تهیه نخ ابریشمی ضدمیکروب با به‌کارگیری آنزیم پروتئاز و نانونقره

دکتر مجید منتظر
دانشیار، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
اقدس‌سادات سعادتدار آرانی
کارشناس ارشد شیمی نساجی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب
محمدکریم رحیمی
استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پزشکی تهران

گلجام
فصلنامه
علمی ـ پژوهشی
انجمن علمی
فرش ایران
شماره ۱۹
تابستان ۱۳۹۰

چکیده
امروزه کاربرد آنزیم‌ها و ضدباکتری‌ها روی الیاف پروتئینی جهت محافظت منسوجات در برابر میکروب‌ها و جلوگیری از ایجاد لکه، تغییر رنگ و افزایش زمان نگهداری فرش‌های ابریشمی در موزه‌ها مورد توجه قرار گرفته است. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر آنزیم پروتئاز و نانونقره روی نخ ابریشمی انجام شده است. نخ ابریشمی دولا با نمره140 tex (به‌عنوان خامه فرش) با آنزیم پروتئاز و مقادیر مختلف نانونقره در شرایط متفاوت عمل شده و خواص ضدمیکروبی آنها در مجاور دو نوع باکتری *E.coli* و *S.aureos* بررسی و مقایسه شده است. همچنین برخی خصوصیات نخ ابریشمی عمل شده شامل کاهش وزن، شاخص سفیدی و خصوصیات رنگی در تصاویر میکروسکوپ الکترونی بررسی شده است. به‌کارگیری نانونقره به تنهایی خاصیت ضدمیکروب عالی با غلظت‌های متفاوت میکروب را نشان داده ولی سبب کاهش سفیدی نخ ابریشمی شده است. در حالی‌که با به‌کارگیری ۲٪ پروتئاز، خاصیت ضدباکتری و سفیدی نخ ابریشمی افزایش یافته است. بر این اساس کاربرد هم‌زمان پروتئاز و ppm30 نانونقره روی نخ ابریشمی سبب ایجاد ویژگی ضد باکتری عالی (۱۰۰٪) شده است.

واژه‌های کلیدی: پروتئاز، ضدمیکروب، نانونقره، ابریشم.

مقدمه

در حال حاضر توجه زیادی به استفاده از آنزیم‌ها جهت حصول تنوع اثر تکمیلی روی الیاف پروتئینی صورت می‌گیرد، اما درجه و دامنه تخریب لیف توسط آنزیم نکته مهم‌تری در کاربرد تجاری آن است. پروتئازها با شکستن پیوندهای پپتیدی، پروتئین را هیدرولیز کرده و سبب کاهش طول زنجیر پروتئین شده و نهایتاً منجر به تولید اسید آمینه آزاد می‌شوند (Cavaco & Gubitz, 2005). پروتئازها روی الیاف ابریشم نیز تأثیر تخریبی دارند و تأثیر آنها در استحکام کششی، ساختار کریستالی و کاهش وزن دیده می‌شود (Horan et al., 2005).

ابریشم طبیعی به‌وسیله کرم ابریشم از نوع *Bombyx mori* و غیره تولید می‌شود. در واقع از دو غده در کرم ابریشم ماده چسبنده به‌صورت فیلامنت بلند و یکنواخت ترشح می‌شود که در هوا به‌صورت لیف جامد درمی‌آید. ابریشم پس از صمغ‌گیری تنها حاوی فیروئین است که از آمینواسیدهای گلایسین، آلانین و سرین تشکیل شده که آمینو اسیدهای کوچکی هستند که سبب ایجاد ساختار منظم و کریستالی فیبروئین می‌شوند. نقطه ایزویونیک فیبروئین pH=۵ و سریسین pH=٤/٥ است. در محدوده pH=٤-٥ فیبروئین از حداقل تورم و تمایل به واکنش شیمیایی برخوردار است. در خارج از این محدوده با شکستن پیوندها و نفوذ آب و حلال‌های قطبی به فیبروئین آسان‌تر شده و تورم الیاف افزایش می‌یابد (Saadatdar, 2009).

گروه‌های COOH و NH2 موجود در انتهای زنجیرهای پپتیدی ابریشم در آب یونیزه شده و امکان ایجاد پیوندهای یونی با یون‌های فعال موجود در ساختار مولکولی رنگزا ایجاد می‌شود (Dehghan, 2009).

Mingzhong Li و همکارانش تخریب لایه‌های فیبروئین ابریشم متخلخل با آنزیم‌های مختلف را بررسی کردند. در کشت لایه‌های فیبروئین ابریشم متخلخل در محلول‌های آنزیم مختلف مشاهده شد که با افزایش زمان تخریب، وزن لایه‌ها در پروتئاز کاهش یافته و با توجه به تخریب ۷۰٪ لایه فیبروئین در پروتئاز، لایه مذکور را زیست تجزیه‌پذیر دانستند (Mingzhong et al., 2003).

Montazer و همکاران اثر آنزیم پروتئاز در شرایط اسیدی روی خواص فیزیکی و مکانیکی کالای پشمی را بررسی کردند. آنها نشان دادند که افزایش غلظت پروتئاز در شرایط pH اسیدی باعث کاهش استحکام، وزن، زمان جذب قطره آب، جمع‌شدگی، افزایش درصد حلالیت قلیا و سایش کالای پشمی شده که با استفاده از عملیات بعدی با آنزیم ترانس گلوتامیناز، معایب آن بر طرف شده است. در واقع آنزیم ترانس گلوتامیناز در pH =۹-۱۰ و دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد سبب افزایش استحکام، مقاومت سایشی و کاهش زمان جذب قطره آب، میزان جمع‌شدگی و نمدی شدن کالای پشمی شده است (Montazer et al., 2006).

کنترل میکروارگانیسم‌ها روی منسوجات مختلف مانند لباس‌های بیمارستانی و دیگر منسوجات تهیه شده از الیاف طبیعی یا مصنوعی به‌دلیل رشد باکتری‌ها و قارچ‌ها روی آن‌ها گسترش یافته است. بنابراین انواع تکمیل‌های ضدمیکروبی و تکنیک‌های ضدعفونی برای انواع منسوجات توسعه یافته است. همچنین تکمیل‌های ضدباکتری جدید با روش ساده و استفاده از نانوتکنولوژی توسعه یافته است. جهت بهبود و اصلاح منسوجات در سطح مولکولی و افزایش دوام و طول عمر مفید آن‌ها، به‌کارگیری نانوتکنولوژی ضروری است (Vigneshvaran et al., 2010). مواد نانو ساختار از سطح مخصوص بیشتری نسبت به مواد متداول برخوردارند در نتیجه

مصرف مقدار بسیار کم آنها روی سطح الیاف سبب جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌ها می‌شود. نانونقره یک محصول نانوتکنولوژی با قابلیت زیاد به‌ویژه به داشتن خصوصیات ضدمیکروبی شناخته شده است. این ماده قادر است بیش از ٦٥٠ نوع باکتری، ویروس و قارچ را از بین ببرد.

Moazami و همکاران نخ ابریشمی را به روش‌های آنزیمی، قلیایی و کلیاب صمغ‌گیری کرده و همراه نمونه خام با مقادیر مختلف سولفات مس و نیترات نقره دندانه داده و سپس خواص ضدمیکروبی آنها را بررسی کرده‌اند. آنها نشان دادند که نمونه‌های صمغ‌گیری شده و عمل شده با درصدهای کم نیترات نقره و سولفات مس اثر مطلوب ضدمیکروبی دارند و با افزایش درصد دندانه‌ها پایداری خواص در برابر شستشوهای متوالی حفظ شده است. همچنین نقره قدرت بیشتری نسبت به مس در برابر استافیلوکوک اورئوس و اشریشیاکولی نشان داده که می‌تواند ناشی از اختلاف ضخامت لایه پپتیدوگلیکان دو باکتری در نظر گرفته شود. در مجموع باکتری استافیلوکوکوس آرئوس در این آزمایش‌ها مقاوم‌تر از اشریشیاکولی بوده است (Moazami et al., 2010).

در این تحقیق، نخ‌های ابریشمی دولا (پرز فرش دست‌باف) به‌صورت پیش عمل شده با آنزیم پروتئاز و همزمان با نانونقره عمل شده و خواص رنگی و ضدمیکروبی آنها بررسی و مقایسه شده‌اند.

آزمایش‌ها

مواد و وسایل

نخ ابریشمی دولا با نمره ١٤٠ tex و ٨٣ تاب در متر در جهت S، صمغ‌گیری شده استفاده شده است. آنزیم پروتئاز (٣,٥,١,٢) از شرکت Novozyme دانمارک تهیه شده و نخ ابریشمی در شرایط pH=5، L:G =٤٠:١ و دمای ٦٠ °C برای مدت ٤٥ دقیقه عمل شده است.

به‌منظور ضدمیکروب کردن نخ ابریشمی از محلول کلوئیدی ٨٠٠٠ ppm نانو نقره محصول شرکت نانو شیمی لوتوس پارس در شرایط pH= ٥-٦ ودمای ٧٠-٦٠ درجه سانتی‌گراد و زمان ٣٠ دقیقه استفاده شده است.

شستشوی نخ ابریشمی با شوینده غیریونی Ultravon GP در pH =٨/٥ (تنظیم با آمونیاک) و دمای ٧٠ °C به مدت ٣٠ دقیقه انجام گرفته است.

جهت مشاهده و بررسی تغییرات سطحی الیاف ابریشم در اثر هیدورلیز آنزیمی و نیز تعیین میزان نقره موجود روی سطح نخ ابریشمی از میکروسکوپ الکترونی پویشی مدل XL30 ساخت شرکت فیلیپس هلند استفاده شده و تصاویری با بزرگ‌نمایی‌های X ١٠٠٠ و X ٧٥٠٠ از سطح الیاف ابریشم تصویر تهیه شده است. دستگاه لایه نشانی طلا ساخت شرکت Bal-Tec از کشور سوییس جهت تهیه نمونه‌ها استفاده شده است. خصوصیات رنگی و روشنایی نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفوتومتر انعکاسی پرتابل (Color Eye XTH) ساخت کشور آمریکا اندازه‌گیری شده است.

روش کار

١- شستشو و عمل با آنزیم‌ها: ابتدا نخ‌های ابریشمی با ١ g/L شوینده غیریونی، در pH =٨/٥ و در دمای ٧٠ °C به مدت ٣٠ دقیقه شستشو شدند.

جهت عمل با آنزیم پروتئاز، نخ‌های ابریشمی با ٢٪ آنزیم پروتئاز در دمای ٦٠ °C به مدت ٤٥ دقیقه و در pH=٥ عمل شدند.

٢- عمل با نانونقره: ٣ سری نمونه (الف، ب و ج) با غلظت‌های مختلف (٥٠ ppm و ٣٠ppm) نانونقره در دمای ٧٠-٦٠ °C و pH= ٥-٦ و زمان ٣٠ دقیقه عمل شدند.

الف: نمونه‌های شستشو شده
ب: نمونه‌های پیش عمل شده با ۲٪ آنزیم پروتئاز
ج: نمونه‌های شستشو شده که به‌صورت همزمان با ۲٪ پروتئاز و غلظت‌های مختلف نانونقره عمل شدند.

۳- رنگرزی: نخ‌های ابریشمی عمل شده با نانونقره، با ۱٪ رنگزای اسیدی (Polar Brill Red GEN) و ۲ g/L سولفات آمونیوم و ۱٪ آلبگال A در pH=٤/٥ به مدت ۱ ساعت در دمای ^{o}C ۹٥(جوش) رنگرزی شدند.

٤- درصد کاهش وزن: نخ ابریشمی قبل و بعد از عمل با آنزیم پروتئاز با استفاده از استاندارد ۱۸٤۷ و با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شده و درصد کاهش وزن توسط معادله (۱) محاسبه شده است.

معادله (۱) $\text{میزان کاهش وزن (٪)} = \frac{W1-W2}{W1}\times 100$

در این معادله W1 و W2 به ترتیب وزن اولیه و وزن ثانویه کالا هستند.

٥- آزمون ضد باکتری

فعالیت ضدمیکروبی در مقابل باکتری‌های *Staphylo-coccus aureus* (باکتری گرم مثبت) و *Escherichia coli* (باکتری گرم منفی) با استفاده از روش استاندارد AATCC Test Method 100-2004 تعیین شده است. باکتری‌ها به روش کشت خطی جهت حصول کلونی‌های خالص و مجزا کشت داده شده و ۲٤ ساعت در انکوباتور در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده تا رشد باکتری‌ها کامل شود.

برای بررسی خاصیت ضدمیکروبی نخ‌های ابریشمی عمل شده، سه سری نمونه در حدود ۷ تا ۹ سانتی‌متر از نخ ابریشمی را درون سه سری لوله آزمایش قرار داده و نیز سه عدد لوله آزمایش خالی به‌عنوان شاهد (سرم فیزیولوژی و دو نوع سوسپانسیون میکروبی) برداشته و در آنها را با پنبه بسته و اتوکلاو نموده و سپس در هر کدام از یک‌سری از لوله‌های آزمایش ۱ میلی‌لیتر محلول سرم فیزیولوژی (۸/۹g/L کلرید سدیم) و در هر کدام از دو سری دیگر از لوله‌های آزمایش ۱ میلی‌لیتر محلول سوسپانسیون میکروبی (اشریشیا کولی ۰/۰۰۱ و استافیلوکوکوس آرئوس ۰/۰۱) ریخته‌ایم. برای تهیه این سوسپانسیون، یک سری لوله آزمایش حاوی سرم فیزیولوژی را اتوکلاو کرده و پس از سرد شدن، به کمک یک اونس حلقه‌ای یک کلونی (به‌طور جداگانه از هر یک از باکتری‌ها) برداشته و در کنار شعله در cc ۱۰محلول سرم فیزیولوژی حل نموده و سپس cc ۱ از این محلول برداشته و به cc ۹محلول سرم فیزیولوژی اضافه نموده تا سوسپانسیون میکروبی (۰/۱) حاصل شود. بدین ترتیب با رقیق‌سازی مشابه سوسپانسیون میکروبی ۰/۰۱ برای استافیلوکوک اورئوس و سوسپانسیون میکروبی ۰/۰۰۱ برای اشریشیا کولی تهیه شده است.

چون رشد اشریشیا کولی سریع‌تر و بیشتر است، لذا از غلظت کمتر (۰/۰۰۱) استفاده شده تا در شمارش تعداد کلونی‌ها بعد از ۲٤-۱۸ ساعت کشت با مشکل مواجه نشویم. سپس جهت پورپلیت کردن، ۰/۱ میلی‌لیتر از محلول درون هر لوله برداشته و داخل یک پلیت ریخته و روی آن آگار مذاب استریل شده (دمای ٤٥^{o}C) ریخته و در پلیت را بسته و آن را به‌صورت عدد هشت انگلیسی (۸) حرکت داده تا آگار به‌صورت ژل بسته شود. سپس آن را در دستگاه انکوباتور (دمای ٣٧^{o}C) به مدت ۲٤-۱۸ ساعت قرار داده‌ایم.

تعداد باکتری‌ها در سطح پلیت پس از ۲۱ ساعت شمارش شده و در عدد ۱۰ ضرب شده و به‌عنوان A یادداشت شده است (تعداد باکتری‌ها در ۱ میلی‌لیتر=A).

از طرفی تمام لوله‌های آزمایش حاوی ۰/۹ میلی‌لیتر

محلول و نمونه نخ ابریشمی را به مدت ۲۱ ساعت در دستگاه انکوباتور قرا داده و مجدداً عمل پورپلیت را انجام داده و تعداد باکتری‌ها را پس از ۲۱ ساعت شمارش کرده و در عدد ۱۰ ضرب کرده که به‌عنوان B یادداشت شده است (تعداد باکتری‌ها در ۱ میلی‌لیتر=B).

درصد کاهش باکتری در اثر مجاورت با نخ ابریشمی طبق معادله (۲) محاسبه شده است.

معادله (۲)

میزان کاهش باکتری (٪) =(A-B)/A×100

در این معادله، A نقش کنترل مثبت را دارد که جهت اطمینان و بررسی ورود یا عدم ورود آلودگی به محیط آزمایش، از کنترل منفی که شامل محیط کشت آگاری است که فقط سرم فیزیولوژی داخل آن ریخته شده، استفاده شده است.

نتایج و بحث

جدول ۱ مقادیر مؤلفه‌های رنگی L*,b*,a* (اندازه‌گیری در سیستم CIE) نخ ابریشمی عمل شده با پروتئاز و نانونقره (پس از رنگرزی) را نشان می‌دهد. افزایش غلظت نانونقره از ۳۰ ppm به ۵۰ ppm به تنهایی، باعث کاهش ΔE و افزایش روشنایی شده است، ولی با استفاده از پروتئاز در حمام رنگرزی، افزایش غلظت نانونقره سبب افزایش اختلاف رنگی ΔE و کاهش روشنایی شده است. بر این اساس فرآیند آنزیمی توانسته با کاهش اثر آب‌گریزی و افزایش آب‌دوستی کالا به افزایش جذب رنگزا کمک کرده است.

در واقع چون مقادیر ΔE (نسبت به نمونه رنگرزی شده)، b*,a* در نمونه عمل شده با آنزیم و ۵۰ ppm نانونقره و رنگزا، در مقایسه با نتایج نمونه‌های دیگر (جدول ۱) بیشتر بوده و نیز L* در نمونه عمل شده با آنزیم و ۵۰ ppm نانونقره و رنگزا، نسبت به L* در نمونه‌های دیگر کمتر بوده است. بنابراین فرآیند آنزیمی سبب افزایش جذب رنگ و در نتیجه روشنایی کمتر و اختلاف رنگ بیشتر شده است.(جدول ۱)

جدول ۱: مقادیر ΔE, L*,b*,a* نخ ابریشمی ضدمیکروب شده (پس از رنگرزی) (مأخذ: یافته‌های تحقیق)

عملیات	L *	a*	b *	ΔE
فقط ۱٪ رنگزا	٦٢/٨٥	٤٤/٩١	٢٠/٢١	٠
۳۰ ppm نانو نقره+۱٪ رنگزا	٦٠/٤٠	٤٦/٢٤	٢٢/١٥	٣/٤٠
۵۰ ppm نانو نقره+۱٪ رنگزا	٦٢/٠٠	٤٣/٧٨	٢٠/٦٤	١/٤٧
۲٪ پروتئاز + ۳۰ ppm نانو نقره+۱٪ رنگزا	٦٠/٤٧	٤٦/٥٣	٢٢/٥٩	٣/٧٤
۲٪ پروتئاز + ۵۰ ppm نانو نقره+۱٪ رنگزا	٥٩/٦٠	٤٧/١٩	٢٢/٨٣	٤/٧٥

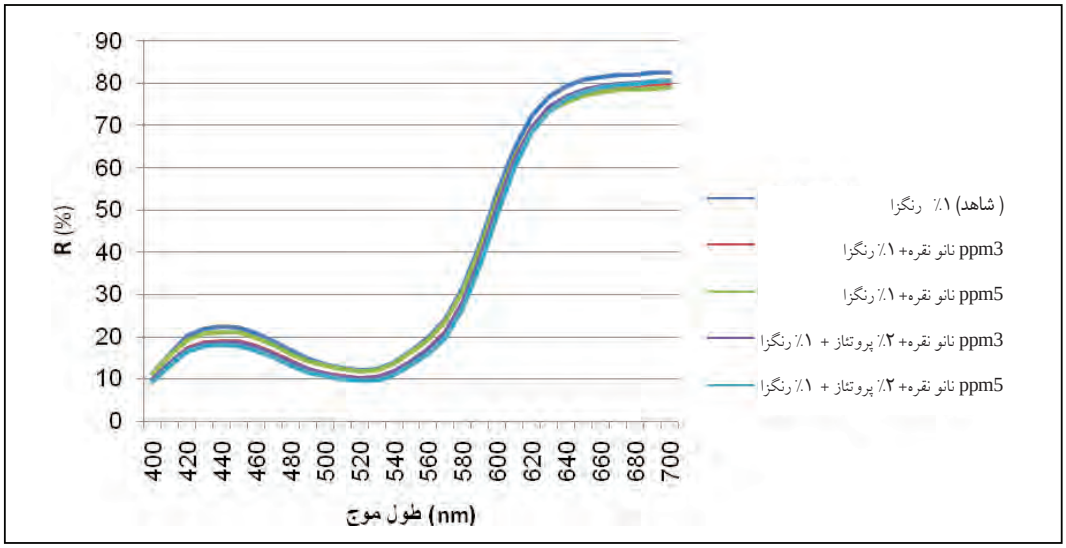
تصویر ۱ منحنی انعکاسی نمونه‌های رنگرزی شده در محدوده طول موج مرئی (۴۰۰–۷۰۰nm) نشان می‌دهد که مقدار انعکاس نمونه شاهد (فقط رنگرزی شده) در تمام محدوده طول موج مرئی از بقیه نمونه‌ها بیشتر است. اگرچه مقدار انعکاس نمونه عمل شده با ۲٪ پروتئاز و ۵۰ppm نانونقره و ۱٪ رنگزا در طول موج‌های پایین (۴۲۰–۴۶۰nm) از همه کمتر است، ولی در طول موج‌های بالاتر از ۶۲۰ nm مقدار انعکاس نمونه عمل شده با ppm ۵۰نانونقره و ۱٪ رنگزا از همه کمتر است.

همچنین در محدوده طول موج ۶۰۰–۷۰۰nm افزایش غلظت نانونقره سبب کاهش میزان انعکاس نمونه رنگی شده، در حالی که با افزودن ۲٪ پروتئاز (علاوه بر نانونقره) در حمام رنگرزی میزان انعکاس افزایش یافته است.

جدول ۲ مقادیر مؤلفه‌های رنگی و درصد کاهش باکتری در نخ‌های همزمان عمل شده با پروتئاز و ۳۰ ppm نانونقره در شرایط مختلف را نشان می‌دهد. به‌طور کلی، کاربرد همزمان پروتئاز و نانونقره، اثر ضدمیکروبی بهتری نسبت به کاربرد نانونقره روی نخ ابریشمی پیش عمل شده با پروتئاز نشان داده است. بر این اساس فرآیند عمل با آنزیم پروتئاز تأثیر مثبت روی ضدمیکروب کردن نخ ابریشمی داشته است (جدول ۲).

جدول ۲: مقادیر ΔE, L*,b*,a* و درصد کاهش باکتری در نخ‌های ابریشمی عمل شده با آنزیم پروتئاز و ۳۰ppm نانونقره (مأخذ: یافته‌های تحقیق)

عملیات	a*	b*	L*	ΔE	میزان کاهش باکتریاشریشیاکولی(٪)	میزان کاهش باکتری استافیلوکوک اورئوس(٪)
نمونه شاهد(نخ ابریشمی صمغ‌گیری شده اولیه)	۲/۸۸	-۲/۹۰	۹۰/۴۵	۰	افزایش	افزایش
۲٪ آنزیم پروتئاز و ۳۰ ppm نانونقره	۴۶/۵۳	۲۲/۵۹	۶۰/۴۷	۳/۷۴	۱۰۰	۹۴/۸۱
۲٪آنزیم پروتئاز و ۳۰ ppm نانونقره و ۱٪ رنگزا	۲/۷۴	-۲/۰۰	۸۹/۸۴	۱/۰۹	۱۰۰	۹۸/۹۱

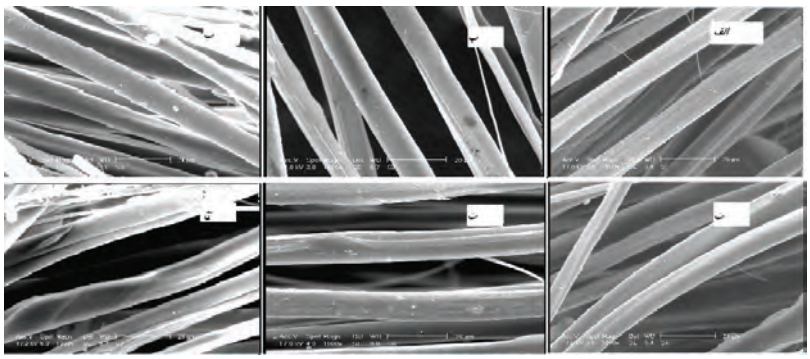


تصویر ۱: نتایج انعکاسی نخ‌های ضدمیکروب و رنگرزی شده ابریشمی در محدوده ۴۰۰–۷۰۰ nm (مأخذ: یافته‌های تحقیق).

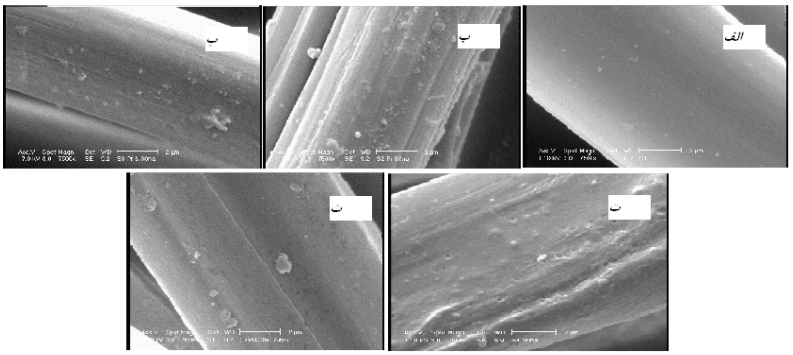
بررسی مورفولوژی سطح نخ ابریشمی:

بررسی ساختار سطحی الیاف توسط میکروسکوپ الکترونی پویشی SEM انجام شده است. تمامی نمونه‌های نخ ابریشمی قبل از مشاهده توسط میکروسکوپ به‌وسیله طلا پوشش داده شده‌اند.تصاویر ۲ و ۳ تأثیر عملیات آنزیمی و ضدمیکروبی را روی سطح الیاف ابریشم نشان می‌دهند. این تصاویر با بزرگ‌نمایی‌هایX ۱۰۰۰، X ۷۵۰۰ از نمونه‌های عمل نشده و عمل شده با آنزیم و ضدمیکروب نانونقره در شرایط مختلف تهیه شده است. تصویر ۳ نشان می‌دهد که آنزیم پروتئاز اثر هیدورلیز سطحی داشته است چرا که آنزیم پروتئاز در محل‌های مشخصی از پلی‌پپتیدها (در الیاف ابریشم) واکنش داده و در مورد سریسین باعث تجزیه آن به اسید آمینه‌های کوچک‌تر می‌شود (Rahimi, 2002).

در تمامی نمونه‌هایی که با نانونقره عمل شده‌اند، ذرات با اندازه نانو (کمتر از ۱۰۰ nm) روی سطح الیاف دیده می‌شود. تصویر ٤ نشان می‌دهد که نظم و ترتیب نشستن ذرات روی الیاف در نمونه‌های مختلف، متفاوت است که می‌تواند ناشی از عملکرد شرایط متفاوت آنزیمی و ضدباکتری روی نخ ابریشمی باشد.



تصویر ۲: تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی نخ ابریشمی با بزرگ‌نمایی X ۱۰۰۰– الف: نمونه شاهد (نخ ابریشمی عمل نشده)، ب: نمونه پیش عمل شده با ۲٪ پروتئاز و سپسppm ۳۰ نانونقره، پ: نمونه همزمان عمل شده با ۲٪ پروتئاز وppm ۳۰ نانونقره، ت: نمونه عمل شده با ppm ۳۰ نانونقره، ث: نمونه عمل شده با ppm ۳۰ نانونقره و ۱٪ رنگزا، ج: نمونه عمل شده همزمان با ۲٪ پروتئاز و ppm ۳۰ نانونقره و ۱٪ رنگزا (مأخذ: یافته‌های تحقیق).



تصویر ۳: تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی نخ ابریشمی با بزرگ‌نمایی X ۷۵۰۰ – الف: نمونه شاهد (نخ ابریشمی عمل نشده)، ب: نمونه پیش عمل شده با ۲٪ پروتئاز و سپس ppm ۳۰ نانونقره، پ: نمونه همزمان عمل شده با ۲٪ پروتئاز و ppm ۳۰ نانونقره، ت: نمونه عمل شده با ppm ۳۰ نانونقره، ث: نمونه عمل شده همزمان با ۲٪ پروتئاز وppm ۳۰ نانونقره و ۱٪ رنگزا (مأخذ: یافته‌های تحقیق).

نتیجه‌گیری

استفاده از غلظت‌های مختلف نانونقره روی نخ ابریشمی در شرایط مختلف و با آنزیم‌های مختلف نشان دادند که هرچه غلظت نانونقره بیشتر باشد، خاصیت ضدباکتری نخ ابریشمی بیشتر می‌شود. آزمون ضدمیکروبی نشان داد که به‌کارگیری آنزیم پروتئاز همزمان با نانونقره، در ضدمیکروب کردن کالا تأثیر مثبت دارد، به‌طوری که در این روش استفاده از غلظت کمتر نانونقره ppm ۳۰ جهت حصول نخ ابریشمی با خاصیت ضد باکتری عالی (۱۰۰٪)، استفاده شده که از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه است. همچنین استفاده از غلظت‌های مختلف نانونقره روی نخ ابریشمی در شرایط مختلف نشان دادند که هرچه غلظت نانونقره بیشتر باشد، خاصیت ضد باکتری نخ ابریشمی نیز بیشتر می‌شود.

تشکر و قدردانی

لازم است از همکاری مسئولان و کارشناسان محترم دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی امیرکبیر و کارشناسان محترم آزمایشگاه میکروبیولوژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد پزشکی تهران صمیمانه تشکر و قدردانی کنیم.

فهرست منابع

1. Cavaco-Paulo A. & Gubitz G.M. (2003) "Textile processing with enzymes", The Textile Institute.

2. Horan, Rebecca L., Kathryn Antle, Adam L. Collette, Yongzhong Wang, Jia Huang, Jodie E. Moreau, Vladimir Volloch, David L. Kaplan, Gregory H. Altman (2005) "In vitro degradation of silk fibroin". Biomaterials, 26: 3385–3393.

3. Saadatdar Arani, Aghdas Sadat (2009) "Overview of the enzymes used on protein fibers"- MSc Seminar, Islamic Azad University, South of Tehran Branch.

4. Dehghan Nayeri, Fatemeh (2009) "Gum-making and silk dyeing using ultrasonic waves and Effluent from the review process", MSc Thesis, Amirkabir University of Technology.

5. Mingzhong Li, Masayo Ogiso, Norihiko Minoura (2003) "Enzymatic degradation behavior of porous silk fibroin sheets", Biomaterials 24: 357–365.

6. Montazer, M., Dadashian, F., Farhoodi, K. (2009) "Effect of protease enzyme in the acid conditions on the dying of wool fabric", Journal of Color Science and Technology 3: 73-80.

7. Vigneshvaran, N. Varadarajan, P.V. and Balasubramanya, R.H. (2010) "Application of metallic nano particles in textile".Nanotechnologies for the life sciences.

8. Moazami, A. Montazer, M. Rashidi, A. and Rahimi, M.K. (2010) "Antibacterial properties of raw and degummed silk with nanosilver in various conditions", Journal of Applied Polymer science,118:253-258.

9. Rahimi, Shahram (2002) "Removing gum from silk fibers using ultrasound waves and enzymes", MSc Thesis, Amirkabir University of Technology.