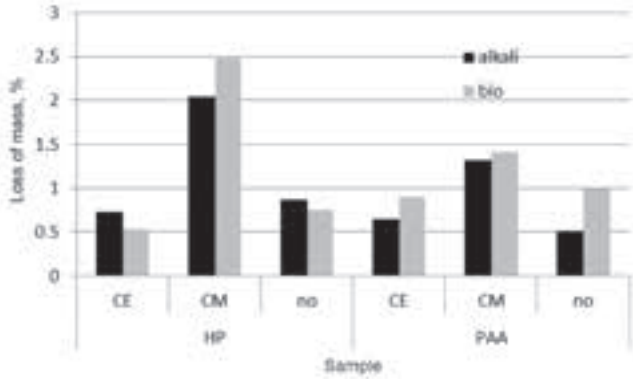
یکدیگر مقایسه شود، مشخص می‌شود که نمونه-های سفیدگری شده با پر استیک اسید میانگین درجه پلیمریزاسیون بسیار بالاتری را نشان می‌دهند (شکل ۴). روش شستشو تاثیری در درجه پلیمریزاسیون الیاف ندارد.

عمل با سلولاز باعث کاهش درجه پلیمریزاسیون تمام نمونه‌ها شد که این کاهش برای نمونه‌های سفیدگری شده با هیدروژن پر اکسید بیشتر از نمونه‌های پر استیک اسید بود. این موضوع را می‌توان باز هم به ورود آسان‌تر سلولاز به الیاف سفیدگری شده با هیدروژن پر اکسید در مقایسه با الیاف سفیدگری شده با پر استیک اسید نسبت داد. مقادیر درجه پلیمریزاسیون نمونه‌های عمل شده با سلولاز غنی از اندوگلوکاناز کمتر از مقادیر به دست آمده برای سلولاز کامل است. دلیل این امر آن است که اندوگلوکاناز زنجیرهای سلولز را به صورت تصادفی به الیگوساکاریدهای بلند تقسیم می‌کند، در حالیکه سلولاز کامل که حاوی مقدار زیادی از سلوبیوهیدرولازها است تنها سلوبیوز را از انتهای زنجیر سلولز جدا می‌کند، در نتیجه درجه پلیمریزاسیون در مورد اندوگلوکاناز سریع‌تر کاهش می‌یابد.

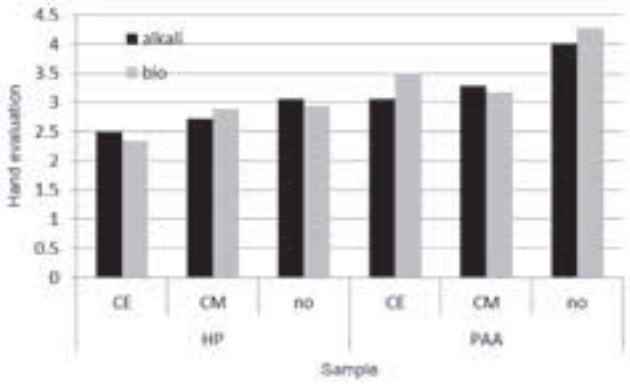
پارامترهای مختلفی روی استحکام پارچه‌های عمل شده تاثیر دارند. بعد از شستشوی قلیایی، پارچه جمع شده و متراکم‌تر و سفت‌تر می‌شود. به همین دلیل تمام نمونه‌های شستشوی قلیایی نسبت به نمونه‌های شستشوی آنزیمی در ماکزیمم بارگزاری استحکام کششی بالاتری دارند (شکل ۵). سفیدگری تاثیری روی استحکام ندارد. از طرف دیگر، عمل با سلولازها در واقع باعث کاهش استحکام می‌شود که این کاهش



شکل ۵- استحکام کششی a) تار و b) پود نمونه‌های شسته شده، سفیدگری شده و عمل شده با سلولاز با روش‌های مختلف



شکل ٦- کاهش وزن نمونه‌های شسته شده، سفیدگری شده و عمل شده با سلولاز بعد از ۲۵۰۰ سیکل سایش



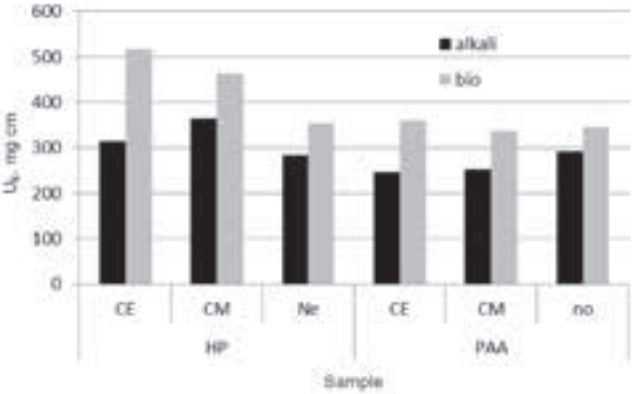
شکل ۸- مقادیر ارزیابی زیردست نمونه‌های شسته شده، سفیدگری شده و عمل شده با سلولاز

برای سلولاز کامل بیشتر از اندوگلوکاناز است. اندوگلوکاناز تنها در بخش‌های آمورف الیاف فعال است، در حالیکه سلوبیازها در سلولاز کامل بخش‌های بلوری الیاف را نیز تجزیه می‌کنند. این بخش‌های بلوری مسئول استحکام الیاف هستند.

کاهش وزن الیاف در حین سایش نیز در مورد الیاف عمل شده با سلولاز کامل بیشترین است (شکل ۶)، که به این معنی است که سلولازهای مختلف موجود در سلولاز کامل در یک عمل هم‌افزایی به پارچه آسیب زده و عمر آن را کاهش می‌دهند. پارچه در عمل با اندوگلوکاناز آسیب کمتری می‌بیند به این دلیل که روی بخش‌های بلوری تاثیری ندارد. روش شستشو و سفیدگری هیچ تاثیری در کاهش وزن در حین سایش ندارد.

شکل ۷ نشان می‌دهد که نمونه‌های سفیدگری شده با پر استیک اسید نسبت به نمونه‌های پر اکسید سفتی کمتری دارند. همچنین نشان می‌دهد که نمونه‌های شستشوی قلیایی نسبت به نمونه‌های شستشوی آنزیمی سفتی کمتری دارند. سلولاز باعث افزایش سفتی نمونه‌های پر اکسید شده در حالیکه تاثیری روی نمونه‌های پر استیک اسید ندارد.

ارزیابی فردی زیردست نشان می‌دهد که نمونه‌های سفیدگری شده با پر استیک



شکل ۷- سفتی نمونه‌های شسته شده، سفیدگری شده و عمل شده با سلولاز

اسید به طور کلی احساس دلپذیرتری نسبت به نمونه‌های پر اکسید دارند (شکل ۸). اثر شستشوهای مختلف مشخص نیست که احتمالاً به دلیل این است که سفیدگری و عمل با سلولاز، تفاوت بین الیاف با شستشوهای متفاوت را می‌پوشاند. شکل ۸ همچنین نشان می‌دهد که عمل با سلولاز احساس پارچه حوله‌ای را بدتر می‌کند. بهترین احساس برای نمونه شستشوی آنزیمی و سفیدگری شده با پر استیک اسید که با سلولاز عمل نشده بود ثبت شده است. این نمونه کمترین میزان کاهش وزن و بیشترین مقدار واکس‌ها و پکتین‌ها را دارد که باعث نرمی و حجیم شدن پارچه می‌شود.

نتیجه‌گیری

می‌توان نتیجه گرفت که شستشوی آنزیمی یک پروسه مناسب برای پارچه‌های حوله‌ای است و می‌تواند جایگزینی برای شستشوی قلیایی باشد به خصوص زمانیکه قرار است پارچه به دنبال آن سفیدگری شود. سفیدگری تفاوت‌های حاصل از عملیات‌های قبلی را می‌پوشاند که در نتیجه آن خواص نمونه‌های شسته شده با روش‌های مختلف و سفیدگری شده مشابه است. مقایسه بین سفیدگری با هیدروژن پر اکسید و پر استیک اسید نشان می‌دهد که نمونه‌های پر استیک اسید سفیدی کمتر و زمان فرو رفتن بیشتری دارند، اما آن‌ها احساس دلپذیرتری ایجاد کرده و سفتی کمتری دارند و تقریباً بدون آسیب باقی می‌مانند. از این رو سفیدگری با پر استیک اسید برای مواردی که پارچه در ادامه با شیدهای تیره رنگ می‌شود مناسب است.

عمل با سلولاز هیچ اثر مفیدی روی کالای سلولزی ندارد. پارچه وزن زیادی از دست می‌دهد، زیردست خراب می‌شود و درجه پلیمریزاسیون و استحکام پارچه کاهش می‌یابد، در حالیکه فرسایش در اثر سایش افزایش می‌یابد. اثرات منفی گفته شده در عمل با سلولاز کامل اتفاق می‌افتد در حالیکه سلولاز غنی از اندوگلوکاناز تا حد کمتری به کالا آسیب می‌زند. ما از استفاده سلولاز در حین تکمیل و شستشوی پارچه حوله‌ای به شدت منصرف شدیم. ما تنها استفاده از اندوگلوکاناز را به عنوان یک ماده افزودنی برای مواد شوینده پیشنهاد می‌دهیم.