زیست‌پرداخت پارچه‌های پنبه‌ای در مرحله آهارگیری آنزیمی

Biopolishing of Cotton Fabrics in Enzymatic Desizing Process

اکبر خدامی، حسین عاشوری کجیدی
دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی نساجی
دریافت: ۷۷/۳/۲۸، پذیرش: ۷۷/۱۱/۴

چکیده

در این پژوهش، امکان انجام عملیات زیست‌پرداخت پارچه‌های پنبه‌ای بطور همزمان در مرحله آهارگیری با سه روش متفاوت بررسی شد. بدین منظور در روش اول، آنزیمهای سلولاز به حمام آهارگیری اضافه شدند. در روش دوم، برای ارزیابی آثار هیدرولیز آنزیمی بر خصوصیات پارچه، نمونه‌ها پس از آهارگیری هیدرولیز شدند و در روش سوم نیز نمونه‌ها مطابق روش متداول زیست‌پرداخت، پس از آهارگیری، پخت و سفیدگری هیدرولیز شدند.

آثار این فرایند با اندازه‌گیری مقدار کاهش وزن، نیروی پارگی نخهای تار و پود، میزان سفیدی و تهیه عکسهای میکروسکوپی ارزیابی شد. از نتایج آزمایشها معلوم می‌شود که تقدم هیدرولیز بر سفیدگری اثر منفی بر سفیدی کالای تکمیل شده ندارد و در هر سه روش نمونه‌ها زیست‌پرداخت می‌شوند و تراکم و ارتفاع پرزها نسبت به نمونه شاهد کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: زیست‌پرداخت، سلولاز، آهارگیری، آمیلاز، پارچه پنبه‌ای
Key Words: biopolishing, cellulase, desizing, amilase, cotton fabric

مقدمه

زیست‌پرداخت عملیاتی است که برای تکمیل منسوجات سلولوزی بکار می‌رود. در این زمینه مقاله‌هایی به زبان فارسی به چاپ رسیده است [۳-۱] یا در زیر چاپ است [۴]. در این عملیات کالاهای سلولوزی به وسیله آنزیمهای سلولاز به صورت کنترل شده هیدرولیز (آبکافت) می‌شوند. شدت هیدرولیز الیاف به وسیله آنزیمهای سلولاز به ماتریسی از مواد و ناخالصیها بستگی دارد که سلولوز را دربرگرفته‌اند. از این رو، در اکثر مقاله‌ها بهترین مرحله برای انجام زیست‌پرداخت پارچه‌های پنبه‌ای، پس از عملیات سفیدگری پیشنهاد شده است [۱۰-۵].

در کاربردهای صنعتی، درنظر گرفتن یک مرحله جداگانه برای زیست‌پرداخت مقدور و شاید مقرون به صرفه نباشد. از این رو، اگر بتوان عملیات آهارگیری و زیست‌پرداخت را بطور همزمان انجام داد، نه تنها یک مرحله اضافی در خط تولید لازم نخواهد بود، بلکه، همان‌طور که در بخش تجربی نیز بیان می‌شود، مراحل شستشو و آبکشی کالا نیز کاهش می‌یابد. افزون بر این، اگر آهار گرفته شده از کالا در حمام آهارگیری بحدی نرسد که تعویض محلول مورد استفاده لازم باشد، آنگاه به دلیل قابلیت کاربرد آنزیمها در فرایندهای پیوسته می‌توان از آن حمام دوباره استفاده کرد. ازسوی‌دیگر، برای خنثی‌سازی آنزیمهای سلولاز و جلوگیری از هیدرولیز بیش از حد پارچه لازم است دما یا pH محیط واکنش را افزایش داد. در روشهای معمول تکمیل مقدماتی کالاهای پنبه‌ای، پارچه پس از آهارگیری وارد مرحله پخت در pH قلیایی و دمای بالا می‌شود، در نتیجه خنثی‌سازی آنزیمها خود بخود انجام می‌شود و لزومی به تغییر شرایط هیدرولیز نخواهد بود. بدیهی است که در این صورت نباید کالا بین مرحله آهارگیری و پخت توقفی

جدول ۱ - خصوصیات پارچه مورد استفاده به عنوان سوبسترا.

نوع بافت	نمره نخ (انگلیسی)		تراکم (بر cm)		وزن	
	پود	تار	پود	تار	(g/m^2)	(g/m)
تافته	۲۰/۱	۲۰/۱	۲۲	۲۲	۱۵۱	۲۳۶

داشته باشد. در چنین حالتی در هزینه مربوط به گرمایش، آب مصرفی و دفع پساب نیز صرفه‌جویی خواهد شد.

دراین‌پژوهش، امکان‌وچگونگی انجام عملیات زیست‌پرداخت در مرحله آهارگیری آنزیمی بررسی شده است.

تجربی

مواد

در این آزمایشها پارچه ۱۰۰ درصد پنبه‌ای باخصوصیات ارائه شده در جدول ۱ بکار برده شد. تمام مواد شیمیایی مصرفی بجز آنزیمهای مورد استفاده از درجه تجزیه‌ای و ساخت شرکت مرک بود. آنزیمهای سلولاز با نام تجاری پریمافست ۱۰۰ و آنزیمهای آمیلاز با نام تجاری ژنکور دسایز GC۲X محصول شرکت بین‌المللی ژنکور بود.

دستگاهها

هیدرولیز نمونه‌ها به وسیله دستگاه رنگرزی آهیاپلی‌مت انجام شد که با کامپیوتر، قابل کنترل بود. برای سنجش استحکام نمونه‌ها دستگاه ساخت شرکت زوئیک مدل ۱۴۴۶ و به منظور اندازه‌گیری میزان سفیدی نمونه‌ها از طیف نورسنج مدل تکس فلش ۲۰۰۰ ساخت شرکت دیتاکالر با نرم‌افزار Osiris استفاده شد.

عکسهای‌میکروسکوپی‌به وسیله میکروسکوپ نوری اپترونیک (A-Kruss) تهیه‌وبااستفاده‌ازنرم‌افزارکارت Video Bluster تصاویر ذخیره شد.

جدول ۲ - شرایط هیدرولیز نمونه‌ها.

غلظت آمیلاز (g/L)	۴
غلظت سلولاز (g/L)	۵
سطح فعال غیریونی (g/L)	۰/۵
pH(بافراستیک‌اسیدوسدیم‌هیدروکسید)	۵/۵
دما (°C)	۵۵
زمان واکنش (min)	۳۰
نسبت حجم محلول به وزن کالا (L/g)	۱/۲۰

جدول ۳ - مراحل انجام آزمایشها.

مرحله	روش		
	الف	ب	ج
۱	آهارگیری و هیدرولیز	آهارگیری	آهارگیری
۲	شستشو	شستشو	شستشو
۳	پخت و سفیدگری	هیدرولیز	پخت‌وسفیدگری
۴	شستشو	شستشو	شستشو
۵	-	پخت‌وسفیدگری	هیدرولیز
۶	-	شستشو	شستشو

روشها

هدف از این پژوهش، بررسی امکان انجام عملیات زیست‌پرداخت در مرحله آهارگیری آنزیمی است، زیرا در این حالت ضرورتی برای درنظر گرفتن یک مرحله جداگانه برای هیدرولیز آنزیمی وجود ندارد. برای رسیدن به این هدف باید امکان زیست‌پرداخت پارچه در حمام آهارگیری بررسی شود. به علاوه، مسئله حفظ فعالیت آنزیمهای سلولاز در مجاورت آنزیمهای آمیلاز و امکان برهم‌کنش این دو آنزیم نیز باید مورد مطالعه قرار گیرد. به منظور بررسی اثر آنزیمهای آمیلاز بر شدت هیدرولیز سلولوز، نمونه‌هایی از پارچه پس از سفیدگری در شرایط ارائه شده در جدول ۲ آزمایش شدند. آزمایشهای دیگری نیز روی نمونه‌های پارچه خام انجام شد که شرح آنها در جدول ۳ آمده است.

برای نمونه‌های آزمایش شده در شرایط ستون الف جدول ۳، هیدرولیز آنزیمی و آهارگیری بصورت همزمان مطابق شرایط مندرج در جدول ۲، ولی بمدت min ۶۰ انجام گرفت. این نمونه‌ها بعد از شستشو، پخت و سفیدگری شدند. چگونگی عملیات‌پخت و سفیدگری در جدول۴ ارائه شده است. همان گونه که در مقدمه اشاره شد، بهتر است زیست‌پرداخت پس از سفیدگری انجام شود. یعنی، نمونه‌های

جدول ۴ - شرایط پخت و سفیدگری.

آب اکسیژنه ۳۵ درصد (mL/L)	۴
سدیم هیدروکسید (g/L)	۰/۵
سدیم کربنات (g/L)	۰/۵
سدیم سیلیکات (۷۲° Tw) (g/L)	۱/۶
دما (°C)	۹۵
زمان واکنش (min)	۱۲۰
نسبت حجم محلول به وزن کالا (L/g)	۱/۳۰

• Tw: مخفف مقیاس Twaddell است که برای تعیین جرم مخصوص محلولها بکار می‌رود.

جدول ۵ - شرایط آهارگیری و هیدرولیز آنزیمی.

شرایط آزمایش	آهارگیری	هیدرولیز آنزیمی
	آمیلاز	سلولاز
غلظت آنزیم (g/L)	۴	۵
سطح فعال غیریونی (g/L)	۰/۵	۰/۵
pH (بافر استیک اسید و سدیم هیدروکسید)	۵/۵	۵/۵
دما (°C)	۵۵	۵۵
زمان واکنش (min)	۳۰	۳۰
نسبت حجم محلول به وزن کالا (L/g)	۱/۲۰	۱/۲۰

پارچه خام ابتدا آهارگیری شده، سپس پخت و سفیدگری شوند و سرانجام در واکنش هیدرولیز آنزیمی شرکت کنند. این روش متداولی است که در صنعت پذیرفته شده و بکار می‌رود. برای مقایسه آثار هیدرولیز در این روش با روشی که پارچه بطور همزمان هیدرولیز و آهارگیری می‌شود، نمونه‌هایی مطابق شرایط مشخص شده در ستونهای ب و ج جدول ۳ مورد آزمایش قرار گرفتند. نمونه‌های ستون ج مطابق شرایط معمول، یعنی بعد از سفیدگری، زیست‌پرداخت شدند. بر اثر آهارگیری مواد حاصل از تجزیه آهار وارد محیط آزمایش می‌شوند. برای تحقیق در خصوص اثر این مواد بر شدت هیدرولیز آنزیمی و بررسی دقیقتر نتایج بدست آمده، نمونه‌هایی نیز مطابق شرایط نشان داده شده در ستون ب آزمایش شدند. نحوه آهارگیری و هیدرولیز آنزیمی نمونه‌ها در جدول ۵ مشخص شده است.

اثر هیدرولیز بر خصوصیات پارچه

اثر هیدرولیز بر خواص نمونه‌های مختلف با اندازه‌گیری مقدار کاهش وزن، نیروی پارگی نخهای تار و پود، میزان سفیدی و تهیه عکسهای میکروسکوپی ارزیابی شد.

کاهش وزن به وسیله توزین هر نمونه قبل و بعد از واکنش، پس از اینکه به مدت ۴ h در دمای ۱۰۵ °C خشک گردید، محاسبه شد. اندازه‌گیری نیروی پارگی نخهای تار و پود مطابق استاندارد ASTM D۲۲۵۶ انجام گرفت، اما به دلیل اینکه نمونه‌های نخ از پارچه جدا می‌شد فاصله فکها به ۵۰ mm کاهش داده شد. مقایسه سفیدی نمونه‌ها با استفاده از طیف نورسنج با اندازه‌گیری میزان انعکاس از نمونه‌ها و محاسبه مقدار سفیدی و ته‌رنگ (tinting effect) طبق فرمول CIE۱۹۸۴ انجام گرفت. برای ایجاد یک محیط پشت پوش نوری هر نمونه به اندازه‌ای تا زده شد تا هیچ نوری از آن منتقل نشود.

با استفاده از میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی ۴۰ برابر، عکسهایی از پارچه تهیه شد. هدف از تهیه این عکسها، مشاهده اثر زیست‌پرداخت بر کاهش پرزهای سطح پارچه بود.

اندازه‌گیری مقدار آهار روی پارچه

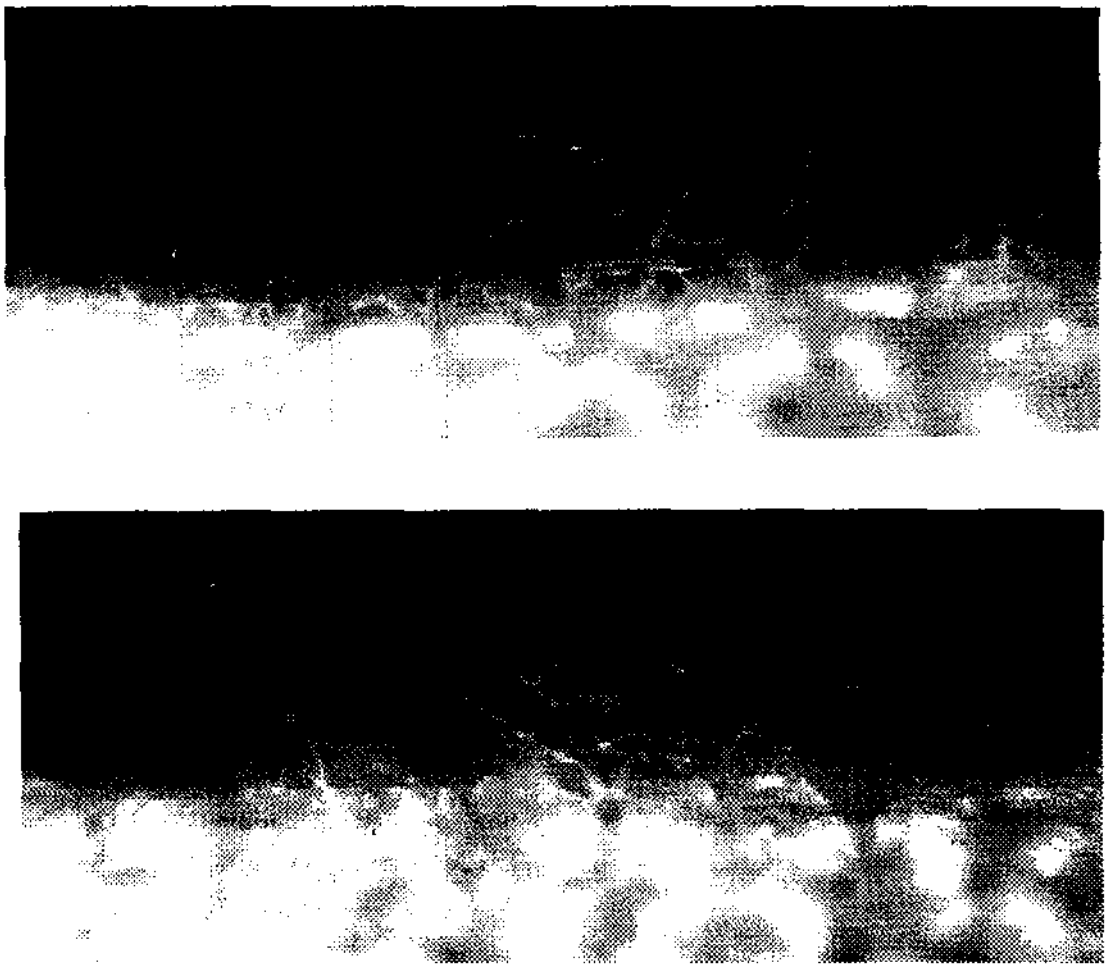
با استفاده از پتاسیم یدید و ید، محلول معرف نشاسته تهیه شد. برای آزمایش به پارچه‌های مرطوب چند قطره معرف اضافه شد. در صورت وجود آهار روی پارچه رنگ آبی و در صورت عدم وجود نشاسته رنگ زرد ظاهر می‌شد. مقدار نشاسته موجود متناسب با رنگ حاصل نسبت به نمونه خام و نمونه سفیدگری شده در مقایسه با رنگهای مقیاس تگوا به صورت درجه تگوا اندازه‌گیری شد. این مقیاس از شرکت BASF تهیه شده است [۱۱].

نتایج و بحث

زیست‌پرداخت پارچه‌های پنبه‌ای در صنعت بطور معمول پس از عملیات آهارگیری، پخت و سفیدگری انجام می‌شود. پس از انجام سفیدگری، پارچه پنبه‌ای از ناخالصیهای موجود در لیف و مواد آهاری عاری می‌شود و می‌توان چنین ادعا کرد که سلولوز نسبتا خالص در دسترس قرار می‌گیرد. در این مرحله لیف پنبه‌ای مستعد زیست‌پرداخت است و ناخالصیها نمی‌توانند هیدرولیز آنزیمی الیاف را تحت تاثیر قرار دهند. در مورد نمونه‌هایی که در جدول ۳ در ستون ج مشخص شده‌اند، مطابق این روش (آهارگیری، پخت و سفیدگری و هیدرولیز آنزیمی) عمل شده است. کاهش وزن این نمونه‌ها و نمونه‌های

جدول ۶ - درصد کاهش وزن نمونه‌های مشخص شده در جدول ۳.

نمونه‌های ستون الف		نمونه‌های ستون ب		نمونه‌های ستون ج	
مرحله	درصد کاهش وزن	مرحله	درصد کاهش وزن	مرحله	درصد کاهش وزن
آهارگیری و هیدرولیز	۷/۰۸	آهارگیری	۶/۱	آهارگیری	۶/۱
پخت و سفیدگری	۲/۶۴	هیدرولیز	۱/۰۳	پخت و سفیدگری	۳/۱۸
		پخت و سفیدگری	۲/۴۷	هیدرولیز	۰/۳۹
کاهش وزن کل	۹/۷۲	کاهش وزن کل	۹/۶	کاهش وزن کل	۹/۶۷



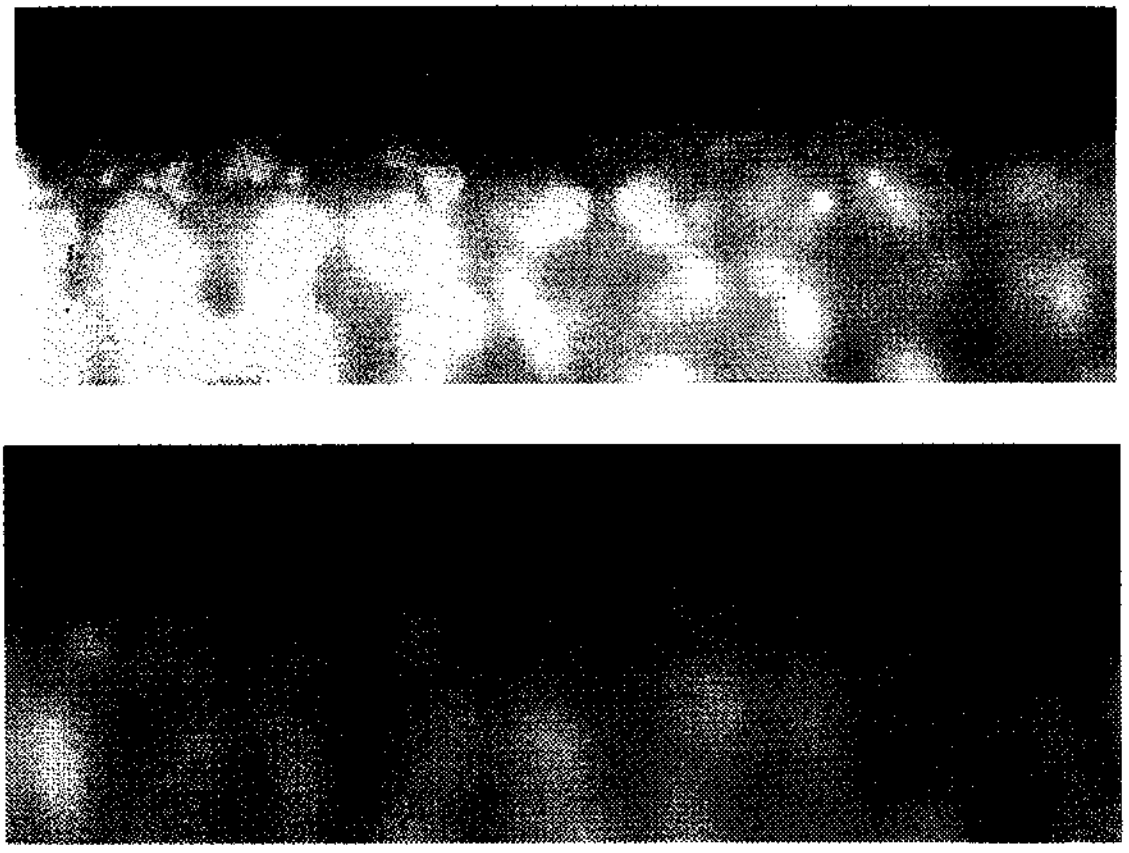
شکل ۱ - عکس میکروسکوپی (با بزرگنمایی ۴۰) نمونه‌های شاهد.

ستون ب (آهارگیری، هیدرولیز و پخت و سفیدگری) بر اثر آهارگیری ۶/۱ درصد است. کاهش وزن نمونه‌های ستون الف در مرحله‌ای که بطور همزمان آهارگیری و هیدرولیز شده‌اند، ۷/۰۸ درصد است. بنابراین، ملاحظه می‌شود که در این نمونه‌ها کاهش وزن حدود ۱ درصد بیشتر است (جدول ۶). این مقدار را نمی‌توان بطور قطعی بر اثر پرززدایی سطح پارچه بر اثر زیست‌پرداخت کالا دانست، زیرا این امکان وجود دارد که این مقدار ناشی از گرفته شدن آهار باشد. برآورد میزان آهار با مقیاس تگوا، (جدول ۷) مشخص می‌سازد که میزان آهار گرفته شده از نمونه‌های ستون الف بیش از نمونه‌های عمل شده مطابق روش ستون ب است و این در شرایطی است که آهارگیری و هیدرولیز نمونه‌های ستون ب بطور مجزا و طی دو مرحله جداگانه انجام شده است، ولی نمونه‌های ستون الف بطور همزمان آهارگیری و هیدرولیز شده‌اند. این نتیجه از آن جهت بدیهی بنظر می‌رسد که برای این نمونه‌ها زمان آهارگیری و تماس پارچه با آنزیمهای آمیلاز دو برابر بیشتر از دو روش دیگر بوده است. بنابراین، بامقایسه نتایج دو مرحله دیگر می‌توان مشخص کرد که چه مقدار به کاهش وزن ناشی از هیدرولیز آنزیمی و چه مقدار به زدودن ناخالصیها مربوط می‌شود.

نمونه‌های مجموعه ب پس از آهارگیری و شستشو، هیدرولیز شدند. کاهش وزن این نمونه‌ها بر اثر هیدرولیز ۱/۰۳ درصد است. نمونه‌های عمل شده مطابق ستون الف و ب پس از پخت و سفیدگری به ترتیب کاهش وزن کلی برابر ۹/۷۲ و ۹/۶ درصد دارند، ولی نمونه‌های ستون ج پس از آهارگیری، پخت و سفیدگری دارای کاهش

جدول ۷- برآورد مقدار آهار گرفته شده برحسب مقیاس تگوا.

نمونه	درجه تگوا
سفیدگری شده	۹
آهارگیری و هیدرولیز آنزیمی همزمان	۸
آهارگیری و هیدرولیز آنزیمی	۶
آهارگیری	۳
پارچه خام	۱



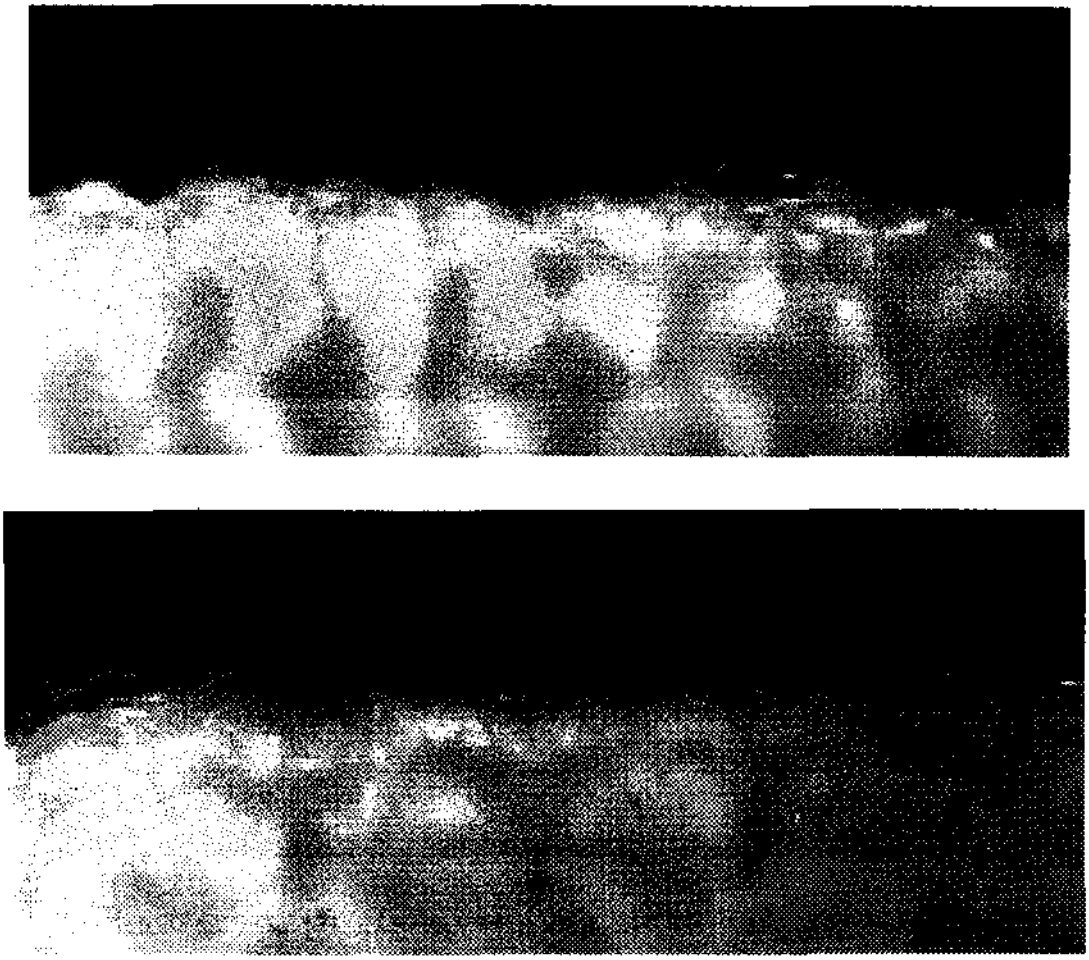
شکل ۲ - عکس میکروسکوپی (با بزرگنمایی ۴۰) اثر زیست‌پرداخت بر زدودن پرزها و الیاف سطح پارچه، نمونه‌های ستون ج (آهارگیری، پخت و سفیدگری و هیدرولیز آنزیمی).

وزنی معادل ۹/۲۸ درصدند. بنابراین، می‌توان چنین نتیجه گرفت که اختلاف این مقادیر، به کاهش وزن حاصل از زیست‌پرداخت نمونه‌ها مربوط می‌شود. کاهش وزن نمونه‌های مجموعه ج بر اثر هیدرولیز ۰/۳۹ درصد است که تقریبا با اختلاف مقادیر کاهش وزن مذکور برابر است. به منظور تایید این نتیجه نمونه‌هایی از پارچه پس از سفیدگری مطابق شرایط مندرج در جدول ۲ آزمایش شدند. کاهش وزن این نمونه‌ها که در مجاورت آنزیمهای آمیلاز هیدرولیز شده‌اند، نسبت به نمونه‌هایی که در محیط آزمایش آنها فقط آنزیمهای سلولاز وجود داشت، اندکی کمتر بود، ولی با انجام آزمون تی (t-test) و تعیین فاصله اطمینان ۹۰ درصد نمی‌توان بین آنها اختلاف معنی‌داری قائل شد. بنابراین، چنین بنظر می‌رسد که برهم‌کنش آنزیمهای سلولاز و آمیلاز درحدی نیست که زیست‌پرداخت پارچه‌های پنبه‌ای را تحت تاثیر قرار دهد.

کاهش وزن معیاری است که برای اندازه‌گیری شدت هیدرولیز آنزیمی پارچه‌های سلولوزی بکار می‌رود و مشخص شده است که برای حصول اثر زیست‌پرداخت، کاهش وزن مناسب برای اکثر پارچه‌ها بین ۳ تا ۵ درصد است [۶،۴،۳،۱]. نمونه‌هایی که در این پژوهش بررسی شدند بر اثر زیست‌پرداخت، حدود ۰/۳۵ درصد کاهش وزن داشتند. علت این پدیده را می‌توان ناشی از زمان کوتاه زیست‌پرداخت (۳۰ min) و کافی نبودن سایش مکانیکی دانست. زیرا، ثابت شده است که برای کامل شدن اثر هیدرولیز آنزیمی باید سایش مکانیکی بحدی باشد تا پرزهایی که بر اثر هیدرولیز تضعیف می‌شوند از سطح کالا جدا شوند [۵].

برای بررسی اثر هیدرولیز بر کاهش تراکم پرزهای سطح نمونه‌ها، عکسهای میکروسکوپی تهیه شدند که تعدادی از آنها در شکلهای ۱ تا ۴ ارائه شده‌اند. همان‌طور که از این شکلها پیداست، در هر سه روش نمونه‌ها زیست‌پرداخت شده و تراکم و ارتفاع پرزها کاهش یافته است، اما بنا به دلایلی که ذکر شد زمان هیدرولیز و سایش مکانیکی در حدی نبوده است که پرززدایی پارچه‌ها در حد مطلوب باشد.

اندازه‌گیری مقادیر سفیدی نمونه‌ها، همان‌گونه که از جدول ۸ پیداست، مشخص می‌کند که تقدم هیدرولیز بر عملیات سفیدگری اثر



شکل ۳- عکس میکروسکوپی (با بزرگنمایی ۴۰) اثر زیست‌پرداخت بر زدودن پرزها و الیاف سطح پارچه، نمونه‌های ستون ب (آهارگیری، هیدرولیز آنزیمی، پخت و سفیدگری).

منفی بر سفیدی کالای تکمیل شده ندارد.

نتایج اندازه‌گیری نیروی پارگی نخهای تار و پود در شکل ۵ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود نمونه‌هایی که بعد از سفیدگری، هیدرولیز شده‌اند (ستون ج) بیشترین کاهش استحکام را دارند. علت این پدیده آن است که ناخالصیهای غیرسلولوزی کالا از آن جدا شده است، بنابراین آنزیمهای سلولاز بهتر توانسته‌اند الیاف را هیدرولیز کنند. کاهش استحکام نمونه‌های الف بیشتر از نمونه‌های ب.

جدول ۸- درصد سفیدی و اثر ته‌رنگ نمونه‌ها.

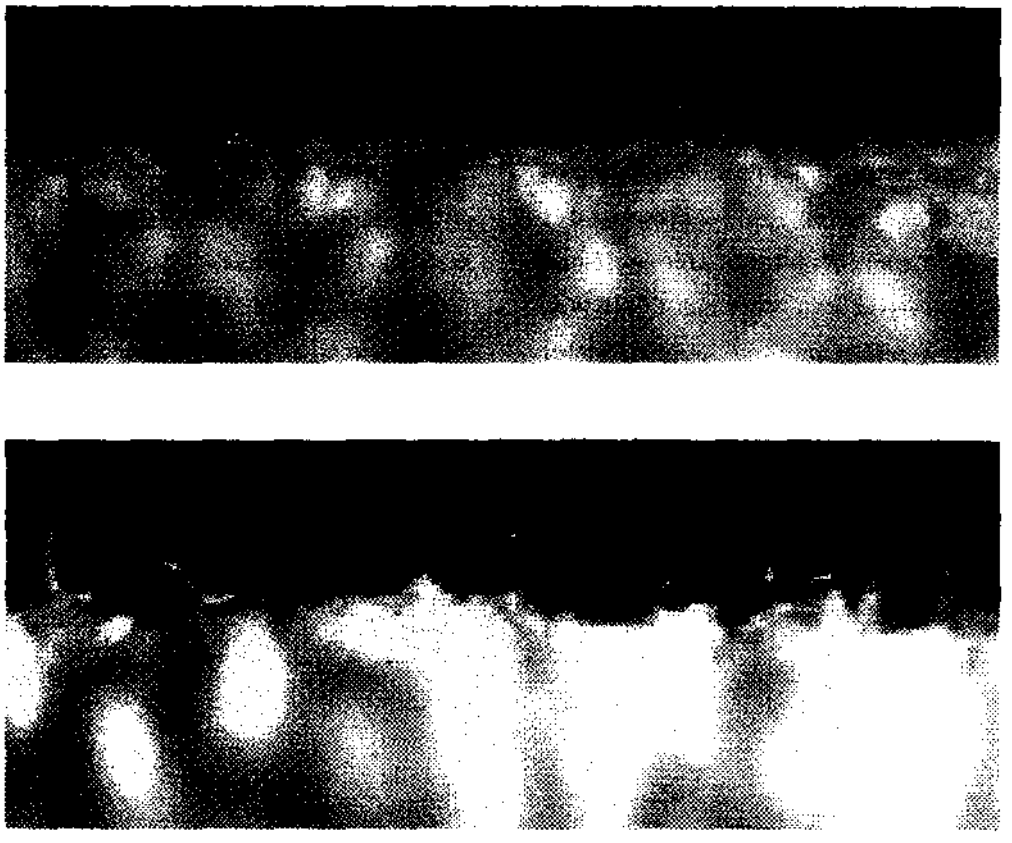
نمونه	درصد سفیدی	ته‌رنگ
الف	۵۷/۵۹	-۱/۹۵
ب	۵۹/۰۸	-۱/۷۷
ج	۵۴/۳۱	-۲/۳۹

* نمونه‌های الف، ب و ج مطابق جدول شماره ۳ است.

است، زیرا این نمونه‌ها به مدت بیشتری در تماس با آنزیمهای سلولاز بوده‌اند.

نتیجه‌گیری

آخرین مراحل تکمیل مقدماتی، بویژه پس از سفیدگری، مناسبترین مرحله برای زیست‌پرداخت پارچه‌های سلولوزی است. در این مرحله، پارچه از ناخالصیهای غیرسلولوزی و مواد آهاری عاری می‌شود و این مواد نمی‌توانند هیدرولیز آنزیمی را تحت تاثیر قرار دهند. اما، اگر درنظر گرفتن یک مرحله جداگانه برای زیست‌پرداخت در خط تکمیل مقدور نباشد، می‌توان این عملیات را در مرحله آهارگیری آنزیمی ادغام کرد. زیرا، نتایج آزمایشهای انجام شده نشان می‌دهد که آنزیمهای آمیلاز و سلولاز در مجاورت هم می‌توانند فعالیت خود را حفظ کنند. اگر شرایط عملیات آهارگیری از نظر pH و دما برای هیدرولیز

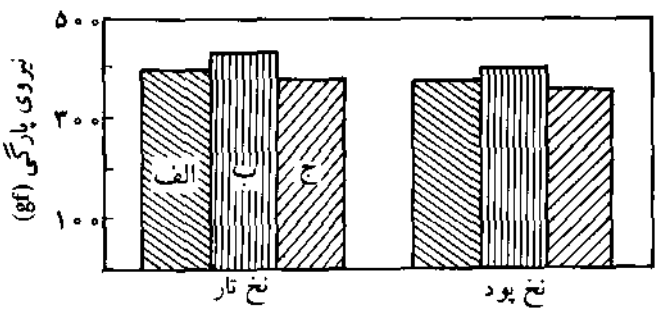


شکل ۴- عکس میکروسکوپی (با بزرگنمایی ۴۰) اثر زیست‌پرداخت بر زدودن پرزها و الیاف سطح پارچه، نمونه‌های ستون الف (آهارگیری و هیدرولیز آنزیمی همزمان، پخت و سفیدگری).

سلولولیتی مناسب باشد، در این مرحله می‌توان با اضافه کردن آنزیمهای سلولاز پارچه را زیست‌پرداخت کرد.

شرایط این عملیات ترکیبی باید به نحوی مناسب باشد که شدت هیدرولیز آنزیمی پارچه و سایش مکانیکی اعمال شده بتوانند آثار مطلوب فرایند زیست‌پرداخت را در پارچه‌ها بوجود آورد.

با ادغام عملیات زیست‌پرداخت پارچه‌های پنبه‌ای در مرحله آهارگیری آنزیمی می‌توان در مصرف انرژی، آب مصرفی و زمان صرفه‌جویی کرد.



شکل ۵- نیروی پارگی نخهای تار و پود نمونه‌های الف، ب و ج تهیه شده مطابق جدول ۳.

تشکر و قدردانی

از مسئولان محترم شرکت فنلاندی ژنن‌کور و کارخانه‌های ایران پوپلین رشت و بافت حریر سمنان، بویژه آقای مهندس قباکه در تهیه مواد برای این پژوهش همکاری کردند، صمیمانه قدردانی می‌شود.

مراجع

۱- مرشد محمد، خدامی اکبر، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال دهم، شماره ۳۸، صفحه ۲۵۱، ۱۳۷۶.

۲- خدامی اکبر، مرشد محمد، هوشیار شادی، شیشه‌بران مریم، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال یازدهم، شماره ۳۹، صفحه ۲۳، ۱۳۷۷.

۳- مرشدمحمد، خدامی اکبر، مجموعه مقالات کنفرانس علوم

و تکنولوژی نساجی، صفحه ۱۸۷، ۱۳۷۶.
۴ - خدامی اکبر، امیرشاهی سیدحسین، نورالدین مهرخ، اثر تابش میکروویو بر هیدرولیز پارچه‌های پنبه‌ای، این مقاله برای چاپ در مجله امیرکبیر پذیرفته شده است.
5. Klahorst S., Kumar A. and Mullins M. M.; *Text. Chem. Color.*; **26**, 2, 13-8, 1994.
6. Lenz J., Esterbauer H., Staller W., Schurz J. and Wrentschur E.; *J. Appl. Polym. Sci.*; **41**, 1315-26, 1990.
7. Pederson G. L., Screw G. A. and Cedron D. M.; *Can. Text. J.*; 31-5, December 1992.
8. Kumar A., Purtell C. and Lepola M.; *Text. Chem. Color.*; **26**, 10, 25-8, 1994.
9. Cavaco A. and Almeida L.; *Biocatalysis*; **10**, 353-60, 1994.
10. Chong C. L. and Yip P. C.; Am. Dyestuff Rep.; 54-9, March 1994.
11. Violettskala, fur die Beurteilung des Entschlichtungsgrades Starkegeschlichteter Gewebe, Verband der Textilhilfsmittel-, Lederhilfsmitted-, Gerbstoff-und Waschrohstoff-Industrie e.v., Verband TEGEWA, KarlstraBe 21, 6000 Frankfurt am Main, Ausgabe October 1981.