مقاله پژوهشی

فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۶۰، بهار ۱۴۰۱، صص ۲۷۳-۲۸۱

اثر پلاسمای اکسیژن در رنگرزی الیاف پشمی به منظور اصلاح خواص سطحی الیاف و کاهش آثار زیست محیطی پساب صنایع رنگرزی

اخترالسادات موسوی[۱*]

Mousavi3236@gmail.com

حسن خاتمی[۲]

سید محمود طباطبایی هنزایی[۳]

سیدکاظم موسوی[۴]

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۷/۱۶ **تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۲۸**

چکیده

زمینه و هدف: پساب صنایع رنگرزی به علت وجود فلزات سنگین دارای آلودگی بالا می‌باشد و به همین دلیل، روش‌های متعددی جهت کاهش آثار زیست محیطی پساب این صنایع توسعه یافته است. هدف از این تحقیق استفاده از تکنیک پلاسما به عنوان فرایندی سریع، کم‌هزینه و دوستدار محیط زیست است که با مصرف بسیار کم مواد شیمیایی و عدم استفاده از دندانه‌های معدنی، کمترین اثر بر آلودگی محیط زیست را دارد.

روش بررسی: در این بررسی مشخصه‌های رنگی نمونه‌های پشمی رنگرزی شده تحت سیستم(L*a*b*) CIE مورد ارزیابی و مقایسه رنگ قرار گرفت. و در نهایت تغییرات فیزیکی و شیمیایی الیاف خام و پلاسما شده بعد از رنگرزی با استفاده از تست SEM و FTIR انجام شد.

یافته‌ها: بررسی‌ها حاکی از آن است که عملیات پلاسما به مدت ۳ دقیقه و توان ۱۸۰ وات می‌تواند بر روی فلس‌های سطحی الیاف پشم تاثیر گذاشته و باعث بهبود جذب رنگ در الیاف بدون استفاده از دندانه‌های معدنی گردد.

بحث و نتیجه‌گیری: با توجه به اینکه صنعت به دنبال روش‌های ارزان و مناسب برای جذب رنگ و حذف فلزات است، استفاده از روش فوق در مقایسه با سایر روش‌های متداول در نساجی بسیار سریع‌تر، کم هزینه‌تر و پاک‌تر است. ضمن اینکه خواص با ارزش الیاف حفظ شده و خواص جدید نیز به صورت دلخواه به آن افزوده می‌شود.

کلمات کلیدی: پلاسما، پساب، رنگرزی، آلودگی

---

۱ - دانشجوی دکتری پژوهش هنر، دانشکده‌ی پژوهش‌های عالی هنر و کارآفرینی، دانشگاه هنر اصفهان (مسئول مکاتبات)

۲ - استادیار و عضو هیات علمی گروه فرش، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه کاشان. ایران

۳ - استادیار و عضو هیات علمی گروه فرش، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه علم و هنر یزد. ایران

۴ - دکتری مدیریت محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران

Human and Environment, No. 60, Spring 2022, pp. 273-281

The Effect of Plasma Oxygen on Wool Dyeing for Modifying Dyeing Fiber Surface Properties and Reducing the Environmental Effects of Wastewater Dyeing Industry

Akhtar Sadat Mousavi*[1]
Mousavi3236@gmail.com
Hassan Khatami[2]
Seyed Mahmood Tabatabaei Hanzaei[3]
Seyed Kazem Mousavi[4]

Received: October 7, 2016 Accepted: January 17, 2017

Abstract

Background and scope: dyeing industry wastewater has a high rate of contamination due to the presence of heavy metals and therefore, several methods have been developed to reduce the environmental impact of wastewater in this industry. The aim of this study is to use plasma technique as a rapid, low-cost and environmentally friendly process which has the ability of removing metal mordants by using low amounts of chemical compounds with minimal impact on the environment pollution.

Methods: In this study, color features of wool dyed samples were evaluated and compared under CIE (L* a* b*). And finally, chemical and physical changes of row fiber and plasma after dyeing were performed using SEM and FTIR analysis.

Findings: The research shows that plasma treatment for 3 minutes and 180 W has affected the wool fiber surface and improves the uptake of dye in the fiber without the use of metal mordants.

Conclusion: Due to the fact that the industry is demanding cheap and convenient methods for dye adsorption and removal of metals, using the mentioned method compared to other conventional methods in textile industry is much faster, cheaper and cleaner. Moreover, the valuable properties of fibers are maintained and new properties are added selectively.

Keywords: plasma, wastewater, dyeing, pollution

1- PH.D Student, Department of Art Studies, Art University of Isfahan, Iran
2-Assistant Professor, Kashan University, Iran
3- Assistant Professor, Department of Art and Architecture, Science and Art University, Yazd, Iran
4- PH.D, Department of Environmental Management, Department of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

مقدمه

امروزه آلودگی‌های ناشی از دندانه‌های معدنی موجود در پساب-ها که برای فرایند رنگرزی مورد استفاده قرار می‌گیرد، به طرق مختلف بر روی محیط زیست، خاک و آب و انسان اثر می‌گذارد. از طرفی تأکید روز افزون بر مقررات زیست محیطی باعث توجه بیشتر به مواد زاید موجود در پساب کارگاه‌ها و کارخانه-های نساجی شده است. پساب‌های ناشی از رنگرزی الیاف و منسوجات نساجی که شامل ترکیبات شیمیایی و فلزات سنگین است، از جمله این مشکلات است که موجب آلودگی گسترده‌ی محیط زیست و منابع آبی شده است(۱). حضور فلزات سنگین مثل نیکل، کروم، مس، و آهن که غالباً در فاضلاب‌های صنعتی مشاهده می‌شوند، حتی در مقادیر و غلظت‌های پایین، می‌تواند برای موجودات زنده و انسان سمی باشد(۲،۳،۴،۵)، نگرانی‌های انسان هنگامی افزون می‌شود که روش‌های تصفیه موجود برای چنین پساب‌هایی نتواند رعایت قوانین استانداردهای زیست محیطی را تضمین کند از این رو به نظر می‌رسد که با ادامه استخراج منابع معدنی و انباشت محیطی مواد خطرناک باید روش‌هایی با کارایی بالاتر در سم زدایی و بازیابی چنین فلزاتی لحاظ شود. صنایع رنگرزی یکی از بزرگترین مصرف‌کنندگان آب و تولیدکنندگان مقدار قابل توجهی پساب به شمار می‌روند. این پساب‌ها حاوی مقادیر قابل توجهی از ترکیبات آلی رنگزا می‌باشند. وجود مواد رنگزای آلی در پساب‌های صنعتی به علت جلوگیری از نفوذ نور به داخل آب و اختلال در عمل فتوسنتز، کاهش انتقال اکسیژن به داخل آب و حلالیت گازها و اثرات سمی آنها صدمات جبران ناپذیری به محیط زیست وارد می-نماید. همچنین تخلیه این پساب‌ها به داخل رودخانه‌ها و دریاچه‌ها منجر به کاهش کیفیت آب می‌شود(۶)، از طرف دیگر امروزه به دلیل اعمال محدودیت‌ها و استانداردهای دقیق‌تر در تصفیه و سپس تخلیه پساب‌ها به محیط‌های طبیعی، پاکسازی این ترکیبات سخت‌تر و پرهزینه‌تر می‌شود(۷). از این رو در صنعت نساجی روش‌های مختلفی جهت اصلاح خواص الیاف برای رسیدن به منسوجات با کارایی ویژه قابل انجام است. عمل‌آوری با پلاسما به طور مؤثری ویژگی‌های سطح پلیمر، مانند قابلیت جذب آب و چسبندگی مواد شیمیایی را تغییر داده و به عنوان یک عملیات سازگار با محیط زیست در نظر گرفته می‌شود، چرا که در آن از مقدار بسیار کم مواد شیمیایی استفاده می‌شود(۸).

پلاسما بسته به شرایط آزمون موجب آثاری چون تمیزکردن (خارج کردن آلودگی‌های آلی از سطح پارچه)، خارج کردن مواد پلیمری و تخریب پلیمر، ایجاد پیوندهای عرضی(تشکیل رادیکال‌های آزاد و شاخه شدن درشت مولکول‌ها) و تشکیل سطح جدید گروه‌های عاملی در عمق زیاد حدود ۱۰nm می-شود(۹-۱۰). بسیاری از خصوصیاتی که در نساجی نقش مهمی ایفا می‌کنند از قبیل: قابلیت ترشدن، خاصیت ضد آب، 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 سطح فعال قابل انجام است(۱۱). عمل‌آوری با پلاسمای اکسیژن به دلیل خلل و فرج ایجاد شده در سطح الیاف و نیز ایجاد گروه‌های قطبی آبدوست در سطح الیاف به علت اکسایش سطحی نمونه دلایل افزایش ترشوندگی بیان شده است. اصلاح خواص با پلاسما محدود به سطح است و خواص توده را تغییر نمی‌دهد، به عبارت دیگر یک فرآیندخشک است که باعث صرفه جویی در انرژی و کاهش آلودگی محیط زیست می‌شود.

مهم‌ترین عوامل موثر در عملکرد فرایند پلاسما پارامترها و متغیرهای سیستم پلاسمایی است(۱۲-۱۳). طبیعت ساختار گاز، نوع لیف نساجی، پارامترهای ماشینی مثل فشار اتاقک پلاسما، درجه حرارت و زمان، فرکانس و قدرت ذخیره الکتریکی می‌تواند منجر به تنوع در نوع تغییرات لیف گردد. این توانایی‌های پلاسما می‌تواند در رنگرزی بسیار موثر باشد، چرا که بر ساختار لیف تاثیر گذاشته و در رنگرزی طبیعی این مولفه می‌تواند در جذب رنگ بهتر و ثبات بالاتر به ما کمک کند(۱۴). اگرچه امروزه استفاده از تکنیک پلاسما به طور مستقیم در فرآیند رنگرزی مد نظر قرار نمی‌گیرد، اما اقدامات قبل از رنگرزی به کمک پلاسما بر روند رنگرزی نیز تاثیر می‌گذارد. به

عنوان مثال می‌توان به مطالعات انجام شده توسط کایی و همکاران در زمینه تاثیر تخریب لایه کوتیکول پشم به کمک پلاسما در فرآیند رنگرزی اشاره نمود. این مطالعات نشان می-دهد، الیاف اصلاح شده با پلاسما در مدت زمان اندک، رمق-کشی بسیار بهتری در مقایسه با الیاف معمولی پشم در فرآیند رنگرزی داشته است، همچنین مدت زمان جذب آب و نیمه‌ی زمان رنگرزی نیز در حد چشمگیری کاهش یافته است(۱۵). معمولا در رنگرزی الیاف پشم با رنگزای طبیعی برای افزایش جذب رنگزا و بهبود خواص ثباتی کالای رنگرزی شده، از دندانه های فلزی استفاده می‌شود که غالبا سمی و آلوده‌کننده محیط زیست هستند. به طور کلی روش دندانه‌دهی معمولی با استفاده زیاد از آب و تولید پساب سمی همراه است. مطالعات نشان می‌دهد که نشاندن لایه‌ای از یون فلزی به کمک پلاسما در مدت زمانی کوتاه، می‌تواند جایگزین زمان طولانی دندانه‌دار کردن الیاف پشم و همچنین اضافه کردن ویژگی‌های مورد نظر همچون جذب رنگ بیشتر و ثبات بهتر رنگ بر لیف شود. افزایش آگاهی از مسائل زیست محیطی و تأثیر مخرب رنگزاهای سنتزی میل به استفاده از رنگزاهای طبیعی را افزایش داده است. یکـــی ازمهمترین مـــواد رنگزای طبیعـــی که برای رنگرزی الیاف پشـــم و ابریشم به کارمی‌رود، قرمزدانه است.

قرمزدانه با نام علمی Cacusse از دسته Hemiptre، یکی از رنگزاهای طبیعی با ثبات نوری بالا است که منشاء حیوانی دارد و از لاشه خشک شده نوعی حشره شبیه کفش‌دوز به دست می‌آید. ماده رنگی این حشره اسید کارمینیک Carminic acid است که از زمان‌های قدیم به عنوان رنگ در صنایع نساجی مورد استفاده قرار می‌گرفت. این رنگدانه محلول در آب است، بدین معنی که می‌توان آن را به وسیله آب یا الکل رقیق استخراج نمود(۱۶). در همین راستا با توجه به آلودگی‌های ناشی از کاربرد مواد شیمیایی بر روی محیط زیست، تلاش بر آن است تا با استفاده از تکنیک پلاسما بعنوان فرایند دوستدار محیط زیست در جهت جذب بهتر رنگزا بر روی الیاف بدون استفاده از دندانه‌های معدنی به منظور دستیابی به یک رنگرزی کاملاً طبیعی که زیان زیست محیطی نداشته باشد بهره برد.

تجربی

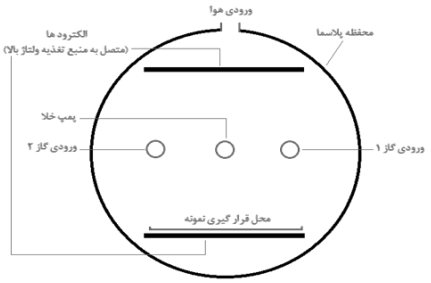
مواد

در این تحقیق الیاف پشمی نژاد بلوچی با نمره ۵ متریک دو لا، عرضه شده توسط شرکت ایران مرینوس مورد استفاده قرار گرفت. رنگزای طبیعی قرمزدانه با نام Cochineal از کشور شیلی و همچنین کربنات سدیم و اسیدکلریدریک ۱۰٪ با درصد خلوص ۹۹٫۹٪ از شرکت Merck آلمان تهیه شد.

روش کار

عملیات پلاسما

الیاف پشمی مورد نظر به وزن ۵ گرم تحت عملیات پلاسمای اکسیژن (Junior plasma, Euro plasma, Belgium) قرار گرفت. برای آماده سازی با پلاسما نمونه‌ها در یک محفظه کوچک بین دو الکترود قرار گرفته و پس از ایجاد خلاء فرایند پلاسما آغاز شد. در این فرایند از اکسیژن به عنوان گاز ورودی استفاده شد و عمل آوری با پلاسما به مدت ۳ دقیقه در فشار ۱۵۰ میلی تور و ۳۰ میلی لیتر دبی گاز با توان ۱۸۰ وات انجام شد.



شکل ۱- نمای شماتیک دستگاه پلاسما تحت خلاء ساخت شرکت Euro plasma

Figure 1- Schematic view of the vacuum plasma device manufactured by the company Euro plasma

عصاره‌گیری و رنگرزی

قبل از عملیات رنگرزی ابتدا عصاره‌گیری از رنگزای مورد نظر بدون هیچ حلالی در pH خنثی انجام شد. بدین صورت که ابتدا قرمزدانه را به مدت ۲ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی-

گراد نگه داشته، تا رنگزای مورد نظر استخراج شود و در نهایت محلول را از صافی عبور داده و بعد از خشک کردن مورد استفاده قرار گرفت.

بعد از عملیات عصاره گیری (جهت یکنواختی در رنگرزی) رنگرزی نمونه‌ها طبق جدول شماره (۱) با ۳۵٪ رنگزا در L:R ۴۰:۱ به منظور تاثیر pH در شرایط اسیدی ، قلیایی و خنثی به مدت ۹۰ دقیقه در دمای ^{o}C ۸۰ انجام شد. برای ایجاد محیط اسیدی از اسید کلریدریک و محیط قلیایی از کربنات سدیم استفاده شده است. همچنین به منظور بررسی اثر دندانه مقدار ۱گرم از هر یک از الیاف پلاسما شده در شرایط اسیدی و قلیایی، به وسیله دندانه زاج سفید(سولفات آلومینیم) به روش پیش دندانه به مدت ۴۵ دقیقه دندانه داده شدند.

جدول۱. شرایط متغیرهای رنگرزی نمونه‌های عمل آوری شده با پلاسما

Table 1- Conditions of plasma-treated sample dye variables

نمونه های عمل آوری شده با پلاسما	pH	دندانه	زمان (دقیقه)
۱	pH=۳ (اسیدی)	----------	۹۰
۲	pH=۷ (خنثی)	----------	۹۰
۳	pH -۱۰ (قلیایی)	----------	۹۰
۴	pH=۳ (اسیدی)	سولفات آلومینیوم	۹۰
۵	pH -۱۰ (قلیایی)	سولفات آلومینیوم	۹۰

اندازه‌گیری مؤلفه‌های رنگی و میزان جذب

در ارزیابی قدرت رنگی نمونه‌ها مقادیر (K/S) با استفاده از رابطه کیوبلکامانک[1] محاسبه گردید که در آن K ضریب جذب، Sضریب انتشار و R فاکتور انعکاس در طول موج ماکزیمم می‌باشد. همچنین خصوصیات رنگی CIELAB و تفاوت‌های رنگی (ΔE) بر اساس رابطه (۲) محاسبه گردید. فاکتور انعکاسی نمونه ها با استفاده از اسپکتروفتومتر انعکاسی مدل KONICA MINOLTA CM-3600dتحت منبع نوری استاندارد D65 و مشاهده‌کننده ۱۰ درجه تحت سیستم رنگی(lab) CIE اندازه‌گیری شد.

$$K/S= (1-R)2/2R \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$\Delta E=\sqrt{(L2-L1)^2+(a2-a1)^2+(b1-b2)^2} \quad \text{(رابطه۲)}$$

مطالعات میکروسکوپ الکترونی(SEM)

ریخت شناسی ساختار الیاف پشم خام و الیاف تحت عملیات با پلاسما با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Mira 3-XMU مورد مطالعه قرار گرفت.

طیف سنج FTIR

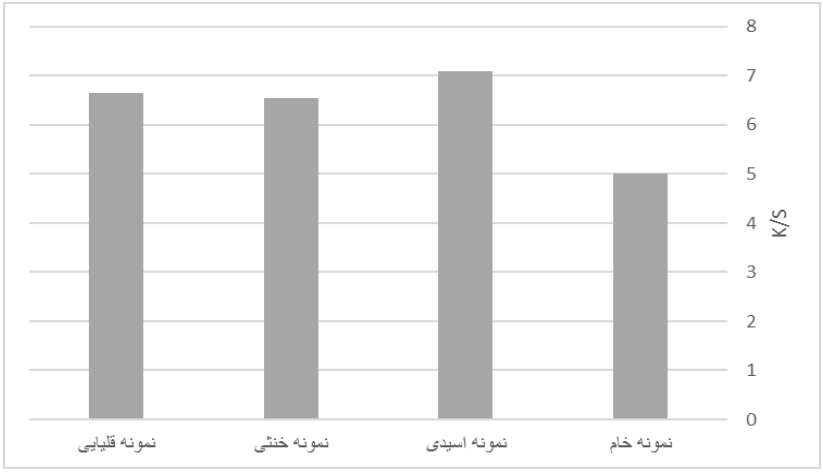
بررسی گروه های شیمیایی رنگزای مورد استفاده و تغییرات در گروه‌های شیمیایی نمونه‌های پلاسما شده با استفاده از دستگاه FTIR مورد بررسی قرار گرفت. قدرت تفکیک دستگاه(cm^{-1} ۴) انتخاب شد و میانگین ۴۵ اسکن ثبت گردید.

نتایج و بحث

تاثیر pH در قدرت رنگی

همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، میزان قدرت رنگی در نمونه عمل آوری شده با پلاسما نسبت به نمونه خام بیشتر است . همچنین نمونه اسیدی نسبت به نمونه قلیایی از توان جذب بالاتری برخوردار است . یکی از دلایل اصلی این عملکرد حضور پیوندهای عرضی گوگردی حاصل از سیستین پشم می باشد که در محیط‌های اسیدی سبب پایداری و جذب بهتر نمونه شده است. همچنین در محیط اسیدی به دلیل عدم دافعه یونی تمایل جذب رنگزا بالاتر و رمق کشی بهتر صورت می گیرد. لذا نمونه در pH اسیدی از قدرت رنگی بالاتری برخوردار است.

1-Kubelka - Munk equation



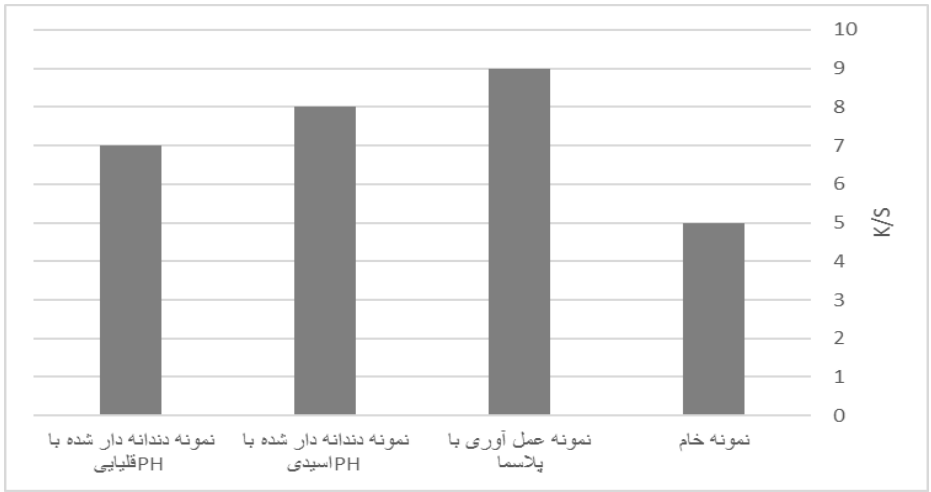
شکل ۲- نمودار تاثیر عملیات پلاسما بر قدرت رنگی نمونه‌های رنگرزی شده در pH مختلف

Figure 2- Diagram of the effect of plasma operation on the color strength of dyeed samples at different pH

تاثیر دندانه بر قدرت رنگی

شکل (۳) تاثیر دندانه سولفات آلومینیم بر قدرت رنگی نمونه های خام ، عمل آوری با پلاسما و دندانه دار شده در محیط اسیدی و قلیایی را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل مشخص است عملیات دندانه دادن به دلیل خلل و فرجی که در سطح الیاف ایجاد می کند باعث جذب بهتر رنگزا در الیاف می شود. همچنین نمونه عمل آوری شده با پلاسما از توان جذب بالاتری نسبت به نمونه دندانه دار شده برخوردار است که نشان از بروز تغییرات بسیاری در ساختار پروتئین الیاف است. چرا که پس از عمل‌آوری، گروه‌های آبدوست موجود در الیاف افزایش یافته که بخشی از آن به دلیل تبدیل سیستین به سیستئیک اسید در سطح الیاف است که باعث مستعد بودن جهت تشکیل پیوند بیشتر با رنگزا می‌باشد. لذا می‌توان از عملیات پلاسما جهت حذف دندانه‌های معدنی در رنگرزی طبیعی و صرفه جویی در وقت به جهت پیش آوری پشم قبل از رنگرزی استفاده نمود

.

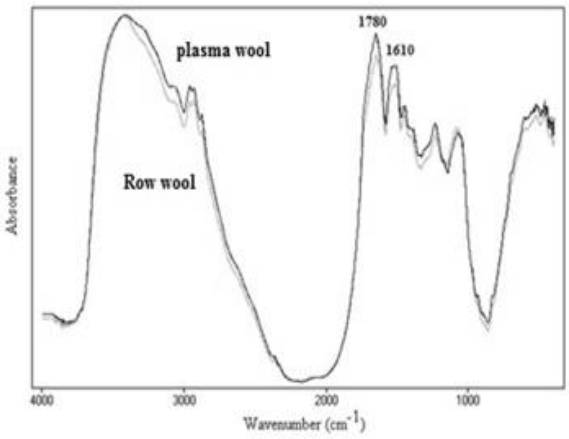


شکل۳- تاثیر دندانه بر قدرت رنگی نمونه‌های خام،و پلاسما شده در شرایط اسیدی و قلیایی

Figure 3- Effect of indentation on the color strength of raw and plasma samples in acidic and alkaline conditions

آزمون FTIR

شکل (۴) طیف‌های FTIR نمونه‌های پشم خام و عمل شده با پلاسما را نشان می‌دهد. پیک‌هایی که در عدد موجی cm^{-1} ۱۷۸۰ و cm^{-1} ۱۶۱۰ مشاهده می‌شوند به ترتیب مربوط به گروه کربونیل آمید نوع اول (CONH2) و دوم (CONH) هستند. همان‌طور که مشاهده می‌شود افزایش پیک در اثر بکارگیری پلاسما باعث ایجاد گروه‌های کربوکسیل جدید شده است. ایجاد این گروه‌های آبدوست می‌تواند در بهبود جذب رنگزا به الیاف موثر باشد. به طور کلی پلاسما با برخورد الکترون ها و فرایندهای نورشیمیایی باعث قطع ارتباط مولکول‌ها و درنتیجه تولید رادیکال‌های آزاد با چگالی زیاد می‌شود. این عمل باعث اختلال پیوندهای شیمیایی در سطح الیاف و پلیمرها و درنتیجه شکل‌گیری گونه‌های شیمیایی جدید مثل C=O، OH- و COOH می‌شود .تحت تأثیر فرایند پلاسما، هم شیمی سطح و هم توپوگرافی سطح تغییر می‌کند.

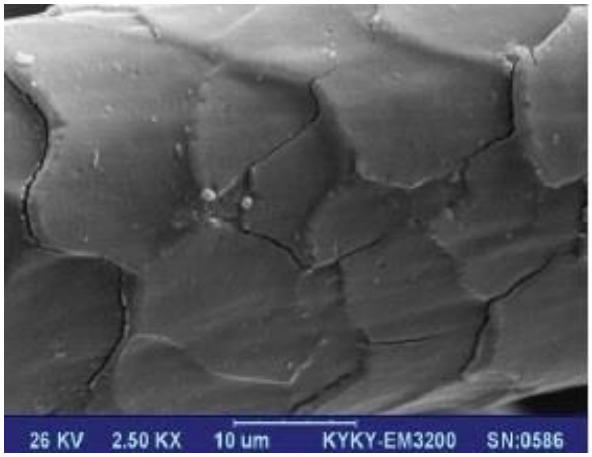


شکل۴- طیف FTIR نمونه‌ی پشم خام و عمل شده با پلاسما

Figure 4- FTIR spectrum of raw and plasma-treated wool samples

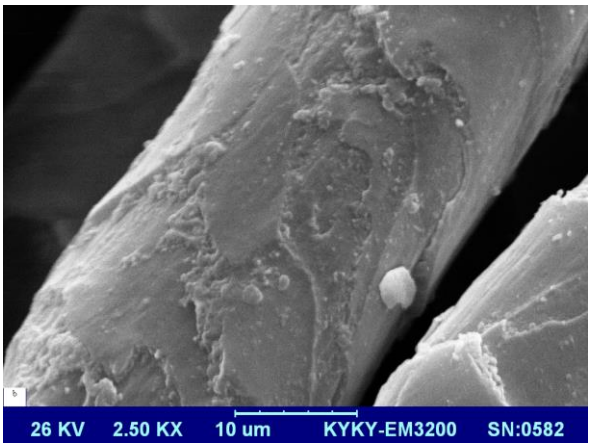
تصاویر میکروسکوپ الکترونی

شکل (۵)، نمونه پشم خام با فلس‌های سالم را نشان می‌دهد و شکل (۶) نمونه پشم عمل شده با پلاسما را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود عملیات پلاسما باعث خلل و فرج و کنده کاری در سطح نمونه شده است، که این خصیصه باعث جذب و بهبود رنگزا به لیف می‌باشد.



شکل ۵- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه پشمی خام

Figure 5- Raw wool sample electron microscope images



شکل۶- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه پلاسما شده

Electron microscope images of plasma Figure 6- samples

نتیجه‌گیری

پساب حاصل از فرآیند صنعتی مهمترین نقش را در آلودگی محیط زیست دارد، تخلیه این پساب در محیط طبیعی پذیرنده، همـواره تـوأم بـا اثرات جبران ناپذیری بوده است. در میان انواع پساب‌های صنعتی، تخلیه پساب‌های رنگی صنایع

رنگرزی و نساجی معضلات زیست محیطی شدیدی را به وجود آورده است. حجم زیاد آب و مواد شیمیایی(فلزات سنگین) مصرفی در صنایع رنگرزی از قبیل مس، کروم، آهن و.... علت آلایندگی بالای این صنایع است که برای سلامتی انسان و به ویژه اکوسیستم‌های آبی تهدیدی جدی محسوب می‌شوند. نتایج تحقیق نشان داد، با بررسی اثر اصلاح سطح الیاف به وسیله فناوری پلاسما گروه‌های عاملی مانند هیدروکسیل و کربوکسیل روی سطح الیاف بر اثر اکسایش به وجود آمده است. ظهور گروه‌های عاملی باعث افزایش رطوبت‌پذیری و جذب بیشتر رنگزا در الیاف می‌شود. الیاف اصلاح شده با پلاسما در مدت زمان اندک، رمق‌کشی بسیار بهتری در مقایسه با الیاف معمولی پشم در فرآیند رنگرزی داشته است.لذا با توجه به شرایط پلاسما شدن و تغییرات در شرایط رنگرزی، نه تنها حذف دندانه‌های معدنی و استفاده از تکنولوژی جدید، باعث کاهش آلاینده‌های محیطی می‌شود، بلکه در بعضی شرایط باعث بهبود در فام (عمق) رنگرزی نسبت به روش‌های پیشین می باشد. با توجه به نتایج به دست آمده از آزمون‌ها می‌توان نتیجه گرفت، عمل‌آوری با پلاسما به دلیل سازگاری با زیرلایه‌های مختلف (هر نوع الیافی) و سرعت زیاد فرآیند، اصلاح دورترین نقطه یک لایه در حالی که خواص جرمی بدون تغییر باقی می‌ماند، کمترین مصرف مواد شیمیایی و بیشترین ایمنی در کارکرد، عملیاتی بدون پسماند است و کمترین اثر را بر آلودگی محیط زیست دارد. لذا استفاده از فناوری پلاسما در پروسه رنگرزی طبیعی با حفظ فاکتورهای ثباتی خوب در راستای دوستدار محیط زیست بودن به منظور نیل به توسعه پایدار مهم و اساسی می‌باشد و باید به آن توجه شود.

منابع

1- Motaghi, Z., Shahidi, S., Development of polyester-wool fabrics dye ability using plasma sputtering, International Conference: Textiles & Fashion, Bangkok Thailand, 2012 July 3-4. (In Persian)

2- Chehregani, A., Malayeri, B., Golmohammadi, R. 2005. Effect of heavy metals on the developmental stages of ovules and embryonic sac in Euphorbia cheirandenia. Pak. J. Biol.
   a. Sci. 8. 622–625. (In Persian)

3- Yadav, S.K., Juwarkar, A.A., Kumar, G.P., Thawale, P.R., Singh, S.K., Chakrabarti, T. 2009. Bioaccumulation and phyto-translocation of arsenic, chromium and zinc by Jatropha curcas L.: impact of dairy sludge and biofertilizer. Bioresour. Technol. 100 (20), 4616–4622.

4- Amato, F., M. Pandolfi, M. Viana, X. Querol, A. Alastuey, T. Moreno. 2009. Spatial and chemical -patterns of PM10 in road dust deposited in urban environment, Atmospheric Environment 43,1650–1659.

5- Yang, P., R. Mao, H. Shao, Y. Gao. 2009. The spatial variability of heavy metal distribution the suburban farmland of Taihang Piedmont Plain, China, C. R. Biologies 332 . 558–566.

6- Daneshvar, N., Salari, D., and Khataee, A.R.“Photocatalytic degradation of azo dye acid red 14 in Water on ZnO as an alternative catalyst to TiO2” J. Photochem. Photobiol., 2004, 162, 317-322. (In Persian)

7- Bambang, V and K. Jae-Duck. 2007. Super critical oxidation for the destruction of toxic organic wastewater. Areview. Journal of Environmental Sciences, 19. pp: 513-522.

8- Motaghi, Z., Shahidi, S., & Wiener, J. Application of low temperature plasma on dye ability of wool with

madder. Iranian Physical Journal 3-2, 17-23. 2009. (In Persian)

9- Wakida T. and Tokino S., Surface modification of fiber and polymeric materials by discharge treatment and its application to textile processing, *Ind. J. Text. Res.*, 21, 69-78, 1996.

10- Poll H.U., Schladitz U., and Schreiter S., Penetration of plasma effects into textile structures, Surface Coat. Technol.,142, 489-493, 2001.

11- Ansari. B., Khajeh Mehrizi. M., Haji. A., (2015)" Dyeing of Oxygen Plasma Treated Wool Fibers with Rhuem Ribes L. Flowers:journal of Color Science and Technology,136(In Persian)

12- Meyer. A. Oh., Becker. A., Keller. D.,Schro¨ der. K, Conrads. J., (1999)"Design of an UHV reactor system for plasma surface treatment of polymer materials", Surface and CoatingsTechnology; 116–119:P.P.1006–1

13- Chang. TC., (1999)" Plasma SurfaceTreatment In Composites Manufacturing",Industrial Technology; Volume 15,(Number 1);P.P. 1-7

14- Haji, A., Shoushtari, A.M., Abdouss, M.: RSM Optimization of Plasma Initiated Grafting of Acrylic Acid onto Polypropylene Nonwoven. Journal of Macromolecular Science, Part A 51(01), 76-87 , 2014. (In Persian)

15- Cai, Z., Qiu, Y., Dyeing Properties of Wool Fabrics Treated with Atmospheric Pressure Plasmas, Journal of Applied Polymer Science, vol.1257–1261, 2008.

16- F.L.C. Baranyovits, D.Sc. Cochineal carmine: an ancient dye with a modern role.Volume 2, Issue 2, Pages 85–92;1978.