مجله علوم و فناوری نساجی
سال پنجم، شماره ۳، شماره پیاپی ۱۶
صفحه ۴۳-۳۵، ۱۳۹۴
ISSN: ۲۱۵۱-۷۱۶۲

مروری بر اصلاح سطحی الیاف پشم به‌کمک فناوری پلاسما و اثر آن بر خواص رنگرزی این لیف

A Review on Surface Modification of Wool Fibers Using Plasma Technology and Its Effect on Dyeing Properties

امین‌الدین حاجی*

گروه مهندسی نساجی، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران، کدپستی ۹۷۱۷۷۱۱۱۱۱

چکیده

استفاده از فناوری پلاسما به‌عنوان روشی سریع و دوست‌دار محیط زیست برای اصلاح خواص کالاهای نساجی مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. پژوهش‌های متنوعی درباره اصلاح پشم به‌عنوان یکی از پرمصرف‌ترین الیاف نساجی با عملیات پلاسما انجام شده است. در این مقاله، مقالات منتشر شده در زمینه اثرهای عملیات پلاسما روی خواص فیزیکی و شیمیایی الیاف پشم شامل شکل‌شناسی سطحی، استحکام، گروه‌های فعال شیمیایی سطحی و جذب آب مویینگی بررسی شد. از آنجا که عملیات پلاسما می‌تواند در سطح الیاف پشم حکاکی انجام داده و با افزایش آبدوستی، اثر مستقیم بر رنگرزی الیاف داشته باشد، پژوهش‌های مختلف انجام شده درباره اثر استفاده از پلاسمای گازهای متفاوت بر رنگرزی الیاف پشم به وسیله رنگزاهای مختلف مصنوعی و طبیعی بررسی و تحلیل شده است. به‌طور کلی استفاده از عملیات پلاسما با گازهایی مانند اکسیژن، نیتروژن و آرگون پیش از رنگرزی، سبب بهبود رمق‌کشی رنگزاهای آنیونی با الیاف پشم شده و در مواردی خواص ثبات رنگی کالای اصلاح شده در مقایسه با کالای اصلاح نشده بهبود یافته است.

کلمات کلیدی
پلاسما
پشم
اصلاح سطح،
رنگرزی،
رنگزای طبیعی

مقدمه

امروزه حفاظت از محیط زیست به‌عنوان چالشی برای صنایع شیمیایی مطرح است و آلودگی آب‌ها با مواد رنگزای مصنوعی تبدیل به مشکل شده است. به همین دلیل مقررات مربوط روز به روز سخت‌گیرانه‌تر شده و در کنار بهینه‌سازی فرایندها و ماشین‌آلات رنگرزی با رنگزاهای شیمیایی، یافتن منابع جدید و اقتصادی رنگزاهای طبیعی و بهینه‌سازی فرایند کاربرد آنها نیز اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است [۱]. عواملی که مردم را به استفاده از این نوع محصولات ترغیب می‌کند، می‌تواند شامل یک یا تعدادی از این موارد باشد: ترجیح‌دادن مواد طبیعی، دوست‌دار محیط زیست‌بودن، فام‌های طبیعی و دارای هماهنگی و بدیع‌بودن. افزون بر موارد گفته شده، بسیاری از رنگزاهای طبیعی دارای خواص دیگری از قبیل ضدباکتری [۹-۲]، جذب پرتو فرابنفش [۱۲-۱۰] و ضدبو [۱۳] نیز هستند.

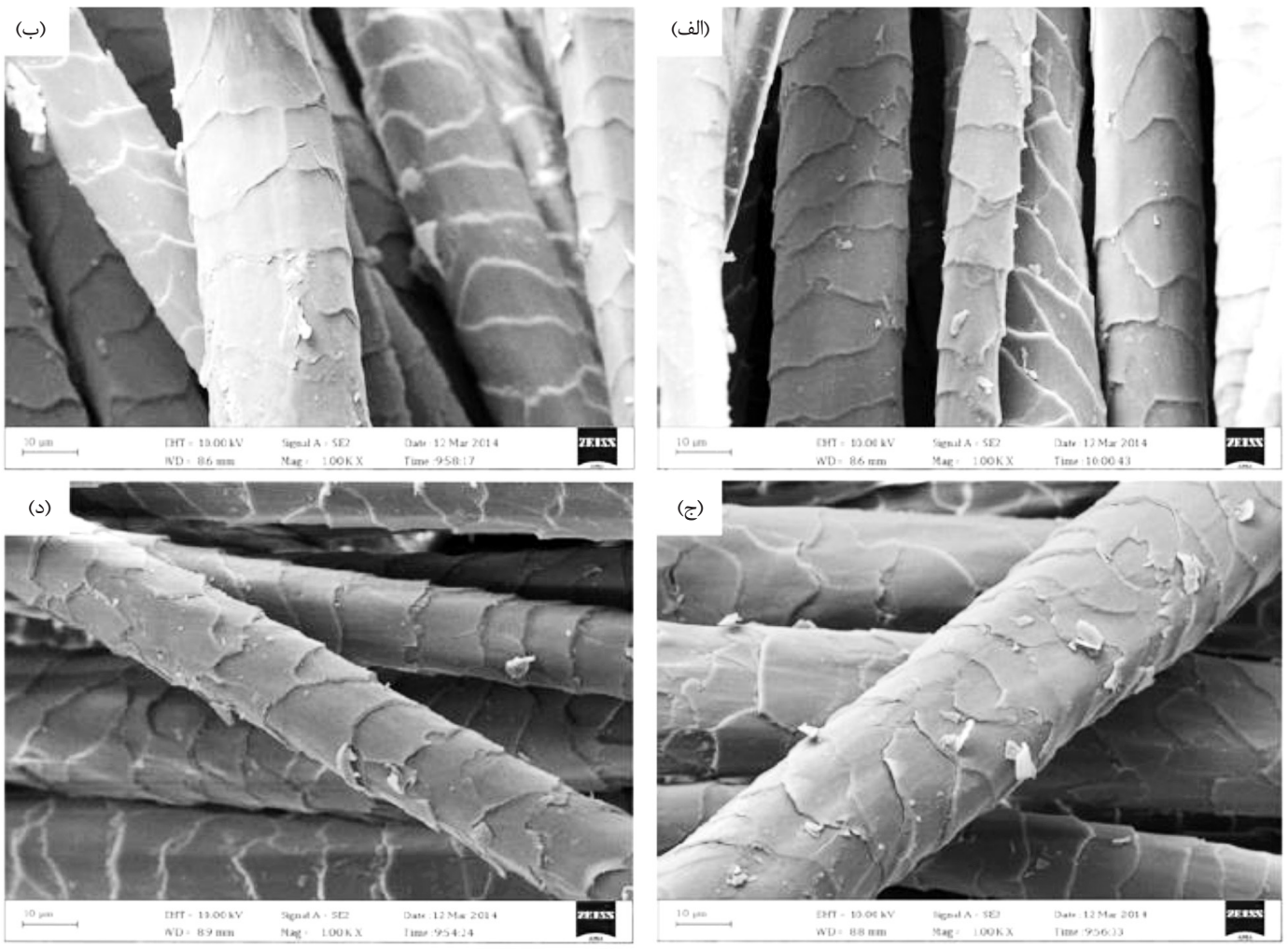
معمولاً از رنگزاهای طبیعی برای رنگرزی الیاف طبیعی (پنبه، پشم و ابریشم) استفاده می‌شود. متأسفانه در بسیاری از موارد رنگزاهای گیاهی فاقد بازده رنگی زیاد بوده و نیز به مقدار کمی جذب الیاف (به‌ویژه الیاف سلولوزی) می‌شوند و گاهی ثبات شست‌وشویی مناسبی نیز ندارند [۱۴]. برای افزایش مقدار جذب رنگزاهای طبیعی به الیاف و نیز بهبود خواص ثباتی، به‌طور سنتی از دندانه‌های معدنی (نمک‌های فلزاتی مانند کروم، مس، آهن، قلع و آلومینیم) استفاده می‌شود.

*مسئول مکاتبات، پیام‌نگار: ahaji@iaubir.ac.ir

این مواد آلوده‌کننده محیط زیست بوده و برخی از آنها مانند قلع به‌شدت سمی به‌شمار می‌آیند [۱۵].

روش‌های مختلفی از قبیل آماده‌سازی با آنزیم‌ها [۱۶،۱۷]، استفاده از امواج فراصوت [۱۸،۱۹] و مایکروویو [۲۰]، عملیات قلیایی [۲۱]، عملیات پلاسما [۱۵،۲۲] و اصلاح شیمیایی به‌وسیله ترکیبات متنوع [۲۵-۲۳] برای بهبود جذب رنگزاهای طبیعی به الیاف نساجی بررسی شده‌اند.

به‌طور کلی در صنعت نساجی روش‌های مختلفی برای اصلاح خواص الیاف برای رسیدن به منسوجات با کارایی ویژه قابل انجام است. اغلب از روش‌های شیمیایی بدین منظور استفاده می‌شود. معمولاً این روش‌ها با مصرف مقادیر زیاد آب، مواد شیمیایی و انرژی همراه هستند. در نتیجه هزینه عملیات زیاد است و آلودگی زیست‌محیطی نیز ایجاد می‌کند [۲۲]. یکی از روش‌هایی که به‌تازگی برای اصلاح خواص سطحی منسوجات بسیار مورد توجه قرار گرفته، استفاده از فناوری پلاسمای سرد است. پلاسما می‌تواند خواص سطحی الیاف را تغییر دهد بدون اینکه اثری بر ساختار و خواص داخلی آن داشته باشد. عمق نفوذ پلاسما فقط چند نانومتر (معمولاً کمتر از ۱۰ nm) است و در نتیجه فقط لایه‌های سطحی لیف را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با تغییر نوع و ترکیب گاز مصرفی و شرایط عملیات پلاسما می‌توان طیف گسترده‌ای از تغییرات را روی الیاف نساجی به‌وجود آورد. این عملیات در مقایسه با سایر روش‌های متداول در نساجی بسیار سریع‌تر، کم هزینه‌تر و پاک‌تر است. ضمن اینکه خواص باارزش الیاف حفظ شده و خواص جدید نیز به دلخواه به آن افزوده می‌شود. به‌کمک عملیات پلاسما می‌توان زمینه را برای انجام عملیات بعدی با بازده بیشتر نیز فراهم کرد. فرایند پلاسما به‌وسیله گاز مصرفی و سایر پارامترها نظیر فشار، توان و بسامد، قابل کنترل است. بسیاری از خواصی که در نساجی نقش مهمی ایفا می‌کنند از قبیل قابلیت ترشدن، خاصیت ضدآب، جذب رنگ، زیردست، چسبندگی، خاصیت عدم ایجاد الکتریسیته ساکن و ضریب اصطکاک، را با استفاده از پلاسما می‌توان تغییر داد. این عملیات بدون استفاده از آب زیاد، مواد شیمیایی و مواد سطح‌فعال قابل انجام است. به عبارت دیگر، فرایندی خشک است که باعث صرفه‌جویی در انرژی و کاهش آلودگی محیط زیست می‌شود. برای تغییر خواص سطحی الیاف به‌کمک فرایند مرطوب، روش‌های گوناگونی وجود دارد و اکنون سامانه‌های خشک نظیر پلاسما جایگزین آنها شده است. پژوهش‌های متعدد نشان داده‌اند، عملیات پلاسما در دمای کم می‌تواند تغییرات فیزیکی و شیمیایی روی سطح الیاف پشم ایجاد کرده و در بهبود ویژگی‌های الیاف پشم مؤثر باشد [۵-۲].



شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی الیاف: (الف) پشم خام ، عمل‌آوری شده با (ب) پلاسمای اکسیژن، (ج) آرگون-اکسیژن و (د) آرگون [۱۵].

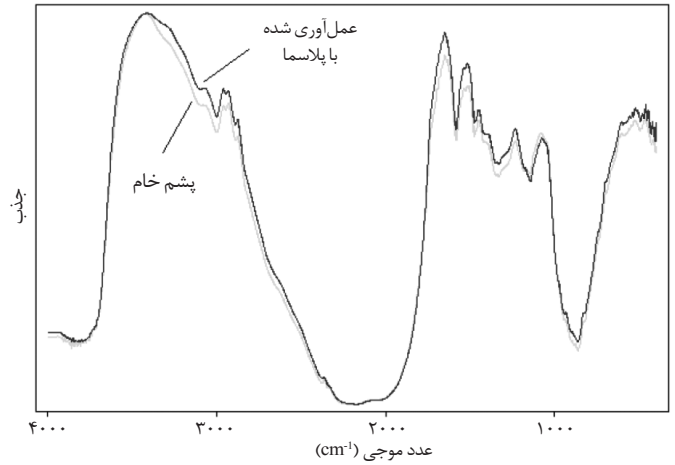
اثر عملیات پلاسما بر الیاف پشم

پژوهش‌های بسیاری در زمینه بررسی اثر عملیات پلاسما روی خواص فیزیکی، شیمیایی و کاربردی الیاف پشم انجام شده است. در واقع عملیات پلاسما می‌تواند بسته به نوع گاز مصرفی، توان، زمان و سایر شرایط عملیات اثرهای متفاوتی را روی الیاف پشم به‌جا بگذارد.

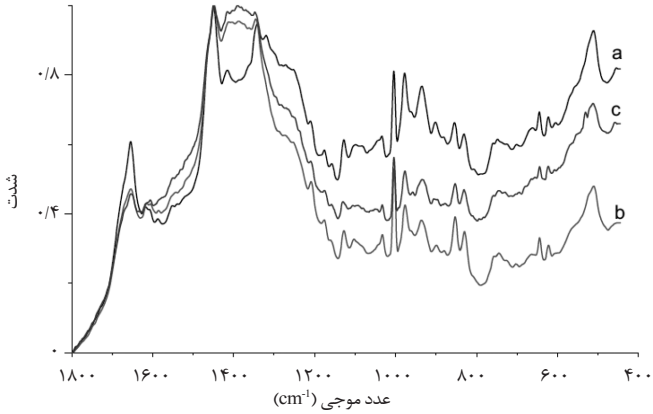
این عملیات می‌تواند لایه آبگریز سطح الیاف پشم را از بین برده و سطح الیاف پشم را آبدوست کند. همچنین با توجه به تخریب فلس‌های سطحی و افزایش زبری سطحی، الیاف پشم نفوذپذیری بیشتری پیدا کرده و به راحتی مولکول‌های رنگزا می‌توانند به داخل آن نفوذ کنند [۱۵،۲۶،۲۷]. شکل ۱ تصاویر میکروسکوپ الکترونی الیاف پشم خام و عمل آوری شده با پلاسمای گازهای اکسیژن، آرگون و مخلوط آنها را نشان می‌دهد. در این تصویر به‌خوبی حکاکی (etching) فلس‌های سطحی الیاف پشم در اثر عملیات پلاسما، قابل رویت است [۱۵].

پلاسما می‌تواند بسته به نوع گاز مصرفی، تغییرات شیمیایی نیز روی سطح الیاف پشم ایجاد کند. به‌عنوان مثال پلاسمای اکسیژن، مقدار گروه‌های اکسیژن‌دار مانند کربونیل و کربوکسیل روی سطح الیاف را افزایش داده و از این راه باعث بهبود آبدوستی و در نتیجه افزایش تمایل الیاف به جذب رنگزاها و سایر مواد شیمیایی می‌شود. شکل ۲ طیف ATR-FTIR الیاف پشم پیش و پس از عملیات پلاسمای اکسیژن را نشان می‌دهد. افزایش شدت پیک‌های واقع در ۱۵۲۰ و ۱۶۵۰ cm^{-1} مربوط به گروه‌های C=O- جدید هستند که در نتیجه اثر اکسایش پلاسمای اکسیژن روی الیاف ایجاد شده‌اند [۲۸].

روش رامان نیز به‌عنوان روش تکمیلی طیف‌سنجی زیرقرمز برای بررسی دقیق‌تر تغییرات ساختاری لیف پشم در اثر عملیات پلاسمای اکسیژن به‌کار رفته است. شکل ۳ طیف رامان الیاف پشم خام و اصلاح شده با پلاسمای اکسیژن در زمان‌های ۲/۵ و ۵ min را نشان می‌دهد. نتایج نشان داده است، در اثر عملیات پلاسما، ساختار ثانویه لیف پشم خام که حاوی مقدار بیشتری شکل مارپیچ آلفا (α-helix) است تغییر کرده و در لیف پشم اصلاح شده با پلاسمای اکسیژن مقدار بیشتری شکل صفحه‌ای بتا (β-sheet) مشاهده شده است. مقدار پیوندهای گوگردی موجود در لیف پشم نیز در اثر عملیات پلاسما کاهش یافته است و در



شکل ۲- طیف ATR-FTIR الیاف پشم پیش و پس از عملیات پلاسمای اکسیژن [۲۸].

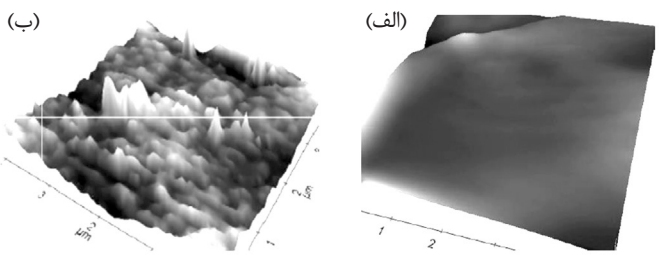


شکل ۳- طیف رامان الیاف پشم خام و اصلاح شده با پلاسمای اکسیژن در زمان‌های ۲/۵ و ۵ min [۲۹].

نتیجه گسستگی و اکسایش انجام شده روی پیوندهای گوگردی، الیاف اصلاح شده با پلاسمای اکسیژن در مقایسه با الیاف خام، دارای مقدار بیشتری سیستئیک اسید هستند [۲۹]. این تغییرات فیزیکی و شیمیایی می‌توانند باعث تغییر خواص رنگرزی الیاف پشم در اثر اصلاح به وسیله پلاسمای اکسیژن شود.

طیف‌نگاری نورالکترونی پرتو X (XPS) روشی است که برای شناسایی عناصر موجود در سطح مواد (فقط چند نانومتر روی سطح) به‌کار می‌رود. نتایج آزمون XPS روی نمونه‌های پشمی اصلاح شده با پلاسما در جدول ۱ نشان داده شده که تأییدکننده افزایش مقدار اتم های اکسیژن و نیتروژن روی سطح الیاف پس از عملیات پلاسماست [۳۰].

شکل ۴ تصاویر گرفته شده با میکروسکوپ نیروی اتمی از سطح الیاف پشم خام و عمل‌آوری شده با پلاسمای اکسیژن را نشان می‌دهد. سطح الیاف خام نسبتاً صاف است، در حالی که در نتیجه حکاکی ایجاد شده در اثر عملیات پلاسما، سطح الیاف کاملاً ناصاف شده است. این حکاکی باعث سهولت نفوذ رنگزا به داخل الیاف شده و درصد رمق‌کشی رنگزای کمپلکس فلز ۲:۱ را افزایش و زمان رسیدن به حداکثر رمق‌کشی را کاهش داده است [۳۱].پژوهش‌ها نشان داده است، ایجاد گروه‌های فعال شیمیایی و اثر آن بر افزایش نیروهای بین‌مولکولی بین الیاف پشم، افزایش زبری سطحی و اثر آن بر چسبندگی و افزایش ضریب اصطکاک بین الیاف و ایجاد پیوندهای احتمالی جدید در الیاف عمل‌آوری شده با پلاسما، در مجموع باعث افزایش استحکام نخ پشمی عمل‌آوری شده با پلاسمای اکسیژن در مقایسه با نمونه خام می‌شود [۲۷،۳۲،۳۳]. به‌عنوان



شکل ۴- تصویر AFM از سطح الیاف: (الف) پشم خام و (ب) عمل آوری شده با پلاسمای اکسیژن [۳۱].

جدول ۱- نتایج آزمون XPS نمونه‌های پشمی عمل‌آوری شده با پلاسمای اکسیژن، نیتروژن و مخلوط آن‌ها [۳۰].

نمونه	درصد وزنی اتم‌ها				مقادیر نسبی	
	C_{1s}	N_{1s}	S_{1s}	S_{2p}	C/N	O/C
خام	۷۴/۷۲	۸/۷۸	۱۳/۵۵	۲/۵۸	۸/۵۱	۰/۱۸
پلاسمای اکسیژن	۶۵/۶۱	۸/۸۸	۲۰/۱۶	۲/۲۶	۷/۳۹	۰/۳۱
پلاسمای نیتروژن	۶۸/۳۱	۱۰/۱۹	۱۸/۸۶	۲/۲۳	۶/۷۰	۰/۲۷
پلاسمای مخلوط	۶۸/۶۷	۹/۳۴	۱۸/۸۲	۲/۱۴	۷/۳۵	۰/۲۷

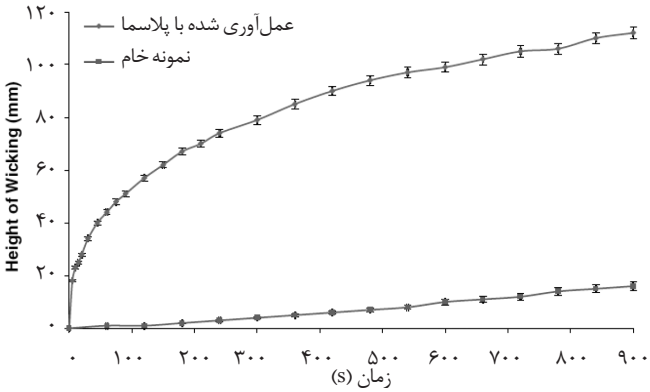
مثال، استفاده از پلاسمای هوا در فشار کم به‌مدت ۹۰ s روی پارچه و نخ پشمی، استحکام آن را حدود ٪۲۰ و ازدیاد طول تا پارگی آن را حدود ٪۲۴ افزایش داده است [۳۲].

آبدوستی الیاف پشم که تابعی از زبری سطح و گروه‌های شیمیایی سطح الیاف است، نیز در اثر عملیات پلاسما بهبود می‌یابد. مقدار بهبود، به نوع گاز و شرایط عملیات پلاسما بستگی دارد. شکل ۵ اثر پلاسمای اکسیژن بر نفوذ مویینگی پارچه پشمی را در اثر عملیات پلاسمای اکسیژن نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تفاوت چشمگیری بین الیاف پشم خام و عمل‌آوری شده با پلاسما از لحاظ سرعت و ارتفاع نفوذ آب وجود دارد [۳۵، ۳۲،۳۴]. البته تغییرات شیمیایی ایجاد شده بر سطح الیاف (تعداد گروه‌های آبدوست ایجاد شده و افزایش آبدوستی) به مرور زمان (پس از حدود دو هفته) کاهش پیدا می‌کند (اما به مقدار پیش از پلاسما برنمی‌گردد)، که دلیل آن آرایش مجدد گروه‌های شیمیایی و تغییر جهت آنها به سمت داخل الیاف و در نتیجه کاهش خاصیت آبدوستی است. گفتنی است، تغییرات فیزیکی ایجاد شده در اثر پلاسما، دائمی بوده و در اثر مرور زمان تغییری نمی‌کنند [۳۶].

عملیات پلاسما آثار دیگری از جمله، کاهش خاصیت نمدی‌شدن [۳۷،۳۸]، بهبود چسبندگی و کاهش کشش سطحی [۳۹]، تغییر زیردست [۴۰] و بهبود رنگ‌پذیری [۳۲،۴۱] را نیز در الیاف پشم ایجاد می‌کند.

استفاده از عملیات پلاسما برای بهبود رنگ‌پذیری الیاف پشم

پژوهش‌های متعددی درباره بهبود رنگرزی الیاف پشم به‌وسیله انواع



شکل ۵- اثر پلاسمای اکسیژن بر نفوذ مویینگی پارچه پشمی در اثر عملیات پلاسمای اکسیژن [۳۴].

مختلف رنگزاهای شیمیایی انجام شده است. در سال ۱۹۹۳، اثر پلاسمای جوی با استفاده از مخلوط گازهای هلیم-آرگون و استون-آرگون روی جذب رنگزاهای اسیدی با الیاف پشم بررسی شد. نتایج نشان داد، سرعت رنگرزی و مقدار رمق‌کشی، برای الیاف پشم اصلاح شده با هر دو نوع گاز افزایش پیدا می‌کند، اما اثر پلاسمای هلیم-آرگون بیشتر است [۴۲]. نتایج مشابهی برای الیاف پشم اصلاح شده با پلاسمای هلیم در فشار جو در رنگرزی با رنگزاهای اسیدی نیز مشاهده شده است [۴۳،۴۴].

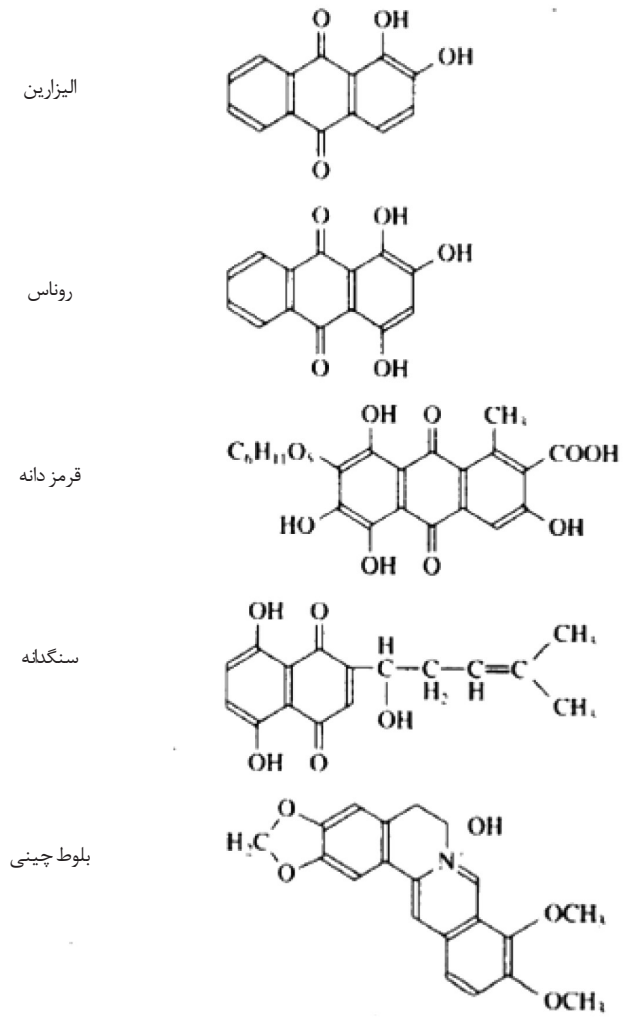
پلاسمای اکسیژن در فشار کم نیز باعث افزایش سرعت جذب و درجه اشباع رنگزاهای اسیدی و بازی روی الیاف پشم شده است، اما اثری بر جذب رنگزاهای پراکنده به وسیله لیف پشم نداشته است [۴۵،۴۶]. پژوهش‌های دیگری نیز اثر پلاسمای اکسیژن بر افزایش سرعت جذب رنگزای اسیدی، دندانه‌ای، کمپلکس فلز و واکنش‌پذیر به وسیله الیاف پشم را تأیید کرده است. افزون بر این نشان داده شد، در اثر این عملیات، انرژی فعال‌سازی نفوذ رنگزا به لیف پشم، کاهش یافته که می‌تواند به رنگرزی الیاف پشم اصلاح شده با پلاسما در دمای کمتر و زمان کوتاه‌تری نسبت به الیاف اصلاح نشده منجر شود. در نتیجه در زمان و مصرف انرژی و هزینه تمام شده صرفه جویی به‌عمل خواهد آمد [۵۰-۴۷،۴۱،۳۲، ۲۸،۳۱].

مشابه این نتایج برای پلاسمای اکسیژن، نیتروژن و مخلوط آنها در رنگرزی پشم با رنگزای کرومی مشاهده شده است. پلاسمای مخلوط اکسیژن و نیتروژن بیشترین اثر را بر افزایش سرعت رنگرزی نشان داده است، ضمن اینکه در این باره تفاوت خاصی در مقدار رمق‌کشی نهایی ملاحظه نشده است [۵۱]. پلاسمای نیتروژن در فشار جو نیز توانسته گروه‌های آمینی بر سطح الیاف پشم ایجاد کرده و مقدار رمق‌کشی رنگزاهای آنیونی از دو نوع اسیدی و واکنش‌پذیر را افزایش دهد [۵۲].

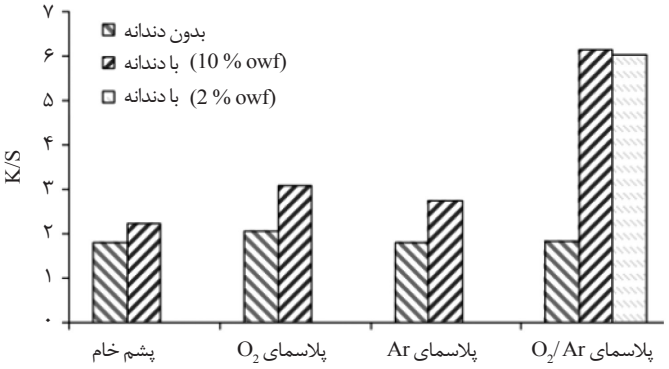
اثر پلاسمای هوا-هلیم و اکسیژن-هلیم در فشار جو روی جذب رنگزای اسیدی به وسیله پشم مطالعه شد. نتایج نشان داده است، این عملیات، سرعت رنگرزی را افزایش داده و زمان نیمه‌رنگرزی را کاهش می‌دهد، اما اثر کمی بر مقدار رمق‌کشی نهایی دارد و ثبات در برابر شست‌وشو، سایش و تعرق تغییری نیافته است. فرایند رنگرزی الیاف پشم خام و اصلاح شده از هم‌دمای لانگمیر پیروی می‌کند [۵۳]. پژوهش‌هایی نیز روی رنگرزی الیاف پشم عمل‌آوری شده با پلاسمای فشار جو با گاز پلاسما به روش آغشته‌کردن-انبارکردن (cold pad-batch) انجام شده است. در این پژوهش از رنگزای واکنش‌پذیر نوع سرد استفاده شده است. نتایج نشان داده است، عمق رنگی پشم عمل‌آوری شده با پلاسما، تقریباً دو برابر الیاف خام است. نتایج بررسی‌ها نشان داده است، لایه آبگریز کوتیکل

تا حد زیادی از سطح الیاف جدا شده و مقدار گروه‌های آمینی سطحی نیز افزایش یافته است. گروه‌های آمینی اثر مستقیم بر جذب و نگه‌داری رنگزاهای آنیونی به وسیله الیاف پشم دارند [۵۴].

در کنار پژوهش‌های نامبرده، پژوهش‌های محدودی نیز روی استفاده از عملیات پلاسما برای بهبود جذب رنگزاهای طبیعی به وسیله الیاف پشم انجام شده است. پژوهش‌ها درباره اثر پلاسمای اکسیژن، آمونیاک و تترافلوئورومتان (CF_4) بر رنگرزی الیاف پشم با چهار رنگزای طبیعی مختلف نتایج متفاوتی نشان داده است. ساختار شیمیایی این رنگزاها در شکل ۶ آمده است. همان‌طور که از گروه‌های عاملی این رنگزاها مشخص است، رنگزای سنگدانه (gromwell)، کمترین انحلال‌پذیری را در آب دارد. نتایج اندازه‌گیری قدرت رنگی نشان داد، هر سه نوع پلاسمای به‌کار رفته باعث افزایش سرعت جذب رنگزاهای روناس، قرمزدانه و بلوط چینی شده است، اما در رنگزای سنگدانه (که انحلال‌پذیری کمی در آب دارد)، اثر چندانی نداشته است. در رنگزاهای قرمزدانه و بلوط چینی، درخشندگی (روشنایی) فام حاصل نیز افزایش



شکل ۶- ساختار شیمیایی رنگزاهای طبیعی به‌کار رفته [۵۵].

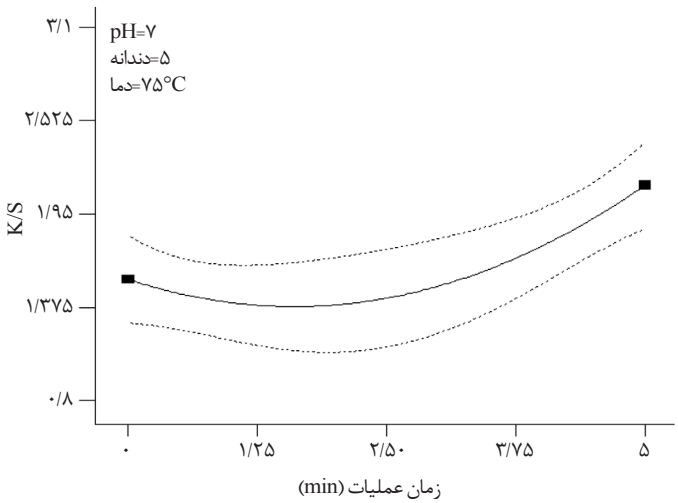


شکل ۷- اثر پلاسمای اکسیژن، آرگون و اکسیژن-آرگون بر جذب رنگزای زیره سبز با الیاف پشم [۱۵].

داشته است [۵۵].

استفاده از پلاسمای اکسیژن، توانسته جذب رنگزای طبیعی روناس به الیاف پشم را با وجود لسیتین، بهبود بخشد [۵۶]. در پژوهش دیگری از گاز هلیم و مخلوط آن با نیتروژن در شرایط جو برای اصلاح الیاف پشم استفاده شده و سپس اثر آن بر رنگرزی با دو رنگزای طبیعی استخراج شده از درخت اقاقیا، به روش آغشته‌کردن (pad dyeing) بررسی شده است. از دو دندانه مس و آهن نیز استفاده شده است. نتایج نشان داد، قدرت رنگی کالای عمل‌آوری شده با هردو نوع پلاسما، حدود ۳۰٪ نسبت به کالای خام بهبود یافته است [۵۷].

در پژوهش دیگری، پوست بادام، به‌عنوان رنگزای طبیعی جدید معرفی شده و اثر دندانه‌های مختلف و عملیات پلاسما (هوا و آرگون در فشار جو) روی مقدار جذب رنگ و فام و خواص ثباتی کالای پشمی بررسی شده است. نتایج نشان داده است، دندانه‌های مختلف، به همراه این رنگزا، فام‌های متنوع رنگی روی الیاف پشم تولید کرده‌اند. عملیات پلاسما، قدرت رنگی را به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داده، ضمن اینکه رنگرزی، روی کالای اصلاح شده با پلاسما، به‌طور یکنواخت‌تری نیز انجام شده است [۵۸]. در پژوهشی که توسط مؤلف انجام شد، پلاسمای هوا در فشار



شکل ۸- اثر زمان عملیات پلاسما بر قدرت رنگی کالای پشمی رنگرزی شده با هواچوبه [۶۰].

جدول ۲- ثبات شست‌وشویی و نوری پارچه‌های عمل‌آوری شده با پلاسما و رنگرزی شده با گل ریواس [۲۲].

نمونه	تغییر رنگ	لکه‌گذاری روی پشم	لکه‌گذاری روی پنبه	ثبات نوری
نمونه خام رنگرزی شده	۳-۴	۳-۴	۳-۴	۵-۶
نمونه خام دندانه‌دار رنگرزی شده	۴	۴	۴	۶-۷
نمونه پلاسما شده	۵	۴-۵	۴-۵	۷-۸
نمونه پلاسما شده دندانه‌دار	۵	۴-۵	۴-۵	۷-۸

جو برای بهبود جذب رنگزای اســـتخراج شده از ریشه زرشک روی الیاف پشم به‌کار رفت و نتایج نشان داد، با افزایش زمان عملیات پلاسما، قدرت رنگی کالای رنگرزی شده افزایش می‌یابد. ضمن اینکه کالای رنگرزی شده خاصیت ضدباکتری زیادی نیز نشان داد [۵۹].

همچنین، پلاسمای کم‌فشار با گازهای اکسیژن، آرگون و مخلوط آن‌ها، اثر افزایشـــی بر جذب رنگزای استخراج شده از زیره سبز به وسیله الیاف پشم نشان داده است. همان‌طور که در شکل ۷ مشخص است، بیشترین اثر مربوط به زمانی اســـت که کالای پشمی با پلاسمای مخلوط گازهای اکسیژن و آرگون آماده‌سازی شده اســـت [۱۵]. همچنین از پلاسمای اکسیژن برای کاهش یا حذف دندانه از فرایند رنگرزی پشم با رنگزای اســـتخراج شده از گیاه هواچوبه (Arnebia euchroma) استفاده شد. الیاف پشم اصلاح شده با پلاسما، جذب رنگ بهتری نشان دادند و افزایش زمان عملیات پلاســـما، ســـبب افزایش قدرت رنگی کالای رنگرزی شـــده شد (شکل ۸). در این پژوهش شـــرایط بهینه برای رسیدن به حداکثر قدرت رنگی در pH برابر ۹، ۰/۱۴٪ دندانه آلوم، دمای ۹۵ °C رنگرزی و زمان ۵ min پلاسما معین شد. ملاحظه می‌شود، با استفاده از پلاســـما، فقط مقدار بسیار کمی دندانه مورد نیاز بوده که از لحاظ زیست‌محیطی بسیار حائز اهمیت است [۶۰].

استفاده از پلاسمای اکسیژن همچنین توانسته است، قابلیت الیاف پشم برای جذب رنگزای طبیعی اســـتخراج شده از پوست میگو را نیز افزایش دهد. همچنین، این عملیات باعث افزایش مقـــدار جذب دندانه کروم و بتاسیکلودکسترین به الیاف پشم شده است که در نهایت به افزایش قدرت رنگی کالای رنگرزی شده با پوست میگو منجر شده است [۶۱].

در پژوهش دیگری از گل ریواس به‌عنوان رنگزای طبیعی جدید برای رنگرزی الیاف پشم استفاده شد و اثر آماده‌سازی الیاف با پلاسمای اکسیژن بر خواص رنگرزی الیاف پشـــم و امکان جایگزینی دندانه‌های معدنی با عملیات پلاســـما در رنگرزی الیاف پشم با این رنگزا بررسی شد. به دلیل وجود تانن‌ها در ساختار این گیاه، الیاف رنگرزی شده با این رنگزا عموماً ثبات‌های خوبی را ارائه دادند. نتایج نشان داد، قدرت رنگی و مشخصات ثباتی نمونه‌های آماده‌ســـازی شده به‌وسیله پلاسما نسبت به الیاف خام بهبود یافته است. پارچه‌های عمل‌آوری شده به‌وسیله پلاسما نه تنها بدون استفاده از دندانه‌های معدنی قابلیت جذب رنگ خوبی نشان دادند، بلکه در بعضی شرایط استفاده از این فناوری جدید موجب بهبود ثبات‌ها و ارائه مؤلفه‌های رنگی بهتر نسبت به نمونه‌های رنگرزی شده در شرایط متداول شد. ثبات شست‌وشویی و نوری پارچه‌های پشمی خام، دندانه داده شده با زاج سفید و عمل‌آوری شده با پلاسما پس از رنگرزی با گل ریواس در جدول ۲ مقایسه شده است [۲۲].

نتیجه‌گیری

روش پلاســـما در مقایسه با ســـایر روش‌های متداول در نساجی بسیار سریع‌تر، کم هزینه‌تر و پاک‌تر است. این عملیات می‌تواند بسته به نوع گاز مصرفی، توان، زمان و سایر شرایط عملیات اثرهای متفاوتی را روی الیاف پشم به‌جا بگذارد. در اثر استفاده از پلاسمای اکسیژن یا آرگون، لایه آبگریز سطح الیاف پشم تا حدودی از بین رفته و سطح الیاف پشم آبدوست‌تر می‌شود. تصاویر تهیه شده با میکروسکوپ‌های الکترونی و نیروی اتمی، حکاکی سطح الیاف و طیف‌های FTIR و XPS افزایش گروه‌های آبدوست الیاف پشم پس از اصلاح با پلاسمای اکسیژن و نیتروژن را تأیید کرده‌اند. خاصیت مویینگی الیاف پشـــم پس از اصلاح با پلاسمای اکسیژن به‌طور محسوسی بهبود یافته است. الیاف پشم پس از عملیات پلاسما، رنگزاهای شیمیایی مختلف شامل کمپلکس فلزی، دندانه‌ای، اسیدی، واکنش‌پذیر و بازی را به مقدار بیشتری جذب کرده است. همچنین، استفاده از عملیات پلاسما تمایل الیاف پشم به جذب رنگزاهای طبیعی مانند روناس، قرمزدانه، سنگدانه، بلوط چینی، پوســـت بادام، ریشه زرشک، زیره سبز، هواچوبه، پوست میگو و گل ریواس را بهبود داده و در برخی موارد به بهبود خواص ثباتی نیز منجر شده است. با استفاده از عملیات پلاسما می‌توان الیاف پشم را در دمای کمتر و با مصرف مقدار کمتری رنگزا و دندانه رنگرزی کرد.

مراجع

1. IshratAli S., Revival of natural dyes in Asia, *J. Soc. Dyers and Colourists, 109*, 13-14, 1993.
2. Gupta D., Khare S.K., and Laha A., Antimicrobial properties of natural dyes against gram-negative bacteria, *Color. Technol.*, 120, 167-171, 2004.
3. Singh R., Jain A., Panwar S., Gupta D., and Khare S.K.,

Antimicrobial activity of some natural dyes, *Dyes and Pigments*, 66, 99-102, 2005.
4. Çalis A., Çelik G.Y., and Katırcıoglu H., Antimicrobial effect of natural dyes on some pathogenic bacteria, *African J. Biotechnol.*, 8, 291-293, 2009.
5. Giri Dev V.R., Venugopal J., Sudha S., Deepika G., and Ramakrishna S., Dyeing and antimicrobial characteristics of chitosan treated wool fabrics with henna dye, *Carbohydr. Polym.*, 75, 646-650, 2009.
6. Haji A., Functional dyeing of wool with natural dye extracted from berberis vulgaris wood and rumex hymenosepolus root as biomordant, *Iran. J. Chem. Chem. Eng.*, 29, 55-60, 2010.
7. Khan S.A., Ahmad A., Khan M.I., Yusuf M., Shahid M., Manzoor N., Antimicrobial activity of wool yarn dyed with Rheum emodi L. (Indian Rhubarb), *Dyes and Pigments*, 95, 206-214, 2012.
8. Haji A., Mousavi Shoushtari A., and Mirafshar M., Natural dyeing and antibacterial activity of atmospheric-plasma-treated nylon 6 fabric, *Color. Technol.*, 130, 37-42, 2014.
9. Kasiri M. and Safapour S., Natural dyes and antimicrobials for green treatment of textiles, *Environ. Chem. Lett.*, 12, 1-13, 2014.
10. Feng X.X., Zhang L.L., Chen J.Y., and Zhang J.C., New insights into solar UV-protective properties of natural dye, *J. Clean. Prod.*, 15, 366-372, 2007.
11. Chattopadhyay S.N., Pan N.C., Roy A.K., Saxena S., and Khan A., Development of natural dyed jute fabric with improved colour yield and UV protection characteristics, *J. Text. I.*, 104, 808-818, 2013.
12. Zhou Y., Zhang J., Tang R.C., and Zhang J., Simultaneous dyeing and functionalization of silk with three natural yellow dyes, *Ind. Crop. Prod.*, 64, 224-232, 2015.
13. Lee Y.H., Hwang E.K., Baek Y.M., and Kim H.D., Deodorizing function and antibacterial activity of fabrics dyed with gallnut (Galla Chinensis) extract, *Text. Res. J.*, 85, 1045-1054, 2015.
14. Hill D.J., Is there a future for natural dyes?, *Rev. Prog. Color. Relat. Topics*, 27, 18-25, 1997.
15. Haji A. and Qavamnia S.S., Response surface methodology optimized dyeing of wool with cumin seeds extract improved with plasma treatment, *Fiber. Polym.*, 16, 46-53, 2015.
16. Vankar P.S., Shanker R., and Verma A., Enzymatic natural dyeing of cotton and silk fabrics without metal mordants, *J. Clean. Prod.*, 15, 1441-1450, 2007.
17. Nazari A., Montazer M., Afzali F., and Sheibani A., Optimization of proteases pretreatment on natural dyeing of wool using response surface methodology, *Clean. Technol. Environ. Policy*, 1-13, 2013.
18. Vankar P.S., Shanker R., Dixit S., Mahanta D., and Tiwari S.C., Sonicator dyeing of modified cotton, wool and silk with Mahonia napaulensis DC and identification of the colorant in Mahonia, *Ind. Crop. Prod.*, 27, 371-379, 2008.
19. Sivakumar V., Vijaeeswarri J., and Anna J.L., Effective natural dye extraction from different plant materials using ultrasound, *Ind. Crop. Prod.*, 33, 116-122, 2011.
20. Sinha K., Saha P.D., and Datta S., Response surface optimization and artificial neural network modeling of microwave assisted natural dye extraction from pomegranate rind, *Ind. Crop. Prod.*, 37, 408-414, 2012.
21. Montazer M. and Parvinzadeh M., Effect of ammonia on madder-dyed natural protein fiber, *J. Appl. Polym. Sci.*, 93, 2704-2710, 2004.
22. Ansari B., Mehrizi M.K., and Haji A., Dyeing of oxygen plasma treated wool fibers with rhuem ribes L. flowers, *J. Color Sci. Technol.*, 9, 135-143, 2015.
23. Sundrarajan M., Gandhi R.R., Rukmani A., Selvam S., Suresh J., and Gowri S., Chitosan and cyclodextrin modification on cellulosic fabric for enhanced natural dyeing, *Chem. Sci. Trans.,* 1, 440-446, 2012.
24. Shen J., Gao P., and Ma H., The effect of tris(2-carboxyethyl) phosphine on the dyeing of wool fabrics with natural dyes, *Dyes and Pigments*, 108, 70-75, 2014.
25. Parvinzadeh Gashti M., Katozian B., Shaver M., and Kiumarsi A., Clay nanoadsorbent as an environmentally friendly substitute for mordants in the natural dyeing of carpet piles, *Color. Technol.*, 130, 54-61, 2013.
26. Zhang R. and Wang A., Modification of wool by air plasma and enzymes as a cleaner and environmentally friendly process, *J. Clean. Prod.*, 87, 961-965, 2015.
27. arani H. and Calvimontes A., Effects of oxygen plasma treatment on the physical and chemical properties of wool fiber surface, *Plasma Chem. Plasma Proc.*, 34, 1291-1302, 2014.
28. Haji A., Qavamnia S.S., and Bizhaem F.K., Oxygen plasma as a pretreatment for environmentally friendly low temperature dyeing of wool natural fiber, *J. Biodivers. Envir.* Sci., 5, 602-607, 2014.
29. Barani H. and Haji A., Analysis of structural transformation in wool fiber resulting from oxygen plasma treatment using

vibrational spectroscopy, *J. Molecul. Struct.*, 1079, 35-40, 2015.
30. Kan C.W. and Yuen C.W.M., Plasma technology in wool, *Text. Prog.*, 39, 121-187, 2007.
31. Udakhe J. and Honade S., Plasma induced physico-chemical changes and dyeing behavior of wool fabrics, *Colourage*, 60, 41-46, 2013.
32. Mendhe P., Arolkar G., Shukla S., and Deshmukh R., Low-temperature plasma processing for the enhancement of surface properties and dyeability of wool fabric, *J. Appl. Polym. Sci.*, 133, 1-8, 2016.
33. Goud V.S., Influence of plasma processing parameters on mechanical properties of wool fabrics, *Indian. J. Fibre Text. Res.*, 37, 292-298, 2012.
34. Haji A., Khajeh Mehrizi M., and Akbarpour R., Optimization of β-cyclodextrin grafting on wool fibers improved by plasma treatment and assessment of antibacterial activity of berberine finished fabric, *J. Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chem.*, 81, 121-133, 2015.
35. Wang C. and Qiu Y., Study on wettability improvement and its uniformity of wool fabric treated by atmospheric pressure plasma jet, *J. Appl. Polym. Sci.*, 123, 1000–1006, 2011.
36. Naebe M., Denning R., Huson M., Cookson P.G., and Wang X., Ageing effect of plasma-treated wool, *J. Text. Institute*, 102, 1086-1093, 2011.
37. Mori M., von Arnim V., Dinkelmann A., Matsudaira M., and Wakida T., Modification of wool fibers by atmospheric pressure plasma treatment, *J. Text. Institute*, 102, 534-539, 2011.
38. Shahidi S., Rashidi A., Ghoranneviss M., Anvari A., and Wiener J., Plasma effects on anti-felting properties of wool fabrics, *Surface Coat. Technol.*, 205, S349-S354, 2010.
39. Kan C.W. and Yuen C.W.M., Effect of nature of gas on some surface physico-chemical properties of plasma-treated wool fiber, *J. Adhesion Sci. Technol.*, 24, 99-111, 2010.
40. Naebe M., Tester D., and McGregor B.A., The effect of plasma treatment and loop length on the handle of lightweight jersey fabrics as assessed by the Wool HandleMeter, *Text. Res. J., 85*, 1190-1197, 2015.
41. Kan C.W., and Yuen C.W.M., Dyeing behaviour of low temperature plasma treated wool, *Plasma Proc. Polym.*, 3, 627-635, 2006.
42. Wakida T., Tokino S., Shouhua Niu, Lee M., Uchiyama H., and Kaneko M., Dyeing properties of wool treated with low-temperature plasma under atmospheric pressure, *Text. Res. J.*, 63, 438-442, 1993.
43. Naebe M., Cookson P.G., Rippon J., Brady R.P., Wang X. and Brack N., Effects of plasma treatment of wool on the uptake of sulfonated dyes with different hydrophobic properties, *Text. Res. J.*, 80, 312-324, 2010.
44. Naebe M., Cookson P.G., Rippon J.A., and Wang X.G., Effects of leveling agent on the uptake of reactive dyes by untreated and plasma-treated wool, *Text. Res. J.*, 80, 611-622, 2010.
45. Wakida T., Lee M., Sato Y., Ogasawara S., Ge Y., and Niu S., Dyeing properties of oxygen low-temperature plasma-treated wool and nylon 6 fibres with acid and basic dyes, *J. Soc. Dyers Colour.*, 112, 233-236, 1996.
46. Lee M., Wakida T., Lee M.S., Pak P.K., and Chen J., Dyeing transition temperature of wools treated with low temperature plasma, liquid ammonia, and high-pressure steam in dyeing with acid and disperse dyes, *J. Appl. Polym. Sci.*, 80, 1058-1062, 2001.
47. Kan C.W., Chan K., Yuen C.W.M., and Miao M.H., Plasma modification on wool fibre: effect on the dyeing properties, *J. Soc. Dyers Colour.*, 114, 61-65, 1998.
48. Sun D., and Stylios G.K., Effect of low temperature plasma treatment on the scouring and dyeing of natural fabrics, *Text. Res. J.*, 74, 751-756, 2004.
49. Rombaldoni F., Montarsolo A., and Mazzuchetti G., KES-F characterization and hand evaluation of oxygen plasma-treated wool fabrics dyed at temperature below the boil, *Text. Res. J.*, 80, 1412-1421, 2010.
50. Rombaldoni F., Montarsolo A., Mossotti R., Innocenti R., and Mazzuchetti G., Oxygen plasma treatment to reduce the dyeing temperature of wool fabrics, *J. Appl. Polym. Sci.*, 118, 1173-1183, 2010.
51. Kan C.W., Chan K., Yuen C.W.M., and Miao M.H., The effect of low-temperature plasma on the chrome dyeing of wool fibre, *J. Mater. Proc. Technol.*, 82, 122-126, 1998.
52. El-Zawahry M.M., Ibrahim N.A., and Eid M.A., The Impact of nitrogen plasma treatment upon the physical-chemical and dyeing properties of wool fabric, *Polym. Plast. Technol. Eng.*, 45, 1123-1132, 2006.
53. Cai Z. and Qiu Y., Dyeing properties of wool fabrics treated with atmospheric pressure plasmas, *J. Appl. Polym. Sci.*, 109, 1257-1261, 2008.
54. Panda P.K., Rastogi D., Jassal M., and Agrawal A.K., Effect of atmospheric pressure helium plasma on felting and low

temperature dyeing of wool, *J. Appl. Polym. Sci.*, 124, 4289-4297, 2012.
55. Wakida T., Cho S., Choi S., Tokino S., and Lee M., Effect of low temperature plasma treatment on color of wool and nylon 6 fabrics dyed with natural dyes, *Text. Res. J.*, 68, 848-853, 1998.
56. Barani H. and Maleki H., Plasma and ultrasonic process in dyeing of wool fibers with madder in presence of lecithin, *J. Dispersion Sci.Technol.*, 32, 1191-1199, 2011.
57. Ratnapandian S., Wang L., Fergusson S.M., and Naebe M., Effect of atmospheric plasma treatment on pad-dyeing of natural dyes on wool, *J. Fiber Bioeng. Inform.*, 4, 267-276, 2011.
58. Erdem İşmal Ö., Özdoğan E., and Yıldırım L., An alternative natural dye, almond shell waste: Effects of plasma and mordants on dyeing properties, *Color. Technol.*, 129, 431-437, 2013.
59. Haji A., and Shoushtari A.M., Natural antibacterial finishing of wool fiber using plasma technology, *Industria Textila*, 62, 244-247, 2011.
60. Haji A., Amiri Z., and Qavamnia S.S., Natural dyeing of wool with Arnebia euchroma optimized by plasma treatment and response surface methodology, *J. Biodivers. Environ. Sci.*, 5, 493-498, 2014.
61. Molakarimi M., Khajeh Mehrizi M., and Haji A., Effect of plasma treatment and grafting of β-cyclodextrin on color properties of wool fabric dyed with Shrimp shell extract, *J. Text. In.*, 107, 1314-1321, 2016.

Journal of
Textile Science
and Technology
Vol. 5, No.3, 35-43
Autumn 2015
ISSN: 2151-7162

A Review on Surface Modification of Wool Fibers Using Plasma Technology and Its Effect on Dyeing Properties

Aminoddin Haji*

Textile Engineering Department, Birjand Branch, Islamic Azad University, Postal Code: 9717711111, Birjand, Iran

Abstract

Low temperature plasma technology has attracted the attention of several researchers as it is a fast and environmentally friendly method for surface modification of textiles. In this study, the effects of plasma treatment on physical and chemical properties of wool fibers including surface morphology, tenacity, surface functional groups and water wicking are reviewed. Due to the etching effect, cold plasma treatment can improve the hydrophilicity and dyeability of wool fibers. The effects of cold plasma treatment on dyeing of wool fibers with different synthetic and natural dyes have been also reviewed. Generally, the surface modification of wool fibers using oxygen, nitrogen and argon plasmas can improve the dyeability of wool fibers with anionic dyes. Furthermore, the color fastness properties of the plasma treated wool samples are improved compared with those of the untreated samples.

Keywords

plasma,
wool,
surface modification,
dyeing,
natural dye

(*) Address Correspondence to A. Haji, Email: Ahaji@iaubir.ac.ir