



کاربردهای تابش فرابنفش در اصلاح خواص و بهبود فرآیندهای رنگرزی و تکمیل الیاف پروتئینی و سلولزی

سیامک صفاپور^{*}، موسی صادقی کیاخانی^آ، فهیمه سبزی^۳

۱- دانشیار، دانشکده فرش، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران، صندوق پستی: ۴۵۶۷-۵۱۳۸۵.

۲- استادیار، گروه پژوهشی مواد رنگزای آلی، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵.

۳- کارشناس ارشد، دانشکده فرش، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران، صندوق پستی: ۴۵۶۷-۵۱۳۸۵.

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۵/۰۷ تاریخ بازبینی نهایی: ۹۶/۰۷/۰۴ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۷/۰۵ در دسترس بصورت الکترونیک: ۹۶/۰۹/۲۲

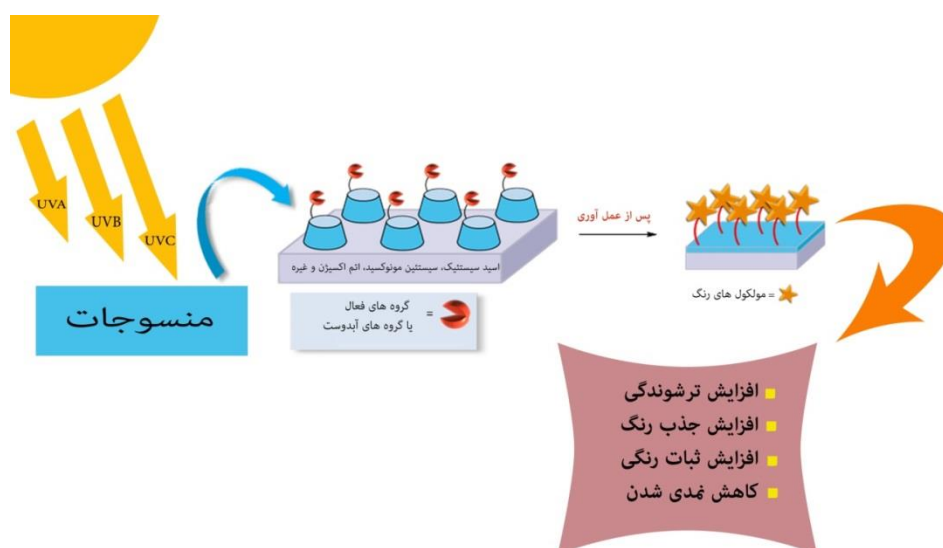
چکیده

امروزه برای اصلاح خصوصیات الیاف از روش‌های شیمیایی و فیزیکی متعدد استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر با توجه به مقررات سخت زیست‌محیطی، صنعت نساجی به ناچار محدود به استفاده از فناوری‌های سبز و سازگار با محیط‌زیست شده است. تابش فرابنفش به عنوان فناوری پاک، دوست‌دار محیط‌زیست، ساده، ارزان و خوش آتیه برای اصلاح خواص الیاف و تولید منسوجات عامل‌دار استفاده می‌شود. تابش فرابنفش موجب بهبود خواص مختلف نظیر رنگ‌پذیری، قدرت رنگی، ترشوندگی و کاهش پرزدهی و نمدی‌شدن پشم بدون تاثیر منفی بر خواص کلی نظیر استحکام و زیردست می‌شود. به علاوه، با استفاده از فناوری فرابنفش دما و زمان بهینه رنگرزی کاهش یافته و منجر به کاهش هزینه و صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود. هدف از این مقاله، مرور نتایج آخرین مطالعات گزارش شده موجود در مقالات و منابع علمی معتبر در خصوص استفاده از محدوده‌های مختلف انرژی تابش فرابنفش برای اصلاح ویژگی‌های الیاف طبیعی پروتئینی (پشم و ابریشم) و سلولزی (پنبه) می‌باشد. بدین منظور، ابتدا انواع پرتو فرابنفش و محدوده موثر آن، کاربردهای آن در علوم و صنایع مختلف و اصلاح خواص الیاف بررسی می‌شود. در ادامه نتایج آخرین مطالعات انجام شده در خصوص کاربرد تابش فرابنفش به تفکیک نوع الیاف طبیعی پشم، ابریشم و پنبه مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی

تابش فرابنفش، اصلاح خواص، دوست‌دار محیط‌زیست، الیاف طبیعی

چکیده تصویری





Applications of Ultraviolet Irradiation in Surface Modification and Improvement of Dyeing and Finishing Processes of Proteinous and Cellulosic Fibers

Siyamak Safapour^{1*}, Mousa Sadeghi-Kiakhani², Fahimeh Sabzi¹

1- Carpet Faculty, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran, P.O. BOX: 51385-4567.

2- Department of Organic Colorants, Institute for Color Science and Technology, Tehran, Iran, P.O.BOX: 16765-654

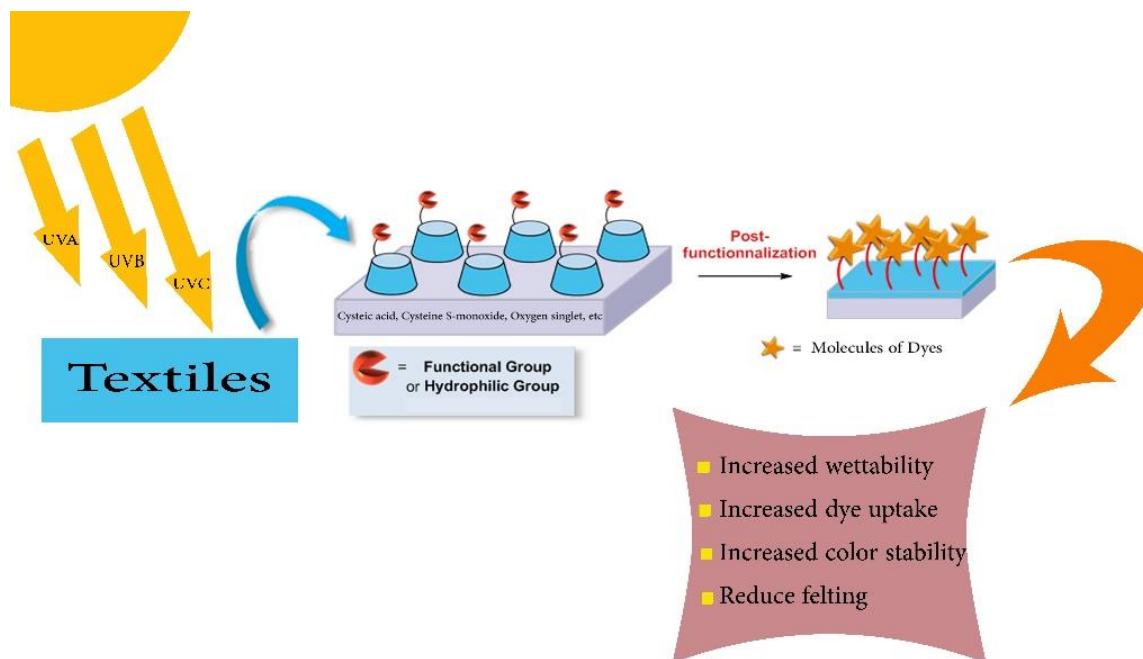
Abstract

Nowadays, numerous chemical and physical methods are being used for modification of properties of textiles. In recent years, due to stringent ecological restrictions, textile industry has been forced to use green and eco-friendly technologies. Ultraviolet (UV) irradiation, as a clean, eco-friendly, simple, inexpensive, and promising technology has been extensively used for surface modification of fibers and production of functionalized textiles. UV irradiation enhances dye-ability, color strength, wet-ability and reduces pilling and felting and does not impair bulk properties such as strength and handle. In addition, using UV technology, optimal dyeing time and temperature can be decreased resulting in saving energy and lower process cost. The aim of this study is to review the latest literature published on the applications of UV irradiations for modification of properties and characteristics of natural protein (wool and silk) and cellulose (cotton) fibers. For this purpose, different types of UV sources, ranges of effective UV irradiation, and its application in different industries as well as modification of fibers are described. Then, the results of the latest investigations are reviewed according to natural fiber type of wool, silk and cotton.

Keywords

Ultraviolet irradiation, Modification, Environment friendly process, Natural fibers.

Graphical abstract



۱- مقدمه

جهت اصلاح سطح و بهبود رنگریزی الیاف از روش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی استفاده می‌گردد. در حال حاضر با توجه به مقررات سخت زیست‌محیطی و جریمه‌های سنگین برای واحدهای آلاینده محیط‌زیست، صنعت نساجی نیز در زمینه‌های مختلف مجبور به استفاده از فناوری‌های دوست‌دار محیط‌زیست شده است [۳-۱]. ویژگی این فناوری‌ها، استفاده کمتر از آب و یا عدم استفاده از آب و کاربرد مواد کمکی و شیمیایی دوست‌دار محیط‌زیست می‌باشد. بسیاری از این عملیات تکمیلی مورد استفاده بر روی الیاف، با هدف بهبود خصوصیات رنگریزی الیاف می‌باشد [۴-۶].

از میان روش‌های موجود، در سال‌های اخیر استفاده از تابش‌های با انرژی بالا نظیر پرتوهای گاما و فرابنفش^۱ (UV) به عنوان روش ساده جهت اصلاح سطح و بهبود رنگریزی الیاف استفاده می‌گردد. دیگر روش‌های فیزیکی و شیمیایی برای اصلاح الیاف شامل امواج ماکروویو، امواج فراصوت، آنزیم‌ها، مواد شیمیایی، پلاسما، کولیمیرزاسیون با مونومرهای مناسب کاتیونی و آنیونی است [۸-۷]. خشک (فرآیند بدون نیاز به استفاده از آب) و پاک‌بودن برای اصلاح و بهبود ویژگی‌های منسوجات بسیار مورد توجه بوده است.

پرتو گاما یک پرتو یونیزه‌کننده است که اثر آن بر مواد باعث آزادسازی و انتقال الکترون‌ها بین اتم‌های مواد مختلف می‌گردد و رادیکال‌های آزاد به شکل بسیار فعالی شکل می‌گیرند و ممکن است با ماده‌ای که در نزدیکی‌شان وجود دارد، ترکیب شوند که موجب می‌شود ساختار الیاف غالباً تغییر پیدا کند. بروز چنین تغییراتی باعث بهبود قابلیت رنگریزی و افزایش قابل توجه عمق رنگی و ثبات‌های رنگی با مواد رنگزای مختلف شیمیایی و طبیعی شده و موجب کاهش مصرف دندان‌ه فلزی، دمای مناسب رنگریزی، زمان رنگریزی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود [۹-۱۲]. با این وجود، تابش گاما به دلیل نفوذ به درون الیاف و کاهش قابل توجه استحکام الیاف برای اصلاح خواص الیاف مناسب نمی‌باشد [۱۳]. در مقایسه با تابش گاما، اصلاح با طول موج‌های مختلف تابش فرابنفش به دلیل ساده‌تر بودن فرآیند و هزینه بسیار کمتر نسبت به تابش گاما، بیشتر مورد توجه بوده و از این رو تحقیقات گسترده‌تری در خصوص بررسی جنبه‌های مختلف استفاده از تابش فرابنفش در اصلاح خواص منسوجات انجام شده است و از این رو تعداد منابع در این خصوص بسیار بیشتر می‌باشد [۱۴].

پرتو فرابنفش می‌تواند به طور مؤثری برای اصلاح و بهبود خواص انواع مختلف منسوجات در مقیاس نانو مورد استفاده قرار گیرد. تابش پرتو فرابنفش به سطح الیاف، سبب افزایش گروه‌های فعال و اکسایش سطح لیف شده که در نهایت سبب بهبود جذب آب و روغن، خواص رنگریزی،

چاپ، ضدندمی^۲ و ضدپرز^۳ الیاف می‌شود. در این روش تغییری در درجه پلیمریزاسیون کلی لیف ایجاد نمی‌گردد، اما رادیکال‌های آزاد بر روی سطح لیف بوجود می‌آید [۱۵]. این روش، یک روش ساده، مقرون به صرفه، پاک و در محیط خشک (بدون مصرف آب) می‌باشد و تاکنون برای اصلاح خصوصیات سطح الیاف طبیعی و مصنوعی متعدد مورد استفاده قرار گرفته است. اصلاح خواص الیاف با استفاده از پرتو فرابنفش به دلیل ایجاد گروه‌های عاملی جدید در سطح الیاف می‌تواند مقدار رنگ‌پذیری را افزایش داده و همچنین باعث بهبود خاصیت ترشوندگی، جذب و تثبیت رنگ در دمای پایین و در نتیجه کاهش دمای مؤثر رنگریزی گردد [۱۶]. مهم‌ترین مزیت پرتو فرابنفش نسبت به سایر فناوری‌ها و روش‌های اصلاح در این است که در بافت الیاف نفوذ نکرده و در نتیجه باعث از دست رفتن وزن طبیعی الیاف و همچنین تغییر خواص مکانیکی لیف نمی‌گردد [۱۳].

هدف از این مقاله، بررسی، مقایسه و جمع‌بندی نتایج آخرین مطالعات گزارش شده موجود در مقالات و منابع علمی معتبر در خصوص استفاده از محدوده‌های مختلف انرژی تابش فرابنفش برای اصلاح ویژگی‌های الیاف طبیعی پروتئینی (پشم و ابریشم) و سلولزی (پنبه) می‌باشد. بدین منظور، ابتدا انواع پرتو فرابنفش و محدوده مؤثر آن توضیح داده شده و سپس کاربردهای آن در علوم و صنایع مختلف و اصلاح خواص الیاف طبیعی بررسی می‌شود. در ادامه با توجه به تعدد مقالات موجود در زمینه اصلاح خواص منسوجات با منابع مختلف تابش فرابنفش، نتایج مطالعات انجام شده به تفکیک نوع الیاف طبیعی پشم، ابریشم و پنبه مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد.

۲- پرتو فرابنفش و کاربردهای آن

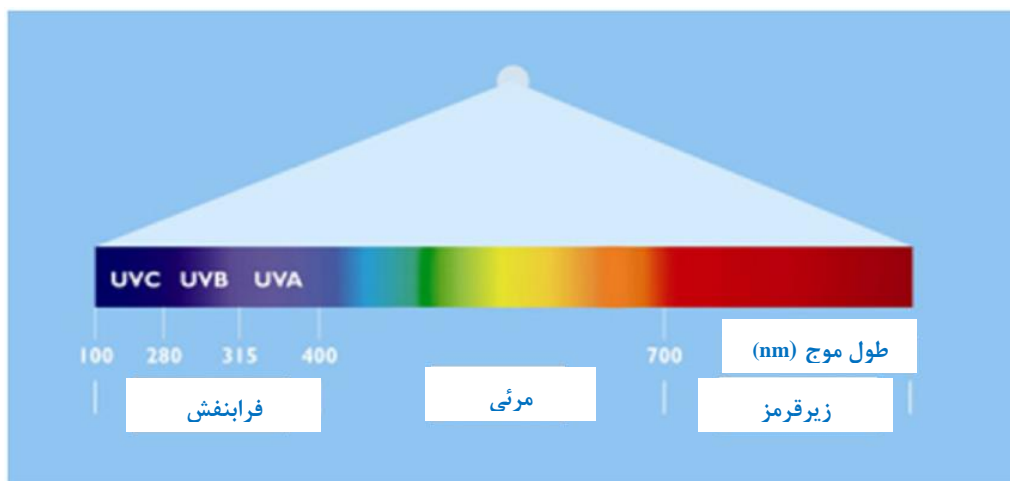
پرتو فرابنفش در سال ۱۸۰۱ توسط یک فیزیکدان آلمانی به نام ویلهلم ریتر^۴ کشف شد. پرتو فرابنفش، تابش الکترومغناطیسی است که در محدوده طول موج ۴۰۰-۱۰ نانومتر قرار دارد (شکل ۱). این پرتو دارای طول موج کوتاه‌تر از نور مرئی و طول موج بلندتر از پرتو X می‌باشد. علیرغم اینکه این پرتو معمولاً نامرئی است، اما در برخی شرایط می‌تواند توسط کودکان و یا جوانان در محدوده ۳۱۰ nm دیده شود. همچنین برخی حشرات و پرندگان نیز قادر به دیدن پرتو فرابنفش می‌باشند. پرتو فرابنفش با طول موج بلند می‌تواند سبب ایجاد برخی واکنش‌های شیمیایی شود. همچنین در بسیاری از موادی که مورد تابش قرار می‌گیرند، حالت فلورسنت ایجاد می‌کند. تابش فرابنفش بر پوست می‌تواند سبب ایجاد کک و آفتاب سوختگی شود و از عوارض خطرناک‌تر می‌توان به سرطان پوست اشاره کرد. طول موج‌های کوتاه‌تر پرتو فرابنفش (زیر ۱۲۱ نانومتر) هوا را به شدت یونیزه می‌کند.

² Anti-felting

³ Anti-pilling

⁴ Johann Wilhelm Ritter

¹ Ultra-Violet



شکل ۱- محدوده‌های مختلف پرتو UV/۱۷].

جدول ۱- طبقه‌بندی طیفی تابش نور خورشید بر اساس استاندارد ایزو ۲۱۳۴۸/۱۷].

طول موج (nm)	اختصار	نوع تابش فرابنفش
۳۱۵-۴۰۰	UVA	پرتو فرابنفش گروه A
۲۸۰-۳۱۵	UVB	پرتو فرابنفش گروه B
۱۰۰-۲۸۰	UVC	پرتو فرابنفش گروه C
۳۰۰-۴۰۰	NUV	پرتو فرابنفش نزدیک
۲۰۰-۳۰۰	MUV	پرتو فرابنفش متوسط
۱۲۲-۲۰۰	FUV	پرتو فرابنفش دور
۱۰-۲۰۰	VUV	پرتو فرابنفش در خلاء

UVC در سطح زمین موجود نمی‌باشد. به دلیل توانایی پرتو فرابنفش در ایجاد واکنش‌های شیمیایی و قابلیت ایجاد خاصیت فلورسانس در مواد، کاربردهای مختلفی برای آن وجود دارد (جدول ۲) [۱۷].

۳- اصلاح سطح الیاف نساجی با تابش فرابنفش

از تابش فرابنفش می‌توان برای اصلاح سطح انواع مختلف الیاف منسوجات در مقیاس نانو استفاده نمود. تابش فرابنفش محدود به سطح پلیمرها و الیاف بوده و تغییری در درجه پلیمریزاسیون کلی ایجاد نمی‌کند، اما باعث ایجاد رادیکال‌های آزاد و اکسایش در سطح و در نتیجه افزایش فعالیت سطحی لیف می‌شود که در نهایت باعث بهبود ویژگی‌های جذب آب (ترشوندگی)، رنگرزی، چاپ، ضدندمدی، ضد میکروبی، ضدپرز، ضدالکتریسته، قدرت چسبندگی، خواص پیوند عرضی و غیره می‌شود. این روش، یک روش ساده، مقرون به صرفه و در محیط خشک (بدون مصرف آب) قابل انجام است و برای اصلاح سطحی الیاف طبیعی و مصنوعی متعدد قابل استفاده می‌باشد. با اصلاح سطح الیاف توسط تابش فرابنفش می‌توان پارچه‌های خاصی تولید نمود که یک روی آن‌ها آب‌دوست و روی دیگر آنها غیرآب‌دوست (آب‌گریز) باشد. در سال‌های اخیر با توجه به مقررات سخت زیست‌محیطی، صنعت نساجی به ناچار محدود به استفاده از فناوری‌های سازگار با محیط‌زیست شده است.

پرتو فرابنفش قبل از رسیدن به سطح زمین توسط لایه ازن جذب می‌گردد. اگر لایه ازن وجود نداشت، موجودات زنده بر روی زمین در اثر تابش پرتو فرابنفش به شدت آسیب می‌دیدند [۱۷]. با این وجود، پرتو فرابنفش سبب تقویت استخوان و افزایش ویتامین D در مهره‌داران زمین از جمله انسان می‌شود. مطالعه بر روی پرتو فرابنفش، خواص و اثرات آن بر روی موجودات زنده مختلف از حدود سه قرن پیش آغاز گردیده و همچنان ادامه دارد. پرتو فرابنفش به دامنه‌هایی که توسط استاندارد ایزو ۲۱۳۴۸ تعیین شده است، تقسیم‌بندی شده است (جدول ۱). UVA در محدوده طول موج ۳۱۵-۴۰۰ نانومتر، UVB در محدوده طول موج ۲۸۰-۳۱۵ نانومتر و UVC در محدوده طول موج ۱۰۰-۲۸۰ نانومتر قرار دارد. میزان انرژی این محدوده‌ها به ترتیب $UVC < UVB < UVA$ است [۱۷]. نور خورشید، پرتو فرابنفش را در تمامی طول موج‌ها داراست. نور خورشید در فضا در بالای جو زمین از حدود ۵۰٪ پرتو زیرقرمز، ۴۰٪ نور مرئی و ۱۰٪ پرتو فرابنفش تشکیل شده است. با این حال، نور خورشید در سطح زمین شامل ۴۴٪ نور مرئی، ۳٪ پرتو فرابنفش و زیرقرمز می‌باشد. بنابراین اتمسفر حدود ۷۷٪ پرتو فرابنفش خورشید به خصوص پرتوهای با طول موج پایین‌تر را جذب کرده و مانع از رسیدن آن به سطح زمین می‌شود. پرتو فرابنفشی که به زمین می‌رسد، شامل بیش از ۹۵٪ طول موج بلندتر از UVA بوده و درصد کم باقی مانده شامل پرتو UVB می‌باشند، اما پرتو

جدول ۲- کاربرد طول موج‌های مختلف پرتو فرابنفش در صنایع مختلف [۱۷].

کاربرد	طول موج (نانومتر)
لیتوگرافی فرابنفش	۱۳/۵
طیف‌سنجی فوتوالکترون پرتو فرابنفش	۲۰۰-۳۰
UV-ID ردیابی برچسب و بارکد	۲۳۰-۳۶۵
حسگرهای نوری	۲۳۰-۹۰۰
ضد عفونی کردن سطوح و آب	۲۴۰-۲۸۰
تجزیه و تحلیل امنیتی، تشخیص مواد مخدر	۲۰۰-۹۰۰
تجزیه و تحلیل پروتئین، DNA، کشف مواد مخدر	۲۷۰-۳۶۰
تصویربرداری از سلول‌های پزشکی	۲۸۰-۴۰۰
نوردرمانی در پزشکی	۳۰۰-۳۲۰
پخت پلیمرها و جوهر چاپگر	۳۰۰-۳۶۵
نورپردازی حالت جامد	۳۰۰-۴۰۰
دستگاه جاذب حشرات	۳۵۰-۳۷۰
(مگس‌ها در ۳۸۵ نانومتر به نور جذب می‌شوند)	

(۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) در محیط اسیدی قرار می‌گیرد (چیزی که در عمل در رنگرزی پشم اتفاق می‌افتد)، ساختار لیف با آبکافت و تجزیه پیوندهای پروتئینی آسیب می‌بیند. میزان خسارت وارده به پشم می‌تواند با کاهش زمان رنگرزی و یا بهتر از آن با کاهش دمای رنگرزی به حداقل برسد [۱۶]. جهت کاهش دما روش‌های مختلفی نظیر استفاده از لیپوزیم^۱، آنزیم‌ها، الکل‌ها و پلیمرهای طبیعی نظیر کیتوسان^۲ و مشتقات آن مورد بررسی قرار گرفته است که در هر مورد نتایج رضایت بخشی به دست آمده است. با این حال، علاوه بر مواد شیمیایی که مورد نیاز است، هزینه فرآیند نیز در این روش‌ها زیاد می‌باشد، به علاوه شرایط و تجهیزات خاص تکمیل و رنگرزی را نمی‌توان به راحتی فراهم نمود. همچنین، روش‌های فیزیکی مانند انرژی فراصوت یا پلاسما دمای پایین^۳، که سبب آزادسازی و یا ایجاد گروه‌های فعال بر سطح لیف پروتئینی شده و سطح لیف را با از بین بردن فلس‌های کوتیکول بدون حفاظ می‌کند، را می‌توان برای اصلاح الیاف به کار گرفت، اما در این روش‌ها نیز تجهیزات پیچیده‌ای مورد نیاز می‌باشد [۲۴-۲۰، ۱۴].

به علاوه، مقررات سخت زیست‌محیطی موجب شده، استفاده از مواد شیمیایی مختلف برای اصلاح ویژگی‌های الیاف به دلیل آلاینده‌گی و اثرات زیانبار آنها تا حد زیادی محدود و در برخی موارد ممنوع گردد. تا به امروز از میان تمام روش‌های بررسی شده، اصلاح پشم با بهره‌گیری از منابع تابش با انرژی زیاد نظیر تابش گاما و فرابنفش به دلیل مزایای متعدد آن‌ها نسبت به سایر روش‌ها مقبول‌تر بوده‌اند. با این وجود تابش فرابنفش در مقایسه با تابش گاما مقبول‌تر، مقرون به صرفه‌تر و آسان‌تر می‌باشد [۱۳].

نتایج مطالعات میلینگتون^۴ نشان داد که تاثیر تابش گاما و فرابنفش بر روی خواص مکانیکی (استحکام)، تغییر رنگ و فلورسانس پشم متفاوت می‌باشد. تابش گاما به دلیل نفوذ به درون الیاف و تغییر قابل توجه در ساختار مولکولی پشم باعث افت قابل توجه استحکام پشم می‌شود، در حالی که تابش فرابنفش به دلیل محدود بودن به سطح و عدم نفوذ به درون الیاف، افت قابل ملاحظه‌ای در استحکام ایجاد نمی‌کند. همچنین مشخص شد که رنگ پشم بر اثر تابش تغییر پیدا می‌کند. تغییر رنگ ناشی از تابش کاملاً متفاوت بوده، به طوری که تابش فرابنفش (UVC) باعث ایجاد رنگ سبز در پشم می‌شود که در هوای محیط به رنگ زرد تغییر می‌یابد. در حالی که، تابش گاما با مقدار ۲۵-۲۵۰ kGy رنگ صورتی-قرمز و با مقدار ۵۰۰ kGy رنگ زرد در پشم ایجاد می‌کند. نکته جالب توجه اینکه، کروموفورهای رنگی ایجاد شده با تابش فرابنفش به راحتی توسط سفیدگری با آب اکسیژنه قابل برطرف کردن می‌باشد، در حالی که رنگ ایجاد شده حتی با مقادیر انرژی کم تابش گاما (۲۵-۵۰ kGy) قابل برطرف کردن نمی‌باشد. تابش فرابنفش، فلورسانس طبیعی ناشی از آمینو اسید تریپتوفان و

فناوری‌هایی که فرایندها را به سمت استفاده کمتر و یا عدم استفاده از آب و همین‌طور استفاده از مواد کمکی و شیمیایی دوست‌دار محیط‌زیست هدایت می‌کند. در روش اصلاح سطح الیاف با تابش فرابنفش کمترین میزان تغییرات شیمیایی ایجاد شده و کمترین مقدار انرژی مصرف می‌گردد [۱۴]. با توجه به نوع اصلاح سطحی که بر روی الیاف انجام می‌شود، می‌توان از منابع نوری متنوعی که تابش فرابنفش را در طول موج‌های مختلف ایجاد می‌کنند، استفاده نمود [۱۸]. صرف نظر از ماهیت اتمسفر هوا، تابش فرابنفش با طول موج ۱۷۲ نانومتر می‌تواند بدون تاثیرگذاری در لایه‌های زیرین لیف، باعث اصلاح سطحی لیف شود. بدین ترتیب که بر اثر تابش، تعداد مولکول‌های آب‌دوست افزایش می‌یابد که سبب کاهش مدت زمان لازم جهت ترشدن لیف می‌گردد. برای نمونه، با تابش فرابنفش به مدت زمان حدود ۵-۱ دقیقه، لیف پشم به درجه بلایی از آب‌دوستی می‌رسد [۱۹].

۳-۱- اصلاح پشم با تابش فرابنفش

لیف پشم از پروتئین ساخته شده و هسته آب‌دوست دارد که به وسیله لایه نازک آب‌گریز مومی شکل (به اندازه ۰/۹ نانومتر) بر روی لایه بیرونی اپیکوتیکول محافظت می‌شود. اگر این لایه حذف نشود، به عنوان یک مانع برای نفوذ آب و رنگ به لیف عمل می‌کند. در رنگرزی پشم، یک رنگرزی خوب باید به رمق‌کشی بالای حمام رنگرزی، نفوذ کافی ماده رنگزا به درون الیاف و کسب ثبات رضایت‌بخش و رنگرزی یکنواخت لیف منتهی شود. به طور معمول رنگرزی پشم در مدت زمان طولانی و دمای جوش انجام می‌شود تا نتایج نسبتاً خوب در ارتباط با مقدار نفوذ و جذب ماده رنگزا حاصل گردد، اما این شرایط ممکن است به تدریج ساختار شیمیایی پشم را تجزیه کرده و به خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی آن آسیب برساند. میزان آسیب وارده بستگی به زمان و دمای فرآیند دارد. هنگامی که پشم برای مدت زمان طولانی در دمای جوش

¹ Lipozyme

² Chitosan

³ Low Temperature Plasma

⁴ Millington

مقاله

رادیکال‌های مثبت و منفی سیستینیل^۲ و رادیکال‌های آزاد تیول^۳ ایجاد می‌شود. به علاوه، پیوندهای گوگردی در اثر تشکیل رادیکال‌های آزاد تیول، از هم جدا می‌گردند. اکسیدشدن سیستین از به وجود آمدن رادیکال‌های آزاد کاتیونی به طور خاصی ایجاد می‌گردد و تشکیل این نوع رادیکال‌ها مربوط به تابش پرتو UV بر سیستین می‌باشد. زردشدن پشم در طول موج‌های کوتاه توسط ازن تشکیل شده ایجاد می‌شود؛ بدین ترتیب که ازن با باقی مانده‌های آمینو اسیدهای کراتین، مخصوصاً با تریپتوفان^۴، سیستین^۵ و هیستیدین^۶ ترکیب شده و رنگ پشم را زرد می‌کند. مطالعه بر روی الیاف نور دیده نشان می‌دهد که امواج با انرژی زیاد UVB و UVC رادیکال‌های سولفوروکربن تولید می‌کنند، در حالی که امواج با انرژی پایین‌تر (با طول موج حدود ۴۰۰-۵۰۰ نانومتر) فقط رادیکال‌های آزاد کربن ایجاد می‌کند [۲۷].

همچنین خصوصیات به دست آمده در اثر تابش UVC بر روی پشم با خصوصیات بدست آمده در اثر تابش نور شبه خورشید، UVA و یا نور آبی^۷ آبی^۸ متفاوت است. بدین ترتیب که در لیف پشم بر اثر تابش UVC (۲۵۰ نانومتر) اسید سیستین^۹ و مونوکسید سیستین^{۱۰} تولید شده، اما سیستین سیستین سولفون^{۱۱} تشکیل نمی‌شود. تابش شبه نور خورشید، UVA در محدوده ۳۶۰ نانومتر و نور آبی در محدوده ۴۲۰ نانومتر، اسید سیستین و مونوکسید سیستین یا هر نوع سیستین اکسید شده را ایجاد نمی‌کند. پرتو UVA معمولاً توسط قسمت‌های آروماتیک آمینواسید مانند تیروزین، تریپتوفان، فنیل آلانین و هیستیدین جذب می‌گردد [۲۷].

نتایج تحقیقات بیشتر توسط میلینگتون در خصوص زردشدن الیاف پشم با تابش فرابنفش نشان داده است که چهار عامل اکسیژن، رطوبت، مواد سفیدگری/سفیدکننده و طول موج تابش تاثیر قابل توجهی بر زردشدگی پشم داشته و درجه زردشدگی به کروموفورهای رنگی ایجاد شده و موقعیت آنها در زنجیر پروتئینی پشم وابسته است [۲۸، ۲۹].

در مطالعه دیگر تغییرات در ساختار شیمیایی و ترکیب محتوای شیمیایی و قابلیت ترشدن الیاف پشم تحت تابش فرابنفش بررسی شد. نتایج نشان داد که پس از تابش، با توجه به مدت زمان تابش، مقدار اکسیژن سطحی پشم از ۱۲ درصد به ۲۷/۵ درصد افزایش می‌یابد. ساز و کار اکسایش سطح لیف شامل شکسته‌شدن پیوندهای دی سولفیدی پروتئینی و تبدیل به گروه‌های سولفونیک اسید و همچنین اکسایش کربن‌های پروتئین یا چربی و تشکیل کربوکسیلیک اسیدها و یا استرها می‌باشد. به علاوه امکان وقوع برخی از واکنش‌های شیمیایی کربن و نیتروژن نیز وجود دارد که در نتیجه این تغییرات قطبیت سطح افزایش یافته و موجب کاهش زمان ترشدن

فلوروفورهای^۱ مرئی را کاهش می‌دهد. تابش گاما نیز به‌طور مشابه باعث کاهش فلورسانس تریپتوفان می‌شود، در حالی که مقادیر زیاد تابش موجب افزایش فلورسانس مرئی پشم می‌شود [۱۳].

یافته‌های مذکور نشان می‌دهند که تابش فرابنفش مناسب‌ترین روش برای اصلاح خواص الیاف پشم بدون آسیب به خواص شیمیایی و افت محسوس در خواص مکانیکی می‌باشد. بیشتر محققان بر این باورند که عملکرد تابش فرابنفش در اصلاح پشم به صورت شکستن و جداکردن لایه چربی سطح پشم و ایجاد گروه‌های عاملی آب‌دوست در سطح لیف می‌باشد که باعث افزایش قابلیت ترشدن لیف و سهولت در جذب آب، مواد شیمیایی و مواد رنگزا در لیف می‌شود. به علاوه کاهش میزان آبرفتگی و نمدی‌شدن لیف نیز از دیگر نتایج اصلاح با تابش فرابنفش می‌باشد.

۳-۱-۱- تاثیر تابش فرابنفش بر ساختار و خواص شیمیایی پشم

زمانی که الیاف پشمی تحت تابش قرار می‌گیرند، تغییرات فیزیکی و شیمیایی پیچیده و متنوعی بر روی سطح لیف اتفاق می‌افتد که در ادامه به یافته‌های مهم در این خصوص اشاره می‌شود. نتایج مطالعات نشان داده است که ترکیب بسیاری از آمینو اسیدهای پشم پس از تابش فرابنفش و نور مرئی تغییر قابل توجهی می‌یابد. به طوری که بیشتر آمینو اسیدهای تیروزین و تریپتوفان با هر منبع تابش نوری تخریب می‌شود. به علاوه تابش نور خورشید بر الیاف خشک سبب تخریب آمینو اسیدهای هیستیدین، سرین، ترونین، پرولین، متیونین، ایزولوسین، لیوسین، فنیل آلانین و سیستین و افزایش محتوی آمونیاک، سیستینیک اسید و سیستین می‌شود [۲۵].

در ادامه تحقیقات، مطالعات بیشتر نشان داد که زردشدگی الیاف پشم در اثر تابش نور خورشید به دلیل آسیب دیدن آمینو اسید تریپتوفان می‌باشد. بدین منظور میزان مقاومت در تغییر رنگ الیاف در برابر نور در الیاف با تریپتوفان سالم با الیاف با تریپتوفان آسیب دیده مقایسه گردید. در نهایت نتیجه‌گیری شد که روش‌های اصلاحی که باعث آسیب دیدن تریپتوفان می‌شود، مناسب نبوده و مقاومت پشم در برابر زردشدگی را کاهش می‌دهند [۲۶].

مطالعات دقیق در خصوص بررسی تاثیر طول موج نور بر ساختار شیمیایی پشم نشان می‌دهد که تغییر انرژی تابش، که ناشی از تغییر طول موج تابش می‌باشد، تاثیر زیادی بر روی رنگ پشم می‌گذارد [۲۷]. طول موج‌های کوتاه‌تر (کمتر از ۳۷۵ نانومتر) سبب زردشدن پشم می‌گردند، در حالی که طول موج‌های بلندتر، به خصوص نور آبی (۴۴۰ تا ۴۶۰ نانومتر) سبب سفیدگری پشم می‌گردد. تابش UVC (طول موج ۲۵۴ نانومتر) با شکستن پیوندهای مولکولی رادیکال‌های آزاد مثبت و منفی و ترکیب مجدد آنها سبب تولید سیستین، سیستینیک اسید و اکسیدشدن سیستین در کراتین پشم می‌گردد. نتایج بررسی‌ها نشان داده است، بر اثر تابش فرابنفش در طول موج ۳۱۰ نانومتر بر روی پشم، ترکیبی از

² Cystinyl

³ Tiol

⁴ Tryptophan

⁵ Cystine

⁶ Histidine

⁷ Blue Light

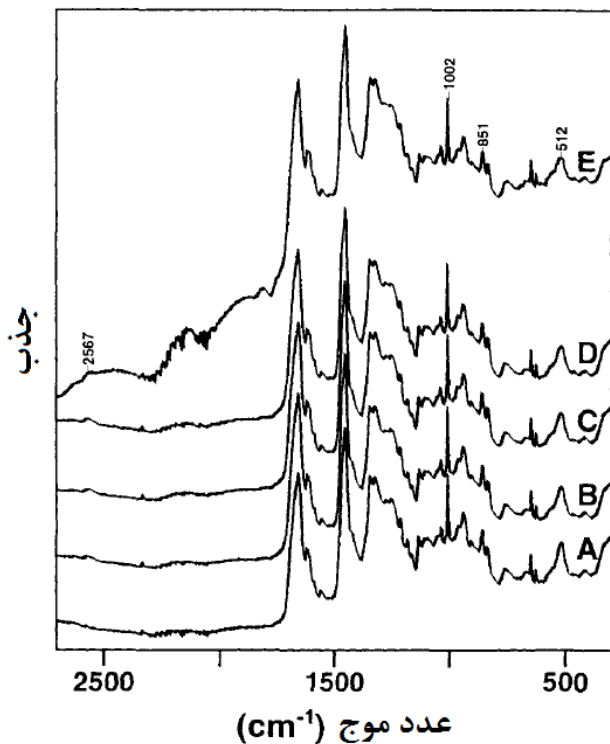
⁸ Cysteic acid

⁹ Cysteine S-monoxide

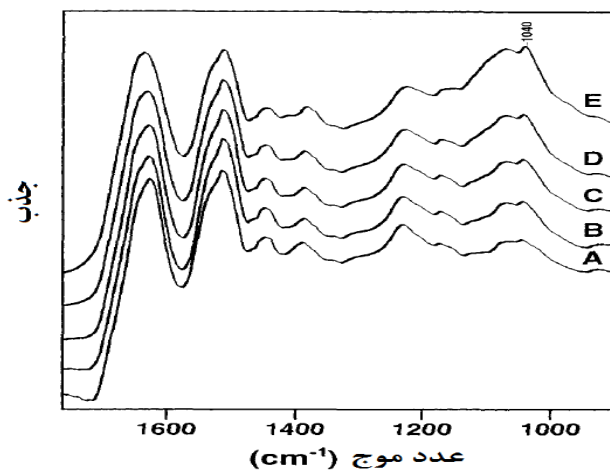
¹⁰ Cysteine S-sulphonate

¹ Fluorophores

متال کمپلکس اسیدی بهبود یافته و قدرت رنگی افزایش می‌یابد [۳۲]. نتایج مطالعه دیگر نشان می‌دهد که می‌توان از تابش فرابنفش برای تکمیل ضدپرز^۱ پارچه‌های پشمی و پنبه‌ای استفاده کرد.



شکل ۲- محدوده $2700-300\text{ cm}^{-1}$ طیف رامان مربوط به نمونه‌های نور دیده توسط تابش UVC برای مدت زمان (A) زمان شروع، بعد از (B) ۳۰ دقیقه، (C) ۶۰ دقیقه، (D) ۲ ساعت و (E) ۷ ساعت [۳۱].



شکل ۳- طیف FT-IR مربوط به نمونه‌های نور دیده توسط پرتو UVC با طول موج ۲۵۴ نانومتر در محدوده $1750-900\text{ cm}^{-1}$ برای مدت زمان (A) زمان شروع، بعد از (B) ۳۰ دقیقه، (C) ۶۰ دقیقه، (D) ۲ ساعت و (E) ۷ ساعت [۳۱].

پارچه پشمی می‌گردد که رابطه خطی با زمان تابش و شکسته شدن اکسایش پیوندهای دو گوگردی (-S-S-) دارد [۳۰]. در مطالعه دیگر، الیاف پشم با UVC (طول موج ۲۵۴ نانومتر) در مدت زمان‌های متفاوت ۳۰ و ۶۰ دقیقه و ۲ و ۷ ساعت تحت تابش قرار گرفتند و تغییرات ایجاد شده در ساختار الیاف بررسی شد [۳۱]. مشاهده شد که با افزایش مدت زمان تابش، رنگ پشم از کرم به سبز و سپس قهوه‌ای تغییر پیدا کرد. تغییر در ساختار مولکولی پشم با روش‌های رامان و FT-IR بررسی شد که به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. شکل ۲ نشان می‌دهد که طیف رامان نمونه نور دیده به مدت ۷ ساعت تفاوت قابل ملاحظه‌ای با سایر نمونه‌ها دارد؛ کاهش شدت پیکها در محدوده 512 cm^{-1} مشهود بوده که نشان دهنده شکستن و از بین رفتن پیوندهای دو گوگردی بر اثر تابش می‌باشد. میزان شکسته شدن پیوند دو گوگردی در ۳۰ دقیقه اول تابش حدود ۱۷٪ می‌باشد که با افزایش زمان تابش، نرخ شکستن کاهش یافته و بعد از گذشت ۷ ساعت فقط به میزان ۳۰٪ از پیوندهای دو گوگردی شکسته می‌شوند. به علاوه پس از ۷ ساعت تابش، تغییر قابل توجهی در محدوده $1000-1200\text{ cm}^{-1}$ مشاهده نمی‌شود. همچنین، طیف FT-IR نمونه‌ها در شکل ۳ نشان دهنده کاهش اسید سیستئیک در محدوده 1040 cm^{-1} با افزایش زمان تابش می‌باشد [۳۱].

در پژوهش دیگر، تغییر در ساختار شیمیایی پشم بر اثر اصلاح با تابش فرابنفش-ازن توسط تغییر در گروه‌های عاملی با استفاده از FT-IR مورد بررسی قرار گرفت [۳۱]. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد میزان گروه‌های C=O در محدوده 1669 cm^{-1} ، پس از تابش به مدت ۶۰ دقیقه، به حدود ۶۰ درصد مقدار اولیه خود رسید پس از تابش به مدت ۸۰ دقیقه، مقدار این گروه‌ها دوباره به مقدار اولیه خود نزدیک شد. شدت گروه‌های OH پس از تابش به مدت ۴۰ دقیقه کاهش یافت و به حدود ۲۰٪ مقدار اولیه خود رسید؛ با افزایش مدت زمان تابش روند کاهشی مذکور ادامه یافت. برای گروه‌های اکسید سیستئین نیز همین روند کاهش و افزایش با درصد کمتری مشهود می‌باشد.

۳-۱-۲- کاربردهای تابش فرابنفش در رنگرزی و تکمیل پشم

پشم یک لیف طبیعی مهم با ساختار سطحی مرکب و پیچیده است که به دلیل حضور پیوندهای دو گوگردی سیستئین و یک لایه از اسیدهای چرب در سطح آن ماهیتی آب‌گریز داشته و فرآیند رنگرزی نسبتاً مشکلی دارد. به طور متداول از روش‌های شیمیایی تر برای بهبود آب‌دوستی پشم استفاده می‌شود که این روش‌ها اثرات منفی در خواص فیزیکی نظیر استحکام و زیر دست لیف پشمی دارد. نتایج مطالعات اخیر نشان می‌دهد که از تابش فرابنفش می‌توان به طور موثر برای اصلاح خواص الیاف پشم استفاده کرد. نتایج یک مطالعه نشان داد که اصلاح پشم با تابش فرابنفش و سپس عملیات تر با آب اکسیژنه باعث تغییر در خواص کوتیکل، حذف پروتئین‌های محلول و اکسایش سیستئین به میزان قابل ملاحظه‌ای می‌شود که در نتیجه آن قابلیت رنگرزی با ماده رنگرزی

^۱ Anti-pilling

جدول ۳- مقدار گروه‌های شیمیایی مختلف لیف پشم پس از اصلاح با تابش UV/۳۱.

مدت زمان تابش (دقیقه)	O-H کششی	C-H کششی	C=O کششی	O-H خمشی	دی اکسید سیستین	مونوکسید سیستین	تیروستین	-S-S-
	۲۳۷۰-۳۴۵۰	۲۷۵۰-۳۰۰۰	۱۶۹۹.۵	۱۵۴۰-۱۶۰۰	۱۱۲۰-۱۲۰۰	۱۰۷۰-۱۱۲۰	۸۴۰-۸۹۶	۵۰۰-۵۹۰
	Cm ⁻¹	Cm ⁻¹	Cm ⁻¹	Cm ⁻¹	Cm ⁻¹	Cm ⁻¹	Cm ⁻¹	Cm ⁻¹
۰	۷۲/۲۱	۷۴/۹۰	۷۱/۰۱	۷۰/۸۴	۷۰/۵۰	۶۷/۸۳	۴۵/۸۵	۴۷/۲۷
۲۰	۵۶/۳۵	۵۷/۳۳	۴۹/۶۰	۶۴/۱۹	۶۷/۹۲	۶۴/۴۲	۴۶/۲۲	۴۰/۶۸
۴۰	۶۹/۸۱	۶۶/۸۶	۴۸/۴۵	۵۶/۸۳	—	۶۰/۳۵	۵۱/۳۶	۱۸/۴۶
۶۰	۶۰/۶۹	۵۹/۱۴	۴۲/۳۱	۵۹/۵۴	۶۸/۹۲	۶۳/۸۲	۵۳/۸۸	۳۱/۹۲
۸۰	—	۷۴/۷۱	۶۷/۹۶	۶۹/۸۷	۶۹/۴۰	۶۴/۵۸	۵۷/۷۸	۴۴/۱۸
۱۰۰	۶۶/۱۶	۶۸/۳۳	۶۵/۷۰	۶۳/۳۰	۶۳/۷۷	۶۴/۳۳	۴۷/۵۶	۴۴/۰۰
۱۲۰	۶۷/۶۴	۶۹/۷۲	۶۵/۵۸	۶۴/۸۳	۶۴/۴۴	—	—	۴۰/۹۱

این فرآیند موسوم به Siroflash بوده و از تابش UVC بر سطح پارچه و متعاقباً اکسایش مرطوب با هیدروژن پروکسید یا نمک‌های اسید پرمونوسولفونیک انجام می‌شود. تابش UVC محدود به سطح الیاف بوده و آنها را برای فرآیند اکسایش تر آماده می‌کند که به طور انتخابی زنجیرهای مولکولی سطح لیف را تضعیف می‌کند. چون استحکام الیاف سطحی پس از اصلاح کمتر می‌باشد هیچگونه الیاف برای تشکیل پرز در سطح پارچه باقی نمانده و قبل از تشکیل پرز از سطح پارچه جدا می‌شود. این روش بسیار موثر و روش بدون کلر برای منسوجات پشمی ضد پرز می‌باشد. به علاوه، عمل آوری با فرابنفش قبل از اکسایش آبی باعث بهبود رنگ‌پذیری می‌شود [۳۳].

در مطالعه مشابه دیگر اصلاح پارچه پشمی با تابش فرابنفش به عنوان یک روش دوست‌دار محیط‌زیست برای تکمیل ضد جمع‌شدگی و ضد پرز انجام شد. نتایج نشان داد اصلاح با تابش فرابنفش در کاهش پرزدهی و جمع‌شدگی پشم با یک کاهش وزن و استحکام مورد قبول بسیار موثر می‌باشد. پس از تابش، استفاده از اکسیدکننده‌های ایمن نظیر هیدروژن پروکسید یا سدیم مونوپروکسی فتالات و یا آنزیم‌های پروتئاز به عنوان جایگزین مطلوب و دوست‌دار محیط‌زیست برای فرآیند کلردار کردن پشم بسیار مناسب می‌باشد [۳۴].

در مطالعه دیگر از ترکیب تابش فرابنفش-ازن برای اصلاح سطح الیاف پشم استفاده شد. نتایج نشان داد، بر اثر اصلاح، لایه چربی (به خصوص اسیدهای ۲۱ کربنه) آب‌گریز در سطح پشم حذف می‌شوند. همچنین اصلاح پشم موجب تولید قابل توجه رادیکال‌های آزاد سیستیل^۱ در سطح پشم شد؛ اگرچه با قرارگیری در آب محتوی رادیکال سطح پشم به میزان قابل توجهی کاهش یافت. به علاوه، اصلاح پشم موجب بهبود قابل توجه در قابلیت رنگ‌پذیری پشم با مواد رنگزای راکتیو شد [۳۵].

در مطالعه دیگر از ترکیب تابش فرابنفش-ازن برای اصلاح سطح الیاف پشم استفاده شد. نتایج نشان داد، بر اثر اصلاح، لایه چربی (به خصوص اسیدهای ۲۱ کربنه) آب‌گریز در سطح پشم حذف می‌شوند. همچنین اصلاح پشم موجب تولید قابل توجه رادیکال‌های آزاد سیستیل^۱ در سطح پشم شد؛ اگرچه با قرارگیری در آب محتوی رادیکال سطح پشم به میزان قابل توجهی کاهش یافت. به علاوه، اصلاح پشم موجب بهبود قابل توجه در قابلیت رنگ‌پذیری پشم با مواد رنگزای راکتیو شد [۳۵].

در مطالعه دیگر از ترکیب تابش فرابنفش-ازن برای اصلاح سطح الیاف پشم استفاده شد. نتایج نشان داد، بر اثر اصلاح، لایه چربی (به خصوص اسیدهای ۲۱ کربنه) آب‌گریز در سطح پشم حذف می‌شوند. همچنین اصلاح پشم موجب تولید قابل توجه رادیکال‌های آزاد سیستیل^۱ در سطح پشم شد؛ اگرچه با قرارگیری در آب محتوی رادیکال سطح پشم به میزان قابل توجهی کاهش یافت. به علاوه، اصلاح پشم موجب بهبود قابل توجه در قابلیت رنگ‌پذیری پشم با مواد رنگزای راکتیو شد [۳۵].

در مطالعه دیگر از ترکیب تابش فرابنفش-ازن برای اصلاح سطح الیاف پشم استفاده شد. نتایج نشان داد، بر اثر اصلاح، لایه چربی (به خصوص اسیدهای ۲۱ کربنه) آب‌گریز در سطح پشم حذف می‌شوند. همچنین اصلاح پشم موجب تولید قابل توجه رادیکال‌های آزاد سیستیل^۱ در سطح پشم شد؛ اگرچه با قرارگیری در آب محتوی رادیکال سطح پشم به میزان قابل توجهی کاهش یافت. به علاوه، اصلاح پشم موجب بهبود قابل توجه در قابلیت رنگ‌پذیری پشم با مواد رنگزای راکتیو شد [۳۵].

¹ Cystyl

جدول ۴- تاثیر تابش فرابنفش در مدت زمان‌های مختلف بر برخی از خصوصیات فیزیکی الیاف پشم [۳۷].

میزان کاهش وزن (%g/m ²)	میزان قابلیت نفوذ (cm ³ /cm ² /s)	میزان ترشوندگی (تانیه)	میزان زردشدگی	مدت زمان عمل‌آوری (دقیقه)
—	۱۵۴/۲	۱۰۸۰	۱۲/۵۳	۰
۲۲/۶	۱۵۴/۹	۳۰۰	۱۷/۳۳	۲۰
-۲۲/۲	۱۵۷/۷	۳۰۰	۱۹/۲۷	۴۰
-۲۵	۱۵۸/۹	۳۰۰	۲۱/۱۵	۶۰
-۲۹/۴	۱۶۱/۴	۲۴۰	۲۴/۶۹	۸۰
-۱۱/۶	۱۶۲/۵	۱۵۰	۲۹/۵۲	۱۰۰
-۲۳/۴	۱۵۰/۱	۲۱۰	۲۸/۳۶	۱۲۰

جدول ۵- تاثیر اصلاح الیاف پشم با تابش فرابنفش در مدت زمان‌های مختلف بر قدرت رنگی و داده‌های رنگی با ماده رنگزای مستقیم نارنجی ۳۴ [۳۷].

K/S	L*	a*	b*	ΔE	ثبات نوری	زمان تابش (دقیقه)
۱/۲۷	۷۳/۱۲	۵/۱۰	۲۲/۴۷	۱۰/۲۳	۴	۰
۲/۶۵	۷۰/۲۲	۹/۵۳	۳۵/۹۹	۱۵/۱۷	۵	۲۰
۶/۹۹	۶۶/۸۶	۱۸/۱۸	۵۳/۹۲	۱۴/۸۷	۵	۴۰
۷/۹۹	۶۶/۰۳	۱۸/۸۱	۵۵/۳۸	۱۵/۵۴	۵-۶	۶۰
۱۱/۸۴	۶۴/۴۴	۲۲/۲۰	۶۱/۶۶	۱۵/۱۳	۶	۸۰
۱۷/۰۶	۶۲/۵۷	۲۷/۵۸	۶۷/۲۵	۱۵/۹۶	۶	۱۰۰
۱۵/۸۷	۶۲/۴۴	۲۶/۵۷	۶۵/۷۶	۱۶/۲۴	۶	۱۲۰

جدول ۶- تاثیر اصلاح الیاف پشم با تابش فرابنفش در مدت زمان‌های مختلف بر قدرت رنگی و داده‌های رنگی با ماده رنگزای راکتیو قرمز ۱۵۸ [۳۷].

K/S	L*	a*	b*	ΔE	ثبات نوری	زمان تابش (دقیقه)
۲/۶۶	۵۶/۷۳	۳۳/۷۱	۲/۱۳	۴/۵۶	۴-۵	۰
۱۱/۲۲	۴۶/۵۹	۵۰/۲۸	۱۰/۷۱	۱/۹۳	۶	۲۰
۱۷/۳۳	۴۳/۶۸	۵۳/۲۸	۱۵/۲۷	—	۷	۴۰
۱۹/۱۷	۴۲/۴۳	۵۳/۳۳	۱۷/۲۰	—	۷	۶۰
۲۳/۷۶	۴۰/۹۰	۵۴/۵۷	۲۰/۹۵	—	۷	۸۰
۲۶/۹۴	۳۹/۵۱	۵۴/۴۲	۲۳/۱۱	—	۷	۱۰۰
۲۷/۷۴	۳۸/۹۷	۵۴/۳۸	۲۴/۵۲	—	۷	۱۲۰

می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد الیاف اصلاح‌شده توسط پرتو UV در مقایسه با الیاف اصلاح نشده مدت زمان کمتری را برای جذب ماده رنگزا نیاز دارند [۸].

در مطالعه دیگر برای بهبود خواص کاربردی پشم نظیر شیمی سطح، ریخت‌شناسی، ترشدن و رنگ پذیری از تابش فرابنفش (۱۷۲ نانومتر) استفاده شد [۱۹]. نتایج نشان داد که تابش فرابنفش زمان ترشدن پشم را در مدت زمان کمتر از ۱۰ دقیقه و صرف نظر از اتمسفر استفاده شده به میزان ۱۰ برابر کاهش می‌دهد.

لازم به ذکر است که جذب ماده رنگزای راکتیو بیشتر از ماده رنگزای مستقیم می‌باشد [۳۷].

در مطالعه مشابه دیگر، پشم با تابش فرابنفش (طول موج ۲۵۴ نانومتر) در مدت زمان‌های مختلف اصلاح شد و خواص رنگرزی آن با ماده رنگزای اسیدی آبی ۷ بررسی شد. نتایج نشان دهنده افزایش قابل ملاحظه ضریب نفوذ و میزان جذب ماده رنگزای اسیدی و کاهش زمان رنگرزی در مقایسه با پشم خام بود [۸]. جدول ۷ مقدار جذب ماده رنگزا در نمونه‌های پشمی اصلاح شده با پرتو UV و خام (اصلاح نشده) را نشان

مقاله

جدول ۷- مقایسه مقدار جذب ماده رنگزای اسیدی آبی ۷ توسط الیاف پشم اصلاح شده توسط تابش فرابنفش به مدت ۶۰ دقیقه و پشم اصلاح نشده [۱۸].

مدت زمان رنگرزی (دقیقه)	مقدار جذب رنگ (mg/g)	
	نمونه‌های اصلاح شده با تابش فرابنفش	نمونه‌های خام
۵	۱/۴۴	۰/۸۵
۲۵	۴/۲۶	۲/۲۶
۵۰	۶/۸۴	۴/۴۹
۱۰۰	۱۳/۴۶	۸/۰۵
۲۰۰	۲۳/۰۶	۱۱/۳۴

در مطالعه دیگر پشم با مقادیر مختلف انرژی تابش فرابنفش اصلاح شد و سپس خواص ریخت شناسی، شیمیایی و فیزیکی توسط SEM و FT-IR-ATR، زاویه تماس آب و آزمون‌های پرزدهی^۱ بررسی شد. سپس نمونه‌های اصلاح شده با ماده رنگزای اسیدی در شرایط مختلف رنگرزی شدند و نتایج با نمونه‌های شاهد (نورنورده) مقایسه شدند. نتایج نشان داد که تابش فرابنفش به عنوان یک روش دوست‌دار محیط‌زیست باعث افزایش قابل توجه رنگ‌پذیری و جذب رنگ پشم، کاهش دما و زمان مناسب و صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود [۱۶].

۳-۲- اصلاح ابریشم با تابش فرابنفش

لیف ابریشم از حشره کرم ابریشم به دست می‌آید و از پروتئین‌های رشته‌ای فیبروئین ساخته شده است. ابریشم متشکل از ۸۳-۷۵ درصد فیبروئین، ۲۵-۱۷ درصد سریسین، ۱/۵ درصد واکس و حدود ۰/۱ سایر مواد می‌باشد. فیبروئین ابریشم دارای دو فاز می‌باشد که یک فاز دارای بلورینگی بالا بوده و شامل آمینو اسیدهای گلايسین، آلانین و سرین می‌باشد و فاز دیگر آن بی‌نظم است. درجه بلورینگی ابریشم نسبت به پشم بیشتر بوده و قابلیت کشسانی و انعطاف‌پذیری خوبی دارد. ابریشم به طور معمول تا دمای ۱۴۰ °C از پایداری خوبی برخوردار است و دمای تجزیه آن ۱۵۰ °C می‌باشد [۴۳-۴۰].

۳-۲-۱- تأثیر تابش فرابنفش بر ساختار و خواص شیمیایی ابریشم

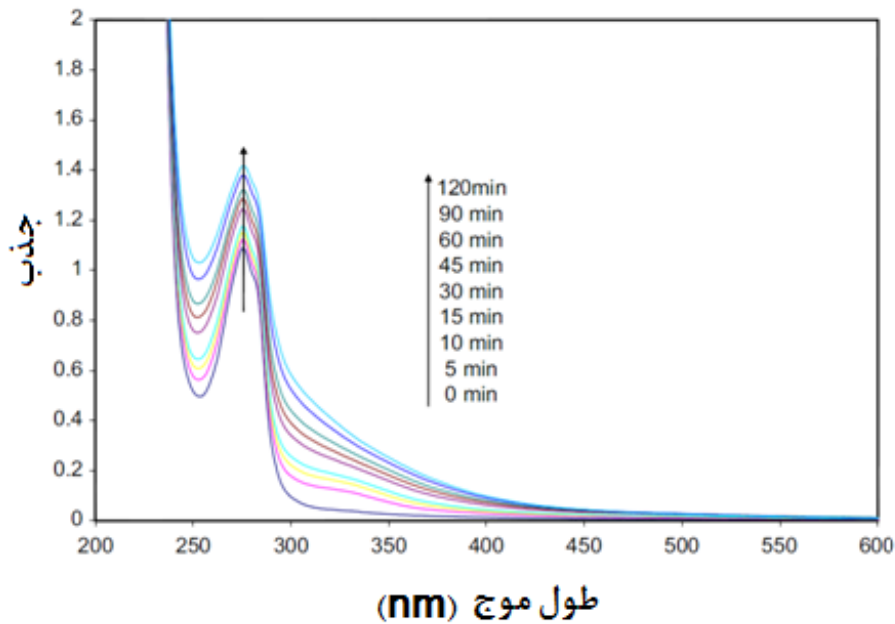
تابش فرابنفش بر ساختار مولکولی و شیمیایی ابریشم نیز تأثیر می‌گذارد. در یک مطالعه تأثیر انرژی تابش فرابنفش بر خواص فیبروئین ابریشم با طیف‌سنجی UV-Visible و فلورسانس مورد مطالعه قرار گرفت [۴۰]. در شکل ۴ طیف جذبی UV-Visible محلول آبی فیبروئین ابریشم بازیافتی نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که طیف‌های جذبی فیبروئین ابریشم بازیافتی در محلول یک پیک پهن در محدوده ۲۵۰ تا ۳۰۰ نانومتر دارد که احتمالاً مربوط به کروموفورهای اصلی جذب‌کننده در محدوده UV نظیر آمینو اسیدهای آروماتیک، تیروزین، فنیل‌آلانین و تریپتوفان می‌باشد.

به علاوه، زمان ترشدن به طور پیوسته با افزایش زمان تابش به مدت ۱۵ دقیقه کاهش یافته و سپس به مقدار ثابتی می‌رسد. با این حال تغییر قابل توجهی در نمودارهای ATR نمونه‌های اصلاح شده در مقایسه با نمونه‌های شاهد مشاهده نشد. تصاویر SEM نشان دهنده تغییر در ریخت‌شناسی سطح و ایجاد حفره‌ها و فرسایش فلس‌ها می‌باشد. در خصوص نمونه‌های نورنورده در حضور اکسیژن در سطح لیف ریز حفره‌هایی تشکیل می‌شود. بیشترین تغییرات در سطح پشم در شرایط اتمسفر نیتروژن در مدت زمان ۱۵ دقیقه مشاهده شد. بطوریکه باعث ایجاد شیارهای عمیق در سطح پشم و تغییر قابل توجه در فرسایش فلس‌ها شد که در نتیجه آن امکان آزاد سازی و فعال سازی گروه‌های آمینو و در نتیجه افزایش جذب مواد رنگزای آبیونی شد. نمونه‌های نورنورده در محیط نیتروژن به مدت ۱۵ دقیقه رمق‌کشی گردید. ماده رنگزای اسیدی در حدود ۱۰۰ درصد در مقایسه با نمونه شاهد (۷۳ درصد رمق‌کشی) پس از ۲۰ دقیقه رنگرزی را نشان می‌دهد. در پشم اصلاح شده غلظت اشباع رنگ و سرعت رنگرزی افزایش می‌یابد. از آنجایی که این تغییرات مربوط به سطح هستند و خواص کلی لیف را تغییر نمی‌دهند این نتایج تأثیر قابل توجهی بر روش‌های رنگرزی و تکمیل که برای پشم استفاده می‌شوند می‌تواند داشته باشند و به عنوان فرآیندهای پاک و کارآمد مورد استفاده قرار گیرند. به علاوه، این روش اثرات منفی بر استحکام و زیر دست لیف پشمی ندارد.

در مطالعه دیگر، الیاف پشم توسط پرتو فرابنفش با طول موج ۱۷۲ نانومتر در هوای محیط و اتمسفر اکسیژن و نیتروژن در مدت زمان‌های مختلف تحت تابش قرار گرفتند. نتایج نشان داد اصلاح سطح پشم با تابش فرابنفش می‌تواند سبب کاهش مدت زمان و دمای بهینه رنگرزی و افزایش بازده رنگرزی شود [۳۸].

نتایج مطالعه دیگر در خصوص استفاده از تابش فرابنفش برای اصلاح ویژگی‌های پشم نشان داد که استفاده از لامپ جیوه با فشار متوسط به عنوان منبع تولید تابش فرابنفش در مدت زمان زمان‌های مختلف باعث بهبود اصلاح شیمیایی سطح لیف و افزایش ظرفیت جذب یون‌های فلزی، آب‌دوستی، قابلیت رنگرزی با مواد رنگزای متال کمپلکس ۱:۱ می‌شود. اصلاح با تابش فرابنفش موجب بهبود قابلیت رنگرزی پشم با طیف وسیعی از مواد رنگزای اسیدی و متال کمپلکس می‌شود. همچنین اصلاح با تابش فرابنفش سبب افت قابل محسوس در استحکام نشده و ثبات‌های رنگی تغییری نمی‌یابد [۳۹].

¹ Pilling



شکل ۴- طیف UV-Vis محلول فیبروئین ابریشم نور دیده با تابش فرابنفش در مدت زمان‌های مختلف [۴۰].

فرآیند اکسایش نوری ابریشم بسیار موثر بوده و با ترکیب شدن با اکسیژن باعث تولید کروموفورهای حاوی گروه‌های کربونیل می‌شوند. با استفاده از محاسبات آمار مشخص شد بین شاخص زردی و محتوای گروه کربونیل ارتباط خطی وجود دارد. به علاوه، دلیل اصلی برای زردشدگی الیاف پروتئینی با تابش نور تشکیل پپتیدهای آلفا کتو آسید^۳ بیان شد [۴۲]. در ادامه و به منظور انجام مطالعات بیشتر در این خصوص، رنگ‌پردگی نوری^۴ ابریشم رنگ‌رزی شده با مواد رنگ‌زای اسیدی آزو بررسی شد [۴۳]. میزان رنگ‌پردگی نوری توسط اختلاف رنگ (ΔE) بررسی و مشخص شد بین محتوای گروه کربونیل و ΔE ارتباط خطی وجود دارد. مطابق نتایج، نور احیایی^۵ در حضور اکسیژن دلیل اصلی رنگ‌پردگی نوری ابریشم رنگ‌رزی شده بود. بدین ترتیب که آمینو اسیدهای گلیسین، آلانین، تیروزین و سرین در حالت‌های نوربرانگیخته^۶، رادیکال‌های ماکروپپتید و هیدروژن تشکیل می‌دهند که خاصیت احیاکنندگی بسیار زیادی داشته و با اتم‌های اکسیژن هوا و یا سایر اتم‌های الکترون‌دهنده در زنجیر فیبروئین ابریشم (آلانین، گلیسین، تیروزین و سرین) و مواد رنگ‌زای آزو ترکیب می‌شوند و موجب شکسته شدن و تغییر ساختار مولکولی فیبروئین ابریشم و مواد رنگ‌زای آزو می‌شوند. محققان نتیجه‌گیری کردند که نتایج به دست آمده می‌تواند به عنوان دلیل غیرمستقیم برای تایید سازوکارهای زردشدگی بر اثر نور و تخریب نوری آمینو اسیدهای آلانین، گلیسین، تیروزین و سرین زنجیر فیبروئین ابریشم با تشکیل پپتیدهای آلفا-کتو آسید باشد [۴۳]

۳-۲-۲- کاربردهای تابش فرابنفش در رنگ‌رزی و تکمیل ابریشم

پس از تابش فرابنفش یک افزایش جزئی در جذب کلی در محدوده ۲۵۰ تا ۴۰۰ نانومتر و پیک‌های پهن بین ۲۵۰ تا ۲۸۰ نانومتر و ۲۹۰ تا ۳۴۰ نانومتر مشاهده شد. برای فیبروئین ابریشم بازیافتی در محلول، قبل از تابش فرابنفش تنها یک پیک بیشینه در حدود ۳۰۵ نانومتر مشاهده شد. مقایسه تغییرات در جذب با افزایش شدت تابش UV نشان داد که ظهور پیک جدید بین ۲۹۰ تا ۳۱۰ نانومتر احتمالاً به دلیل تشکیل محصولات نوری جدید ناشی از پیوندهای عرضی جدید و یا آمینو اسیدهای آروماتیک اکسید شده می‌باشد. فیبروئین ابریشم بازیافتی پس از برانگیختگی^۱ در ۲۷۵ نانومتر در طول موج‌های ۳۰۵، ۴۸۰ و ۶۰۱ نانومتر فلورسانس نشان می‌دهد. تابش فرابنفش به فیبروئین باعث کاهش شدت فلورسانس در طول موج‌های ۳۰۵ و ۶۰۱ نانومتر شد، در حالیکه در طول موج ۴۸۰ نانومتر به دلیل تشکیل محصولات نوری جدید، افزایش شدت فلورسانس مشاهده گردید. برانگیختگی در ۳۰۵ نانومتر موجب فلورسانس فیبروئین ابریشم در ۳۴۰ و ۴۰۰ نانومتر می‌شود. تابش فرابنفش به فیبروئین ابریشم، باعث کاهش فلورسانس در ۳۴۰ نانومتر شد. نتایج طیف‌سنجی FT-IR نشان داد که ساختار اولیه فیبروئین ابریشم بازیافتی بر اثر تابش فرابنفش تغییر پیدا نمی‌کند، در حالیکه نتایج کروماتوگرافی نشان‌دهنده کاهش وزن مولکولی ابریشم بر اثر تابش فرابنفش بود [۴۰]. در مطالعه دیگر که در خصوص بررسی تاثیر تابش نور حاوی فرابنفش بر رفتار نورشیمیایی ابریشم طبیعی انجام گرفت، سرعت زرد شدگی ابریشم با تابش نور حاوی فرابنفش بررسی شد و ارتباط بین شاخص زردی^۲ و تشکیل گروه‌های کربونیل به دست آمد [۴۱]. همچنین در ادامه این مطالعات مشخص شد که آمینو اسیدهای گلیسین، آلانین، تیروزین و سرین در

³ α -Keto acyl peptides

⁴ Photo fading

⁵ Photo reduction

⁶ Photoexcited states

¹ Excitation

² Yellowness Index

مقاله

تابش به مدت ۳۰ دقیقه باعث کاهش بلورینگی الیاف ابریشم شد [۴۵]. در مطالعه دیگر یک طرف از پارچه‌های ابریشمی با تابش فرابنفش لامپ اگزایمر VUV مونوکروماتیک (۱۷۲ نانومتر) اصلاح شد و تغییرات ایجاد شده در ریخت‌شناسی سطح با SEM و AFM بررسی شد. سبب ویژگی‌های زمان ترشوندگی و جذب فتیله‌ای عمودی و افقی آب بررسی شد. نتایج نشان داد پس از تابش حفره‌هایی با ابعاد 100×10 نانومتر روی سطح ابریشم تشکیل می‌شود که در نتیجه آن قابلیت ترشوندگی و جذب آب فتیله‌ای به میزان محسوسی بهبود می‌یابد [۴۶].

در مطالعه مشابه دیگر از تابش فرابنفش VUV لامپ اگزایمر (۱۷۲ نانومتر) برای اصلاح خواص ابریشم استفاده شد و تغییرات بر ریخت و خواص فیزیکی ابریشم مطالعه شد. نتایج نشان داد تابش فرابنفش باعث ایجاد نانو حفره‌ها (با ابعاد ۸۰ تا ۱۰۰ نانومتر) در سطح ابریشم می‌شود. تغییرات فیزیکی و شیمیایی در پارچه ابریشمی با آزمون‌های ترشوندگی، زمان جذب آب فتیله‌ای، تغییرات وزن، بلورینگی و استحکام بررسی شد. همچنین تاثیر زمان و فاصله از منبع تابش بر خواص مذکور بررسی شد. نتایج نشان داد که ترشوندگی و جذب آب فتیله‌ای ابریشم به میزان قابل توجهی پس از ۵ دقیقه تابش افزایش می‌یابد، در حالی که کاهش وزن به طور پیوسته افزایش می‌یابد. در فواصل بیشتر از ۱۵ میلی متر از منبع نوری، تاثیر فرابنفش بر اصلاح خواص به شدت کاهش یافت. همچنین تاثیر تابش فرابنفش بر استحکام کششی نامحسوس بود. وجود رطوبت در ابریشم اثر عکس بر تاثیرگذاری تابش و اصلاح خواص ابریشم دارد [۴۷].

۳-۳- اصلاح پنبه با تابش فرابنفش

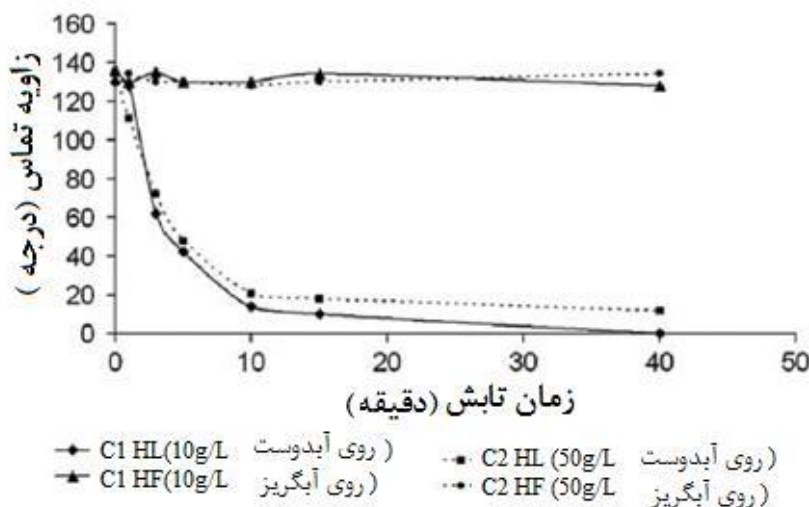
پنبه لیف طبیعی گیاهی با درصد بلورینگی بالا بوده و از لحاظ ریخت‌شناسی نسبت به دیگر الیاف سلولزی بسیار متفاوت می‌باشد. ساختار این لیف متشکل از مولکول‌های بلند سلولز بوده و حدود ۹۸٪ وزن خشک پنبه از سلولز تشکیل شده است.

در یک مطالعه، از تابش فرابنفش و ازن برای اصلاح سطح الیاف پشم و ابریشم استفاده شد. در خصوص الیاف ابریشم اصلاح‌شده با تابش فرابنفش-ازن موجب افزایش محتوای اسید آمینه تیروزین در سطح بی‌شکل ابریشم شد، اما تغییر قابل ملاحظه‌ای در خواص رنگ‌پذیری ابریشم با مواد رنگزای راکتیو مشاهده نشد [۳۵].

در مطالعه دیگر از تابش فرابنفش (طول موج ۱۷۲ نانومتر) در تکمیل پارچه ابریشم یک رو آب‌دوست و یک رو آب‌گریز استفاده شد. تابش فرابنفش ساختار سطح لیف را تغییر داد و سبب کمتر شدن زمان ترشدن لیف شد. سپس، پارچه ابریشم نور دیده با استفاده از دو غلظت متفاوت ۱۰ گرم بر لیتر و ۵۰ گرم بر لیتر از فلوروکربن تحت تکمیل آب‌گریزی قرار گرفت. سپس یک طرف نمونه‌های ابریشم در مدت زمان‌های ۱، ۳، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۴۰ دقیقه تحت تابش فرابنفش قرار گرفت. بنابراین یک طرف نمونه ابریشمی خاصیت آب‌گریزی و طرف دیگر نمونه خاصیت آب‌دوستی داشت. زاویه تماس ابریشم آب‌دوست و آب‌گریز عمل‌آوری شده در شکل ۵ مشاهده می‌گردد. زاویه تماس آب با سطح تحت تابش قرار گرفته الیاف ابریشم آب‌دوست با افزایش مدت زمان تابش کاهش می‌یابد و این کاهش در غلظت پایین عملیات تکمیلی آب‌گریزی بیشتر است. به علاوه، کاهش زاویه تماس آب با سطح ابریشم تا مدت زمان تابش ۱۰ دقیقه ادامه یافته و سپس به مقدار ثابتی می‌رسد. با این حال در مورد نمونه اصلاح‌شده در غلظت کمتر، زاویه تماس پس از ۴۰ دقیقه تابش به صفر می‌رسد، درحالی‌که در مورد ابریشم اصلاح‌نشده و آب‌گریز همواره زاویه تماس بالا (حدود ۱۳۰ درجه) است [۴۴].

در مطالعه دیگر، اثر تابش فرابنفش خلا^۱ (VUV با طول موج ۱۷۲ نانومتر) بر ساختار و خواص الیاف ابریشم بررسی شد. نتایج نشان داد تابش فرابنفش به مدت ۵ دقیقه سبب افزایش میزان گروه‌های کربونیل شد که در نتیجه آن مدت زمان ترشدن الیاف کاهش یافت. همچنین

^۱ Vacuum Ultra Violet (VUV)



شکل ۵- زاویه تماس ابریشم آب‌دوست و آب‌گریز عمل‌آوری شده [۴۴].

قهوه‌ای و برنزه^۲ بر خلاف لیف پنبه خود رنگ (رنگ کرم طبیعی) ناشی از واکنش‌های تانن واقع در کانال لومن لیف می‌باشد. رنگ قهوه‌ای پس از رسیدن و بازشدن غوزه پنبه و قرارگیری در معرض اکسیژن هوا و نور خورشید ظاهر می‌شود. پنبه طبیعی خام دارای ناخالصی‌هایی می‌باشد که قبل از رنگرزی و تکمیل باید زدوده شوند. بنابراین نیاز به فرآیندهای پیش عمل‌آوری می‌باشد که شامل شستشو و برطرف کردن ناخالصی‌های سلولزی، رنگدانه‌ها و واکس‌ها و همچنین سفیدگری اکسایشی برای زدودن ماده رنگی طبیعی می‌باشد [۵۰].

در یک مطالعه اصلاح پارچه‌های سلولزی با تابش فرابنفش (۳۰۰ نانومتر و ۱۸۰ وات) در مدت زمان‌های مختلف انجام شد و نتایج با پنبه مرسریزه‌شده با قلیایی هیدروکسید سدیم مقایسه شد. نتایج نشان‌دهنده تاثیر متفاوت دو روش استفاده شده بر خواص مکانیکی پارچه پنبه‌ای بود. با استفاده از روش مرسریزه‌کردن استحکام کششی^۳ پارچه پنبه‌ای ۴/۵ درصد بیشتر از پارچه‌های عمل نشده بود، در حالی که استحکام نمونه‌های نور دیده با تابش فرابنفش نسبت به نمونه عمل نشده ۷/۵ درصد کاهش یافت. همچنین استحکام پارگی^۴ پارچه‌های سلولزی مرسریزه شده نسبت به نمونه خام ۴/۵ درصد افزایش نشان داد، در حالی که برای نمونه‌های نور دیده با تابش فرابنفش ۴/۵ درصد کاهش مشاهده شد. این تفاوت در خواص پارچه‌های پنبه‌ای نور دیده در مقایسه با مرسریزه شده، مربوط به تاثیر تابش فرابنفش بر ساختار مولکولی سلولز می‌باشد. افزایش قابل توجه در تخریب سلولز و کاهش استحکام کششی و پارگی در نمونه‌های نور دیده می‌تواند به افزایش آبدوستی به دلیل تاثیر تابش فرابنفش بر اکسایش نوری و پارگی زنجیرهای مولکولی سلولز نسبت داده شود. در شکل ۶ انواع مختلف حالت‌های ممکن رادیکال‌های تولید شده سلولز تحت تابش فرابنفش نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که واحد اندیروگلوکز سلولز (شکل ۶a) تحت تابش فرابنفش متحمل تغییرات مختلف فیزیکی و شیمیایی می‌شود. بدین ترتیب که با تابش فرابنفش با انرژی بالا احتمال جداشدن هیدروژن از موقعیت‌های C1، C2، C3 یا C4 سلولز (شکل ۶b) وجود دارد و یا ممکن است گروه هیدروکسیل مخصوصا در انرژی‌های بالای تابش جدا شود (شکل ۶c). تحقیقات پیشین امکان جداشدن گروه هیدروکسیل را تنها در موقعیت C2 بیان کرده اند. اگر چه امکان جداشدن هیدروکسیل در موقعیت‌های C3 و به خصوص C6 نیز وجود دارد که دلیل آن ممانعت فضایی کمتر در موقعیت C6 می‌باشد. با این وجود در مقادیر انرژی زیاد تابش امکان جداشدن گروه CH_2OH نیز وجود دارد که متعاقبا به رادیکال‌های CHO یا هیدروژن تبدیل می‌شوند (شکل ۶d). [۵۱].

در نهایت نتیجه‌گیری شد که تابش فرابنفش موجب اکسایش سلولز و تشکیل گروه‌های کربوکسیلیک اسید و کتون در سطح لیف پنبه شده و همچنین منجر به ایجاد فضاهای خالی در لیف می‌شود که موجب افزایش برهم‌کنش بین مواد رنگزا و لیف و در نتیجه افزایش جذب ماده رنگزا می‌شود [۵۱].

سلولز از واحدهای گلوکز تشکیل یافته است که از طریق اتم اکسیژن به یکدیگر متصل شده اند. در ساختار مولکولی پنبه در هر واحد تکراری گلوکز سه گروه هیدروکسیل وجود دارد که دو گروه ثانویه و یک گروه اولیه بوده و بسیاری از واکنش‌ها با سلولز، در گروه‌های هیدروکسیل اولیه و در موقعیت کربن ۶ اتفاق می‌افتد. تعداد زیادی از این گروه‌های هیدروکسیل از طریق پیوندهای هیدروژنی با آب پیوند می‌یابند و به همین دلیل لیاف پنبه بسیار آبدوست می‌باشد. همچنین به دلیل وجود این گروه‌های هیدروکسیل امکان اتصال لیاف با مواد رنگزا به راحتی به وجود می‌آید. پنبه دارای خواص عالی از نظر جذب آب، توانایی رنگ‌پذیری و ثبات می‌باشد [۴۸]. اگر چه پنبه بعد از بسیاری از سایر لیاف شناخته شده کشف شد، اما به دلیل بسیاری از خصوصیات منحصر به فرد و ویژگی‌های آن، موقعیت و جایگاه به سزایی در صنعت نساجی دارد و امروزه با سهم ۵۶ درصدی از کل لیاف مصرفی در لباس و تزئینات خانگی پر مصرف‌ترین لیاف نساجی در جهان است. از کاربردهای دیگر پنبه می‌توان به منسوجات بی‌بافت و موارد مراقبت شخصی^۱ اشاره کرد. امروزه اکثر مصرف‌کنندگان، پنبه را نسبت به سایر منسوجات حاوی لیاف مصنوعی ترجیح می‌دهند. زبردست نرم، جذب خوب و نگهداری رنگ از مزایای پارچه‌های پنبه‌ای هستند. پارچه پنبه‌ای به راحتی قابل رنگرزی، چاپ و دوخت می‌باشد و قابلیت شستشو با ماشین و همچنین خشک‌شویی را دارد و دارای استحکام خوب و مناسبی است. تمام این موارد جزء خواص مطلوب برای یک لیاف نساجی است [۴۸].

با این وجود، برای برخی کاربردها محدودیت‌هایی نیز در مورد لیاف پنبه وجود دارد که لازم است خصوصیات لیاف با عمل‌آوری‌های شیمیایی و فیزیکی اصلاح شوند. تابش فرابنفش که جزء روش‌های فیزیکی است بسیار مقبول‌تر بوده و مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. تابش‌های فرابنفش به روش‌های مختلف پیش و پس عمل‌آوری برای اصلاح رفتار منسوجات در فرآیندهای رنگرزی و تکمیل به منظور تولید منسوجات با خصوصیات ارتقاء یافته مورد استفاده قرار می‌گیرند [۴۹].

بیشتر این مطالعات مربوط به اصلاح سطح پشم می‌باشند، اما برخی مطالعات نیز به بررسی تاثیر تابش فرابنفش بر خصوصیات لیف پنبه پرداخته‌اند. در پنبه بر خلاف پشم، منشا واقعی جذب فرابنفش نامشخص بوده و توسط ساختار پلیمری سلولز پنبه نمی‌باشد و تنها می‌تواند به جذب گروه‌های کربونیل و یا کربوکسیل ناخالصی‌ها و ضایعات پنبه نسبت داده شود.

۳-۳-۱- تاثیر تابش فرابنفش بر ساختار و خواص شیمیایی پنبه

رنگ طبیعی لیف پنبه ناشی از وجود کافئیک اسید در لایه‌های بیرونی لیف پنبه می‌باشد. ترکیب مذکور فلورسنت (طول موج‌های جذب ۲۸۷ و ۳۱۰ نانومتر) بوده و به طور تئوری فرض بر آن است که نقش این ماده جذب تابش فرابنفش به منظور محافظت دانه پنبه می‌باشد. رنگ پنبه‌های

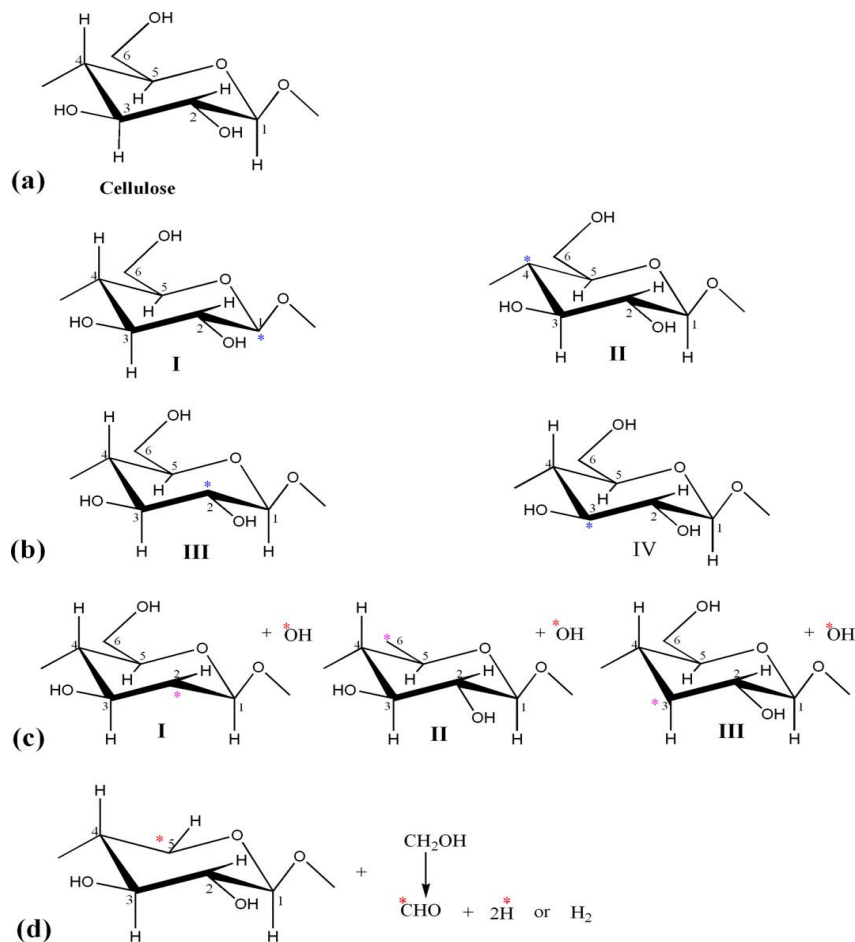
² Tan

³ Tensile strength

⁴ Tear strength

¹ Personal care

مقاله



شکل ۶- (a) واحد انیدروگلوکز سلولز؛ (b) رادیکال‌های سلولز تشکیل شده (ناشی از جداسدن پروتون)؛ (c) رادیکال‌های سلولز تشکیل شده (ناشی از جداسدن گروه هیدروکسیل)؛ (d) رادیکال‌های سلولز تشکیل شده (ناشی از جداسدن CH₂OH) [۵۱].

سطح پارچه باقی نمانده و قبل از تشکیل پرز از سطح پارچه جدا می‌شود. این روش بسیار موثر و روش بدون کلر برای منسوجات پشمی ضدپرز می‌باشد. به علاوه، عمل‌آوری با پرتو فرابنفش قبل از اکسایش مرطوب باعث بهبود رنگ‌پذیری می‌شود [۳۳].

نتایج مطالعه دیگر نشان داد که اصلاح پنبه با تابش فرابنفش نه تنها موجب افزایش قدرت رنگی ماده رنگزای راکتیو روی پارچه پنبه‌ای شد، بلکه خواص رنگرزی را نیز بهبود بخشید [۵۳]. دلیل آن اکسایش زنجیره‌های مولکولی سطح سلولز با تابش فرابنفش در حضور اکسیژن و تبدیل آنها به گروه‌های کتون، آلدئیدی و کربوکسیلی و همچنین ایجاد فضاهای خالی در الیاف و در نتیجه افزایش برهم‌کنش بین ماده رنگزا و لیف بیان شد [۵۴].

در مطالعات دیگر از تابش فرابنفش (۲۵۴ نانومتر و ۱۸۰ وات) برای اصلاح ویژگی‌های رنگرزی پنبه با مواد رنگزای طبیعی برگ حنا [۵۵]، ریشه زردچوبه [۵۶-۵۷]، پوست اوکالیپتوس [۵۸] و پوست Acacia nilotica [۵۹] استفاده شده است. نتایج تحقیقات نشان داد تابش فرابنفش بر پودر خام ماده رنگزای طبیعی باعث افزایش بازده فرآیند استخراج مواد رنگزای طبیعی و همچنین بهبود قدرت رنگزایی و قدرت رنگی در رنگرزی پنبه می‌شود. از طرف دیگر اصلاح پنبه با تابش

۳-۲-۳- کاربردهای تابش فرابنفش در رنگرزی و تکمیل پنبه

نتایج یک مطالعه نشان داده است که پارچه پنبه‌ای عمل شده با محلول پروکسید هیدروژن و سپس نور دیده با تابش فرابنفش کاهش قابل توجهی در پرزدهی نشان داده اند [۵۲]. در مطالعه دیگر توسط میلینگتون بیان شد که تابش فرابنفش در ترکیب با اکسایش مرطوب ملایم در تکمیل ضدپرز پشم و پنبه بسیار موثر است. این فرآیند موسوم به Siroflash بوده و از تابش UVC بر سطح پارچه و متعاقباً اکسایش مرطوب با هیدروژن پروکسید یا نمک‌های اسید پرمونوسولفونیک انجام می‌شود. در مورد روش Siroflash به حضور یک حساس‌کننده یا آغازگر نوری برای جذب تابش فرابنفش در اولین مرحله فتوشیمیایی نیاز است. چنین آغازگر نوری باید بدون بو، غیرسمی، ارزان بوده و براحتی با شستشو برطرف شود. بنابراین بسیاری از آغازگرهای نوری فرابنفش تجاری غیرقابل استفاده بوده اما پروکسید هیدروژن قادر به جذب تابش‌های فرابنفش زیر ۳۰۰ نانومتر بوده و رادیکال‌های بسیار واکنش پذیر هیدروکسیل تولید می‌کند. تابش UVC محدود به سطح الیاف بوده و آنها را برای فرآیند اکسایش مرطوب آماده می‌کند که به طور انتخابی زنجیره‌های مولکولی سطح لیف را تضعیف می‌کند. چون استحکام الیاف سطحی پس از اصلاح کمتر می‌باشد، هیچگونه الیاف برای تشکیل پرز در

در مطالعه جالب دیگر، دانگ و یانگ^۶ [۶۳] پیشنهاد نورگرافت مواد رنگزای راکتیو پشم روی پارچه پنبه ای را مطرح کردند. این فرآیند با استفاده از واکنش پذیری رنگ‌های خاص در شرایط تابش فرابنفش توسط فرآیندهای نورپلیمریزاسیون، گرافت نوری و شبکه‌شدن نوری برای تشکیل یک شبکه رنگی پلیمری و شبکه‌ای شده استفاده شد. برای الیاف پروتئینی رنگ‌های راکتیو بدون فلز شامل گروه‌های راکتیو آلفا بروموآکریل آمید^۷ به دلیل ایجاد فام‌های درخشان و ثبات‌های مرطوب بالا بسیار مورد توجه هستند. اگرچه این مواد رنگزای راکتیو در شرایط مشابه به دلیل هسته دوستی بسیار پایین گروه‌های هیدروکسیل سلولز در مقایسه با گروه‌های تیول و آمینو پروتئین به ندرت با لیف پنبه واکنش می‌دهند. بنابراین مواد رنگزای شامل آلفا بروموآکریل آمید^۸ به عنوان مونومرهای گرافت تحت شرایط تابش فرابنفش روی سلولز گرافت نوری می‌شوند. این روش جدید، رنگی کردن لیف پنبه حتی با مواد رنگزای با تمایل پایین در رنگزای راکتیو متداول را به واقعیت تبدیل می‌کند. به علاوه در رنگزای نیاز به مقادیر زیاد نمک، زمان و انرژی نبوده که این روش‌ها جایگزین مناسب و دوست‌دار محیط‌زیست می‌باشد [۶۳].

۳-۲-۱- رنگزای تفاضلی^۸ پارچه پنبه‌ای با تابش فرابنفش

نساجی برای پاسخ‌گویی به نیازهای هنری و مد روز همواره در جستجوی طرح‌های رنگی جدید می‌باشد. این هدف می‌تواند با اصلاح سطح بخش‌های انتخابی از پارچه با عمل‌آوری فیزیکی سطح نظیر پلاسما [۶۴] یا تابش فرابنفش روی یک روی پارچه پس از رنگزای متداول انجام شود [۶۵]. به علاوه طرح‌های مختلف با استفاده از یک شابلون یا ماسک که در بین منبع انرژی و پارچه برای اصلاح سطح انتخابی استفاده می‌شود، قابل انجام است. این روش جایگزین و ارزان نسبت به روش‌های متداول نظیر چاپ و یا بافت رنگی است. در روش شستشو نوری^۹ [۶۶] عمل‌آوری پیوسته یک روی پارچه پشمی با تابش فرابنفش قبل از رنگزای برای ایجاد شیده‌های مختلف در دو روی پارچه و یا ایجاد طرح‌های مختلف (رنگزای طرح‌دار) پیشنهاد شده است. در این خصوص انتخاب دقیق مواد رنگزای برای ایجاد تاثیر روی تنالیت و همچنین پارچه دو رویه با مواد رنگزای مختلف باید انجام شود که این پیشنهادها الهام بخش آزمایش‌های رنگزای تفاضلی پشم با تابش فرابنفش بودند که توسط میگلیاوانسا^{۱۰} انجام شد [۶۷].

۳-۲-۲- اصلاح پنبه با بخت فرابنفش و گرافت فرابنفش

پارچه‌های پنبه‌ای اغلب در تزئین خانه و مصارف خانگی و تزئینی و همچنین در لباس و منسوجات بهداشتی استفاده می‌شوند. غلظت زیاد گروه‌های هیدروکسیل در سطح پنبه موجب جذب آب فراوان می‌شود و

فرابنفش نیز موجب افزایش جذب مواد رنگزای و قدرت رنگی الیاف رنگزای شده می‌شود. در نهایت از ترکیب دو روش مذکور (اصلاح پنبه و پودر ماده رنگزای طبیعی با تابش فرابنفش) بهترین نتیجه (بیشترین مقدار جذب ماده رنگزای و قدرت رنگی) حاصل شد. نتایج نشان داد که تابش فرابنفش نه تنها جذب و ثبات مواد رنگزای طبیعی روی پنبه پیش عمل‌آوری شده با فرابنفش با استفاده از غلظت‌های کم ماده رنگزای را بهبود می‌دهد، بلکه موجب کاهش مصرف و صرفه‌جویی در مصرف دندانه در رنگزای نیز می‌شود.

در مطالعه اخیر دیگر، تاثیر تابش فرابنفش (۲۵۴ نانومتر؛ ۱۸۰ وات) بر ویژگی‌های رنگزای پنبه با ماده رنگزای طبیعی لوتئین^۱ موجود در گیاه گل جعفری بررسی شد. نتایج نشان داد تابش فرابنفش موجب ایجاد گروه‌های عاملی در سطح الیاف پنبه به عنوان مکان‌های جاذب ماده رنگزای شده که در نتیجه آن جذب و قدرت رنگی به طور قابل توجهی بهبود یافت. به علاوه به دلیل محدود بودن تابش فرابنفش به سطح لیف سایر خواص نظیر خواص مکانیکی و استحکام بدون تغییر باقی ماند [۶۰].

در خصوص رنگزای پنبه لازم به ذکر است که سطح لیف پنبه با قرارگیری در آب دارای بار منفی می‌شود که منجر به دفع الکترواستاتیکی مواد رنگزای آنیونی می‌شود. بنابراین مقدار زیادی از الکترواستاتیکی نظیر سولفات سدیم و کلرید سدیم برای خنثی کردن بار سطحی و کاهش دافعه بین مواد رنگزای آنیونی و لیف با بار منفی نیاز می‌باشد. به علاوه رمق‌کنشی کامل ماده رنگزای به طور عمومی اتفاق نمی‌افتد و به دلیل تخلیه پس‌اب‌های رنگی حاوی غلظت بالای نمک موجب ایجاد مشکلات زیست‌محیطی می‌شود. برای غلبه بر این مشکلات، کاتیونی کردن لیف پنبه برای افزایش تمایل مواد رنگزای آنیونی با ایجاد مکان‌های مثبت روی لیف انجام شده است. پیش عمل‌آوری پنبه با گلیسیدیل تری متیل آمونیم کلراید^۲ و سایر مواد کاتیونی‌کننده گزارش شده است. با این وجود مونومرهای کاتیونی پلیمر شونده نظیر ترکیبات چهارگانه آمونیم متاکریل^۳ نیز توسط تابش فرابنفش با هدف رنگزای طرح‌دار روی پنبه به کار برده شده‌اند [۶۱].

در واقع در شرایطی که پنبه عمل‌نشده به راحتی قابل رنگزای با ماده رنگزای آنیونی در حضور نمک می‌باشد، در فرآیندهای متداول گرافت دستیابی به شیده‌های رنگی عمیق در رنگزای با الیاف شبکه‌ای شده به دلیل تورم بسیار کم و عدم نفوذ مولکول‌های رنگی نسبتاً بزرگ به داخل لیف ممکن نمی‌باشد. در مطالعه ای که توسط یانگ^۴ و همکارانش [۶۲] انجام شد، قابلیت نورگرافت^۵ مونومرهای کاتیونیک روی پارچه پنبه‌ای با استفاده از آغازگر نوری محلول در آب بررسی شد و نتایج نشان دهنده کارایی بسیار بهتر گرافت نسبت به روش‌های متداول و در نتیجه بهبود قابل توجه رنگزای بدون آسیب به دیگر خواص بود.

⁶ Dong & Jang

⁷ α -bromoacrylamido

⁸ Differential dyeing

⁹ Sun-Wash

¹⁰ Migliavacca

¹ Lutein

² Glycidyltrimethylammonium chloride

³ Methacryloyl

⁴ Jang

⁵ Photo-grafting

مقاله

حرارتی با روش‌های سل-ژل انجام می‌شود [۷۲، ۷۳].

۳-۴- تکمیل ضد میکروبی منسوجات با گرافت فرابنفش کیتوسان

کیتوسان پس از سلولز دومین پلی ساکارید فراوان در طبیعت می‌باشد. کیتوسان یک پلیمر طبیعی کربوهیدرات بوده که از استیل‌زدایی کیتین بدست می‌آید و دارای خواص زیستی، فیزیولوژیکی و دارویی منحصر به فرد نظیر زیست تخریب‌پذیری و عدم سمیت و خاصیت ضد میکروبی زیاد در مقابل میکروارگانیسم‌های گرم مثبت و گرم منفی می‌باشد و در زمینه نساجی عمدتاً به عنوان ماده تعاونی در رنگرزی و یا ماده تکمیلی استفاده می‌شود. اما ثبات تکمیل با کیتوسان به دلیل برهم‌کنش‌های ضعیف بین زنجیرهای پلیمری کیتوسان و الیاف محدود و ضعیف است. برای دستیابی به تکمیل با ثبات و پایدار نیاز به فرآیند حرارتی با مصرف آب و انرژی زیاد مورد نیاز است که در بیشتر مواقع احتمال تجزیه و تخریب بستر (منسوج) وجود دارد. به علاوه نیاز به استفاده از مواد شبکه‌ای کننده برای اتصال مناسب کیتوسان می‌باشد. فررو و همکارانش [۷۴] پخت نوری (پخت فرابنفش و یا گرافت فرابنفش) به عنوان فرآیند دوست‌دار محیط‌زیست و ارزان برای اتصال کیتوسان به منسوجات را با روش‌های واکنش‌های رادیکالی پیشنهاد دادند.

مطالعات در خصوص تخریب نوری زنجیرهای پلیمری کیتوسان تحت تابش فرابنفش، تشکیل ماکرو رادیکال‌ها بر روی پلیمر کیتوسان را تأیید کرد. نکته جالب توجه اینکه، همان رادیکال‌ها می‌توانند در فرآیند شبکه‌ای شدن به عنوان رادیکال‌های نور آغازگر استفاده شوند. در میان کالاهای بررسی شده پشم [۷۵]، ابریشم [۷۶]، پلی استر، پلی آمید و پنبه [۷۷] به شکل‌های مختلف تار-پودی و پارچه‌های حلقوی [۷۸] و همچنین صافی‌ها و گازها^۲ با ساختار بازتر [۷۹-۸۱] بررسی شدند.

در مورد پنبه کار تحقیقاتی با آزمون آزمایشگاهی روی نمونه‌هایی با ابعاد کوچک و با هدف بهینه سازی عوامل فرآیند و تعیین بازده و ثبات انجام شد [۷۶]. کیتوسان با درجه استیل‌زدایی ۸۵-۷۵ درصد در محلول اسید استیک با $\text{pH} = 4$ حل شد. به محلول کیتوسان با ۴ درصد وزنی از ۲- هیدروکسی-۲-متیل فنیل پروپان^۳ به‌عنوان یک نور آغازگر رادیکال اضافه اضافه شد، سپس محلول رقیق شد و روی سطح پارچه به روش آغشته‌سازی با ۱ تا ۳ درصد وزنی اعمال شد. برای کسب بازده ۱۰۰ درصد فرآیند زمان آغشته‌سازی ۱۲ ساعت در ۲۰ درجه یا ۱ ساعت در ۵۰ درجه سانتی‌گراد مورد نیاز بود. پخت فرابنفش کیتوسان خاصیت ضد میکروبی عالی در مقابل باکتری اشریشیا کلی^۴ و استافیلوکوکوس اورئوس^۵ روی پارچه‌های پنبه‌ای ایجاد کرد. کاهش بیشتر از ۹۷ درصد میکروارگانیسم برای تمام نمونه‌ها صرف نظر از روش کاربرد کیتوسان مشاهده شد.

افزایش وزن حدود ۲ درصد روی پارچه برای دستیابی به فعالیت

امکان لکه‌گذاری با مایع‌های رنگی به راحتی وجود دارد به علاوه ترکیب شیمیایی و خواص ساختاری الیاف سلولزی بستر مناسبی برای رشد باکتری‌ها را فراهم می‌کند. برای غلبه بر این محدودیت‌ها نیاز به تکمیل‌های مختلف نظیر تکمیل دفع آب و یا روغن و خاصیت ضد میکروبی می‌باشد. معمولاً خواص مطلوب توسط پلیمریزاسیون حرارتی صرف نظر از مصرف انرژی و هزینه فرآیند حاصل می‌شود [۶۸]. مونومرهای فلورینه یا سیلیکون که با روش‌های آغشته‌سازی استفاده می‌شوند می‌توانند ایجاد دفع روغن و یا آب نمایند، درحالی‌که یون‌های نقره، نمک‌های چهارگانه آمونیم و تریکلوسان [۶۹] عموماً به عنوان مواد ضد میکروبی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۴]. فررو^۱ و همکارانش [۷۰] یک روش پخت فرابنفش مونومرهای عاملی روی پنبه را به عنوان روش دوست‌دار محیط‌زیست و ارزان جایگزین برای روش‌های پخت حرارتی پیشنهاد کردند. در فرآیندهای پخت فرابنفش یک نور آغازگر نوری مناسب قادر به برهم‌کنش با تابش‌های فرابنفش و ایجاد رادیکال‌ها و کاتیون‌ها می‌شوند که موجب پخت سریع مونومرها و اولیگومرهای واکنش‌پذیر در دماهای پایین می‌شوند که تأثیرات زیست‌محیطی و هزینه کمتر از روش‌های حرارتی دارند. برای مصارف نساجی روی پارچه‌های پنبه‌ای در صورتی که مخلوط مونومر و آغازگر توسط الیاف جذب شده و سپس تحت تابش فرابنفش قرار گیرد، زنجیرهای پلیمری درون ساختار منسوج تشکیل گرافت پایدار و مقاوم در مقابل آب می‌دهند. به علاوه نفوذ اجزاء و توزیع یکنواخت مونومرها حتی در غلظت‌های پایین منجر به ایجاد مواد نساجی با خصوصیات سطح اصلاح یافته می‌شود. در این روش خواص کلی الیاف نظیر مقاومت مکانیکی و حرارتی تغییر نیافته و خواص تهویه الیاف بدون تغییر ثابت می‌ماند.

۳-۲-۳- تکمیل دفع آب و روغن پنبه با تابش فرابنفش

دفع آب و روغن متداول‌ترین خواص کاربردی هستند که برای پوشش‌های محافظتی مورد نیاز می‌باشند. این خاصیت توسط تغییر انرژی سطح الیاف نساجی که محدود به یک لایه سطحی نازک می‌باشد و خواص کلی پارچه نساجی نظیر استحکام مکانیکی، انعطاف‌پذیری، قابلیت تهویه و نرمی باید بدون تغییر باقی بماند. سطوح آب‌گریز یا روغن‌گریز دارای انرژی سطحی پایین بوده و به ترتیب توسط آب یا مایع‌های غیرقطبی تر نمی‌شوند. ترشدن ناشی از سطوح جامد غیرآب‌دهنده آل می‌باشد که ناصاف و از لحاظ شیمیایی ناپیکنواخت هستند [۷۱].

اصلاح سطح الیاف نساجی برای دستیابی به تکمیل‌های فوق و خواص مورد نظر می‌تواند با روش‌های فیزیکی و شیمیایی و یا ترکیب هر دو روش انجام شود. عمل‌آوری پلاسما و سپس تابش‌های مختلف اغلب در حضور گازهای واکنش‌پذیر یا پس از آغشته‌سازی با مواد شیمیایی مناسب از روش‌های فیزیکی اصلاح هستند. در حالی‌که عمل‌آوری‌های شیمیایی با مواد اکسیدکننده و سایر مواد تکمیلی و سپس عملیات

² gauze

³ 2-hydroxy-2-methyl-phenylpropane-1-one

⁴ Escherichia coli

⁵ Staphylococcus aureus

¹ Ferrero

دوست‌داری محیط‌زیست و همچنین عدم آسیب به خواص کلی نظیر خواص مکانیکی و زبردست می‌باشد. به دلیل گستره زیاد محدوده تابش فرابنفش و با بررسی‌های دقیق و آگاهی از ساختار شیمیایی هر لیف و انتخاب محدوده صحیح و مناسب تابش فرابنفش می‌توان اصلاح مطلوب با خواص کنترل شده در الیاف انجام داد. بررسی مقالات متعدد نشان داد از انرژی تابش فرابنفش نه تنها برای اصلاح خواص سطح الیاف با اهداف مختلف نظیر اکسایش و ایجاد گروه‌های عاملی، حذف لایه آب‌گریز چربی سطح پشم، تولید ریز حفره‌ها در مقیاس میکرو و نانو، بهبود خواص رنگرزی، ترشوندگی، کاهش قابلیت نمدی‌شدن و کاهش پزدهی و همچنین توسعه فرآیند رنگرزی تفاضلی بهره گرفته شده است، بلکه از این روش برای پخت و گرافت مواد مختلف تکمیلی به عنوان روش ساده‌تر، ارزان‌تر و کارآمدتر و جایگزین مناسب برای روش پخت حرارتی متداول در فرآیندهای تکمیلی متعدد نیز استفاده شده است. در نهایت با توجه به مزایای گوناگون این فناوری و پیشرفت‌های انجام شده اخیر انتظار می‌رود در سال‌های آتی تحقیقات فزاینده و رو به رشدی در خصوص توسعه و معرفی زمینه‌های استفاده از این فناوری ایمن، ساده، کارآمد، ارزان و دوست‌دار محیط‌زیست به عنوان جایگزین روش‌های اصلاح و فرآوری متداول در بخش‌های مختلف صنعت نساجی صورت پذیرد.

۵- تقدیر و تشکر

از تمامی حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه هنر اسلامی تبریز و موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش در طول انجام این پژوهش صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

ضدمیکروبی قوی بدون آسیب به زیر دست و قابلیت تهویه^۱ کافی بود. زمان آغشته‌سازی ۱۲ ساعت در دمای محیط برای حفظ نصف خاصیت ضدمیکروبی پس از شستشو با شوینده استاندارد ECE مطابق با روش استاندارد UNI-EN ISO 105 C01 ضروری بود. در صورت کاهش زمان آغشته‌سازی خاصیت ضدمیکروبی نیز کاهش بیشتری را نشان داد که دلیل آن به عدم نفوذ کافی کیتوسان به درون لیف حتی در غلظت‌های بالای محلول نسبت داده شد. افزایش زمان تماس بین مولکول کیتوسان و پارچه، نفوذ بهتر کیتوسان به درون الیاف را موجب شد و موجب بهبود ثبات شستشویی گردید. با این وجود این پدیده قویاً به ماهیت یونی شوینده‌ها وابسته بوده و استفاده از یک شوینده غیر یونی نشان داد که پس از شستشوی مکرر خاصیت ضدمیکروبی بطور کامل حفظ گردید. آزمون‌هایی نیز در مقیاس نیمه-صنعتی روی نمونه‌هایی با ابعاد بزرگ‌تر با استفاده از پودر تجاری کیتوسان که در محلول اسید استیک تهیه شده بود، انجام شد [۷۸]. در برخی موارد یک نرم‌کننده یا یک ماده ضد اکسیدشونده به نسخه اضافه شد و غلظت نورآغازگر رادیکال ثابت نگه داشته شد و در نهایت نتایج مطلوب و مشابه با مقیاس آزمایشگاهی به دست آمد.

۴- نتیجه گیری

مرور نتایج محققان مختلف نشان داد که پیشرفت‌های گسترده در خصوص استفاده از تابش فرابنفش برای فرآوری و اصلاح خواص الیاف طبیعی پروتئینی و سلولزی انجام شده است که دلیل آن ارزانی و سادگی فرآیند، عدم نیاز به مصرف آب (فرآوری خشک)، عدم آلاینده‌گی و

¹ Breathability

۶- مراجع

۱. م. حسین نژاد، ک. قرنجیگ، "مروری بر آخرین تحقیقات درباره کاربردهای مواد رنگزای طبیعی در رنگرزی، مواد خوراکی و سلول‌های خورشیدی"، نشریه علمی-ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، ۱، ۲۷-۱۷، ۱۳۹۶.
۲. م. غفار زاده، م. ادریسی، "مروری بر رنگ‌دانه‌های طبیعی و روش‌های استخراج آن‌ها" نشریه علمی-ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، ۱، ۸۲-۶۳، ۱۳۹۵.
3. M. B. Kasiri, S. Safapour, "Exploring and exploiting plants extracts as the natural dyes/antimicrobials in textiles processing", Prog Color Colorants Coat. 8, 87-114, 2015
۴. ح. احمدی، س. صفاپور، "مروری بر روش‌های تکمیل حفاظتی فرابنفش منسوجات طبیعی با استفاده از مواد جاذب فرابنفش"، نشریه علمی-ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، ۱، ۷۴-۶۱، ۱۳۹۴.
۵. ل. مهرپرور، س. صفاپور، م. صادقی‌کیاخیانی، ک. قرنجیگ، "بهبود رنگ-پذیری خامه پشمی مصرفی در فرش دستباف با مشتق زیست‌سازگار

مقاله

26. L. A. Holt, B. Milligan, W. E. Savige, "The photoyellowing of wool and silk: the effect of converting tryptophan to oxindolylalanine residues", *J Tex Inst.* 68, 124-126, **1977**.
27. K. R. Millington, J. S. Church, "The photodegradation of wool keratin II. Proposed mechanisms involving cystine", *J Photochem Photobio B: Biology.* 39(3), 204-212, **1997**.
28. K. R. Millington, "Photoyellowing of wool. Part 1: Factors affecting photoyellowing and experimental techniques", *Color Technol.* 122(4), 169-186, **2006**.
29. K. R. Millington, "Photoyellowing of wool. Part 2: Photoyellowing mechanisms and methods of prevention", *Color Technol.* 122(6), 301-316, **2006**.
30. R. H. Bradley, I. Mathieson, "Chemical interactions of ultraviolet light with wool fiber surfaces", *J Colloid Interface Scie.* 194(2), 338-343, **1997**.
31. S. J. Church, K. R. Millington, "Photodegradation of wool keratin: Part I. Vibrational spectroscopic studies", *Biospectroscopy*, 2, 249-258, **1996**.
32. K. R. Millington, "The use of ultraviolet radiation in an adsorbable organohalogen-free print preparation for wool and in wool dyeing: the Siroflash process", *Color Technol.* 114(10), 286-292, **1998**.
33. K. Millington, "Using ultraviolet radiation to reduce pilling of knitted wool and cotton". *Tex Res J.* 68(6), 413-421, **1998**.
34. H. El-Sayed, E. El-Khatib, "Modification of wool fabric using ecologically acceptable UV-assisted treatments", *J Chem Technol Biotechnol.* 80(10), 1111-1117, **2005**.
35. J. Shao, C. M. Carr, C. P. Rowlands, J. Walton, "XPS, SIMS, and ESR Studies of UV/Ozone-irradiated Silk and Wool", *J Tex Inst.* 90(4), 459-468, **1999**.
36. N. A. El-Zaher, M. N. Micheal, "Time optimization of ultraviolet-ozone pretreatment for improving wool fabrics properties", *J Appl Polym Sci.* 85(7), 1469-1476, **2002**.
37. M. N. Micheal, N. A. El-Zaher, "Efficiency of ultraviolet/ozone treatments in the improvement of the dyeability and light fastness of wool", *J Appl Polym Sci.* 90(13), 3668-3675, **2003**.
38. S. Basak, D. Gupta, "Advanced Processing of Woollen Textile Pretreated with UV Excimer Radiation", *Man-Made Tex India.* 41(6), 204-209, **2013**.
39. G. Migliavacca, F. Ferrero, M. Periolatto, "Differential dyeing of wool fabric with metal-complex dyes after ultraviolet irradiation", *Color Technol.* 130(5), 327-333, **2014**.
40. A. Sionkowska, A. Planecka, "The influence of UV radiation on silk fibroin", *Polym Degrad Stab.* 96(4), 523-528, **2011**.
41. S. Baltova, V. Vassileva, E. Valtcheva, "Photochemical behaviour of natural silk-I. Kinetic investigation of photoyellowing", *Polym Degrad Stab.* 60(1), 53-60, **1998**.
42. S. Baltova, V. Vassileva, "Photochemical behaviour of natural silk-II. Mechanism of fibroin photodestruction", *Polym Degrad Stab.* 60(1), 61-65, **1998**.
43. V. Vassileva, S. Baltova, S. Handjieva, "Photochemical behaviour of natural silk-III. Photofading of silk dyed with acid azo dyes", *Polym Degrad Stab.* 61(3), 367-
44. I. A. Bhatti, S. Adeel, R. Nadeem, T. Asghar, "Improvement of colour strength and colourfastness properties of gamma irradiated cotton using reactive black-5", *Rad Phys Chem.* 81(3), 264-266, **2012**.
45. M. Ajmal, S. Adeel, M. Azeem, M. Zuber, N. Akhtar, N. Iqbal, "Modulation of pomegranate peel colourant characteristics for textile dyeing using high energy radiations", *Ind Crop Prod.* 58, 188-193, **2014**.
46. F. U. Rehman, S. Adeel, S. Qaiser, I. A. Bhatti, M. Shahid, M. Zuber, "Dyeing behaviour of gamma irradiated cotton fabric using Lawson dye extracted from henna leaves (*Lawsonia inermis*)", *Rad Phys Chem.* 81(11), 1752-1756, **2012**.
47. K. R. Millington, "Comparison of the effects of gamma and ultraviolet radiation on wool keratin", *Color Technol.* 116(9), 266-272, **2000**.
48. Shahid-ul-Islam, F. Mohammad, "High-energy radiation induced sustainable coloration and functional finishing of textile materials", *Ind Eng Chem Res.* 54(15), 3727-3745, **2015**.
49. K. R. Millington, L. J. Kirschenbaum, "Detection of hydroxyl radicals in photoirradiated wool, cotton, nylon and polyester fabrics using a fluorescent probe", *Color Technol.* 118(1), 6-14, **2002**.
50. M. Periolatto, F. Ferrero, G. Migliavacca, "Low temperature dyeing of wool fabric by acid dye after UV irradiation", *J Tex Inst.* 105(10), 1058-1064, **2014**.
51. R. Lucas, T. McMichael, W. Smith, B. Armstrong, "Solar Ultraviolet Radiation", *Environmental Burden of Disease Series.* 13, 2-10, **2006**.
52. D. Gupta, P. Siddhan, A. Banerjee, "Basic dyeable polyester: A new approach using a VUV excimer lamp. *Color Technol.* 123(4), 248-251, **2007**.
53. D. Gupta, S. Basak, "Surface functionalization of wool using 172 nm UV excimer lamp", *J Appl Polym Sci.* 117(6), 3448-3453, **2010**.
54. T. Wakida, S. Cho, S. Choi, S. Tokino, M. Lee, "Effect of low temperature plasma treatment on color of wool and nylon 6 fabrics dyed with natural dyes", *Tex Res J.* 68(11), 848-853, **1998**.
55. T. Wakida, L. Muncheul, S. Yukihiro, O. Shinji, G. Yi, N. Shouhua, "Dyeing properties of oxygen low-temperature plasma-treated wool and nylon 6 fibres with acid and basic dyes", *Color Technol.* 112(9), 233-236, **1996**.
56. T. Wakida, S. Tokino, S. Niu, M. Lee, H. Uchiyama, M. Kaneko, "Dyeing properties of wool treated with low-temperature plasma under atmospheric pressure", *Tex Res J.* 63(8), 438-442, **1993**.
57. N. Yoon, J. Yong, T. Mitsuru, T. Toru, "Mechanical and dyeing properties of wool and cotton fabrics treated with low temperature plasma and enzymes", *Tex Res J.* 66(5), 329-336, **1996**.
58. M. Naebe, P. G. Cookson, J. Rippon, R. P. Brady, X. Wang, N. Brack, G. van Riessen, "Effects of plasma treatment of wool on the uptake of sulfonated dyes with different hydrophobic properties", *Tex Res J.* 80(4), 312-324, **2010**.
59. A. S. Inglis, F. G. Lennox, "Studies in Wool Yellowing: Part IV: Changes in Amino Acid Composition Due to Irradiation", *Tex Res J.* 33(6), 431-435, **1963**.

- dyeing of UV-irradiated cotton using extracts of *Acacia nilotica* bark (Kikar) as source of quercetin", *Asia J Chem.* 26(3), 830, **2014**.
60. F. Rehman, S. Adeel, R. Hanif, M. Muneer, K. M. Zia, M. Zuber, M. A. Jamal, M. K. Khosa. "Modulation of marigold based lutein dye and its dyeing behaviour using UV radiation", *J Natural Fiber.* 14(1), 63-70, **2017**.
61. H. Shin, M. Ueda, S. M. Burkinshaw, "New methods of obtaining patterned dyeings on cellulosic fibres with anionic dyes: photo-modification using a methacryloyl quaternary ammonium compound", *Dyes Pigm.* 41(1), 11-17, **1999**.
62. J. Jang, S. W. Ko, C. M. Carr, "Investigation of the improved dyeability of cationised cotton via photografting with UV active cationic monomers", *Color Technol.* 117(3), 139-146, **2001**.
63. Y. Dong, J. Jang, "Environmentally friendly coloration of cotton by the UV-induced photografting of α -bromoacrylamido dyes", *Color Technol.* 130(4), 296-304, **2014**.
64. S. Ratnapandian, L. Wang, S. M. Fergusson, M. Naebe, "Effect of atmospheric plasma treatment on pad-dyeing of natural dyes on wool", *J Fiber Bioeng Informatic.* 4(3), 267-276, **2011**.
65. K. R. Millington, "Potential applications of UV surface treatments in the textile industry", *Radtech '98 North America UV/EB Conference*, pp. 601-609, Chicago Ill., 19-22 April **1998**.
66. E. E. Sala, M. E. Camera, M. R. Camera, "Process for treating yarns, fabrics or textile articles of natural and artificial protein or cellulosic fibers and blends thereof with synthetic fibers", *Patent WO 2008061947 A1*, **2008**.
67. G. Migliavacca, F. Ferrero, M. Periolatto, "Differential dyeing of wool fabric with metal-complex dyes after ultraviolet irradiation", *Color Technol.* 130(5), 327-333, **2014**.
68. A. Hasanbeigi, L. Price, "A technical review of emerging technologies for energy and water efficiency and pollution reduction in the textile industry", *J Clean Prod.* 95, 30-44, **2015**.
69. B. Simonic, D. Klemencic, "Preparation and performance of silver as an antimicrobial agent for textiles: A review", *Tex Res J.* 86(2), 210-223, **2016**.
70. F. Ferrero, M. Periolatto, M. Sangermano, M. B. Songia, "Water-repellent finishing of cotton fabrics by ultraviolet curing", *J Appl Polym Sci.* 107(2), 810-818, **2008**.
71. C. H. Xue, S. T. Jia, J. Zhang, J. Z. Ma, "Large-area fabrication of superhydrophobic surfaces for practical applications: an overview", *Sci Technol Advance Material.* 11(3), 033002-033017, **2010**.
72. P. Monica, B. Abdul, F. Ada, B. Roberta, "Wettability and comfort of cellulosic materials modified by photo grafting of non-fluorinated oligomers", *Cellulose.* 23(2), 1447-1458, **2016**.
73. Y. Yang, J. Shen, L. Zhang, X. Li, "Preparation of a novel water and oil-repellent fabric finishing agent containing a short perfluoroalkyl chain and its application in textiles", *Material Res Innovat.* 19(sup8), 373, **1998**.
44. S. Periyasamy, M. L. Gulrajani, D. Gupta, "Preparation of a multifunctional mulberry silk fabric having hydrophobic and hydrophilic surfaces using VUV excimer lamp", *Surface Coat Technol.* 201(16), 7286-7291, **2007**.
45. S. Periyasamy, M. L. Gulrajani, D. Gupta, M. Parvathi, "Surface analysis of VUV irradiated mulberry silk through carbonyl group estimation", *Fibers Polym.* 16(2), 413-420, **2015**.
46. S. Periyasamy, D. Gupta, M. L. Gulrajani, "Modification of one side of mulberry silk fabric by monochromatic VUV excimer lamp", *Europ Polym J.* 43(10), 4573-4581, **2007**.
47. S. Periyasamy, D. Gupta, M. L. Gulrajani, "Nanoscale surface roughening of mulberry silk by monochromatic VUV excimer lamp", *J Appl Polym Sci.* 103(6), 4102-4106, **2007**.
48. P. J. Wakelyn, N. R. Bertoniere, A. D. French, D. P. Thibodeaux, B. A. Triplett, M. A. Rousselle, W. R. Goynes, Jr., J. V. Edwards, L. Hunter, D. D. McAlister, G. R. Gamble, "Cotton fiber chemistry and technology", *CRC Press*, **2006**.
49. I. A. Bhatti, S. Adeel, M. Abbas, "Textile Dyeing", *Effect of Radiation on Textile Dyeing (Chapter 1, pp.1-17)*, *InTechOpen*, **2011**.
50. I. A. Bhatti, K. M. Zia, Z. Ali, M. Zuber, "Modification of cellulosic fibers to enhance their dyeability using UV-irradiation", *Carbohyd polym.* 89(3), 783-787, **2012**.
51. M. Zuber, K. M. Zia, I. A. Bhatti, Z. Ali, M. U. Arshad, M. J. Saif, "Modification of cellulosic fibers by UV-irradiation. Part II: After treatments effects", *Int J Biolog Macromol.* 51(5), 743-748, **2012**.
52. A. H. Mansuri, A. Khoddami, A. R. Do, "Using ultraviolet radiation for the bleaching and pilling reduction of knitted cotton fabric", *Fibres Tex East Europe.* 19(3), 74-77, **2011**.
53. I. A. Bhatti, S. Adeel, S. Siddique, M. Abbas, "Effect of UV radiation on the dyeing of cotton fabric with reactive blue 13", *J Saudi Chem Soc.* 18(5), 606-609, **2014**.
54. I. A. Bhatti, S. Adeel, S. Parveen, M. Zuber, "Dyeing of UV irradiated cotton and polyester fabrics with multifunctional reactive and disperse dyes", *J Saudi Chem Soc.* 20(2), 178-184, **2016**.
55. J. Iqbal, I. A. Bhatti, S. Adeel, "Effect of UV radiation on dyeing of cotton fabric with extracts of henna leaves", *Ind J Fibre Tex Res.* 33, 157-162, **2008**.
56. S. Adeel, I. A. Bhatti, K. EL-Nagar, M. Mohboob Alam, N. Ali, "Dyeing of cotton fabric using UV irradiated turmeric (*Curcuma longa* L.) as natural dye", *Res J Tex App.* 15(2), 71-76, **2011**.
57. S. Adeel, I. A. Bhatti, A. Kausar, E. Osman, "Influence of UV radiations on the extraction and dyeing of cotton fabric with *Curcuma longa* L", *Ind J Fibre Tex Res.* 37, 87-90, **2012**.
58. I. A. Bhatti, S. Adeel, S. Rani, T. Gulzar, S. Naz, H. F. Mansour, "Influence of UV Radiation on Extraction and Dyeing of Cotton Fabrics Using Eucalyptus Bark Powder as Natural Dye", *Res J Tex App.* 16(2), 62-67, **2012**.
59. S. Adeel, R. Hanif, M. Zuber, M. Muneer, "Ecofriendly

مقاله

78. F. Ferrero, M. Periolatto, S. Ferrario, Sustainable antimicrobial finishing of cotton fabrics by chitosan UV-grafting: from laboratory experiments to semi industrial scale-up", *J Clean Prod.* 96, 244-252, **2015**.
79. F. Ferrero, C. Tonetti, M. Periolatto, "Adsorption of chromate and cupric ions onto chitosan-coated cotton gauze", *Carbohydr Polym.* 110, 367-373, **2014**.
80. F. Ferrero, M. Periolatto, C. Vineis, A. Varesano, "Chitosan coated cotton gauze for antibacterial water filtration", *Carbohydr Polym.* 103, 207-212, **2014**.
81. M. Periolatto, F. Ferrero, "Cotton filter fabrics functionalization by chitosan UV-grafting for removal of dyes", *Chem Eng Trans.* 32. 85-90, **2013**.
- S8-401–S8-404, **2015**.
74. F. Ferrero, M. Periolatto, "Ultraviolet curing for surface modification of textile fabrics", *J Nanosci Nanotechnol.* 11(10), 8663-8669, **2011**.
75. M. Periolatto, F. Ferrero, C. Vineis, F. Rombaldoni, "Multifunctional finishing of wool fabrics by chitosan UV-grafting: An approach", *Carbohydr Polym.* 98(1), 624-629, **2013**.
76. M. Periolatto, F. Ferrero, C. Vineis, "Antimicrobial chitosan finish of cotton and silk fabrics by UV-curing with 2-hydroxy-2-methylphenylpropane-1-one", *Carbohydr Polym.* 88(1), 201-205, **2012**.
77. F. Ferrero, M. Periolatto, "Antimicrobial finish of textiles by chitosan UV-curing", *J Nanosci Nanotech.* 12(6), 4803-4810, **2012**.