زیست‌تراش آنزیمی پارچه پنبه‌ای: اثر سلولاز تری‌کودرما بر خواص پارچه پنبه‌ای

Enzyme Biopolishing of Cotton Fabric: Effects of Trichoderma Cellulase on Cotton Fabric Properties

غلامرضا گودرزی [1]، محمد حقیقت‌کیش [1]، سیدمجتبی طباطبائی یزدی [2]، سهیلا سلحشور کردستانی [3]

۱و۳. دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نساجی ۲. دانشگاه علوم پزشکی تهران، دانشکده داروسازی

دریافت: ۸/۱۲/۷۴، پذیرش: ۳۰/۱/۷۵

چکیده

سلولاز شامل مجموعه‌ای از آنزیمهاست که باعث تخریب سلولز و تبدیل آن به قندها می‌شوند. امروزه از سلولاز برای زیست‌تراش در تکمیل پارچه استفاده می‌شود. در این مقاله نتایج حاصل از بررسی اثر سلولاز تری‌کودرما بر پارچه پنبه‌ای گزارش و با توجه به نظریه‌های جاری در زمینه ساختار الیاف بسه توجیه می‌شود. پس از اتودادن سلولاز بر پارچه پنبه‌ای، تغییرات خصوصیات فیزیکی آن مانند رطوبت بازیافتی، استحکام، ازدیاد طول تا پارگی، طول خمشی، سختی خمشی، ضخامت، زبری، تمایل به ایجاد پرزدانه و شکل‌شناسی الیاف بررسی شده است. زیست‌تراش آنزیمی باعث تضعیف رودرس خواص یادشده در پارچه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: سلولاز، آنزیم، زیست‌تراش، پارچه پنبه‌ای، سلولز

Key Words: cellulase, enzyme, biopolishing, cotton fabric, cellulose

مقدمه

آنزیمها کاتالیزور فرایندهای زیست‌شناختی‌اند و به‌طور اختصاصی آن دسته از واکنشهای شیمیایی را سرعت می‌بخشند که برای حفظ و ادامه حیات موجود زنده لازمند. سالهاست که آنزیمها در پزشکی، صنایع غذایی، الکل‌سازی و شوینده های خانگی بکارگرفته می‌شوند. در بیشتر شوینده‌های مصرفی از انواع آنزیمها استفاده می‌شود. در تکمیل کالاهای نساجی نیز آنزیمهای آمیلاز برای تخریب نشاسته در عملیات آهارزدایی بکار گرفته شده‌اند [۱،۲].

آنزیمها به‌طورصنعتی از راه تخمیر میکروارگانیسمها تولید می‌شوند. باکتریها و مخمرها ویژه قارچها در این مورد از اهمیت زیادی برخوردارند. در حقیقت، خصوصیات متنوع آنها مانند سهولت کشت، رشد سریع و ترشح به خارج سلول سبب شده است تا منبع مهم تولید آنزیم در زیست فن‌آوری (biotechnology) بحساب آید [۱،۳].

سلولاز مجموعه‌ای از آنزیمهاست که در تخریب تدریجی سلولوز طبیعی یا مشتقات آن به گلوکوز شرکت می‌کنند. آبکافت سلولوز نیاز به همکرداری سه آنزیم آبکافتی (hydrolytic) اگزوسلولاز یا اگزوسلوبیوهیدرولاز، اندوسلولاز یا اندوگلوکاناز و بتا-گلوکوزیدار یا سلوبیاز دارد [۱،۴-۷]. اولین مرحله تخریب سلولوز روی نواحی بی‌نظم صورت می‌گیرد و سرانجام به تخریب نواحی بلوری نیز منجر می‌گردد. شکل ۱ نحوه عمل آنزیمهای سلولاز در تخریب سلولوز را نشان می‌دهد [۸].

رطوبت موجود، اندازه و خصوصیات تفوذپذیری مولکولهای سلولوز و درجه تبلور آن، ابعاد سلول واحد، ساختار فضایی و ممانعت فضایی واحدهای گلوکوز و درجه پلیمرشدن از جمله عواملی هستند که بر فعالیت سلولازها اثر می‌گذارند [۹]. بنابراین، فعالیت سلولازها روی سلولوز نامحلول به عملیات قبلی که روی آن انجام شده است، بستگی

جدول ۱ - مشخصات پارچه پنبه‌ای سفید شده مصرفی.

نوع بافت	ضخامت (cm)	وزن ۱ مترمربع (g/m^2)	نمره نخ تار (tex)	نمره نخ پود (tex)	تعداد نخ تار در سانتیمتر	تعداد نخ پود در سانتیمتر
تافته	۰/۰۳۸۵	۱۳۱/۱۲	۲۳	۲۳	۳۱/۵	۲۶/۵

زیادی دارد. چنین عملیاتی شامل گرما دادن، اکسیدشدن قلیایی و تخریب مکانیکی است [۱].

اخیرا در صنعت نساجی از سلولازها استفاده می‌شود. سلولازها با داشتن مجموعه‌ای از آنزیمها باعث اصلاح سطحی پارچه‌های پنبه‌ای می‌شوند [۲،۱۰،۱۱]. این فرایند زدودن پرزهای سطحی یا زیست‌تراش (biopolishing) نامیده می‌شود. از آنجا که سلولازها پروتئینهای طبیعی‌اند، به آسانی در اثر عوامل محیطی تخریب می‌شوند. از این رو، در مقایسه با ساده‌ترین فرایندهای شیمیایی در نساجی از نظر زیست محیطی مناسبترند. این موضوع بویژه در مواردی که از سلولازها به جای مواد اکسیدکننده و سنگهای ساده در سنگ‌شویی پارچه استفاده می‌شود اهمیت پیدا می‌کند [۲،۱۲].

به طور کلی، پس از زیست‌تراش سطح پارچه‌های سلولوزی خصوصیات جدیدی بدست می‌آید [۲،۸،۱۰-۱۷] در زیست‌تراش تمایل به تشکیل پرزدانه در پارچه به حداقل می‌رسد. بدین‌ترتیب که پارچه دارای سطحی صاف و کم‌پرز شده، زیردست آن نرمتر می‌شود و مقاومت خمشی آن کاهش می‌یابد. همچنین، جذب آب و آویزش آن بهتر می‌شود. به عبارت دیگر، همراه با تغییرات سطحی پارچه، خواص فیزیکی آن نیز در اثر تخریب الیاف پنبه دگرگون می‌گردد.

در این مقاله خصوصیات فیزیکی پارچه‌های پنبه‌ای پس از عمل‌آوری با آنزیم سلولاز تری‌کودرمای تجارتی بررسی می‌شود.

تجربی

مواد

پارچه پنبه‌ای با عرض ۱۹۰ cm دارای آهار نشاسته و بافت ساده بوده است. آنزیم سلولاز تجارتی از شرکت ناوو (Novo) و مواد دیگر از شرکت مرک، سیگما و سیاگابگی تهیه شده‌اند.

روشها

ابتدا پارچه پنبه‌ای طبق روشهای معمول، آهارزدایی شد. سپس، به ترتیب عمل پخت پارچه با استفاده از سود سوزآور و شوینده و سفیدگری آن با هیدروژن پروکسید انجام پذیرفت.

برای اندازه‌گیری نمره نخ تار و پود، ۲۰ نخ تار و ۲۰ نخ پود از پارچه بیرون آورده شد و نخها به طول ۲۵ cm بریده و وزن آنها اندازه‌گیری شد. با استفاده از پود شمار، تعداد تار و پود در یک سانتیمتر مربع شمارش شد. با در دست داشتن نمره نخ تار و پود و تراکم آنها، وزن یک متر مربع پارچه معین گردید. برای بررسی نمونه‌ها میکروسکوپ نوری کارل زایس مدل Jena مورد استفاده قرار گرفت. همچنین، از سطح پارچه با دوربین عکاسی معمولی عکسبرداری شد. مشخصات پارچه در جدول ۱ نشان داده شده است که مشابه پارچه‌های ملافه‌ای است.

میزان پروتئین نمونه با روش برادفورد [۱۸] معین شد. برای این منظور، ابتدا ۱۰ μL آنزیم موجود به میزان ۸۰۰ برابر رقیق شد. آنگاه یک میلی‌لیتر معرف برادفورد به ۱۰۰ μL آن اضافه شد و پس از پنج دقیقه میزان جذب در طول موج ۵۹۵ nm با دستگاه طیف‌سنج مرئی بوش و لامب مدل اسپکترونیک ۲۰ اندازه‌گیری شد. منحنی غلظت پروتئین آلبومین سرم گاوی (BSA) به عنوان منحنی استاندارد مورد استفاده قرار گرفت.

میزان فعالیت آنزیم اندوگلوکاناز با استفاده از بستر کربوکسی متیل سلولوز (CMC) معین شد. برای اندازه‌گیری فعالیت اگزوگلوکاناز از کاغذ صافی واتمن شماره ۲ به‌عنوان بستر استفاده گردید.

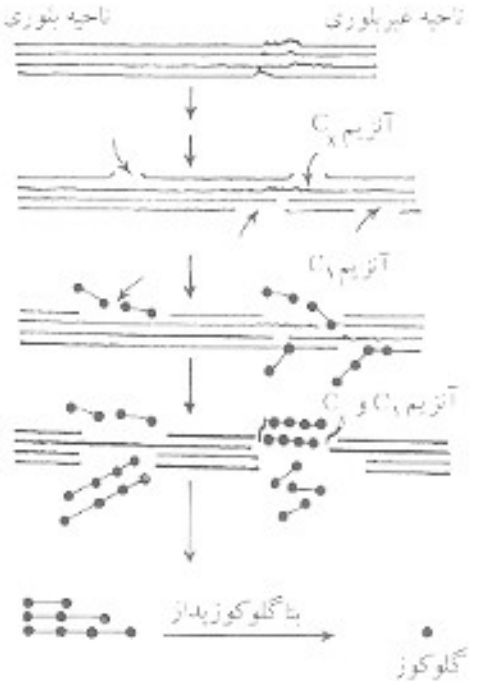
برای تعیین فعالیت آنزیم بتا-گلوکوزیداز، پارا نیتروفنول بتاگلوکوزید (PnPG) به‌عنوان بستر بکار گرفته شد [۱۹]. در تمام موارد از طیف‌سنج فارماسیا نوع LKB - Ultrospec III برای سنجش جذب استفاده شد.

فعالیتهای آنزیمی با واحد بین‌المللی IU/mL، یعنی تعدادی میکرومولهای محصول آزاد شده از یک میلی‌لیتر نمونه حاوی آنزیم در یک دقیقه، بیان شده‌اند. مشخصات آنزیم سلولاز تجارتی در جدول ۲ داده شده است.

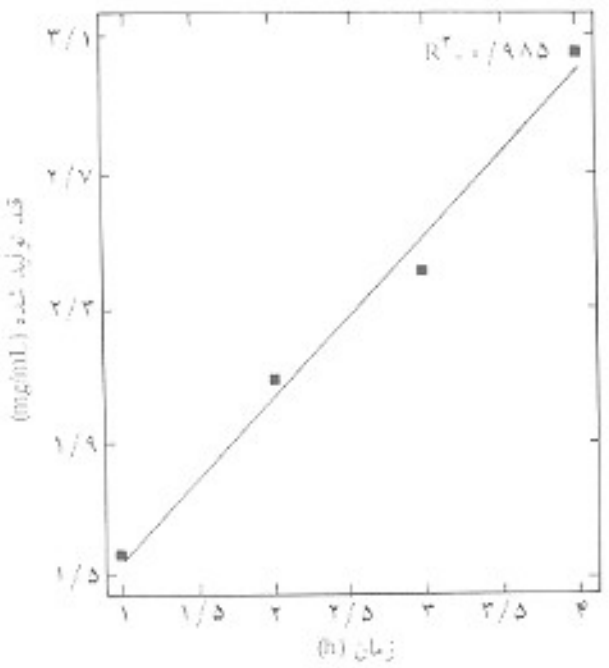
برای انجام زیست‌تراش پارچه، نمونه‌هایی از پارچه پنبه‌ای به

جدول ۲ - مشخصات آنزیم سلولاز تجارتی با میزان پروتئین کل اندازه‌گیری شده ۳۸۴ mg/mL.

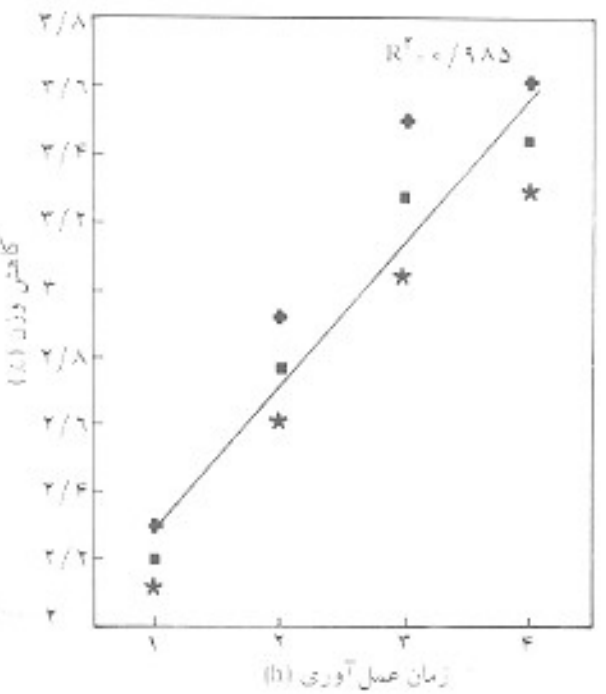
نوع آنزیم	اندوگلوکاناز	اگزوگلوکاناز	بتا-گلوکوزیداز
میزان فعالیت (IU/mL)	۸۲۲	۳۱	۱۱/۳



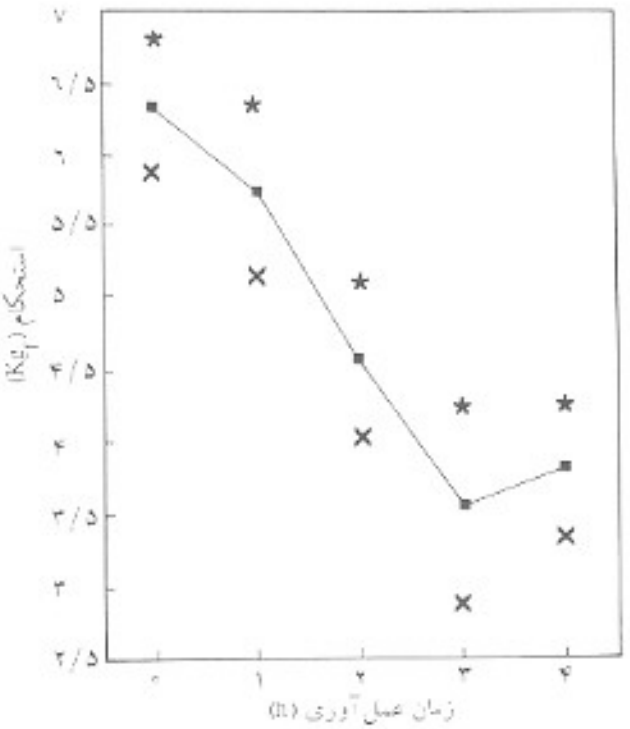
شکل ۱- تخریب سلولز با آنزیمهای سلولاز که C_1 و C_x به ترتیب فعالیت آنزیمهای اگزوسلولاز و اندوسلولاز است [۸].



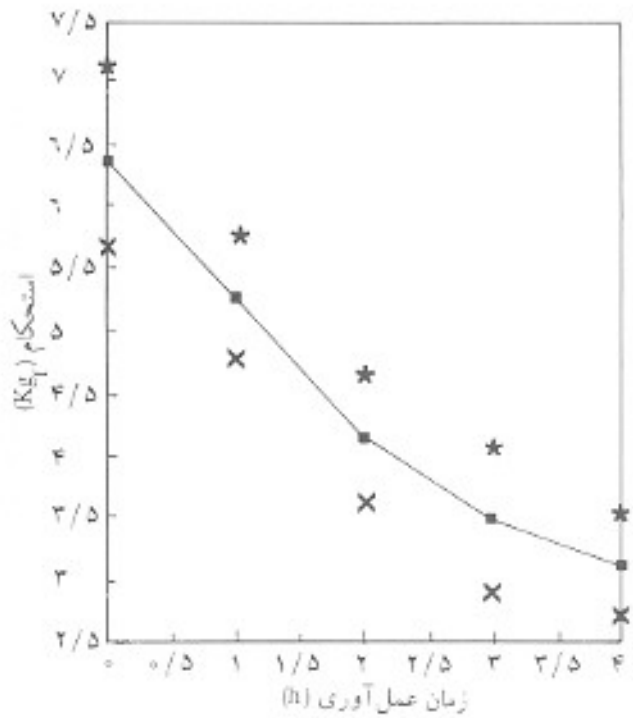
شکل ۳- میزان قند تولید شده در اثر فعالیت آنزیمی سلولاز بر حسب زمان.



شکل ۲- نمودار درصد کاهش وزن پارچه‌های پنبه‌ای عمل آوری شده با سولاز نسبت به زمان: (■) متوسط، (+) ۹۵٪ حدود اطمینان، (•) ۹۵٪ حدود اطمینان و (−) رگرسیون.



شکل ۴- نمودار تغییر استحکام پارچه‌های پنبه‌ای عمل آوری شده با سولاز در جهت تار بر حسب زمان: (■) تار، (•) ۹۵٪ حدود اصمینان و (X) ۹۵٪ حدود اطمینان.



شکل ۵ـ نمودار تغییر استحکام پارچه‌های پنبه‌ای عمل‌آوری شده با سلولاز در جهت پود بر حسب زمان: (■) پود، (•) ۹۵٪ ـ حدود اطمینان و (X) ۹۵٪ ـ حدود اطمینان.

ابعاد تقریبی ۱۵×۳۰ cm تهیه و وزن خشک آنها به وسیله ترازوی سارتریوس در دمای ۱۱۰°C اندازه‌گیری شد.

برای برطرف‌شدن هرگونه ناخالصی، نمونه‌های توزین‌شده به مدت ۲ ساعت با آب‌مقطر در حال‌جوش شستشو داده شدند. سپس، نمونه‌ها آبزدایی و با محلول آنزیمی ۳٪ (نسبت به وزن کالا) در ظرفهای سربسته دستگاه تکان دهنده لینی‌تست با درجه ثابت قرار داده شدند و عمل زیست‌تراش در دمای ۵۰°C انجام گرفت. محلولها دارای pH ۵، بافراستات ۰/۱ M و نسبت وزن کالا به حجم حمام ۱به ۱۰ بودند. مدت زمان عمل زیست‌تراش یک، دو، سه و چهار ساعت انتخاب شد.

پس از پایان عمل زیست‌تراش، نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در آب جوش قرار داده شدند تا فعالیت آنزیمها متوقف شود. آن گاه، نمونه‌ها با آب مقطر کاملا شسته و خشک شدند. وزن خشک نمونه‌های عمل‌آوری شده در ۱۱۰°C اندازه‌گیری و از آنجا درصد کاهش وزن آنها طبق معادله ۱ حساب شد:

$$\text{درصد کاهش وزن} = \frac{w - w'}{w} \times 100 \qquad (1)$$

که w و w' به ترتیب وزن نمونه‌های خشک شده در دمای ۱۱۰°C قبل و بعد از عمل‌آوری است.

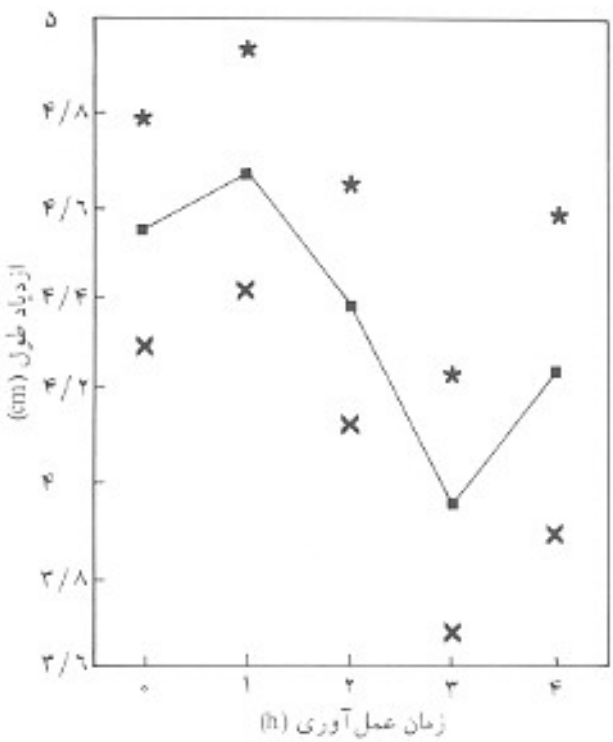
برای تعیین قندهای تولید شده در اثر آبکافت سلولوز از روش فروسیانید [۲۰] استفاده شد. برای این منظور محلول حاصل از عمل زیست‌تراش صاف و به یک میلی‌لیتر از آن ۴ mL معرف فروسیانید اضافه گردید و به مدت ۱۰ دقیقه در آب جوش قرار داده شد. آن گاه، میزان قند تولید شده به وسیله دستگاه طیف‌سنج در طول موج ۴۲۰ nm اندازه‌گیری گردید. از منحنی استاندارد گلوکوز میزان قند معادل با گلوکوز معین گردید.

از هر نمونه ۱۰ تکه پارچه به طول ۳۰ cm و عرضی که با نخ‌کشی حاشیه پارچه (هم در جهت تار و هم در جهت پود) برابر ۵ cm بود تهیه شد و نیروی پارگی و ازدیاد طول تا پارگی آنها با دستگاه اینسترون اندازه‌گیری گردید.

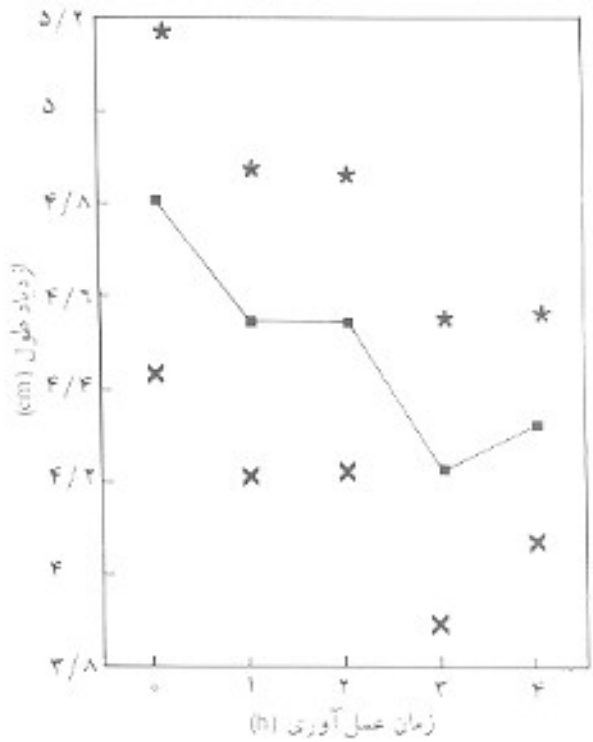
برای اندازه‌گیری طول خمش، نمونه‌هایی به ابعاد ۲/۵×۲۰ cm در جهتهای تار و پود بریده شد و طول خمش آنها توسط دستگاه شرلی اندازه‌گیری شد [۲۱].

سختی خمشی نمونه‌ها طبق معادله ۲ معین شد:

$$\text{سختی خمشی} = 1000WC^3 \qquad (2)$$



شکل ۶ـ نمودار تغییر ازدیاد طول تا پارگی پارچه‌های پنبه‌ای عمل‌آوری شده با سلولاز در جهت تار بر حسب زمان: (■) تار، (•) ۹۵٪ ـ حدود اطمینان و (X) ۹۵٪ ـ حدود اطمینان.



شکل ۷- نمودار ازدیاد طول تا پارگی پارچه‌های پنبه‌ای عمل‌آوری شده با سلولاز در جهت پود برحسب زمان: (■) پود، (•) ۹۵٪، حدود اطمینان و (X) ۹۵٪، حدود اطمینان.

که در این معادله، W وزن یک سانتیمتر مربع از پارچه بر حسب گرم و C طول خمشی بر حسب سانتیمتر است.

با استفاده از دستگاه ضخامت‌سنج معمول برای اندازه‌گیری ضخامت پارچه در فشار ثابت g/cm^2 ۲۴۰، ضخامت پارچه‌های عمل‌آوری شده و نشده اندازه‌گیری گردید.

زبری (roughness) نمونه پارچه‌ها قبل و پس از شستشو به مدت ۲ ساعت در ماشین لباسشویی، در دانشگاه منچستر اندازه‌گیری شد. زبری با روش غیرتماسی و با استفاده از لیزر انجام گرفته است [۲۲].

برای بررسی پایداری نمونه‌ها در برابر تمایل به تشکیل پرزدانه از دستگاه سایش مارتیندال طبق استاندارد (Swiss Norm)SN ۱۹۸۵۲۵ [۱۳] استفاده شد.

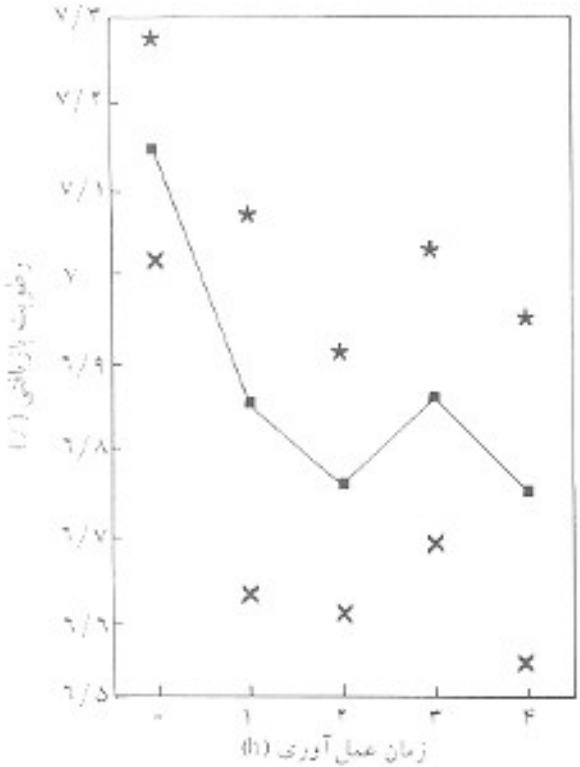
درصد رطوبت بازیافتی در ۶۵٪ رطوبت‌نسبی با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج زیرقرمز سارتریوس در ۱۱۰°C اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

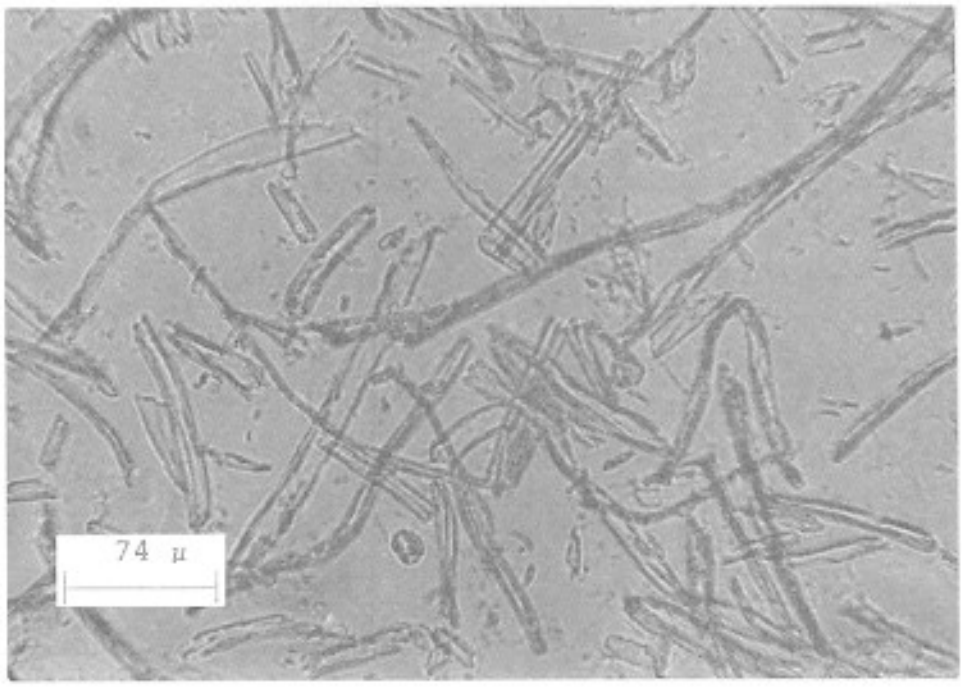
تغییرات وزنی نمونه‌ها پس از عمل‌آوری با آنزیم بر حسب زمان در شکل ۲ نشان داده شده است. از نمودار کاهش وزن برحسب زمان می‌توان چنین دریافت که بین کاهش وزن پارچه و زمان عمل‌آوری با سلولاز (در محدوده زمان عمل آزمایش) رابطه‌ای خطی برقرار است. چنین ارتباطی توسط موری و همکارانش [۱۴] نیز مشاهده شده است. این ارتباط را می‌توان در مورد قند تولید شده، که نشانه دیگری از فعالیت آنزیم سلولاز روی پارچه پنبه‌ای است، مشاهده کرد. شکل ۳ میزان قند تولید شده در اثر آبکافت آنزیمی سلولوز را برحسب زمان نشان می‌دهد.

در شکلهای ۴ و ۵ نمودار استحکام در جهت تار و پود طی زمان عمل‌آوری نشان داده شده است. کاهش استحکام ناشی از مدت زمان عمل‌آوری است. در مدت زمان یک ساعت استحکام چه در جهت تار یا در جهت پود نمونه عمل‌آوری شده کاهش کمی نسبت به نمونه عمل‌آوری نشده دارد، اما افزایش مدت زمان عمل‌آوری باعث صدمه دیدن شدید پارچه می‌شود.

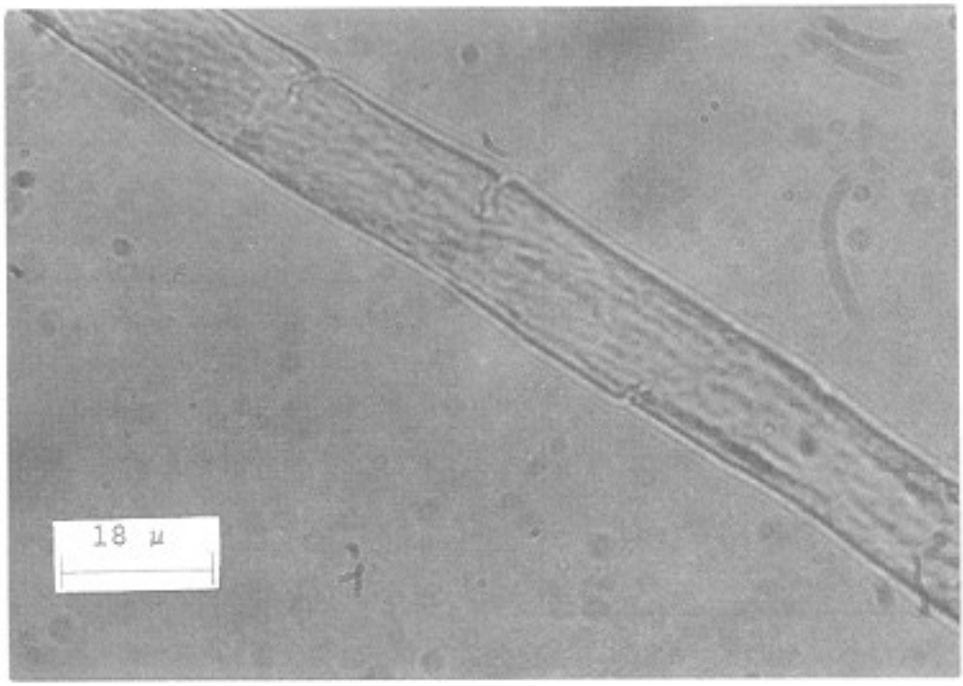
نکته مهم دیگر این است که با وجود کاهش وزن کم، کاهش استحکام بسیار زیاد است. مثلاً، در عرض چهار ساعت با وجود کم‌شدن ۳/۵٪ وزن از مقدار اولیه، که نشان‌دهنده حداکثر مقدار کمی سلولوز از الیاف است، استحکام بشدت کاهش می‌یابد و تقریباً به نصف مقدار اولیه می‌رسد. این امر نشان‌دهنده وارد آمدن صدمات میکروسکوپی بر الیاف است که باعث افت شدید استحکام شده است. این موضوع با



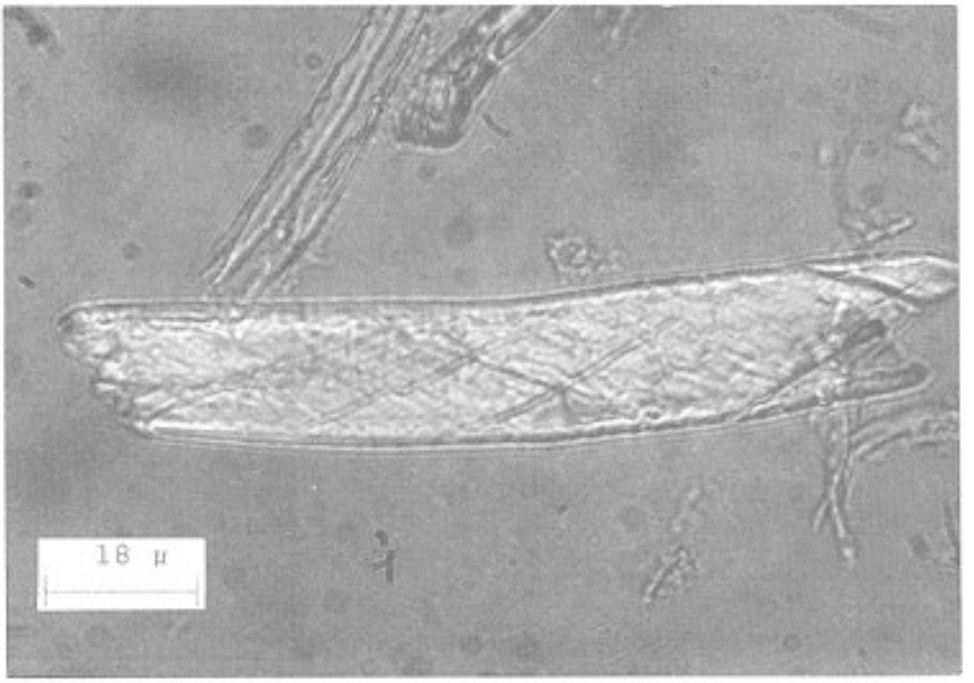
شکل ۸- نمودار تغییر درصد رطوبت بازیافتی پارچه‌های پنبه‌ای عمل‌آوری شده با سلولاز بر حسب زمان: (■) رطوبت بازیافتی، (•) ۹۵٪، و حدود اطمینان و (X) ۹۵٪، حدود اطمینان.



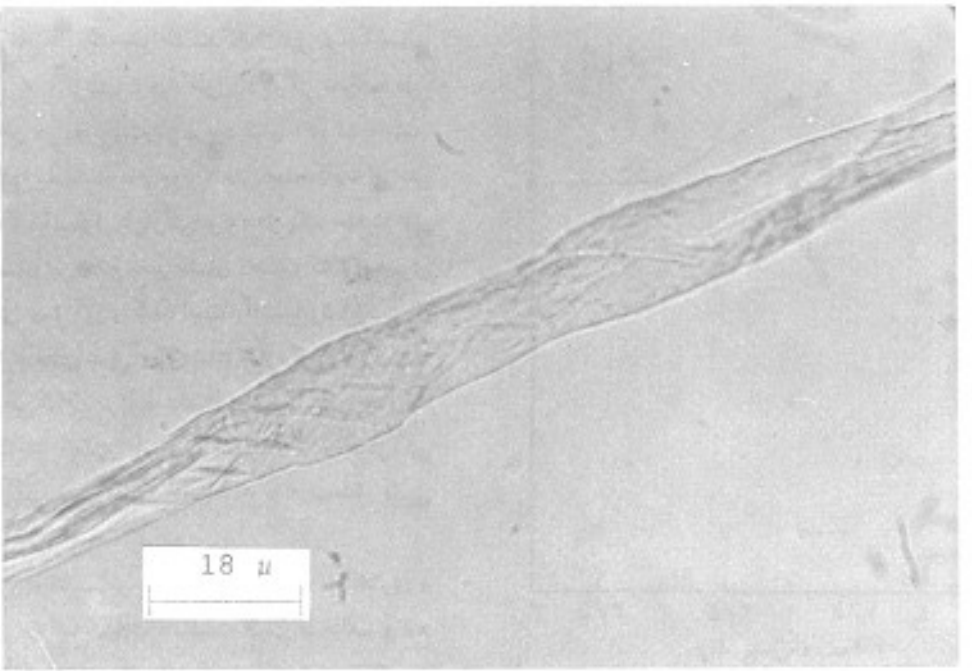
شکل ۹ـ عکس میکروسکوپی خرده ریزه‌های الیاف بر جای مانده از اثر سلولاز بر پارچه پنبه‌ای.



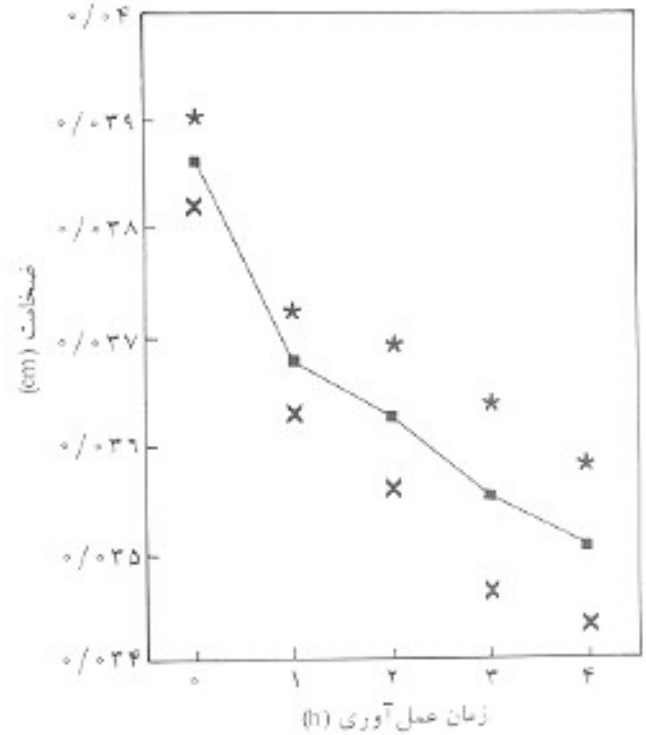
شکل ۱۰ـ عکس میکروسکوپی تکه‌ای از لیف جداشده از پارچه با شکافهای کناری.



شکل ۱۱ـ عکس میکروسکوپی تکه‌ای کامل از لیف جداشده از پارچه با شکافهای سطحی.



شکل ۱۲ـ عکس میکروسکوپی شکافهای ارزیی لیف پارچه پس از دو ساعت عمل‌آوری.

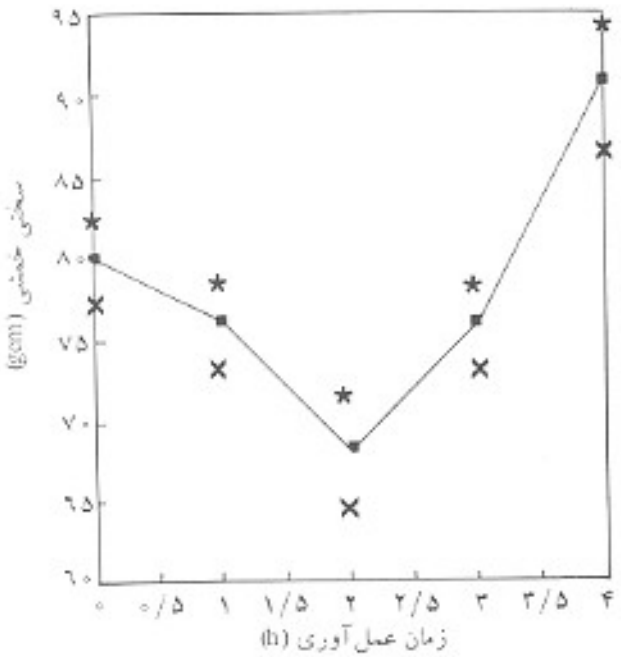


شکل ۱۳ـ نمودار تغییر ضخامت پارچه‌های پنبه‌ای عمل‌آوری شده با سلولاز بر حسب زمان: (■) ضخامت، (•) ۹۵٪ ـ حدود اطمینان و (X) ۹۵٪ ـ حدود اطمینان.

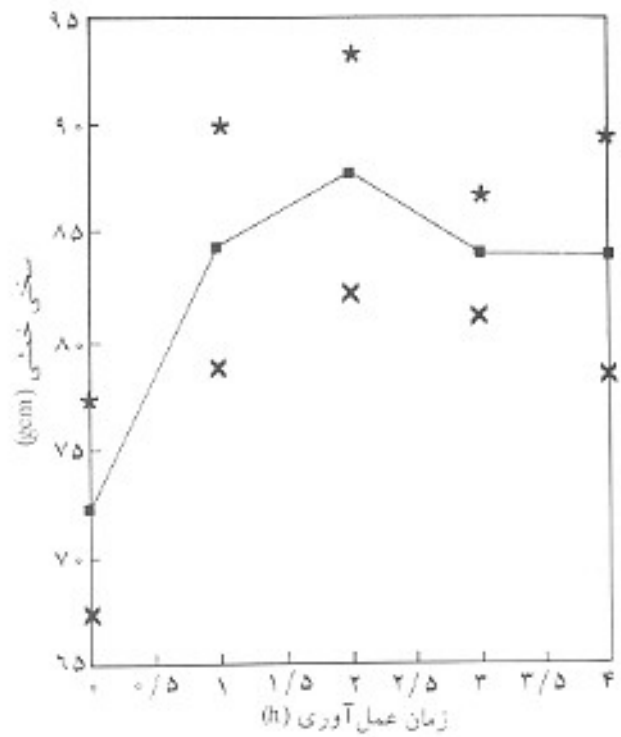
عکسهای میکروسکوپی که بعداً ارائه خواهد شد کاملاً قابل توجیه است.

در شکلهای ۶ و ۷ به ترتیب ازدیاد طول تا پارگی نمونه‌ها طی مدت عملیات زیست‌تراش در دو جهت تار و پود نشان داده شده است. همان‌طور که از این شکلها پیداست، با وجود کاهش استحکام با افزایش مدت زمان عمل‌آوری، ازدیاد طول تا پارگی پوپژه در یک ساعت اول چندان تغیری نکرده است. این عدم تغییر نشان دهنده کشش‌پذیری (extensibility) پارچه‌های عمل‌آوری شده است. آلمدیا [۱۵] نیز به این کشش‌پذیرتر شدن پارچه‌های عمل‌آوری شده اشاره کرده و آن را به زدوده شدن مناطق خارجی الیاف مربوط دانسته است. در هر حال با توجه به ناپایدار بودن ساختار ابعادی پارچه در عملیات تر و گستردگی توزیع ازدیاد طول تا پارگی، نمی‌توان بدون تجزیه و تحلیل دقیق مکانیکی اظهارنظر قطعی کرد.

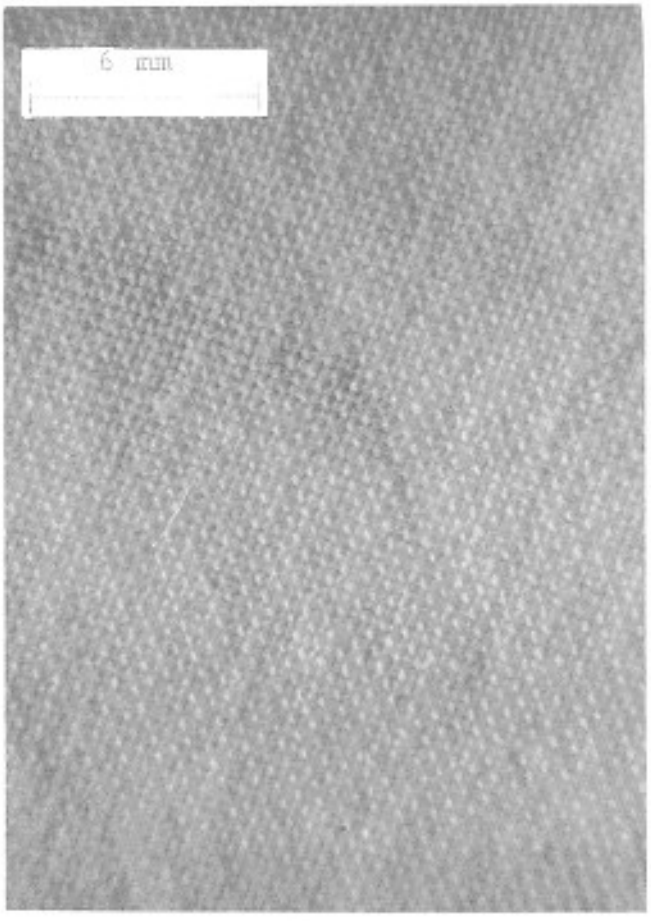
یکی از مهمترین عوامل مؤثر در ارزیابی تغییرات ساختاری و شکل‌شناختی مواد سلولزی، که تحت عملیات قبلی مختلف واقع شده‌اند، رطوبت بازیافتی است. در آزمایشهای انجام شده رطوبت بازیافتی در اثر آبکافت آنزیمی کاهش یافته است. شکل ۸ نشان می‌دهد که در یک ساعت اول آبکافت آنزیمی، رطوبت بازیافتی کاهش می‌یابد، ولی پس از یک ساعت، رطوبت بازیافتی ثابت باقی می‌ماند.



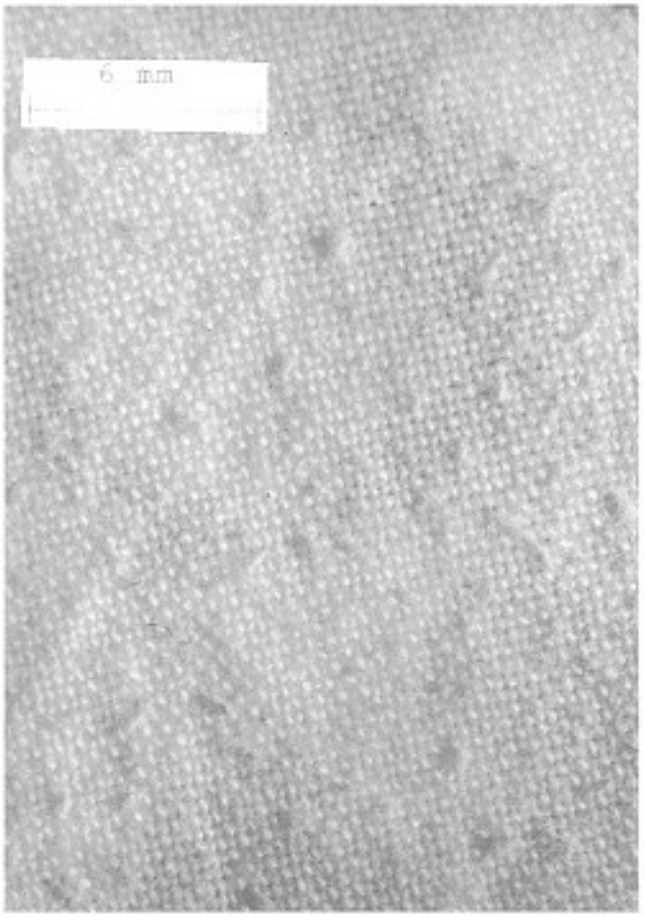
شکل ۱۴ـ نمودار تغییرات سختی خمشی پارچه‌های پنبه‌ای عمل‌آوری شده با سلولاز در جهت تار بر حسب زمان: (■) تار، (•) ۹۵٪ ، حدود اطمینان و (X) ۹۵٪ ـ حدود اطمینان.



شکل ۱۵ـ نمودار تغییر سختی خمشی پارچه‌های پنبه‌ای عمل‌آوری شده با سلولاز درجهت‌پود برحسب‌زمان: (■) پود، (•) ۹۵٪ ـ حدود اطمینان و (X) ۹۵٪ ـ حدود اطمینان.



(ب)



(الف)

شکل ۱۲- عکس سطح نمونه‌ای از پارچه: (الف) پیش از عمل آوری و (ب) پس از عمل آوری به مدت یک ساعت با ۳٪ سلولاز پس از شستشوهای مکرر.

کاهش یافتن رطوبت بازیافتی را به خارج شدن مناطق قابل دسترس در سلولوز (واحی بی‌نظم و دارای نقص بلوری) توسط آبکافت آنزیمی مربوط دانسته‌اند [۱۵،۲۳].

فعالیت آنزیم سلولاز را می‌توان بخوبی با مشاهده الیاف ریز حاصل از آبکافت پارچه پنبه‌ای در محلول مشخص کرد. خرده ریزه‌های الیاف برای نمونه پارچه‌ای که در محلول بافر بدون آنزیم قرار گرفت مشاهده نشد.

در اثر آبکافت آنزیمی بخشهایی از لیفهای سطحی ضعیف می‌شود و در اثر تکانهای ناشی از حرکت مکانیکی، فشار وارد آمده بر این نقاط باعث جداشدن این بخشها از پارچه می‌شود. شکل ۹ عکس این خرده ریزه‌های الیاف را نشان می‌دهد.

همان طور که از شکلهای ۱۰ و ۱۱ پیداست، جاکها و شکافهای کناری و سطحی را می‌توان بر پیکره این الیاف مشاهده کرد. برخی از شکافها به قدری عمیق است که تا مجرای وسطی (lumen) پنبه پیش رفته است.

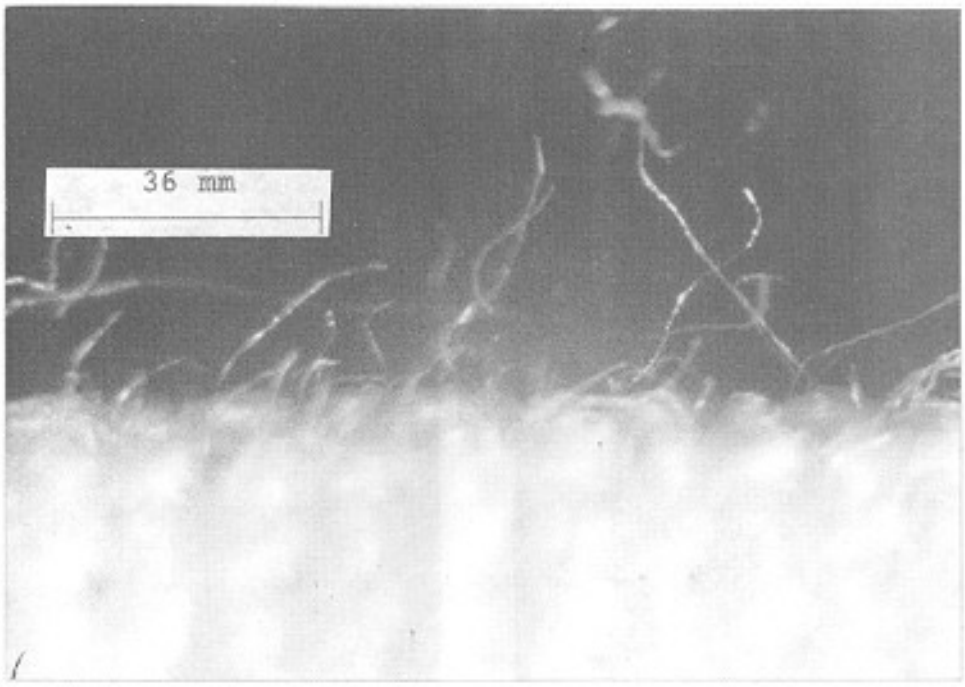
در عکس الیاف پارچه‌های پنبه‌ای عمل آوری شده نیز جاکها و شکافهای ازیی مشاهده می‌شود (شکل ۱۲). به نظر می‌رسد که این جاکها و شکافها باعث کاهش زودرس استحکام پارچه شده است.

شکل ۱۳ تغییرات ضخامت نمونه پارچه‌های عمل آوری شده

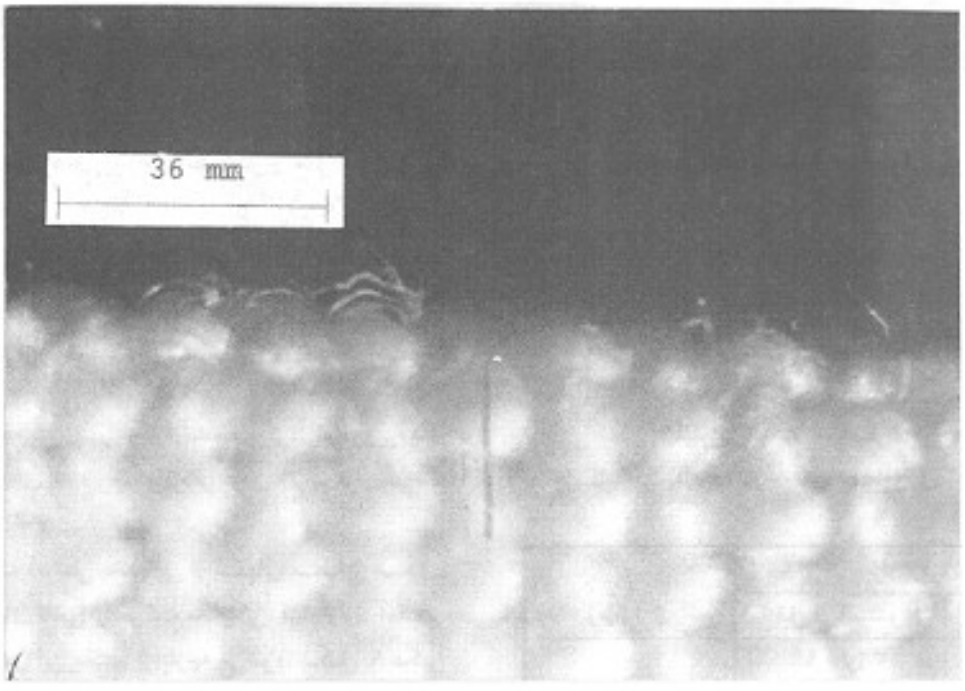
جدول ۳- میزان زیری پارچه‌های عمل آوری شده با آنزیم سلولاز ۳٪

زمان (h)	میزان زیری (μm)	
	قبل از شستشو	بعد از شستشو
۰	۳۲/۰۹۲	۳۹/۷۵
۱	۲۹/۱۱	۳۷/۸۱
۲	۳۰/۳۴	۳۸/۶۶
۳	۲۸/۱۹	۲۹/۵۳
۴	۲۹/۴۴	۳۷/۵۶

* نمونه شاهد



(الف)



(ب)

شکل ۱۷ـ اثر عمل‌آوری با سلولاز بر پرزهای سطحی پارچه پنبه‌ای: (الف) پیش از عمل‌آوری، (ب) پس از عمل‌آوری به مدت یک ساعت با آنزیم سلولاز ۳٪.

جدول ۴ - نتایج آزمون پرزدهی پارچه‌های با عمل‌آوری و بدون آن در دو حالت قبل و بعد از شستشو در ماشین لباسشویی خانگی.

نوع نمونه	تعداد دور سایش		
	۱۲۵ دور	۵۰۰ دور	۲۰۰۰ دور
	نتایج آزمون پرزدهی		
شاهد	۳/۵	۳	۲/۵
عمل‌آوری شده*	۵	۵	۵
پس‌ازدوساعت شستشو			
نمونه شاهد	۳	۲/۵	۲
عمل‌آوری‌شده*	۵	۵	۵

* عمل‌آوری نمونه به مدت یک ساعت با آنزیم سلولاز ۳٪ صورت گرفته است.

را بر حسب زمان عملیات زیست‌تراش نشان می‌دهد. همان‌طور که از این شکل پیداست با گذشت زمان، ضخامت پارچه کاهش می‌یابد. این میزان کاهش ضخامت، در یک ساعت اول عمل‌آوری حدود ۵٪ و در چهار ساعت حدود ۹٪ نسبت به ضخامت اولیه پارچه است. این کاهش ضخامت خود نشان دهنده عمل آبکافت سطحی پارچه و سبکتر شدن آن است. به نظر می‌رسد که کاهش ضخامت ممکن است به علت ایجاد الیاف خردشده کوتاه درون ساختار پارچه باشد که خود منشا تغییرات خواص خمشی پارچه خواهد بود.

نمودار تغییرات سختی خمشی در جهت تار با زمان در شکل ۱۴ نشان داده شده است. همان‌طور که از این نمودار پیداست سختی خمشی در جهت تار طی دو ساعت نخست زمان عمل‌آوری کاهش می‌یابد.

نمودار تغییرات سختی خمشی در جهت پود با زمان در شکل ۱۵ ارائه شده است. سختی خمشی در پود در یک ساعت اول افزایش و در ساعات بعد ثابت باقی می‌ماند. عمل آبکافت آنزیمی و خارج کردن الیاف خارجی از یک سو و عمل مکانیکی وارد شده بر نمونه‌های پارچه از سوی دیگر، موجب این رفتار خاص شده است. با توجه به کاسته شدن طول خمشی و سختی خمشی می‌توان بهبود خواص زیردست پارچه را پیش‌بینی کرد.

درجدول ۳ مقادیر مربوط به آزمایش زبری ارائه شده است. نتایج به پارچه‌های عمل‌آوری شده با آنزیم سلولاز ۳٪ در زمانهای مختلف قبل و بعد از شستشوهای مکرر مربوط است.

نتایج حاصل از آزمایش پرزدهی پارچه‌های عمل‌آوری شده به‌مدت یک ساعت و عمل‌آوری نشده قبل و بعد از شستشو در جدول ۴ آورده شده است. اشاره می‌شود که برای نشان دادن میزان پرز از اعداد ۱ تا ۵ استفاده می‌شود که عدد ۱ مربوط به بیشترین پرزدانه و عدد ۵ نبود پرزدانه را نشان می‌دهد. این‌گونه امتیازدادن مطابق استاندارد SN ۱۹۸۵۲۵ [۱۳] است.

در شکلهای ۱۶ الف و ب به ترتیب عکس سطح پارچه‌های پیش از عمل‌آوری و پس از عمل‌آوری با آنزیم سلولاز (پس از آزمایش ایجاد پرزدانه) نشان داده شده است. هر دو نمونه پارچه به مدت دو ساعت در ماشین لباسشویی شستشو شده و در دستگاه مارتین‌دیل با ۲۰۰۰ دور مورد سایش قرار گرفته‌اند. در مرحله بعد از سطح آنها عکس‌برداری شد. با توجه به عکسها می‌توان نتیجه گرفت که عمل آبکافت سطحی آنزیمی بطور قابل ملاحظه‌ای تمایل به ایجاد پرزدانه در سطح پارچه را کم می‌کند. این خاصیت به صورت دایمی در پارچه باقی می‌ماند. همان‌طور که از شکل ۱۷ می‌توان دریافت، علت این امر زدوده شدن پرزها و الیاف بیرون زده (fuzz) از سطح پارچه است. برطبق نظر کوک [۲۴]، این پرزها سطحی‌اند که در اثر مالش در هم رفته و پرزدانه ایجاد می‌کنند. پس با این عمل عامل بالقوه تشکیل پرزدانه از بین می‌روند.

نتیجه‌گیری

برای زیست‌تراش پارچه، از یک فرایند آنزیمی استفاده شد. بدین ترتیب که نمونه‌هایی از پارچه با سلولاز تجارتی در شرایط مناسب عمل‌آوری و ملاحظه شد که خواص پارچه در اثر این عملیات کاملا دگرگون می‌شود. در اثر این عملیات ضخامت، سختی خمشی، زبری، رطوبت بازیافتی و تمایل به ایجاد پرزدانه در پارچه کاهش می‌یابد. این عملیات باعث کاهش استحکام پارچه در اثر بوجود آمدن شکاف و چاکهایی در سطح الیاف می‌شود. آنزیمها، به علت وزن مولکولی زیاد، ابتدا به سطح خارجی الیاف حمله می‌کنند. ولی، این واکنش فقط به سطح بیرونی محدود نمی‌شود و سطوح داخلی را نیز در برمی‌گیرد که با افزایش زمان این تاثیر بیشتر می‌شود. در هر حال با انتخاب شرایط مناسب می‌توان از مزایای زیست محیطی این‌گونه عملیات بهره جست و روشهایی را بکار گرفت که کمترین صدمه را به الیاف وارد کنند.

مراجع

1 Gerhartz W.; *Enzymes Indusrty*; Weinheim and VCH, New York, 1990.

2 Hempel W. H.; *Int . Text. Bull.*; 5-14, March 1991.

3 Gacesa P. and Hubble J.; *Enzyme Technology*; Open University, New York, 1987.

4 Finch P. and Roberts J. C.; *Cellulose Chemistry and It's Application*; Nevell T. P. and Seronian S. H. (Eds.), Ellis Horwood, London, 1987.

5 Fan L.T. and Lee Y. H.; *Advances in Biochemical*

Engineering; Fiechter A. (Ed.), **17**, Springer-Verlag, Berlin 101-129, 1980.

6 Okazaiei M. and Moo-Young M.; *Biotech. Bioeng.*; **20**, 637-663, 1978.

7 Ghose T. K. and Bisaria V. S.; *Biotech. Bioeng.*; **21**, 131-146, 1979.

8 Clarke D.; *Int. Dyer*; 20-21, July 1993.

9 Tassinari T. and Macy Ch.; *Biotech. Bioeng.*; **19**, 1321-1330, 1977.

10 Bazin J. and Sasserod S.; *Text. Praxis Int.*, 972-975, October 1992.

11 Asferg L. O. and Videback T.; *Int. Text. Bull.*; 5-8, February, 1990.

12 Olson L.; *American Dyestuff Reporter*; **77**, 5, 19-23, 1988.

13 Pedesen G. L., Screws JR. G. A. and Cedroni C. M.; *Canad. Text. J.*; 31-35, December 1992.

14 Mori R., Haga T. and Takagishi T.; *J. Appl. Polym. Sci.*; **45**, 1869-1872, 1992.

15 Almedia L. and Cavaco-Paulo A.; *Melliand Textilberichte*; **74**, 404-407, 1993.

16 Koo H., Ueda M., Wakida T., Yoshimura Y. and Igarashi T.; *Textile Res. J.*, **64**, 70-74, 1994.

17 Kumar A., Purtell Ch. and Lepola M.; *Textile Chemist and Colorist*; **26**, 10, 25-28, 1994.

18 Bradford M. M.; *Anal. Biochem.*; **72**, 248-254, 1976.

19 Yazdi M. T., Woodward J. R. and Radford A.; *Enzyme Microb. Technol.*; **12**, 116-119, 1990.

20 Analytical Method, Novo Industry, AF No. 187.2/1-GB, August 1982.

۲۱ - دیوشلی آذر، دستور کار آزمایشگاه فیزیک الیاف، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نساجی.

22 Ramgulam R. B., Amirbayat J. and Porat I.; *J. Text. Institute*; 99-106, December 1992.

23 Paralikar K. M. and Bhatawdekar S. P.; *J. Appl. Polym. Sci.*; **29**, 2573-2580, 1984.

24 Cooke W. D.; *J. Text. Institute*; **74**, 3, 101-108, 1987.