



بهبود رنگپذیری منسوج نایلون ۶ با استفاده از آنزیم لیپاز

مازیار پروین زاده

دانشجوی دکتری، باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهری، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۸۱۵۵-۱۴۴
در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۸۷/۹/۲۵ تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۵/۱

چکیده

این تحقیق به منظور اصلاح خصوصیات الیاف نایلون ۶ و بررسی خواص مختلف آن شامل رنگپذیری، جذب رطوبت، تغییرات سطحی و ثبات‌های رنگی با استفاده از آنزیم لیپاز انجام شده است. بدین منظور منسوج نایلون ۶ ابتدا با غلاظت‌های مختلف آنزیم لیپاز در محلول آب شامل ۱، ۲، ۴ و ۶٪ عمل شده است. سپس عملیات رنگرزی با دو رنگزای اسیدی و دیسپرس انجام شد. نتایج آزمایش رنگ‌سنجدی تشان داد که در نمونه‌های عمل شده با آنزیم و سپس رنگرزی شده با هر دو رنگرا، مقدار L^* کاهش یافته و با افزایش غلاظت آنزیم کاهش بیشتری در مقدار L^* مشاهده می‌شود. نتایج آزمایش رمک‌کشی رنگزاهای اسیدی و دیسپرس الیاف عمل شده روند افزایش جذب رنگزاهای در الیاف را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج استحکام کششی منسوج مشاهده می‌شود که فرآیند آنزیمی استحکام، مدول و ازدیاد طول تا حد پارگی منسوج را کاهش می‌دهد. بررسی خواص حرارتی نمونه عمل شده با آنزیم تغییر قابل توجهی را در مقدار آراییش یافتگی لیف در اثر فرآیند آنزیمی تا 300°C را نشان نداد. ولی با افزایش میزان حرارت‌دهی نمونه‌ها در محدوده دمایی $300\text{--}400^{\circ}\text{C}$ کاهش قابل توجهی در دمای تخریب نمونه عمل شده با آنزیم در مقایسه با نمونه عمل نشده مشاهده می‌شود. ثبات شستشویی و نوری نمونه‌های عمل شده با آنزیم مطابق با استاندارد ISO 105-CO5 و نور روز ISO 105-B01 اندازه‌گیری شد. فرآیند آنزیمی پیش از رنگرزی، ثبات‌های شستشویی و نوری نمونه‌های رنگرزی شده را بهبود می‌دهد که می‌تواند در نتیجه افزایش نفوذ رنگزاهای به داخل الیاف باشد.

واژه‌های کلیدی: نایلون ۶، آنزیم لیپاز، رنگپذیری، رنگزای اسیدی، رنگزای دیسپرس.

Improvement in Dyeability of Nylon 6 Fibers Using Lipase Enzyme

M. Parvinzadeh

Young researchers club, Islamic Azad University, Shahre Rey Branch, P.O.Box: 18155-144, Tehran, Iran

Abstract

This study was carried out to improve nylon 6 fiber structure and to study different properties including dyeability, moisture absorption, surface changes and color fastness using lipase enzyme. For this purpose, nylon 6 fabrics were first treated with different concentrations of lipase enzyme in water solution including 1, 2, 4 and 6% o.w.f. The dyeing process was then carried out on the treated fabrics with disperse and acid dyes. The results of color measurement on enzyme treated/dyed with these two class of dyes showed that the L^* of enzyme treated samples decreased and more decrease in L^* was observed with an increase in the enzyme percentage. The results of acid and disperse dyes exhaustion on treated fibers showed higher absorption of dyes on fibers. Tensile strength studies indicated that enzymatic processing decreases tenacity, modulus and elongation at break of nylon 6 fabric. Thermal studies of enzyme treated sample did not show significant changes on orientation of fiber after enzyme treatment before the temperature of 300°C . But increase in heating temperature of the sample to the range of $300\text{--}400^{\circ}\text{C}$ showed considerable decrease in thermal degradation temperature of enzyme treated sample compared to non-treated one. The wash and light fastnesses properties of samples were measured according to ISO 105-CO5 and Daylight ISO 105-B01, respectively. Enzyme treatment before dyeing process improves wash and light fastnesses of samples which could be the result of dyes penetration into the fibers. J. Color Sci. Tech. 2(2008), 171-180. © Institute for Colorants, Paint and Coatings.

Key words: Nylon 6, Lipase enzyme, Dyeability, Acid dye, Disperse dye.

*Corresponding author: mparvinzadeh@gmail.com

NMR بررسی گردید. تغییرات ایجاد شده روی نایلون نشان داد که در اثر عمل با باکتری گروههای CHO، NHCHO، CH₃ و CONH₂ در الیاف ایجاد می‌شود [۲۷، ۲۸]. همچنین تصاویر میکروسکوپی از الیاف نایلون ۶ نشان داد که باکتری‌ها با گذشت زمان تغییرات سطحی و عمقی ایجاد می‌کنند [۲۷، ۲۸]. در تحقیق دیگری اثر آنزیم‌ها بر خواص الیاف نایلون ۶۶ بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که با گذشت زمان عملیات آنزیمی میزان گروههای عاملی آمین آزاد شده در محلول افزایش یافته و وزن مولکولی زنجیرهای پلیمری کاهش می‌یابد. این اثر با گذشت زمان از ۶ به ۲۴ ساعت افزایش یافته است. در این تحقیق در اثر فرآیند آنزیمی بر روی الیاف نایلون، مونومرها و الیگومرها از الیاف نایلون به شکل محلول در حمام عملیات آنزیمی آزاد شده و میزان گروههای آمین آزاد این فرآیند قابل اندازه‌گیری با رنگزهای راکتیو می‌باشد [۲۹]. آنزیم‌ها می‌توانند ثبات‌های شستشویی الیاف نایلون رنگرزی شده با رنگزهای اسیدی را افزایش دهند [۳۰]. این تحقیق به منظور بررسی خواص مختلف الیاف نایلون ۶ از جمله میزان رنگپذیری پس از عمل با آنزیم لیپاز انجام شده است.

۲-بخش تجربی

۱-۲- مواد شیمیایی و وسایل

منسوج نایلون ۶ با بافت تاری پودی با مشخصات جدول ۱ برای انجام آزمایشات استفاده شده است. از مواد شیمیایی شوینده غیریونی Lipex 50T RCP-5 (شرکت راک شیمی)، آنزیم لیپاز Rockapon (شرکت RDL¹ دانمارک)، اسید سولفوفوریک (شرکت مرک)، رنگزای اسیدی آبی (شرکت صنایع رنگزای سرن)²، رنگزای دیسپرس قهوه‌ای ۱ (شرکت صنایع رنگزای سرن)، اسید استیک (شرکت مرک)، دیسپرس کننده اکالین F (شرکت ساندوز) و یکنواخت کننده لوگال COLOUR EYE 7000A (شرکت رزین ساوه) استفاده شد. مؤلفه‌های رنگی L*, a*, b*، C* و h نمونه‌های عمل شده با استفاده از رنگ‌سنجد Mکب (با زاویه دید ۱۰ درجه تحت منبع نوری D₆₅) در سیستم استاندارد رنگ CIELAB اندازه‌گیری شد.

1- Novo nordisk

2- Serene dyestuff industries ltd

۱- مقدمه

آنژیم‌ها کاتالیزورهای زیستی با زنجیره‌های مولکولی پلی‌پپتیدی می‌باشند. این ترکیبات در فرآیندهای نساجی به دلیل عملکرد انتخابی شناخته شده می‌باشند. لیپاز یکی از آنزیم‌های مهم در صنعت نساجی است که برخی از خصوصیات الیاف مختلف را بهبود می‌بخشنده [۱-۴].

مطالعات بسیاری در زمینه کاربرد آنزیم‌ها در منسوجات طبیعی انجام شده است که مهمترین آنها شامل تکمیل‌های ضد نمدی کردن و جمع‌شدگی [۵-۸]، کاهش پرده‌ی [۹-۱۲]، افزایش جذب رنگزا در الیاف پشم [۱۳-۱۷]، بهبود زیردست [۱۸]، آهارگیری و اصلاح خواص الیاف پنبه و الیاف گیاهی [۱۹] و صمغ‌گیری ابریشم می‌باشند [۲۰، ۲۱]. آنزیم پروتئاز میزان جذب و سرعت رنگرزی الیاف پشم با رنگزهای اسیدی و طبیعی را افزایش می‌دهند و می‌تواند به عنوان مواد کمکی در رنگرزی الیاف پشم به کار رود [۷-۱۳]. اصلاح الیاف مصنوعی از کاربردهای جدید آنزیم‌ها و بخصوص آنزیم لیپاز می‌باشد [۲۲]. الیاف مصنوعی نظیر پلی‌استر و نایلون به دلیل جذب رطوبت کم احساس مطلوب را در فرد استفاده کننده از پوشک آن ایجاد نمی‌کنند [۲۳-۲۵]. اصلاح سطحی الیاف پلی‌استر و نایلون با استفاده از لیپاز امکان‌پذیر است و در نتیجه نرمی و راحتی پوشک عمل شده با آنزیم افزایش می‌یابد [۲۳-۲۶].

بیشتر تحقیقات انجام شده در استفاده از آنزیم لیپاز در الیاف مصنوعی بر لیف پلی‌استر می‌باشد. این آنزیم‌ها زاویه تماس آب با الیاف پلی‌استر را کاهش می‌دهند و جذب رطوبت را افزایش می‌دهند. در اثر این عملیات گروههای هیدروکسیل و کربوکسیل در سطح الیاف ایجاد می‌شود و رنگرزی الیاف با رنگزهای کاتیونی و راکتیو امکان‌پذیر می‌شود [۲۴-۲۶].

تحقیقات انجام شده در خصوص عملیات آنزیمی لیف پلی‌استر نشان داده است که آنزیم لیپاز بدون اینکه تغییرات در وزن الیاف ایجاد کند می‌تواند جذب رطوبت آن را افزایش دهد در صورتی که عملیات اصلاح سطحی قلیایی پلی‌استر سبب کاهش وزن الیاف می‌شود. به علاوه عملیات اصلاح سطحی با آنزیم لیپاز تخریب کمتری در سطح الیاف در مقایسه با عملیات قلیایی دارد [۲۴].

تحقیقات کمی در خصوص اصلاح الیاف نایلون با آنزیم‌ها انجام شده است [۲۶-۳۰]. در تحقیقی پلیمر نایلون تحت عمل با دو نوع باکتری قرار گرفت و تغییرات ایجاد شده در آن تحت طیفسنجی

جدول ۱: مشخصات منسوج نایلون ۶ مورد استفاده در آزمایش.

نمره نخ پود (دینیر)	نمره نخ پود (دینیر)	تعداد پود (در ۱ سانتیمتر)	وزن در متر مربع (گرم / متر مربع)	تعداد تار (در ۱ سانتیمتر)
۱۲۰	۷۰	۲۰	۲۵	۱۵۶

رنگرزی در دمای جوش ادامه یافت. در انتهای نمونه‌های رنگرزی شده آبکشی شدند.

اندازه‌گیری میزان رطوبت بازیافتنی مطابق با استاندارد ASTM 2654-76 انجام شده است. در این آزمایش میزان رطوبت بازیافتنی با استفاده از فرمول زیر محاسبه شده است:

$$\text{٪ رطوبت بازیافتنی} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100$$

W_1 میزان وزن نمونه‌ها پس از اشباع در رطوبت استاندارد و W_2 وزن نمونه‌ها در حالت کامل‌خشک می‌باشد.

برای تعیین ثبات رنگ در برابر شستشو از روش استاندارد ISO 105-C05 استفاده شد. نمونه‌های مورد آزمایش بین دو نمونه سفید یکی از جنس پنبه و دیگری نایلون قرار گرفت و در حمام محتوی ۵٪ از صابون استاندارد شستشو در ۵۰°C و نسبت الیاف به حمام ۱:۵۰ به مدت ۳۰ دقیقه عمل شستشو انجام شد. تغییرات رنگ نمونه مورد آزمایش و لکه‌گذاری نمونه‌های سفید با معیار خاکستری مورد سنجش قرار گرفت.

روش کار جهت ارزیابی ثبات رنگ در برابر نور روز مطابق با استاندارد ISO 105-BO1 نور روز می‌باشد. نمونه‌های مورد آزمایش به مدت ۱ هفته به طور مداوم در فصل بهار در معرض نور خورشید قرار گرفت و ثبات نوری نمونه‌ها با نمونه‌های استاندارد آبی سنجیده شدند. جهت بررسی ثبات نوری به روش دستگاهی، نمونه‌های عمل شده با ۶٪ از آنژیم و سپس رنگرزی شده با رنگزای اسیدی و دیسپرس با نمونه عمل نشده با آنژیم و رنگرزی شده در دستگاه ثبات نوری زنوتست مدل ۱۵۰S مطابق با استاندارد نور روز ISO 105-B02 قرار گرفتند.

هر آزمایش بر روی ۵ نمونه از منسوج نایلون ۶ انجام گرفت و انحراف معیار نمونه‌ها کمتر از ۵٪ می‌باشد که در جداول نتایج مشخص شده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی رمک‌کشی و مؤلفه‌های رنگی نمونه‌ها

جدول ۲ میزان رمک‌کشی و مؤلفه‌های رنگی L^* , a^* , b^* , C^* و h نمونه‌های عمل شده با آنژیم لیپاز و سپس رنگرزی شده با رنگزاهای اسیدی و دیسپرس در مقایسه با نمونه‌های عمل نشده با آنژیم را نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج میزان رمک‌کشی رنگزای اسیدی در نمونه‌های عمل شده با ۱٪ آنژیم لیپاز افزایش می‌یابد و با افزایش درصد آنژیم به غلظت‌های بالاتر تا ۶٪ این روند ادامه دارد. به علاوه در اثر عمل با ۱٪ آنژیم و سپس رنگرزی با رنگزای اسیدی، میزان L^* در نمونه‌ها در

تغییرات الیاف پس از فرآیند آنژیمی با استفاده از طیف‌سنجی مادون قرمز مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور از دستگاه BOMEM - MB 100 SERIES (شرکت هارتمن و بورون) استفاده شد.

برای بررسی استحکام نمونه‌ها از دستگاه Electronic Tensile Strength and Elongation Tester TT – 10 KG (D5034) انجام شده است (شرکت فرایاب) استفاده شد.

بررسی خواص میکروسکوپی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی پویشی LEO 440i که ۳۰۰۰۰۰ برابر بزرگنمایی و دقت ۳,۵ نانومتر را دارد انجام شد.

جهت مطالعه تأثیر آنژیم بر میزان تخریب یا تجزیه مناطق آرایش یافته الیاف نایلون ۶ از دستگاه گرماسنچ پویشی تفاضلی (DSC) (Polymer Laboratories) تحت گاز نیتروژن و گرمادهی با نرخ ۲۰ درجه بر دقیقه استفاده شد.

بررسی ثبات‌های رنگی: دستگاه استفاده شده جهت انجام آزمایش ثبات شستشوی (SDL) Rotowash color fastness tester (UV-210PC) رمک‌کشی با استفاده از طیف‌سنجی UV-Vis (SDL) (Shimadzu زاپن) بررسی شد.

۲-۲- روش کار

عملیات شستشوی اولیه برای خالص‌سازی نمونه‌های نایلون ۶ پیش از شروع آزمایشات آنژیمی انجام شد. بدین منظور نمونه‌ها با ۵٪ از شوینده غیریونی در حمامی با $L:G=1:20$ به مدت ۱۵ دقیقه در ۶۰°C عمل شدند.

نمونه‌های شستشو شده در حمام‌هایی با درصدهای ۱٪، ۲٪، ۴٪ و ۶٪ از آنژیم لیپاز در ۵, ۶, ۵ pH در ۳۰°C به مدت ۸۰ دقیقه با $L:G=1:20$ عمل شدند. شرایط آزمایش مطابق توصیه شرکت تولید کننده آنژیم می‌باشد.

پس از عملیات آنژیمی جهت زدودن نمونه‌ها از آنژیم لیپاز و از بین بردن فعالیت آن عملیات خنثی‌سازی در محیط اسیدی در ۴ pH به مدت ۵ دقیقه در ۹۰°C انجام شد.

نمونه‌های عمل شده با آنژیم به طور جداگانه در حمام‌های محتوی ۱٪ رنگزای اسیدی، ۴٪ اسید استیک با $L:R=1:40$ قرار گرفتند. رنگرزی در ۴۰°C آغاز شد و حمام‌های رنگرزی به مدت ۲۰ دقیقه به یک ساعت رنگرزی در دمای جوش ادامه یافت. در انتهای نمونه‌های رنگرزی شده آبکشی شدند.

نمونه‌های عمل شده با آنژیم به طور جداگانه در حمام‌های محتوی ۱٪ رنگزای دیسپرس، ۴٪ اسید استیک و ۱٪ دیسپرس کننده با $L:R=1:40$ قرار گرفتند. رنگرزی در ۴۰°C آغاز شد و حمام‌های رنگرزی به مدت ۲۰ دقیقه به جوش رسید و به مدت یک ساعت

گروههای عاملی بیشتر که قابلیت رنگرزی با رنگزهای اسیدی را دارند در مقایسه با لیف عمل نشده با آنژیم ایجاد می‌شود که در نتیجه جذب رنگرای اسیدی در نایلون افزایش می‌یابد. این نتیجه در آزمایش محققان دیگر نیز تأیید شده است [۲۵، ۲۷، ۲۹].

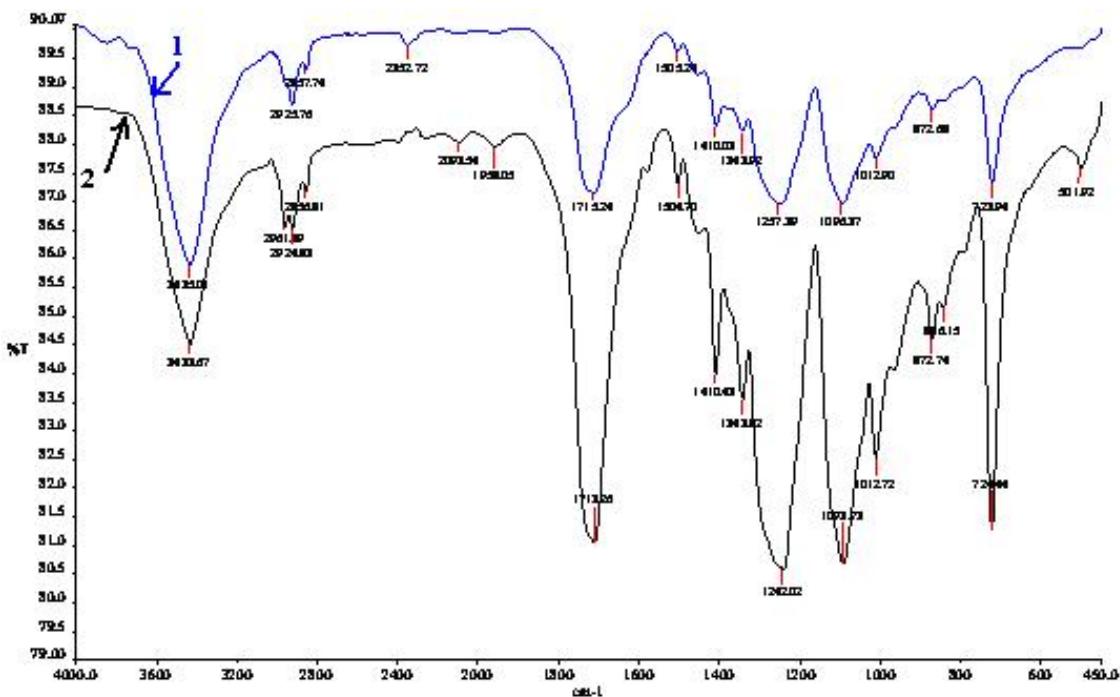
نتایج مشابه در رنگرای الیاف نایلون عمل شده با آنژیم با رنگزای دیسپرس به دست آمد. بدین ترتیب که در اثر عمل الیاف نایلون با ۱٪ از آنژیم لیپاز میزان جذب رنگزای دیسپرس نیز مشابه رنگزای اسیدی افزایش و این روند با افزایش غلظت آنژیم ادامه داشت. نتایج تغییرات مؤلفه‌های رنگی نمونه‌های رنگرزی شده با رنگزهای دیسپرس نیز مشابه رنگزهای اسیدی است و مقدار L^* در نمونه‌های آنژیمی در مقایسه با نمونه‌های عمل نشده کاهش یافت. به علاوه تغییر قابل توجهی در مقادیر مؤلفه‌های a^* و b^* در اثر فرآیند آنژیمی مشاهده نشد. با توجه به اینکه آنژیم می‌تواند در نواحی آنژیمی مشاهده نشد. تسریع نموده و جذب رنگرای دیسپرس را نیز در الیاف بهبود می‌دهد. این روند با افزایش غلظت آنژیم نیز دیده می‌شود [۲۷، ۲۸، ۳۹]. نتایج آزمون رمکشی با نتایج حاصل از اندازه‌گیری مؤلفه‌های رنگی نمونه‌ها مطابقت دارد.

مقایسه با نمونه عمل نشده با آنژیم کاهش و با افزایش درصد آنژیم روند کاهش در میزان L^* ادامه دارد. با توجه به نتایج تغییر قابل توجهی در مقادیر مؤلفه‌های a^* , b^* و h در اثر فرآیند آنژیمی مشاهده نمی‌شود. کاهش در مقادیر L^* در نمونه‌های رنگرزی شده با رنگزای اسیدی می‌تواند در نتیجه افزایش هیدرولیز و در نتیجه افزایش مکان‌های قابل جذب رنگرای اسیدی در اثر فرآیند آنژیمی باشد.

الیاف نایلون ۶ مورد استفاده در پوشک دارای ساختاری در حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد کریستالی است و دارای زنجیرهای بلند بدون گروههای جانبی حجیم در ساختار خود است. از مهم‌ترین خصوصیات ساختار الیاف نایلون وجود پیوندهای هیدروژنی بین زنجیری است که در خواص مختلف آن تأثیر بسزایی دارد. مطالعات نشان داده است که زنجیرهای الیاف نایلون صفات فیبریلی تشکیل داده‌اند که در این فیبریلها لاملاً مناطق کریستالی را تشکیل می‌دهند. این لاملاً از طریق زنجیرهای مولکولی بلند بین فیبریلی با یکدیگر ارتباط دارند [۳۱-۳۴]. آنژیم لیپاز می‌تواند با نفوذ به مناطق آرایش نیافته سطح و داخل ساختار الیاف عمل هیدرولیز و شکست زنجیرها را انجام دهد [۳۵]. بعلاوه با توجه به نتایج می‌توان استدلال نمود که آنژیم لیپاز روند تجزیه زنجیرهای پلی‌آمید را تسریع نموده و الیاف با

جدول ۲: میزان رمکشی و مؤلفه‌های رنگی منسوج نایلون ۶ عمل شده با آنژیم لیپاز و سپس رنگرزی شده با ۱٪ از رنگزهای اسیدی و دیسپرس (مقادیر انحراف معیار در داخل برانتر مشخص شده است).

رنگزا	آنژیم (%)	رمکشی (%)	L^*	a^*	b^*	C^*	h
۰	۶۵ (۱,۵)	۴۱,۱۳ (۱,۲)	-۱,۶۸ (۰,۰۱)	-۲۷,۳۴ (۱,۵)	۲۷,۳۹ (۱,۰)	۲۷,۳۹ (۵,۸)	۲۶۶,۴۷
۱	۶۷ (۱,۷)	۴۰,۰۰ (۱,۳)	-۱,۸۷ (۰,۰۲)	-۲۷,۵۲ (۱,۹)	۲۷,۵۹ (۱,۴)	۲۷,۵۹ (۶,۵)	۲۶۶,۱۰
۲	۶۸ (۱,۳)	۳۸,۶۴ (۱,۵)	-۱,۶۱ (۰,۰۲)	-۲۷,۵۲ (۱,۶)	۲۷,۶۲ (۱,۲)	۲۷,۶۵ (۸,۲)	۲۶۶,۶۵
۴	۷۰ (۰,۸)	۳۸,۳۰ (۱,۵)	-۱,۵۸ (۰,۰۲)	-۲۷,۲۴ (۱,۲)	۲۷,۲۹ (۱,۱)	۲۷,۶۷ (۱,۳)	۲۶۶,۶۷
۶	۷۳ (۱,۷)	۳۷,۵۰ (۱,۱)	-۱,۴۴ (۰,۰۲)	-۲۷,۳۵ (۱,۱)	۲۷,۳۹ (۱,۴)	۲۷,۳۹ (۲,۹)	۲۶۶,۹۷
۰	۵۰ (۱,۲)	۴۴,۱۵ (۱,۶)	۱۵,۶۵ (۰,۳)	۳,۱۷ (۰,۱)	۱۶,۱۹ (۰,۵)	۱۶,۱۹ (۱,۵)	۱۴,۹۱
۱	۵۱ (۰,۷)	۴۳,۹۵ (۱,۳)	۱۵,۰۶ (۰,۴)	۳,۰۷ (۰,۵)	۱۵,۳۷ (۰,۳)	۱۵,۳۷ (۱,۵)	۱۱,۵۳
۲	۵۲ (۰,۸)	۴۳,۳۸ (۱,۳)	۱۵,۹۹ (۰,۴)	۳,۳۶ (۰,۴)	۱۶,۰۶ (۰,۵)	۱۶,۰۶ (۱,۵)	۱۵,۹۷
۴	۵۵ (۱,۸)	۴۱,۲۵ (۱,۹)	۱۵,۵۸ (۰,۵)	۳,۳۱ (۰,۴)	۱۶,۹۲ (۱,۵)	۱۶,۹۲ (۱,۵)	۱۲,۰۰
۶	۵۸ (۱,۱)	۲۰,۶۳ (۱,۵)	۱۵,۱۶ (۰,۷)	۳,۷۹ (۰,۸)	۱۶,۶۲ (۰,۱)	۱۶,۶۲ (۱,۵)	۱۴,۰۵



شکل ۱: طیف FTIR نمونه خام نایلون ۶ (نمودار ۱) و نمونه عمل شده با آنزیم لیپاز (نمودار ۲).

نتایج طیف FTIR در نمونه های عمل شده با آنزیم در مقایسه با نمونه عمل نشده، نشان دهنده تجزیه و هیدرولیز گروه های شیمیایی مختلف بخصوص گروه های آمیدی ($\text{CONH}-\text{CONH}_2$) می باشد.

۳-۳- بررسی میزان رطوبت بازیافتنی

نتایج آزمایش بررسی رطوبت بازیافتنی نمونه های نایلون ۶ عمل شده با آنزیم لیپاز در مقایسه با نمونه عمل نشده در جدول ۳ نشان داده شده است. میزان رطوبت بازیافتنی نمونه عمل شده با محلول ۱٪ از آنزیم لیپاز در مقایسه با نمونه عمل نشده افزایش دارد و با افزایش غلظت آنزیم به مقادیر بالاتر تا ۶٪ این روند افزایش ادامه یافت.

جدول ۳: میزان رطوبت بازیافتنی منسوج نایلون ۶ عمل شده با آنزیم لیپاز در غلظت های مختلف (مقادیر انحراف معیار در داخل پرانتز مشخص شده است)

آنزیم (%)	رطوبت بازیافتنی (%)
۰ (۰,۰۷)	۳,۳۵
۱ (۰,۰۸)	۳,۶۸
۲ (۰,۰۵)	۴,۰۵
۴ (۰,۰۵)	۴,۴۳
۶ (۰,۰۷)	۴,۵۸

۳-۲- بررسی تغییرات شیمیایی

طیف امواج مادون قرمز نمونه عمل شده با ۶٪ آنزیم لیپاز و نمونه عمل نشده در شکل ۱ نشان داده شده است. ارتعاشات پیوندهای N-H از نوع کششی و خمشی در پل آمیدها عموماً در نواحی $3۱۰۰-۳۵۰۰\text{ cm}^{-1}$ و $۱۵۵۰-۱۶۴۰\text{ cm}^{-1}$ ظاهر می شوند که بستگی به نوع آمید اولیه و ثانویه، ماهیت محیطی که ترکیب در آن قرار دارد (مایع و جامد) و پیوندهای هیدروژنی بین مولکولی دارد. پیوند ارتعاشی خمشی C=O معمولاً بین نواحی ۱۶۷۰ cm^{-1} و ۱۶۴۰ cm^{-1} ظاهر می شود که با پیوند ارتعاشی H-N همپوشانی دارد [۳۶].

شکل ۱ پیوند ارتعاشی آمید ثانویه در ۳۴۳۵ cm^{-1} در نایلون ۶ را نشان می دهد. پیک های $۱۶۵۰-۱۶۵۰\text{ cm}^{-1}$ ارتعاشات کششی N-H را نشان می دهد که با ارتعاشات گروه های C=O در الیاف همپوشانی دارد. نوار ۱۷۱۵ cm^{-1} ناشی از ارتعاشات کششی گروه C=O در آمید ثانویه بوده که از ناحیه ۱۶۴۰ cm^{-1} انتقال یافته است. این انتقال نوار رزونанс بین مولکول ها در زنجیرهای پلی آمید را تأیید می کند. شدت نوار پهن در ۳۴۳۳ cm^{-1} کاهش یافته که ناشی از شکستن برخی از گروه های پلی آمید پس از فرآیند آنزیمی است. نوار ۱۲۴۲ cm^{-1} مربوط به ارتعاشات خمشی N-H و کششی C-N بوده که حضور پیوندهای شیمیایی C-N-H پس از فرآیند آنزیمی نایلون ۶ را تأیید می کند. به علاوه پس از عملیات آنزیمی شدت نوارهای ۱۷۱۵ cm^{-1} و ۷۲۳ cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کششی و خمشی C=O و NH افزایش یافته است که هیدرولیز زنجیرهای پلی آمید را تأیید می کند.

بهینه‌سازی فرآیند آنژیمی جهت جلوگیری از کاهش استحکام الیاف نایلون ضروری است. در غلظت ۰٪ از آنژیم، درصد کاهش استحکام در حدود ۷٪ می‌باشد و با افزایش غلظت آنژیم تا ۶٪، درصد کاهش استحکام به حدود ۱۸٪ رسیده است. لذا پیشنهاد می‌شود که آنژیم مصرفی بر روی الیاف نایلون ۶ مورد استفاده در پوشак ۲-۳٪ باشد.

۳-۵- بررسی خواص میکروسکوپی

شکل ۲ نشان دهنده سطح الیاف نایلون ۶ خام و عمل شده با محلول ۶٪ آنژیم لیپاز با بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر می‌باشد. با توجه به شکل ۲-الف مشاهده می‌شود که الیاف نایلون ۶ دارای سطح نسبتاً یکنواختی است و در برخی از مناطق سطح الیاف ذراتی وجود دارد که می‌تواند ناخالصی و ذرات گرد و غبار موجود در هوا باشد که به الیاف چسبیده‌اند. شکل ۲-ب تغییرات سطح الیاف نایلون ۶ در اثر عمل با آنژیم لیپاز در محلول ۶٪ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۲-ب تغییرات در سطح لیف یکنواخت نیست و تفاوت قابل ملاحظه‌ای در سطح لیف در اثر هیدرولیز آنژیمی مشاهده نشده است. احتمالاً هیدرولیز و تخریب بخش‌هایی از مناطق آرایش نیافته در ساختار داخلی الیاف وجود دارد. بعلاوه تغییرات ایجاد شده در ساختار الیاف در نواحی داخلی الیاف به دلیل نفوذ آنژیم صورت گرفته است که سبب افزایش جذب رنگزها و کاهش استحکام الیاف شده‌اند.

۳-۶- بررسی خواص گرمایی

شکل ۳ طیف DSC الیاف نایلون ۶ خام و عمل شده با محلول ۶٪ آنژیم لیپاز را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار حرارتی الیاف عمل نشده، درجه حرارت شیشه‌ای پیکی گرمائی در حدود ۵۳°C دارد که در اثر فرآیند آنژیمی به ۵۵°C رسیده است که تغییر قابل توجهی را نشان نمی‌دهد. درصد آرایش یافته‌ی یک پلیمر با درجه حرارت شیشه‌ای آن رابطه مستقیم دارد و با کاهش درصد آرایش یافته‌ی

انتقال رطوبت از پوست به ناحیه‌های بالاتر در طی پوشش منسوجات توسط انسان نشانده‌نده قابلیت تنفس و راحتی در منسوج است و عامل مهمی در راحتی انسان می‌باشد [۳۷]. با توجه به اینکه زنجیرهای پلی‌آمید در نواحی آرایش نیافته در اثر عمل با آنژیم ممکن است تحت تجزیه قرار گیرند لذا دسترسی آب به این نواحی در الیاف عمل شده با آنژیم بیشتر می‌باشد. این خاصیت مطلوبی در پوشاك نایلون ۶ عمل شده با آنژیم‌ها است که در نتیجه میزان تنفس پذیری و راحتی در پوشش را در افراد استفاده کننده از پوشاك عمل شده با آنژیم افزایش می‌دهد. نتایج حاصل از آزمایش رطوبت بازیافتی با نتایج حاصل از رقم‌کشی رنگزها در الیاف در اثر عمل با آنژیم‌ها مطابقت دارد.

۴-۴- بررسی استحکام نمونه‌ها

جدول ۴ مدول، استحکام و ازدیاد طول تا پارگی برای نمونه‌های نایلون ۶ عمل شده با آنژیم لیپاز با درصدهای ۱، ۲، ۴ و ۶٪ در مقایسه با نمونه عمل نشده را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که استحکام، ازدیاد طول تا پارگی و مدول نمونه‌های عمل شده با ۱٪ آنژیم در مقایسه با نمونه عمل نشده کاهش یافته است و با افزایش درصد آنژیم این کاهش ادامه دارد. با توجه به این نتیجه و در مقایسه با نتایج آزمایشات قبل می‌توان استنباط نمود که آنژیم تا حدی می‌تواند به فضاهای داخلی در مناطق آرایش نیافته الیاف نفوذ کرده است و سبب هیدرولیز بخشی از گروههای آمیدی و در نتیجه کاهش در مقادیر استحکام، ازدیاد طول تا پارگی و مدول نمونه‌ها می‌گردد. عدم استفاده بهینه از آنژیم لیپاز می‌تواند سبب صدمه و تخریب بخشی از مناطق آرایش نیافته الیاف نایلون و کاهش استحکام آن گردد ولی در رنگرزی، مولکولهای رنگزای دیسپرس قابلیت نفوذ بیشتر به داخل الیاف را دارد و رنگراهای اسیدی نیز می‌توانند با گروههای هیدرولیز شده واکنش دهند. کنترل میزان نفوذ آنژیم و

جدول ۴: خصوصیات مکانیکی نخ نایلون ۶ عمل شده با آنژیم لیپاز در غلظت‌های مختلف (انحراف معیار کمتر از ۰/۵٪)

آنژیم (%)	مدول اولیه (g/tex)	مدول اولیه پس از فرآیند آنژیمی	ازدیاد طول تا پارگی (%)	درصد کاهش	استحکام (g/tex)	طول تا پارگی پس از فرآیند آنژیمی	درصد کاهش ازدیاد	درصد کاهش
۰	۲۷,۵ (۰,۵)	-	۳,۳۲ (۰,۷)	-	۶,۲۵ (۰,۲)	-	-	-
۱	۲۶,۲ (۰,۴)	۴,۷	۳۰,۳ (۰,۶)	۶,۱	۶,۰۵ (۰,۲)	۵,۷۷ (۰,۲)	۳,۲	۷,۶
۲	۲۴,۵ (۰,۵)	۱۰,۹	۲۸,۱ (۰,۶)	۱۳	۵,۷۷ (۰,۲)	۵,۵۰ (۰,۲)	۱۲	۱۸,۴
۴	۲۴,۱ (۰,۴)	۱۲,۳	۲۷,۰ (۰,۴)	۱۶,۴	۵,۵۰ (۰,۲)	۵,۱۰ (۰,۲)	۱۲	۷,۶
۶	۲۲,۷ (۰,۴)	۱۷,۴	۲۶,۹ (۰,۳)	۱۶,۷	۵,۱۰ (۰,۲)	۵,۰۷ (۰,۲)	۳,۲	-

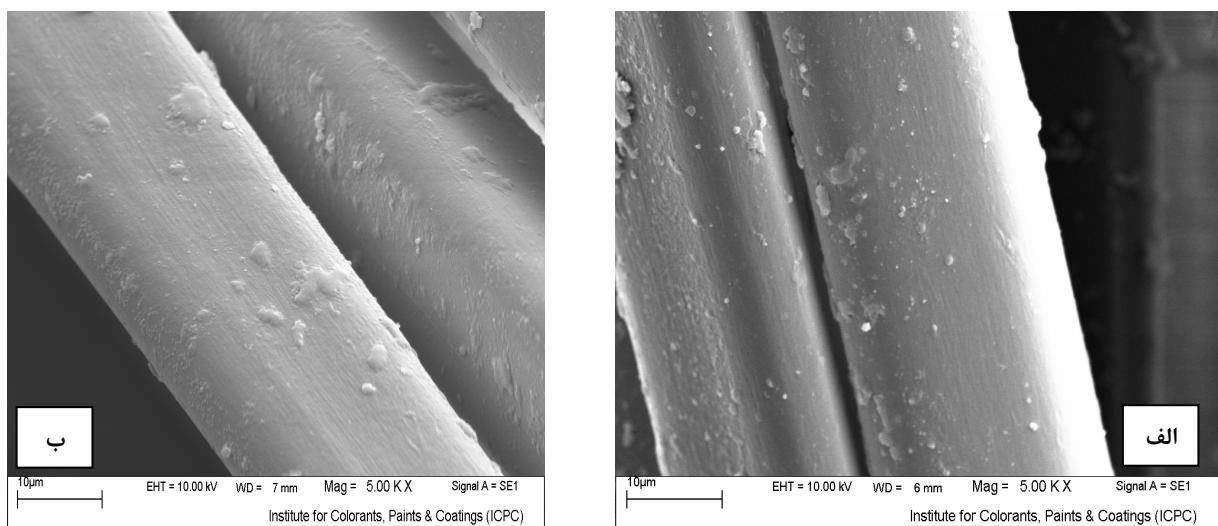
تعداد گروههای آمینی افزایش می‌یابد در نتیجه تعداد مولکولهای پیوند دهنده بین رنگزای اسیدی و الیاف افزایش یافته و رنگرهای متصل شده ثبات شستشویی بیشتری در برابر شویندها داردند [۲۹، ۳۰]. میزان لکه‌گذاری در نمونه‌های همراه پشمی و پنبه‌ای کاهش یافت. این نتیجه با نتایج آزمایشات رنگ‌سنجدی و رمق‌کشی حمامها نیز مطابقت دارد.

با توجه به نتایج ثبات نوری به روش ISO-R-105 در نمونه‌های عمل شده با آنزیم لیپاز و سپس رنگرزی شده با رنگزای اسیدی، ثبات نوری تغییری نداشت در صورتی که عمل با آنزیم، ثبات نوری الیاف رنگرزی شده با رنگزای دیسپرس را بهبود داده است که احتمالاً به دلیل نفوذ بیشتر رنگزای دیسپرس در نمونه‌های عمل شده با آنزیم می‌باشد. پس از قرارگیری نمونه‌ها در دستگاه زنوتست، ثبات نوری نمونه عمل شده با ۶٪ آنزیم و سپس رنگرزی شده با رنگزای اسیدی در مقایسه با نمونه عمل نشده و سپس رنگرزی شده ۵ است و تغییری نداشت در صورتی که ثبات نوری در مورد رنگزای دیسپرس از ۳-۴ در نمونه عمل نشده به ۴-۵ در نمونه آنزیمی افزایش یافت. عوامل مؤثر در ثبات نوری رنگزاهای شامل ساختار شیمیایی رنگزا، غلظت رنگزا در الیاف، وضعیت فیزیکی قرارگیری رنگزا در الیاف، نوع لیف، نوع و شدت منبع نوری و حضور جاذبهای UV یا سایر مواد در کنار رنگزا می‌باشند.

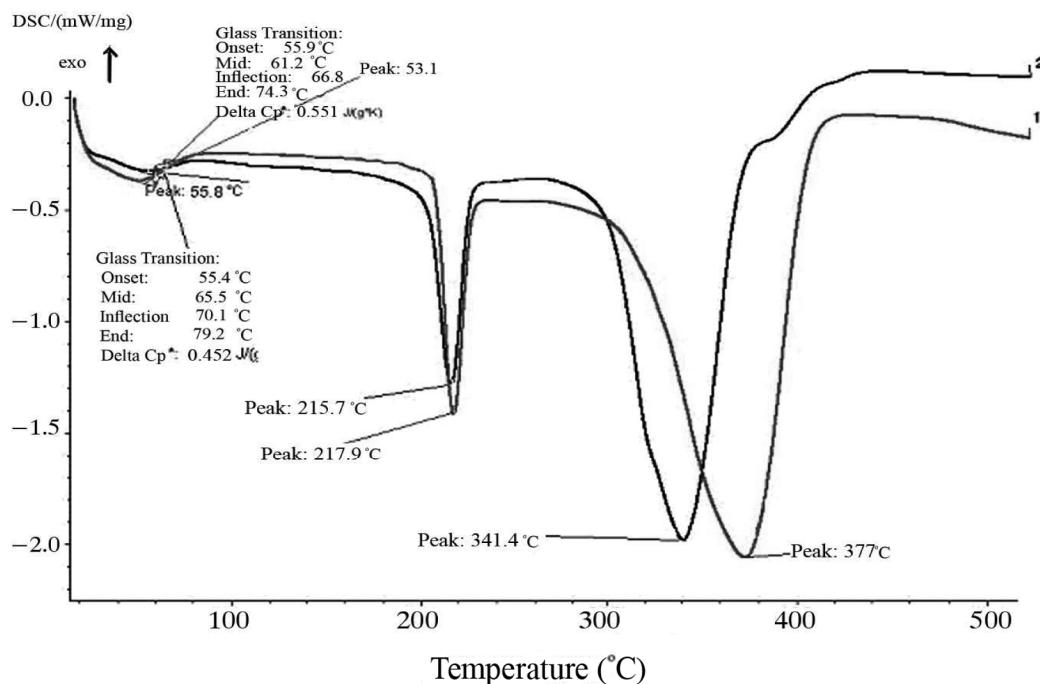
یک پلیمر درجه حرارت شیشه‌ای آن نیز کاهش می‌یابد [۳۸]. پیک گرمایی درجه حرارت ذوب نایلون ۶ نیز در حدود ۲۱۸ °C است که پس از فرآیند آنزیمی در حدود ۲۱۵ °C را نشان داده است. با افزایش دمای حرارت دهی نمونه‌ها در دستگاه گرماسنج پویشی تفاضلی در محدوده دمایی ۳۰۰ °C تا ۴۰۰ °C کاهش قابل توجهی در درجه حرارت تخریب الیاف نایلون ۶ پس از فرآیند آنزیمی در مقایسه با نمونه عمل نشده مشاهده شده است. این کاهش از درجه حرارت ۳۷۷ °C برای نمونه اولیه به ۳۴۱ °C برای نمونه عمل شده با ۶٪ آنزیم بوده است. با توجه به کاهش دمای تخریب نمونه عمل شده با آنزیم در منحنی‌های شکل ۳ می‌توان نتیجه گرفت که فرآیند آنزیمی می‌تواند میزان آرایش یافتنگی الیاف نایلون ۶ را حدودی کاهش دهد که با نتایج حاصل از آزمایش بررسی استحکام نمونه‌ها مطابقت دارد.

۷-۳- بررسی ثبات‌های رنگی

جدول ۵ ثبات شستشویی و نوری نمونه‌های عمل شده با آنزیم و سپس رنگرزی شده با رنگزاهای اسیدی و دیسپرس را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که فرآیند آنزیمی پیش از رنگرزی، ثبات‌های شستشویی نمونه‌های رنگرزی شده را بهبود می‌دهد که می‌تواند در نتیجه افزایش نفوذ رنگزاهای اسیدی و دیسپرس به داخل الیاف باشد. در اثر فرآیند آنزیمی برخی از زنجیرهای پلی‌آمید هیدرولیز شده و



شکل ۲: الیاف نایلون ۶ با بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر: الف) عمل نشده و ب) عمل شده با ۶٪ آنزیم لیپاز.



شکل ۳: طیف DSC الیاف نایلون ۶: نمودار ۱) عمل نشده، نمودار ۲) عمل شده با ۶٪ آنزیم لیپاز.

جدول ۵: ثبات شستشویی و نوری منسوج نایلون ۶ عمل شده با آنزیم لیپاز و سپس رنگرزی شده با ۱٪ از رنگرهای اسیدی و دیسپرس

رنگزا	آنژیم (%)	ثبات شستشویی	لکه گذاری الیاف پشم	لکه گذاری الیاف پنبه	۲ روز نوردهی	۷ روز نوردهی
.	.	۳	۳-۴	۴	۵-۶	۵-۶
۱	۱	۴	۴-۵	۴-۵	۵-۶	۵-۶
۲	۲	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۵-۶	۵-۶
۴	۴	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۵-۶	۵-۶
۶	۶	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۵-۶	۵-۶
.	.	۳-۴	۴-۵	۴-۵	۴	۴
۱	۱	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۴-۵
۲	۲	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۵	۵
۴	۴	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۵	۵
۶	۶	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۵	۵

جذب شده توسط الیاف در اثر عمل با آنزیم افزایش یافت. آنزیم لیپاز روند تجزیه زنجیرهای پلی آمید را تسريع می کند و الیاف با گروههای عاملی بیشتر که قابلیت رنگرزی با رنگزهای اسیدی را دارند در مقایسه با لیف عمل نشده با آنزیم ایجاد می شود. تغییرات ایجاد شده در اثر فرآیند آنزیمی، مربوط به ارتعاشات کششی N-H و C-N است که در گروههای H-N-C-N-های نایلون ۶ ایجاد شده است. کاهش شدت نوار پهن در 3443 cm^{-1} و افزایش شدت نوارهای 1715 cm^{-1} و 723 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کششی و خمشی C=O و NH از شکستن برخی از گروههای پلی آمید و هیدرولیز زنجیرهای پلی آمید پس از فرآیند آنزیمی را تأیید می کند. استحکام، ازدیاد طول تا پارگی و مدول نمونههای عمل شده با آنزیم لیپاز در مقایسه با نمونه عمل نشده کاهش یافت که احتمالاً به دلیل هیدرولیز بخشی از زنجیرهای پلی آمید می باشد. با توجه به تصاویر میکروسکوپی میزان تغییرات سطحی کمی در الیاف مشاهده می شود. فرآیند آنزیمی پیش از رنگرزی، ثباتهای شستشویی و ثبات نوری نمونههای رنگرزی شده را بهبود داد که می تواند در نتیجه افزایش نفوذ و جذب رنگزهای داخل الیاف باشد. با توجه به اینکه امروزه بسیاری از تحقیقات در زمینه اصلاح خواص الیاف مصنوعی جهت استفاده راحتتر در پوشاس می باشد فرآیند آنزیمی می تواند به عنوان روشی بسیار مفید در این زمینه مطرح باشد.

عمل کردن نمونهها با آنزیم سبب افزایش تجمع رنگزهای دیسپرس و نفوذ به داخل الیاف می شود و زمانی که غلظت رنگزا در الیاف افزایش یابد اتفاق انرژی نور جذب شده در الیاف سریع تر است و تجزیه نوری رنگرا کندتر می باشد. در نتیجه با افزایش غلظت رنگزا در الیاف میزان رنگ پریدگی نمونهها در معرض نور آفتبا کاهش می یابد [۳۹، ۴۰]. از طرف دیگر رطوبت نسبی محیط و دما دو عامل مؤثر در رنگ پریدگی الیاف رنگرزی شده می باشند. با افزایش میزان رطوبت موجود در الیاف، رادیکالهای فعال ایجاد شده در اثر رطوبت و اکسیژن موجود در محیط به همراه انرژی امواج الکترومغناطیس در طی فرآیند اکسیداسیون نوری، سرعت رنگ پریدگی در الیاف را افزایش می دهد. هرچه غلظت رنگزا در الیاف افزایش یابد به دلیل افزایش تجمع رنگزا، تأثیر رطوبت موجود در الیاف در کاهش ثبات نوری کمتر می باشد [۴۱-۴۴]. با افزایش زمان نوردهی نمونهها از ۲ به ۷ ساعت تغییرات ثبات نوری نمونهها مشاهده نمی شود که نشان می دهد تغییرات ثبات نوری نمونهها تا حدی با گذشت زمان است و افزایش زمان نوردهی تأثیری در کاهش ثبات نوری ندارد.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج آزمایش رمک کشی، رنگ‌سننجی و جذب رطوبت، میزان جذب رنگزهای اسیدی و دیسپرس و همچنین میزان رطوبت

۵- مراجع

- P. Atkins, J. D. Pauula. Physical chemistry. 7th Ed. UK: Oxford University Press, (2001).
- Y. M. Galante, D. Foglietti, C. Tonin, R. Innocenti, F. Ferro, R. Monteverdi. Enzyme applications in fiber processing, 24. American Chemical Society, (1998), 294-305.
- A. Cavaco-Paulo. Processing textile fibers with enzymes: an overview. In: ACS Syposium Series, 687(1998), 180-189.
- R. J. Beynon, J. S. Bond. Proteolytic enzymes: a practical approach. Oxford: Oxford University Press, (2001).
- E. Heine, H. Hocker, Enzyme treatments for wool and cotton. *Rev. Prog. Coloration.* 25(1995), 57-63.
- N. Duran, M. Duran. Enzyme applications in the textile industry. *Rev. Prog. Coloration.* 30(2000), 41-44.
- R. Makinson. Shrinkproofing of wool. NY: Marcel Dekker; (1979).
- D. P. Bishop, J. Shen, E. Heine, B. Hollfelder. The use of proteolytic enzymes to reduce wool fiber stiffness and prickle. *J. Text. Inst.* 89(1998), 546-53.
- D. Clark, Enzyme treatment for removing pills from garment dyed goods. *Int. Dyer.* 178(1993), 20.
- H. Nolte, D. P. Bishop, H. Hocker. Effects of proteolytic and lipolytic enzymes on untreated and shrink-resist-tested wool. *J. Text. Inst.* 87(1996), 212-226.
- G. Mazzuchetti, C. Vineis. Study of the enzyme treatments effect on the pilling behavior of knitted wool fabrics. *Autex. Res. J.* 5(2005), 55-60.
- Kurashiki Spinning Co., Japanese P 58,144,105.
- A. Riva, I. Algaba, R. Prieto, Dyeing kinetics of wool fabrics pre-treated with a protease. *Color. Technol.* 118(2002), 59-63
- A. Riva, A. J. M. Bordas, Prieto R. Enzymes as auxiliary agents in wool dyeing. *J. Soc. Dyers. Color.* 115(1999), 125-129.
- E. Tsatsaroni, M. Liakopoulou-kyriakides, I. Eleftheriadis. Comparative study of dyeing properties of two yellow natural pigments: effects of enzymes and proteins. *Dyes. Pigments.* 37(1998), 307.
- M. Parvinzadeh, Effect of proteolytic enzyme on dyeing of wool with madder. *Enzyme. Microbial. Technol.* 40(2007), 1719-1722
- D. Ciechańska, J. Kazimierczak, Enzymatic treatment of fibers from regenerated cellulose. *Fibers. Textiles Eastern Europe.* 14(2006), 92-95.
- D. Clark, Enzyme treatment for removing pills from garment dyed goods. *International Dyer.* 178(1993), 20-21.
- G. Buschle-Diller, C. Fanter, F. Loth. Structural changes in hemp fibers as a result of enzymatic hydrolysis with mixed

- enzyme systems. *Text. Res. J.* 69(1999), 244-251.
- 20.M. Arami, S. Rahimi, L. Mivehie, F. Mazaheri, N. M. Mahmoodi. Degumming of Persian silk with mixed proteolytic enzymes. *J. Appl. Polym. Sci.* 106(2007), 267-275.
- 21.G. Freddi, R. Mossotti, R. Innocenti. Degumming of silk fabric with several proteases. *J. Biotechnol.* 106(2003), 101-112.
- 22.G. M. Gübitz, A. Cavaco-Paulo. New substrates for reliable enzymes: enzymatic modification of polymers. *Curr. Opin. Biotech.* 14(2003), 577-582.
- 23.G. Fischer-Colbrie, S. Heumann, S. Liebminger, E. Almansa, A. Cavaco-Paulo, G. M. Gübitz. New enzymes with potential for PET surface modification. *Biocatal. Biotransfor.* 22(2004), 341-346.
- 24.H. R. Kim, W. S. Song, Lipase treatment of polyester fabrics. *Fiber. Polym.* 7(2006), 339-343.
- 25.S. Heumann, A. Eberl, H. Pobeheim, S. Liebminger, G. Fischer-Colbrie, E. Almansa, A. Cavaco-Paulo, G. M. Gübitz, New model substrates for enzymes hydrolyzing poly ethylene terephthalate and polyamide fibers. *J. Biochem. Bioph. Meth.* 39(2006), 89-99.
- 26.U. Klun, J. Friedrich, A. Krzan, Polyamide 6 fiber degradation by a lignolytic fungus. *Polym. Degrad. Stabil.* 79(2003), 99-104.
- 27.T. Deguchi, Y. Kitaoka, M. Kakezawa, T. Nishida, Purification and characterization of a nylon-degrading enzyme. *Appl. Environ. Microbiol.* 64(1998), 1366-1371.
- 28.T. Deguchi, M. Kakezawa, T. Nishida, Nylon biodegradation by lignin-degrading fungi. *Appl. Environ. Microbiol.* 63(1997), 329-331
- 29.C. M. Silva, A. Cavaco-Paulo, Monitoring biotransformations in polyamide fibres. *Biocatal. Biotransfor.* 22(2004), 357-60.
- 30.S. M. Burkinshaw, B. Bahojb-Allafan, The development of a metal-free, tannic acid-based aftertreatment for nylon 6,6 dyed with acid dyes-part 3: Different enzymes. *Dyes. Pigments.* 60(2004), 91-102.
- 31.G. Franz, Fibers, Synthetic Inorganic. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 6th Ed., Wiley-VCH, Weinheim, 13(2003), 359-373.
- 32.J. E. McIntyre, Synthetic Fibers: Nylon, Polyester, Acrylic, Polyolefin. Woodhead Pub. Cambridge, (2005), 20-88.
- 33.M. Lewin, Handbook of Fiber Chemistry. CRC Press, New York, (2007), 1-26.
- 34.F. Fourne, Synthetic Fibers: Machines and Equipment, Manufacture, Properties. Hanser Publishers, Munich, (1999), 67-94.
- 35.T. Hayashi, K. Nakayama, M. Mochizuki, T. Masuda. Studies on biodegradable poly (hexano-6-lactone) fibers-Part 3: Enzymatic degradation in vitro. *Pure Appl. Chem.* 74(2002), 869-880.
- 36.J. M. Julian, D. G. Anderson, A. H. Brandau, J. R. McGinn, A. M. Millon. Qualitative analysis. In: D. R. Brezinski, editor. An infrared spectroscopy atlas for the coatings industry. 1st Ed. Pennsylvania. (1991), 30-51.
- 37.J. Guo, The effects of household fabric softeners on the thermal comfort and flammability of cotton and polyester fabrics [dissertation] Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University 121 p. Available from: University digital library, etd-05072003-143334, (2003).
- 38.W. Groenewoud, Characterisation of polymers by thermal analysis, Elsevier, Netherland, (2001), 10-16.
- 39.J. Oakes, Photofading of textile dyes. *Rev. Prog. Color.* 31(2001), 21-28.
- 40.A. T. Balazsy, D. Eastop, Chemical principles of textile conservation, John Wiley ltd, Singapore, (1998), 36-41.
- 41.T. Padfield, S. Landi, The light-fastness of the natural dyes, Studies in Conservation. 11(1966), 181-196.
- 42.S. N. Batchelor, D. Carr, C. E. Coleman, L. Fairclough, A. Jarvis, The photofading mechanism of commercial reactive dyes on cotton. *Dyes. Pigments.* 59(2003), 269-275.
- 43.Y. A Ershov, G. E Krichevskii, Light fastness of coloured polymeric materials. *Russ. Chem. Rev.* 43(1974), 210-223.
- 44.S. Shakra, H. L. Hanna, A. Hebeish, Some fading characteristics of various monoazo dyes on polyester. *Macromol. Mater. Eng.* 93(1981), 75-81.