

# آبکافت آنزیمی پارچه پنبه - پلی استر با آنزیمهای لیپاز و سلولاز

Enzymatic Hydrolysis of Cotton-polyester Fabric by Using Lipase and Cellulase Enzymes

اکبر خدایمی\*، فرزانه علی حسینی، محمد مرشد

دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده نساجی، کدپستی ۸۴۱۵۴

دریافت: ۸۰/۱۰/۱۵، پذیرش: ۸۱/۳/۲۵

## چکیده

در این پژوهش آبکافت آنزیمی پارچه تهیه شده از مخلوط الیاف پنبه و پلی استر بررسی شده است. بدین منظور در مرحله اول آزمایشها، نمونه‌های پارچه با لیپاز در دو غلظت صفر و ۰/۵ گرم بر لیتر و در زمانهای مختلف آبکافت، سپس با آنزیمهای سلولاز در شرایط مناسب برای عملیات زیست پرداخت عمل آوری شده‌اند. در مرحله دیگر، ابتدا نمونه‌ها با سلولاز و بعد از آن با آنزیمهای لیپاز آبکافت شده‌اند. ارزیابی آثار آبکافت و تاثیر تقدم و تاخر کاربرد آنزیمهای لیپاز و سلولاز بر خواص پارچه با اندازه گیری کاهش وزن، جذب رطوبت، نیروی پارگی نخهای تار، رنگرزی نمونه‌ها و برداشت طیفهای FTIR انجام شده است. نتایج آزمایشها نشان می‌دهد که شدت آبکافت سلولولیتی و لیپولیتی متناسب با مقدار الیاف پنبه و پلی استر موجود در پارچه است. جذب رطوبت پارچه بر اثر عمل بافر قلیایی و لیپاز افزایش می‌یابد. اگر پارچه ابتدا با لیپاز و سپس با سلولاز عمل آوری شود، هر چند که بافر قلیایی می‌تواند سبب افزایش فعالیت آنزیمهای سلولاز شود، اما تغییر ماهیت لیپازها مانع از تاثیر بیشتر سلولازها می‌شود. تقدم آبکافت سلولولیتی، تاثیر آنزیمهای لیپاز را افزایش می‌دهد. خواص رنگرزی پلی استر تغییر نشان نمی‌دهد، اما مقدار جذب رنگ مستقیم بیشتر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آبکافت آنزیمی، زیست پرداخت، سلولاز، لیپاز، پارچه پنبه - پلی استر

**Key words:** enzymatic hydrolysis, biopolishing, cellulase, lipase, cotton-polyester fabric

## مقدمه

آبکافت پلی استر (پلی اتیلن ترفتالات یا PET) در سالهای اخیر مورد نظر قرار گرفته است [۶]. نتایج مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که استرآزهای موجود در ترکیب لیپاز با کمترین تغییر در وزن و استحکام، سبب بهبود خواص ترشوندگی (wetting properties) پارچه‌های پلی استر می‌شوند [۶-۹]. تاکنون پژوهشهای متعددی در

آبکافت (هیدرولیز) آنزیمی پارچه‌های سلولوزی خواص کالا را از جهات مختلف بهبود می‌بخشد. سلولاز در شرایطی کنترل شده می‌تواند زیردست، آویزش، پرزدهی، جلا و دیگر خواص سطحی پارچه را بهتر سازد [۱-۵].

مسئول مکاتبات، پیام نگار: Khoddami@cc.iut.ac.ir

جدول ۱- خصوصیات پارچه ای که در این آزمایشها به عنوان بستر بکار رفته است.

نوع بافت	تراکم (در cm)		نمره نخ (انگلیسی)		درصد الیاف		وزن (g/m <sup>2</sup> )	ضخامت (mm)
	تار	پود	تار	پود	پلی استر	پنبه		
تافته	۳۶	۳۰	۳۰	۳۰	۶۵	۳۵	۱۲۱	۰/۲۲

تریکودرما (*Trichoderma*) خالص سازی شده و فعالیت این آنزیمها بر اساس روش AF۲۷۵ شرکت نامبرده ۷۵۰ EGU/g بوده است [۱۱]. محدوده pH بهینه برای فعالیت این آنزیمها ۵/۵-۴/۵ است. آنزیمهای لیپاز با نام تجاری Lumafast ۲۰۰۰G محصول شرکت بین المللی ژن کور بود. آنزیمهای لیپاز از منشاء *Pseudomonas Mendocina* و از نوع باسیلی (*Bacillus*) است. بر اساس روش شرکت ژن کور حداقل فعالیت لیپاز ۲۰۰۰۰ GLU است. این آنزیمها بیشترین فعالیت را در pH بین ۸ تا ۸/۵ دارند [۱۲]. برای رنگرزی نمونه‌ها از رنگ مستقیم آبی BYR با نسام ژنریک ۸۱ C.I. Direct Blue و رنگ پراکنده C.I. Disperse Blue ۵۶ Somikaron Blue با نام ژنریک استفاده شد.

#### دستگاهها

آبکافت و رنگرزی نمونه‌ها به وسیله دستگاه رنگرزی آزمایشگاهی قابل کنترل به کمک کامپیوتر با نام Ahiba polimat انجام گردید. وزن خشک نمونه‌ها با استفاده از ترازوی Sartorius مدل MA ۴۰ مجهز به خشک کن زیر قرمز معین شد. استحکام (نیروی پارگی) نمونه‌ها به وسیله دستگاه ساخت شرکت زونیک مدل ۱۴۴۶ اندازه گیری و برای تعیین میزان انعکاس نمونه‌های رنگ شده، از طیف نورسنج مدل تکس فلش ۲۰۰۰ ساخت شرکت دیناکالر استفاده گردید. طیفهای زیرقرمز (IR) به کمک دستگاه طیف نورسنج FTIR با نام Bomem مدل Economical High Performance FTIR MB۱۰۰ تهیه شد.

#### روشها

##### آبکافت آنزیمی

پارچه تهیه شده قبلاً در کارخانه آهارگیری، پخت و سفیدگری شده بود. نمونه‌های پارچه قبل از آبکافت به منظور اطمینان از حذف مواد تکمیلی روی آنها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۶۰ °C با ۰/۵

زمینه آبکافت آنزیمی پارچه های پنبه‌ای یا پلی استر انجام شده است، اما در مورد پارچه‌هایی که از مخلوط این الیاف تهیه شده‌اند، کارهای پژوهشی چندانی صورت نگرفته است. مخلوط الیاف پنبه و پلی استر از جمله مخلوطهایی است که در تهیه پوشاک کاربرد فراوانی دارد. آبکافت سلولولیتی پارچه‌هایی که با درصدهای مختلفی از الیاف پنبه و پلی استر تهیه شده قبلاً بررسی شده اند [۱۰] اما نتایج کارهای انجام شده نشان می دهد که آبکافت لیپولیتی این پارچه‌ها و آبکافت آنزیمی هر دو جزء آنها تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. در این پژوهش، هر دو جزء پارچه شامل الیاف پنبه و الیاف پلی استر آبکافت و آثار آن بر خصوصیات پارچه و همچنین، شرایطی که تنها یک جزء آبکافت می شود، بررسی شد. برای آنکه مشخص شود که تقدم و تاخر کاربرد هر کدام از آنزیمهای سلولاز و لیپاز چه اثری بر شدت آبکافت پارچه به وسیله آنزیم نوع دیگر دارد، در چند آزمایش ابتدا نمونه‌هایی با آنزیمهای لیپاز آبکافت و سپس با سلولاز عمل آوری شدند. در این مرحله برای اینکه مشخص شود تغییر در شدت آبکافت سلولولیتی تاچه اندازه متأثر از اثر آنزیمها یا محلول بافر فلیایی است، نمونه‌هایی در حمام شاهد آبکافت لیپولیتی (حمام بافر با pH بین ۸ و ۸/۵) عمل آوری شدند. در قسمت دوم آزمایشها، ابتدا نمونه‌ها به وسیله آنزیمهای سلولاز و در مرحله بعد با آنزیمهای لیپاز و بافر فلیایی آبکافت شدند.

#### تجربی

##### مواد

در این آزمایشها پارچه پنبه - پلی استر با خصوصیات ارائه شده در جدول ۱ بکار برده شد. تمام مواد شیمیایی مصرفی از نوع تجزیه‌ای و ساخت شرکت مرک بود. آنزیمهای سلولاز با نام تجاری سلوسافت ال محصول شرکت Novo Nordisk که به روش تخمیر غوطه وری (Submerged Fermentation) از میکروارگانیسم

غلظت آنزیم (g/L)	۱ (سلولاز)	۰/۵ و ۰ (لیپاز)
دما (°C)	۵۵	۴۰
زمان واکنش (min)	۴۵	۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰
pH	۵ (بافر سدیم استات)	۸-۸/۵ (بافر سدیم فسفات)
نسبت حجم محلول به وزن کالا (L/R)	۱/۲۰	۱/۲۰

نمونه قبل و بعد از هرواکتس محاسبه شد. اندازه گیری نیروی پارگی نخهای نامرتب روش استاندارد ASTM D۲۲۵۶ انجام گردید. برای تعیین مقدار رطوبت بازیافتی، نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در شرایط استاندارد نگهداری و سپس وزن شدند. برداشت طیفهای FTIR از نمونه‌ها به روش تهیه قرص با پتاسیم برمید انجام گردید. در این مرحله از قرص KBr به عنوان زمینه (background) استفاده و بقیه طیفها نسبت به آن سنجیده شد. برای رنگرزی نمونه‌ها از دو رنگ پراکنده و مستقیم استفاده گردید.

از آنجا که یکی از عوامل تاثیرگذار بر رنگرزی pH کالاست قبل از رنگ کردن نمونه‌ها pH آنها مطابق روش استاندارد ۱۹۸۹-۸۱ AATCC اندازه گیری شد. در مرحله رنگرزی، نمونه‌های آبکافت شده همراه نمونه شاهد به سه روش عمل آوری شدند. ابتدا نمونه‌ها با مخلوط رنگها رنگرزی شدند. غلظت رنگ پراکنده ۰/۱ درصد و رنگ مستقیم ۰/۲۵ درصد نسبت به وزن کالا انتخاب گردید. علت بکاربردن غلظت بیشتر برای رنگ مستقیم، حساسیت آن به نمک بود. بنابراین و با توجه به هدف آزمایش که ایجاد می‌کرد بجز رنگ و آب هیچ ماده کمی دیگری به حمام رنگرزی اضافه نشود، برای جبران کاهش مقدار جذب رنگ مستقیم، غلظت بیشتری از آن بکار برده شد. نتایج این مرحله نشان می‌دهد که سرعت رنگرزی و مقدار جذب رنگ نمونه‌ها دارای تفاوت زیادی است. بنابراین، برای مشخص شدن اینکه چه میزان از تغییرات ناشی از آبکافت جزء پلی استری یا جزء پنبه‌ای پارچه است، نمونه‌ها با رنگ مستقیم و در مرحله دیگری نیز با رنگ پراکنده عمل آوری شدند. در هر سه روش رنگرزی نسبت حجم محلول به وزن کالا ۵۰ به ۱ بود و همه نمونه‌ها در هر سه روش در یک حمام رنگرزی شدند. دمای حمام بعد از ۲۰ دقیقه به ۱۰۰°C رسید و نمونه‌ها به مدت ۶۰ دقیقه در این شرایط رنگرزی شدند. بعد از این زمان، طی مدت ۲۰ دقیقه دما به ۶۰ کاهش داده شد. در این مرحله نمونه‌ها خارج و در چند مرحله با آب سرد بدون اینکه هیچ ماده کمی اضافه شود شستشو شدند.

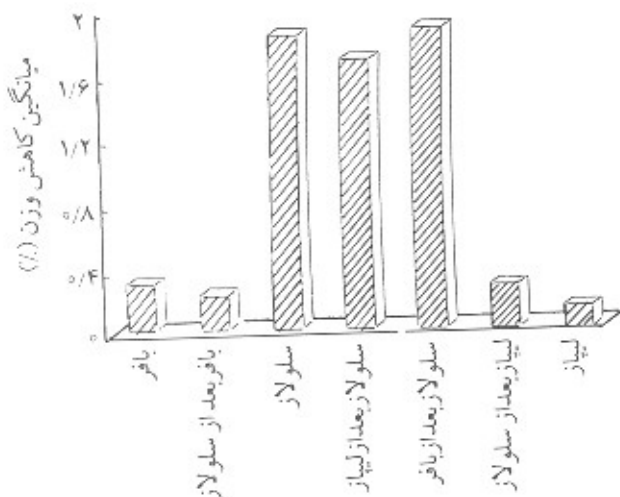
مقدار انعکاس نمونه‌های رنگ شده با دستگاه طیف نورسنج اندازه گیری شد. بدین منظور نمونه‌ها بحدی تاری شد که پشت پوش (opaque) شوند. سپس، از قسمتهای مختلف پارچه چهار بار انعکاس گرفته شد و از مقدار میانگین آنها برای رسم منحنی انعکاسی، محاسبه مقدار نسبت جذب رنگ به انتشار آن، ضریب کیوبلکا-سانک (Kubelka-Munk) یا K/S، و اختلاف رنگ هر نمونه نسبت به نمونه شاهد بر اساس مراجع استفاده گردید [۱۳]. برای تعیین مقدار جذب نمونه‌ها طول موجی در نظر گرفته شد که در آن انعکاس دارای حداقل مقدار خود بود.

گرم برلیتر سطح فعال غیر یونی (tween ۸۵) در  $L/R = 1/30$  شستشو شدند. چگونگی شرایط آبکافت در جدول ۲ نشان داده شده است. از آنجا که اطلاعات چندانی از نحوه و شدت تاثیر آبکافت لیپولیتی بر پارچه‌های مخلوط در دست نبود، نمونه‌ها با توجه به اطلاعات آزمایشهای قبلی [۷] با یک غلظت ولی در زمانهای مختلف آزمایش شد. نحوه آبکافت نیز بدین ترتیب بود که ابتدا محلول بافر ساخته شد و سپس با افزودن مقدار لازم آنزیم، نمونه‌های پارچه وارد محلول گردید و پس از اینکه دمای واکنش بعد از ۱۰ دقیقه به دمای مورد نظر رسید، نمونه‌ها در زمانهای ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه در واکنش شرکت کردند. برای خنثی سازی و غیر فعال ساختن آنزیمها، نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در بافر اسیدی قرار گرفتند و سپس آبکشی و در دمای محیط خشک شدند. شیوه انجام آبکافت سلولولیتی نیز مانند آنزیمهای لیپاز بود، با این تفاوت که به جای بافر سدیم فسفات از بافر سدیم استات استفاده شد و به منظور افزایش سایش مکانیکی به هر حمام ۵۰ ساچمه فولادی اضافه گردید. غیر فعال ساختن آنزیمهای سلولاز با استفاده از محلول ۱٪ سدیم کربنات انجام شد. از آنجا که زیست پرداخت این نوع پارچه قبلاً بررسی شده بود [۱۰]، نمونه‌ها تنها در یک زمان و به مدت ۴۵ دقیقه آبکافت شدند.

در تعدادی از آزمایشها ابتدا نمونه‌ها با آنزیمهای لیپاز و بافر مناسب برای این آنزیمها (pH = ۸-۸/۵) آبکافت و سپس با سلولاز عمل آوری شدند. در مرحله دیگر، ابتدا نمونه‌ها با آنزیمهای سلولاز و بعد از آن با آنزیمهای لیپاز و بافر قلیایی آبکافت شدند.

#### بررسی آثار آبکافت بر خصوصیات پارچه

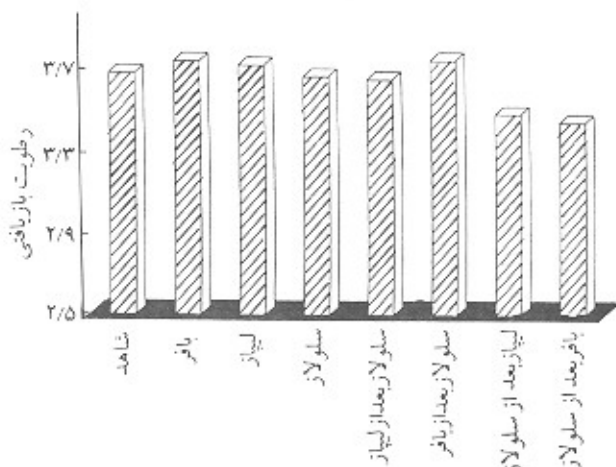
آثار آبکافت بر خواص نمونه‌ها با اندازه گیری کاهش وزن، نیروی پارگی نخهای تار، میزان رطوبت بازیافتی، رنگرزی نمونه‌ها و با تهیه طیفهای FTIR ارزیابی شد. کاهش وزن با اندازه گیری وزن خشک



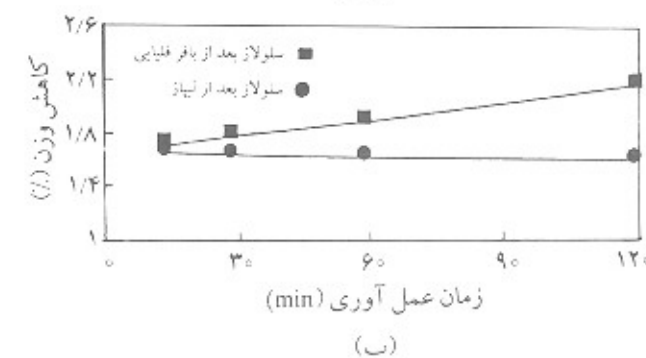
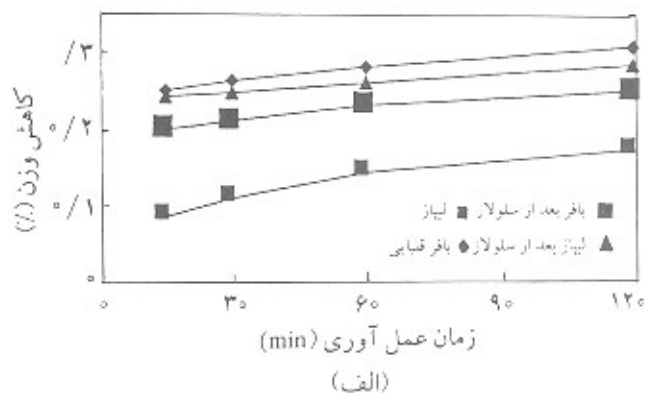
شکل ۲- میانگین کاهش وزن نمونه‌ها در زمانهای مختلف.

که شدت آبکافت به وسیله بافر و لیپاز متناسب با درصد الباف پلی استر موجود در پارچه است.

در بررسی اثر تقدم و تاخر آبکافت با دو نوع آنزیم سلولاز و لیپاز برای تشخیص اینکه کاربرد هر کدام از آنزیمها چه اثری بر شدت آبکافت پارچه به وسیله آنزیم نوع دیگر دارد مشاهده شد که اگر پارچه قبلاً با بافر قلیایی آبکافت شده باشد، کاهش وزن بر اثر عمل سلولاز بیشتر می شود، زیرا بر اثر عمل قلیایی واکنش پذیری و امکان دسترسی آنزیمها به سلولوز افزایش می یابد [۱۴، ۱۵]. این اثر به علت پایین بودن pH قلیایی بافر، همان گونه که شکل ۱ نشان می دهد، بیشتر در زمانهای ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه مشاهده می گردد (نمونه‌ای که با عنوان بافر و سلولاز بعد از بافر مشخص شده است). اما، در موردی که پارچه قبل از عمل آوری با سلولاز به مدت ۶۰ و ۱۲۰



شکل ۳- میانگین مقدار جذب رطوبت نمونه‌ها در زمانهای مختلف.



شکل ۱- (الف) کاهش وزن نمونه‌ها بر اثر لیپاز و بافر قلیایی نسبت به زمان عمل آوری و (ب) کاهش وزن نمونه‌ها بر اثر سلولاز بعد از عمل آوری با لیپاز یا بافر قلیایی در زمانهای معین.

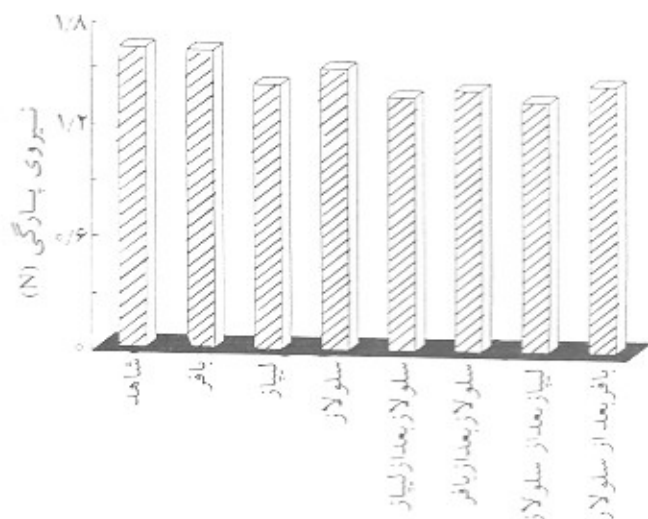
## نتایج و بحث

کاهش وزن، اولین عاملی بود که برای مقایسه شدت آبکافت نمونه‌ها ارزیابی شد. نتایج این آزمایشها در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. همان گونه که از شکل ۱ مشخص است، با افزایش زمان واکنش شدت آبکافت بیشتر و در نتیجه میزان کاهش وزن نمونه‌ها هر چند اندک زیاد می شود. در این شکلها مشاهده می شود که کاهش وزن نمونه های عمل آوری شده در بافر بیش از نمونه هایی است که با آنزیم لیپاز عمل آوری شده‌اند. این یافته با نتایج کارهای قبلی مشابهت دارد [۷]. بنظر می رسد که آنزیمهای لیپاز دارای نقشی بازدارنده برای خوردگی زنجیرها به وسیله بافر قلیایی اند. از طرف دیگر، مشخص می شود که کاهش وزن بر اثر عمل بافر و آبکافت لیبولیتی برای پارچه مخلوط، کمتر از پارچه صددردصد پلی استر است [۷] و این مشابه نتایجی است که برای کاهش وزن بر اثر آبکافت سلولولیتی بدست آمده بود [۱۰]. بنابراین، می توان نتیجه گرفت

قبلاً با آنزیمهای سلولاز عمل آوری شده اند افزایش می یابد. از آنجا که سلولاز و محیط عمل آن تاثیر چندانی بر جزء پلی استری پارچه ندارند، از این رو، این تغییر ناشی از اثر لیپاز بر جزء سلولوزی پارچه است.

تغییرات مقدار جذب رطوبت دومین عاملی بود که در این پژوهش بررسی شد. نتایج این آزمایشها نشان می دهد (شکل ۳) که جذب رطوبت نمونه های آبکافت شده با بافر و لیپاز افزایش می یابد. علت آن نیز بوجود آمدن گروههای کربوکسیل و هیدروکسیل بر اثر شکسته شدن پیوندهای استری است [۶،۷،۹]. اما، اثر بیشتر بافر بر جذب رطوبت علاوه بر مطلب پیش گفته برای کاهش وزن به تاثیر بافر بر جزء سلولوزی پارچه نیز مربوط می شود، زیرا قلیاییها می توانند جذب رطوبت پنبه را افزایش دهند.

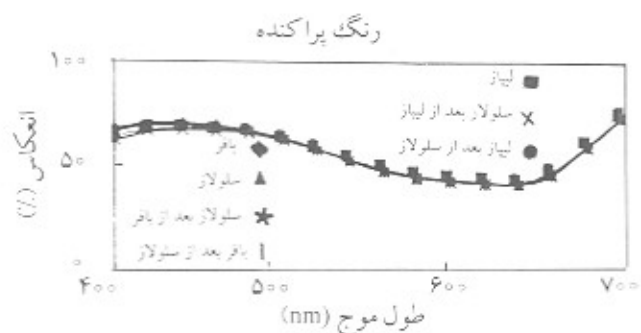
در نمونه های عمل آوری شده با سلولاز جذب رطوبت تقریباً ثابت مانده است، ولی در نمونه هایی که قبل از این با بافر عمل آوری شده اند، همان گونه که انتظار می رود، مقدار رطوبت باز یافتی بیشتری نسبت به نمونه شاهد دارند. برخلاف این، مشاهده شد که اگر قبل از آبکافت سلولولیتی نمونه ها با لیپاز عمل آوری شوند (به مدت ۱۵ دقیقه) جذب رطوبت افزایش می یابد، ولی در زمانهای طولانی تر، جذب رطوبت کمتر می شود. این نتیجه یافته های مربوط به نتایج کاهش وزن را به معنی تغییر ماهیت آنزیمهای لیپاز در زمانهای طولانی تایید می کند. جذب رطوبت نمونه هایی که قبل از عمل آوری با لیپاز، به وسیله سلولاز آبکافت شده اند، در همه زمانها کاهش یافته است. از آنجا که در همین شرایط کاهش وزن نمونه ها افزایش یافته است، بنظر می رسد که علت کاهش جذب رطوبت به خوردگی و جدا شدن قسمتهایی از زنجیرهای پلی استری که آبکافت شده اند مرتبط باشد. در کارهای قبلی نیز



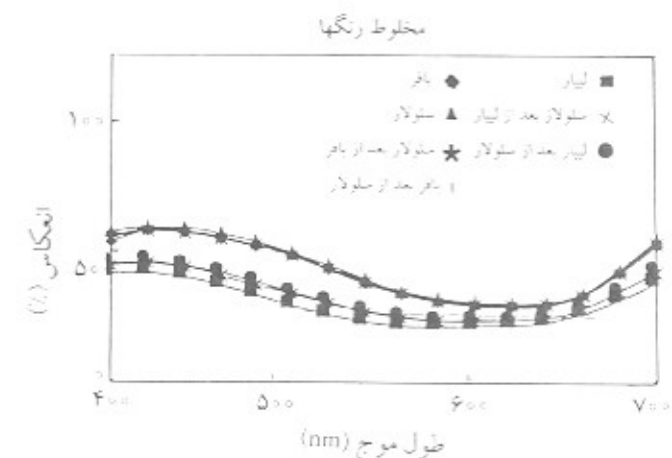
شکل ۴- میانگین مقدار نیروی پارگی نخهای تار نمونه ها در زمانهای مختلف.

دقیقه با آنزیمهای لیپاز آبکافت شده کاهش وزن کمتر شده است (شکل ۱). این پدیده سبب می شود تا میانگین کاهش وزن این نمونه ها، که در شکل ۲ نشان داده شده است، از کاهش وزن نمونه هایی که فقط با سلولاز آبکافت شده اند کمتر باشد. از آنجا که در کارهای انجام شده قبلی [۷] نیز تاثیر منفی افزایش زمان بر کاهش وزن در آبکافت لیپولیتی مشاهده شده است، مشخص می شود که علت این پدیده به تغییر ماهیت (دنا توره شدن، denaturation) آنزیمهای لیپاز و جذب پروتئین بر سطح مواد پلیمری مربوط می شود [۷،۹،۱۲]. این رفتار آنزیمها می تواند همان عامل بازدارنده خوردگی زنجیرها به وسیله بافر باشد.

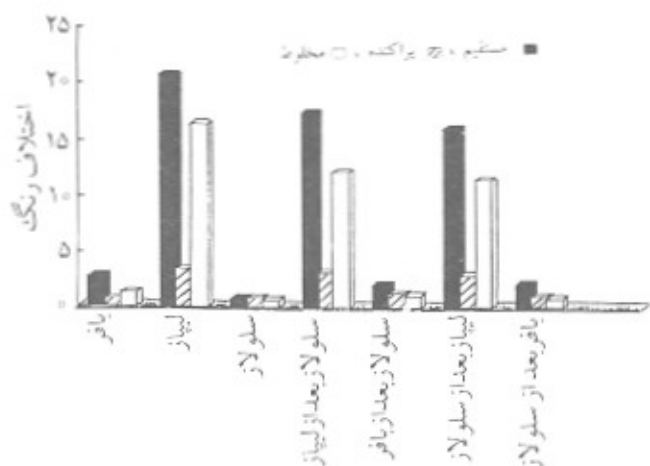
کاهش وزن حاصل از آبکافت لیپولیتی بر نمونه هایی که



شکل ۶- مقدار انعکاس نمونه های رنگرزی شده با رنگ پراکنده.

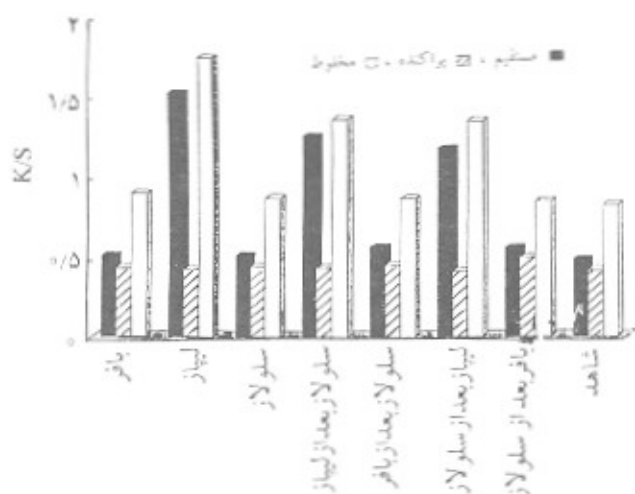


شکل ۵- مقدار انعکاس نمونه های رنگرزی شده با مخلوط رنگهای مستقیم و پراکنده.

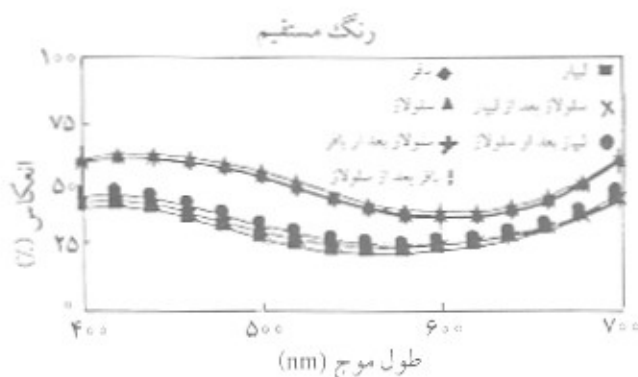


شکل ۸- میانگین اختلاف رنگ نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد.

نتایج مربوط به رنگ‌رزی نمونه‌ها در شکل‌های ۵ تا ۹ نشان داده شده است. انعکاس نمونه‌هایی که با مخلوط رنگهای پراکنده و مستقیم رنگ‌رزی شده‌اند در شکل ۵ ارائه شده است. همان گونه که این شکل و نتایج مربوط به محاسبه مقدار نسبت جذب به انتشار رنگ و اختلاف رنگ نسبت به نمونه عمل آوری نشده در شکل‌های ۸ و ۹ نشان می‌دهد در تمام مواردی که پارچه با آنزیم لیباز عمل آوری شده مقدار جذب رنگ افزایش یافته است. در این نمونه‌ها اختلاف رنگ در مواردی بسیار زیاد و بیش از ۲۰ واحد نیز می‌شود، در حالی که این مقدار برای نمونه‌هایی که با بافر و سلولاز آبکافت شده‌اند در اکثر موارد کمتر از ۲ واحد است. این اختلاف



شکل ۹- نسبت مقدار جذب به انتشار نمونه‌های رنگ‌رزی شده با رنگ مستقیم، رنگ پراکنده و مخلوط رنگهای مستقیم و پراکنده.

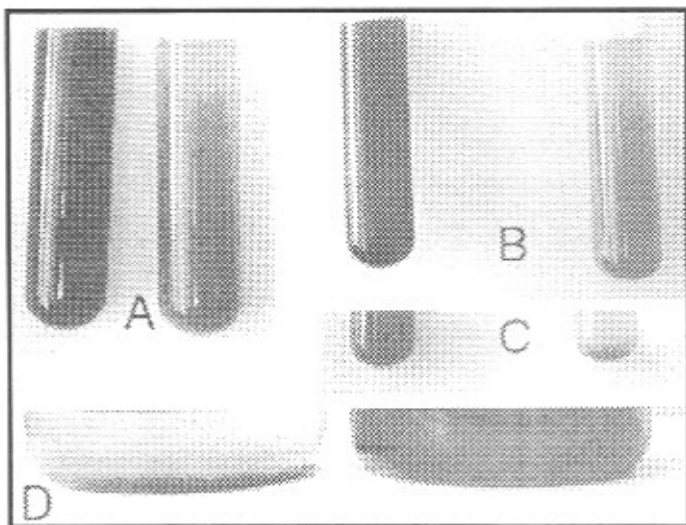


شکل ۷- مقدار انعکاس نمونه‌های رنگ‌رزی شده با رنگ مستقیم.

چنین نتایجی مشاهده شد [۷].

اندازه‌گیری نیروی پارگی نخهای تار، یکی دیگر از عواملی بود که بررسی شد. نتایج این آزمایشها در شکل ۴ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که تغییرات استحکام بر اثر عمل بافر ناچیز است. اما، در آبکافت لیبولیتی نیروی پارگی نخهای تار کاهش می‌یابد، زیرا نمونه‌ها علاوه بر بافر به وسیله آنزیمها نیز آبکافت می‌شوند. کاهش استحکام بر اثر عمل سلولاز کمتر از کاهش آن بر اثر آنزیمهای لیباز است، زیرا فقط ۲۵ درصد الیاف موجود در پارچه سلولوزی‌اند. همان گونه که در تحلیل نتایج مشخص شد و آزمایشهای قبلی نیز تأیید می‌کند [۱۰] کاهش استحکام و وزن کتلا بر اثر آبکافت سلولولیتی متناسب با مقدار الیاف موجود در پارچه است و از سوی دیگر، در پارچه‌های مخلوط این الیاف استحکام کالا عمدتاً ناشی از جزء پلی استری است.

در نمونه‌ای که ابتدا با لیباز و سپس با آنزیمهای سلولاز آبکافت شده‌است کاهش استحکام کمتر از مجموع کاهش استحکام نمونه‌هایی است که فقط با لیباز و سلولاز عمل آوری شده‌اند. این یافته با نتایج مربوط به کاهش وزن مطابقت دارد، زیرا در این نمونه‌ها کاهش وزن نیز به دلایلی که بیان شد کمتر شده است. همچنین، نمونه‌هایی که قبل از عمل آوری با سلولاز به وسیله بافر آبکافت شده‌اند کاهش استحکام همانند کاهش وزن بیشتر شده است. اثر آبکافت لیبولیتی بر استحکام نمونه‌هایی که قبلاً با سلولازها عمل آوری شده‌اند و نمونه‌هایی که فقط با لیباز آبکافت شده‌اند یکسان است. اما، نمونه‌هایی که قبل از عمل آوری با بافر به وسیله سلولاز آبکافت شده‌اند، کاهش استحکام آنها تا ۵ درصد افزایش یافته است، زیرا کلای سلولوزی که با آنزیمها آبکافت شده است به آبکافت فلیایی حساستر می‌شود.

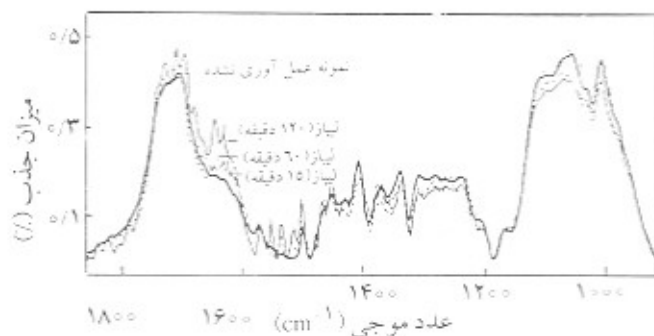


شکل ۱۱- نمایش مراحل تشکیل رسوب رنگینه و آنزیم طی مرحله رنگرزی، A و B: رسوب در حال تشکیل، C و D: ته نشین شدن رسوب.

رنگهای پراکنده به صورت حیس فیزیکی جذب می گردند، بنابراین از این پدیده متاثر نمی شوند. برای تأیید این موضوع، مرحله رنگرزی بدون کالا در حمام تکرار شد. شکل ۱۱ نیز بخوبی مشخص می کند که رنگ مستقیم با آنزیم پیوند برقرار کرده و باعث تشکیل رسوب شده است و از جانب دیگر نیز با مشاهده تغییر رنگ رسوب بوجود آمده علت تغییر سایه پارچه ها نیز مشخص می شود.

### نتیجه گیری

نتایج مربوط به اندازه گیری کاهش وزن و استحکام مشخص می سازند که شدت آبکافت سلولولیتی و لیپولیتی متناسب با مقدار لیاف پنبه و پلی استر موجود در پارچه است. از نتایج مربوط به جذب رطوبت و کاهش استحکام و رنگرزی معلوم می شود که بهتر است پارچه ابتدا با لیپاز و سپس با سلولاز عمل آوری شود، اما با اینکه بافر قلیایی می تواند سبب افزایش فعالیت آنزیمهای سلولاز شود ولی تغییر ماهیت لیپازها مانع از اثر بیشتر سلولازها می گردد. بنابراین، مشخص می شود که مناسبتر آن است که پارچه در ابتدا به مدت ۱۵ دقیقه با لیپاز آبکافت شود. در مرحله بعد نیز که پارچه با سلولاز عمل آوری می شود دیگر نیازی به خنثی سازی آنزیمهای لیپاز نیست، زیرا در pH عمل سلولازها این کار انجام خواهد شد.



شکل ۱۰- طیفهای FTIR نمونه های آبکافت شده با لیپاز در زمانهای ۱۵، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه و نمونه عمل آوری نشده.

علاوه بر افزایش جذب رنگ به تغییر سایه (shade) نمونه ها نیز مربوط می شود. در شکل ۵ هم بخوبی تغییر سایه از آبی به بنفش مشاهده می شود. آزمایشها مشخص می سازند که pH پارچه خنثی بوده و این تغییر سایه نمی تواند ناشی از pH پارچه باشد. بنابراین، برای تعیین اینکه نتایج بدست آمده متاثر از تغییرات کدام جزء پارچه است در یک مرحله نمونه ها با رنگ پراکنده و در مرحله دیگر با رنگ مستقیم رنگرزی شدند.

شکل ۶ نشان می دهد که عملاً خواص رنگرزی جزء پلی استری تغییر چندانی نمی کند و اختلافی در جذب رنگ نسبت به نمونه شاهد مشاهده نمی شود. این نتایج در تایید یافته های قبلی است [۸]. در رنگرزی نمونه ها با رنگهای مستقیم همان تغییراتی که در رنگرزی با مخلوط رنگها وجود داشت به میزان بیشتری مشاهده می شود (شکلهای ۷ تا ۹). از آنجا که آنزیمهای لیپاز بر جزء سلولوزی بی اثر است و نمونه عمل آوری شده با بافر نیز تفاوتی را نسبت به نمونه شاهد نشان نمی دهد، در نتیجه این تغییرات می تواند ناشی از همان تغییر ماهیت لیپاز و رسوب آنزیمها بر سطح کالا باشد. طیفهای زیر فرمز نمونه هایی که با لیپاز عمل آوری شده اند (شکل ۱۰) نیز موید این موضوع است، زیرا همان گونه که این شکل نشان می دهد با افزایش زمان آبکافت لیپولیتی تغییر شکل پیکها و تشکیل پیکهای جدید در مقایسه با طیف نمونه شاهد بیشتر می شود. با توجه به اینکه اثر آبکافت بر کالا در حدی نیست که سبب بروز چنین پدیده ای باشد [۷، ۹]، بنابراین مشخص می شود که با نسبت پروتئینها بر سطح پارچه، مولکولهای رنگ مستقیم جذب آنها شده و در نتیجه نه تنها مقدار جذب نسبت به نمونه هایی که با لیپاز عمل آوری نشده اند افزایش می یابد، بلکه پیوند رنگ و آنزیم سبب تغییر سایه پارچه نیز می شود و از طرفی، چون

## فقدانی

از مسئولان محترم دانشگاه صنعتی اصفهان به دلیل حمایت مالی در اجرای این طرح پژوهشی، همچنین از مسئولان ارجمند نمایندگی شرکت Novo Nordisk در ایران، شرکت ژن کور و کارخانجات نساجی بروجرد که در تهیه مواد برای این پژوهش همکاری کردند، صمیمانه قدردانی می‌شود.

## مراجع

1. خدای اکبر، امیرشاهی سیدحسین و نورالدین مهرخ، " اثر تابش میکروویو بر هیدرولیز پارچه های پنبه‌ای"، مجله امیرکبیر، سال دهم، شماره ۴۰، ۱۳۷۸.
2. مرشد محمد و خدای اکبر، " اثر عوامل زمان، دما، غلظت آنزیم و پرزهای سطحی بر کاهش وزن در زیست پرداخت پارچه های پنبه‌ای"، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال دهم، شماره ۳۸، زمستان ۱۳۷۶.
3. خدای اکبر و عاشوری کجیدی حسین، " زیست پرداخت پارچه‌های پنبه‌ای در مرحله آهارگیری آنزیمی"، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال یازدهم، شماره ۴۲، زمستان ۱۳۷۷.
4. Zadhoush A., Khoddami A. and Aghakhani, M., " The Influence of Enzymatic Hydrolysis of Cellulosic Substrate on the Final Quality of Coated Fabrics ", *J. Indust. Text*, **30**, 3, 211-221, 2001.
5. Khoddami A., Siavashi M., Hosseini S.A., and Morshed M.; " Enzymatic Hydrolysis of Cotton Fabrics With Weft Yarns Produced by Different Spinning Systems" *Iran Polym J*, **11**, 2, 99-106, 2002.
6. Hsieh Y.L., and Cram L.A., " Enzymatic Hydrolysis to Improve Wetting and Absorbency of Polyester Fabrics", *Text. Res. J.*, **68**, 5, 311-319, 1998.
7. خدای اکبر، خلیلی هاله و مرشد محمد، " هیدرولیز آنزیمی پارچه های پلی استر، قسمت اول: اثرات هیدرولیز بر وزن، استحکام، ضخامت و جذب رطوبت"، مجله امیرکبیر، سال دوازدهم، شماره ۴۵، ۱۳۷۹.

نتایج مربوط به مرحله رنگرزی بخوبی نشان می‌دهد که اگر سلولارها بعد از آنزیمهای لیاز بکار روند، آنگاه سایش مکانیکی اعمال شده می‌تواند پروتئینهای چسبیده به سطح کالا را نیز از آن جدا سازد. در چنین شرایطی نه تنها جذب رنگ مستقیم افزایش می‌یابد، بلکه تغییر سایه بوجود آمده بر اثر پیوند رنگ با آنزیمهای رسوب کرده بر سطح پارچه نیز به حداقل می‌رسد.

8. خلیلی هاله، خدای اکبر و مرشد محمد، " هیدرولیز آنزیمی پارچه های پلی استر، قسمت دوم: بررسی رفتار رنگرزی پلی استر هیدرولیز شده با لیاز"، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال چهاردهم، شماره ۵۲، تیرماه ۱۳۸۰.
9. Khoddami A., Morshed M., and Tavanai, H., " Effects of Enzymatic Hydrolysis on Drawn Polyester Filament Yarns", *Iran. Polym. J.*, **10**, 6, 363-370, 2001.
10. خدای اکبر، مرشد محمد، هوشیار شادی و شیشه بران مریم، " اثر هیدرولیز آنزیمی بر کاهش وزن و میزان پرزدهی پارچه‌های پنبه‌ای و مخلوط پنبه-پلی استر"، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال یازدهم، شماره ۳۹، بهار ۱۳۷۷.
11. Product Sheet of Cellusoft L, from Novo Nordisk A/S, Denmark, 1999.
12. Product Sheet of Lumafast 2000 G, from Genencor International Delivering Innovation Through Biotechnology, Finland, 1999.
13. McDonald, R., *Color Physics for Industry*, Dyers Company Publications Trust, Bradford, 1987.
14. Buschle - Diller G. and Zeronian S.H., "Enzymatic and Acid Hydrolysis of Cotton Cellulose After Slack and Tension Mercerization", *Text. Chem. Color.*, **26**, 4, 17-24, 1997.
15. Almeida L., and Cavaco - Paulo A., "Softening of Cotton by Enzymatic Hydrolysis", *Melliand Textilber*, **74**, 5, 404-407 and E184-185, 1993.