

مقدمه‌ای بر عمل آوری با پلاسما و کاربرد آن در اصلاح خواص سطحی الیاف پلی پروپیلن

An Introduction to Plasma Treatment and Its Applications in Surface Modification of Polypropylene Fibers

امین‌الدین حاجی^{۱*}، احمد موسوی شوشتری^۲

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

۲- تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۲۷

چکیده

عمل آوری با پلاسما روشی سریع و دوست‌دار محیط زیست برای اصلاح خواص سطحی مواد پلیمری از جمله انواع کالاهای نساجی است. در این مقاله ضمن معرفی پلاسما و عوامل مهم این فرایند، انواع پلاسما از جنبه‌های گوناگون بررسی شده است. روش‌ها و دستگاه‌های مختلف تولید پلاسما معرفی و مزایا و معایب آنها بررسی و مقایسه شد. در ادامه، موارد کاربرد عمل آوری پلاسما روی کالاهای نساجی به اجمال بیان شده و به‌عنوان مطالعه موردی، پژوهش‌های انجام شده درباره اصلاح الیاف پلی پروپیلن به کمک فناوری پلاسما بحث و بررسی شده است. این عمل آوری می‌تواند سبب بهبود ترشوندگی، جذب آب و چسبندگی در الیاف پلی پروپیلن شود. همچنین، از پلاسما برای پیوندزدن مونومرهای مختلف، دارو و نانوذرات بر سطح الیاف پلی پروپیلن استفاده شده که در این پژوهش نتایج پژوهش‌های مزبور نیز بررسی شده است.

مقدمه

سریع‌تر، کم هزینه‌تر (به‌ویژه درباره پلاسماهای فشار اتمسفری) و پاک‌تر است. ضمن اینکه خواص با ارزش الیاف حفظ شده و خواص جدید نیز به‌طور دلخواه به آن افزوده می‌شود [۲]. عمل آوری پلاسما معمولاً تغییری در استحکام الیاف ایجاد نمی‌کند و حتی به‌دلیل افزایش زبری سطحی و اصطکاک بین الیاف گاهی باعث افزایش استحکام کالای عمل آوری شده با پلاسما نیز می‌شود [۳]. الیاف پلی پروپیلن از الیاف پر مصرف بوده و دارای خواص منحصر به‌فردی از قبیل مقاومت در محیط‌های مختلف، سبکی، نرمی، استحکام و قیمت کم است. در کنار آن می‌توان معایبی همچون آبگریزی، عدم رنگ‌پذیری مطلوب، عدم جذب مواد مختلف برای انجام فرایندهای

از روش‌هایی که به تازگی در پژوهش‌های مرتبط با نساجی بسیار مورد توجه قرار گرفته، استفاده از فناوری پلاسما سرد برای اصلاح خواص منسوجات 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، در نتیجه فقط لایه‌های سطحی الیاف را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱]. با تغییر نوع و ترکیب گاز استفاده شده و شرایط عمل آوری پلاسما می‌توان طیف گسترده‌ای از تغییرات را در الیاف نساجی به‌وجود آورد. این عمل آوری در مقایسه با سایر روش‌های متداول در نساجی بسیار

کلمات کلیدی

پلاسما،
پلی پروپیلن،
اصلاح سطح،
پیوندزدن،
ترشوندگی.

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

موجود در محیط پلاسما وجود دارد.

با توجه به فشار محیط تشکیل پلاسما، دو نوع کاملاً متفاوت پلاسما شناخته شده است. نوع اول پلاسما در فشار کم (1-10 Pa، 1-10 mbar) است که به دلیل نیاز به فشار بسیار کم، نیازمند پمپ‌های بسیار قوی است که منجر به هزینه زیاد می‌شود. در عوض این نوع پلاسما بسیار کمتر به گاز نیاز دارد که برای گازهای گران‌قیمت مانند آرگون و هلیوم، یک امتیاز به‌شمار می‌آید. پلاسمای تولیدی به این روش یکنواخت‌تر و کنترل‌شده‌تر است. با این حال، این روش به دلیل کارکردن در فشار کم افزون بر گران بودن و هزینه زیاد، در حال حاضر امکان استفاده به شکل پیوسته را ندارد. البته روش‌هایی برای استفاده از این روش در صنعت به‌طور نیمه‌پیوسته توسعه داده شده‌اند که از آن جمله می‌توان به دستگاه‌های تولید شده توسط شرکت Europlasma (بلژیک) اشاره کرد [۲].

شکل ۱ نمای کلی دستگاه پلاسما تحت خلأ ساخت شرکت Europlasma را نشان می‌دهد که برای استفاده در آزمایشگاه ساخته شده است. در این دستگاه، ابتدا هوای محفظه پلاسما با پمپ خلأ تخلیه شده و فشار محفظه در محدوده کمتر از 100 mtorr رسانده می‌شود.

سپس، گاز یا گازهای مدنظر از راه ورودی‌های گاز با سرعت جریان معین وارد محفظه شده و پس از رسیدن جریان گاز به حالت پایدار، ولتاژ زیاد به الکترودها متصل شده و پلاسما برای مدت زمان معین در بین الکترودها تشکیل می‌شود. در این مدت، کالای مدنظر که در محل معین شده قرار داده شده تحت تأثیر پلاسما قرار می‌گیرد. در نهایت، پس از اتمام زمان مشخص شده و قطع ولتاژ، هوا وارد محفظه شده و فشار آن به فشار محیط رسانده می‌شود و می‌توان نمونه را از محفظه دستگاه خارج کرد [۴]. نوع دوم، پلاسما در فشار اتمسفری است که در فشار محیط تولید می‌شود و امکان توسعه صنعتی برای فرایندهای پیوسته را دارد. این نوع پلاسما به سه روش مختلف می‌تواند تولید شود [۲] که در ادامه توضیح داده می‌شود.

تخلیه تابشی (glow-discharge)

این نوع پلاسما در شرایط ولتاژ کم حدود 200 V، دو الکتروده مسطح موازی با فاصله حدود چند میلی‌متر، بسامد در محدوده مگاهرتز و بدون استفاده از دی‌الکتریک روی الکترودها ایجاد می‌شود. این نوع پلاسما معمولاً نیازمند گاز هلیوم بوده که گران‌قیمت است، اما پلاسمای تولیدی تقریباً یکنواخت و پایدار است.

تخلیه هاله (corona-discharge)

این نوع پلاسما قدیمی‌ترین نوع پلاسما بوده و در شرایط ولتاژ حدود 10 kV با بسامد رادیویی و دو الکتروده با فاصله حدود 1 mm به‌طوری که یک الکتروده با نوک بسیار کروی مانند نوک یک سیم یا یک سوزن و دیگری مسطح است، ایجاد می‌شود. پلاسمای گازی در این روش به حالت افشانه از الکتروده نوک تیز به سمت دیگری تولید می‌شود. پلاسمای تولیدی بسیار نایک‌نواخت و ضعیف است و چگالی آن به شدت با فاصله کاهش می‌یابد. بنابراین، فقط برای پارچه‌های نازک قابل استفاده است.

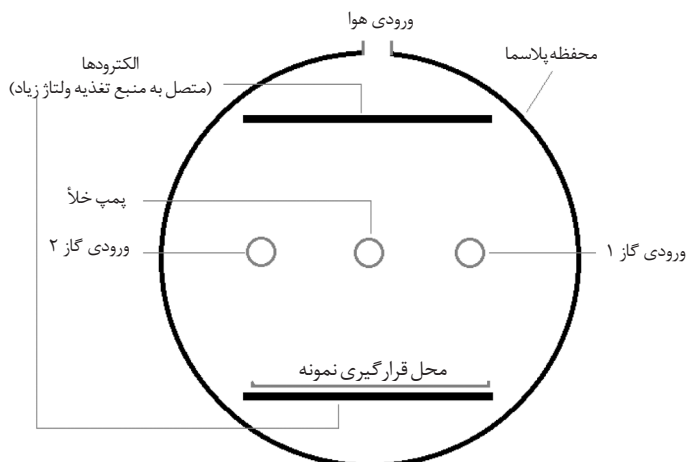
تکمیلی و چسبندگی کم را برای این الیاف بیان کرد. استفاده از فناوری پلاسما به‌عنوان فرایندی خشک، دوست‌دار محیط زیست، سریع و مؤثر برای بهبود خواص منسوجات از جمله کالای پلی‌پروپیلنی پیشنهاد می‌شود. عمل آوری پلاسما می‌تواند سبب بهبود جذب آب، ایجاد زبری سطحی، بهبود چسبندگی و حتی بهبود رنگ‌پذیری الیاف پلی‌پروپیلن شود [۴].

به کمک عمل آوری پلاسما می‌توان زمینه را برای انجام عمل آوری بعدی نیز فراهم کرد. در پژوهش حاضر، فرایند پلاسما و کاربردهای آن در نساجی مرور شده و کاربردهای عمل آوری پلاسما در اصلاح خواص الیاف پلی‌پروپیلن به‌طور ویژه بررسی شده است.

معرفی پلاسما، انواع و کاربردهای آن

در تعریف علمی، پلاسما حالتی از ماده است که در اثر اعمال انرژی کافی با یکی از روش‌های گرمایی، فشرده‌سازی بی‌درو (adiabatic compression)، تابش با انرژی زیاد (energetic beam) یا میدان الکتریکی بر یک گاز خنثی تشکیل می‌شود و می‌توان آن را به‌عنوان حالت چهارم ماده در نظر گرفت. هنگامی که الکترون‌ها یا فوتون‌های دارای انرژی کافی به مولکول‌های گاز برخورد می‌کنند، پلاسما که مخلوطی شامل الکترون‌های آزاد، نوترون‌ها، یون‌های مثبت، اتم‌ها یا مولکول‌های خنثی، فوتون‌ها، رادیکال‌های آزاد و مولکول‌های تهییج شده است، به‌وجود می‌آید [۲].

پلاسما به دو نوع داغ و سرد وجود دارد. در پلاسمای داغ الکترون‌ها و اجزای اتمی و مولکولی در دمای زیاد هستند و پلاسما در این حالت تقریباً به‌طور کامل یون شده و به تعادل کامل ترمودینامیکی نزدیک شده است. موارد مصرف این نوع پلاسما در فناوری لیزری و صنایع هسته‌ای و متالورژی است. در پلاسمای سرد الکترون‌ها در دمای زیاد و اجزای اتمی و مولکولی در دمای کم هستند و قابل کاربرد روی الیاف و پلیمرهاست [۲]. در فریند پلاسما در دمای کم، امکان وقوع پدیده‌های حکاکی یا برداشتن لایه‌هایی از سطح [۵-۹]، لایه‌نشانی روی سطح [۱۰-۱۵]، تغییر فیزیکی-شیمیایی سطح [۹، ۱۶، ۱۷]، فعال‌سازی سطح با شکستن پیوندهای سطحی [۱۶، ۱۸-۲۵] و پاک‌سازی سطح از آلودگی‌ها [۶-۸] روی جسم



شکل ۱- نمای کلی دستگاه پلاسما تحت خلأ ساخت شرکت Europlasma.

- بسامد رادیویی (RF, ۱۳/۵۶ یا ۲۷/۱۲ MHz)
 - بسامد ریزموج (MW, ۹۱۵ MHz یا ۲/۴۵ GHz)
 فرایند پلازما به‌وسیله گاز مصرفی و سایر عوامل نظیر فشار، توان و بسامد، قابل کنترل است. اگر ماده‌ای به‌عنوان زمینه در معرض این گاز قرار گیرد، بخش سطحی تشکیل شده از لایه اتم‌ها حتی با ضخامت کمتر از ۱ nm تحت عملیات قرار می‌گیرد. ترکیب شیمیایی این بخش از لایف، مسئول چسبندگی در لایه‌ها یا امکان نفوذ مناسب است. دقیقاً همین بخش از لایف به وسیله پلازما تغییر می‌کند. درضمن، برای موفقیت عملیات نه تنها پارامترهای فرایند، بلکه سطح اولیه نیز حائز اهمیت است [۲،۲۸،۲۹].

کاربرد عملیات پلازما در نساجی

بسیاری از خواص که در نساجی نقش مهمی ایفا می‌کنند، از قبیل ترشوندگی [۳۰-۳۴]، خاصیت ضدآب [۳۵-۳۸]، جذب رنگ [۳۹-۴۶]، زبردست [۴۷-۴۹]، چسبندگی [۵۰-۵۴]، خاصیت عدم ایجاد الکتریسیته ساکن [۵۵] و ضریب اصطکاک [۵۶] را با استفاده از پلازما می‌توان تغییر داد. این عملیات بدون استفاده از آب زیاد، مواد شیمیایی و ماده سطح‌فعال قابل انجام است. به عبارت دیگر، یک فرایند خشک است که باعث صرفه‌جویی در انرژی و کاهش آلودگی محیط زیست می‌شود. برای تغییر خواص سطحی الیاف به کمک فرایند مرطوب، روش‌های گوناگونی وجود دارد و اکنون سامانه‌های خشک نظیر پلازما جایگزین آنها شده است.

مزایای تکمیل منسوجات به کمک پلازما

فرایند تکمیل اولیه مرطوب منسوجات به‌طور کلی فرایندی است که انرژی زیادی مصرف می‌کند. اصلاح سطح منسوجات با پلازما، در مقدار مصرف آب، مواد شیمیایی و انرژی الکتریکی صرفه‌جویی کرده و از آنجا که در فرایند پلازما، ضایعات زیاد یا مواد سمی در محصولات تولید نمی‌شود، روش مناسبی است. به‌طور کلی مزایای عملیات پلازما نسبت به تکمیل‌های شیمیایی رایج عبارت‌اند از [۲،۵۷]:

- قابلیت کاربرد روی تمام انواع کالاهای نساجی،
- بهینه‌سازی خواص سطحی مواد بدون تغییر خواص توده آن‌ها،
- تغییر راحت خواص سطحی پلیمرهایی که به‌سختی با مواد شیمیایی قابل تغییر هستند،
- مصرف بسیار کم مواد شیمیایی،
- انجام فرایند در سامانه‌ای بسته، خشک، بسیار مطمئن و امن و
- دوست‌دار محیط زیست بودن فرایند بدون آلودگی شیمیایی. درنهایت، محدودیت‌های این روش بدین شرح است:
- فناوری پلازما فشار کم، به واسطه احتیاج به فشار بسیار کم حین فرایند و در نتیجه نیاز به تجهیزات مکش و ایجاد خلأ که در صنایع نساجی مرسوم نیست، محدودیت دارد. از طرف دیگر، مشکلاتی در زمینه تولید و قیمت تجهیزات وجود دارد. بیشتر انرژی مورد نیاز برای پلازما صرف پمپ‌های سامانه‌های مکش می‌شود. در حالی که اگر پلازما در فشار اتمسفر به کار رود، هزینه انرژی مصرفی بسیار کاهش می‌یابد. بنابراین، امروزه تلاش‌های زیادی در زمینه ایجاد و

تخلیه از سد دی‌الکتریک (dielectric barrier discharge)

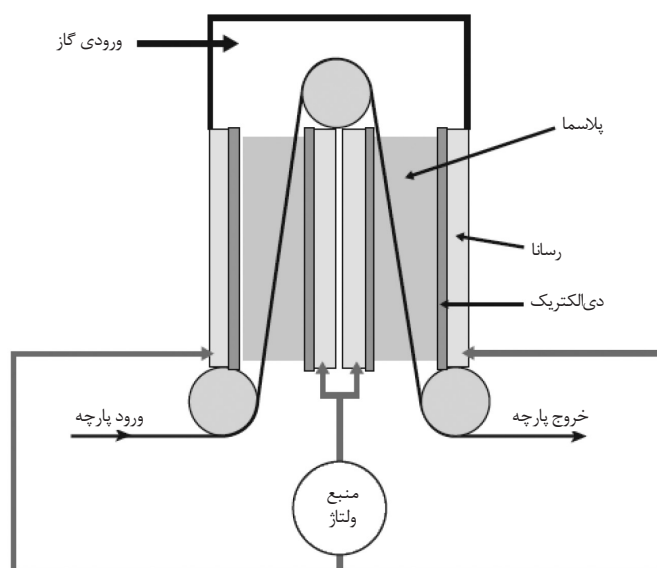
برای تولید این نوع پلازما از دو الکترود موازی مسطح با فاصله تا ۱ cm، اختلاف پتانسیل تا ۲۰ kV و بسامد متناوب ۱ تا ۲۰ kHz استفاده می‌شود. برای جلوگیری از ایجاد جرقه، هر دو الکترود با دی‌الکتریک مناسب روکش می‌شوند. با استفاده از تنظیمات مناسب می‌توان پلاسمای یکنواخت تولید کرد، اما در غیر این حالت پلاسمای تولیدی به شکل رشته‌ای و ناپیکنواخت خواهد بود.

البته در فشار بین فشار اتمسفری و فشار کم نیز می‌توان پلازما تولید کرد که این روش دارای بخشی از مزایای هر دو نوع عمل آوری خواهد بود. به‌عنوان مثال، می‌توان به پژوهش انجام شده توسط Morent و همکاران اشاره کرد که در آن گروه‌های عاملی مختلف به کمک عمل آوری پلازما در فشار ۵ kPa روی فیلم پلی‌پروپیلن ایجاد شده است [۲۶].

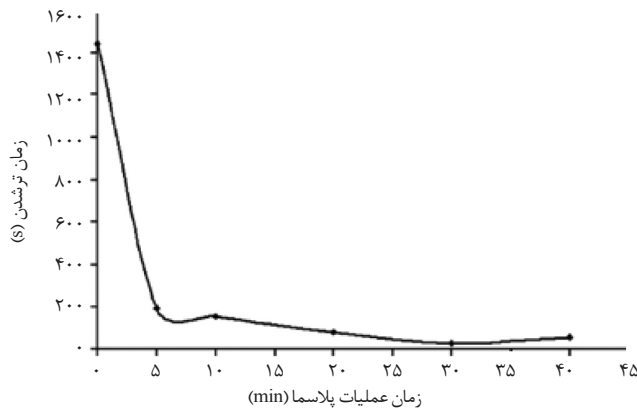
پلاسمای تولید شده در فشار اتمسفری نفوذ بسیار کمی در لایه‌های الیاف دارد و برای پارچه‌های با ضخامت کم قابل استفاده است و اثر آن با افزایش قطر لایه الیاف و نیز فاصله بین الکترودها کاهش می‌یابد [۲۷]. برای فعال‌سازی تمام بخش‌های پارچه‌های ضخیم یا لایه‌های ضخیم منسوجات بی‌یافت، استفاده از پلاسمای در فشار کم توصیه می‌شود. همچنین، پلاسمای اتمسفری در حالی که ماده زمینه مدنظر به شکل صفحه‌ای نباشد (مثلاً قطعه پلیمری با شکل نامنظم) توانایی فعال‌سازی تمام بخش‌ها را به‌طور یکنواخت ندارد. در این حالت نیز استفاده از پلاسمای با فشار کم برای حصول عمل آوری یکنواخت اجتناب‌ناپذیر است [۲،۲۸،۲۹]. شکل ۲ یک دستگاه پلازما با فشار اتمسفری نوع تخلیه از سد دی‌الکتریک را به‌طور کلی نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، این دستگاه قابلیت انجام عمل آوری پلازما روی پارچه را به‌طور پیوسته دارد [۲].

راکتورهای پلازما را از لحاظ بسامد نیز می‌توان به سه گروه دسته‌بندی کرد [۲]:

- بسامد کم (LF, ۵۰-۴۵۰ kHz)



شکل ۲- نمای کلی دستگاه پلاسمای فشار اتمسفری ساخت شرکت Dow Corning [۲].

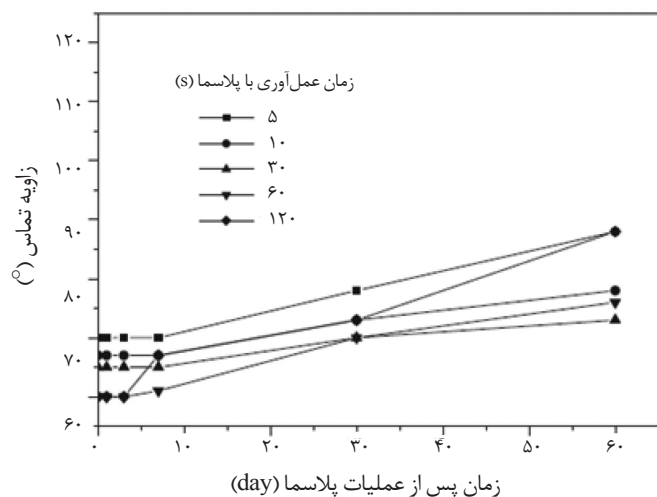


شکل ۳- اثر عمل آوری پلاسما اکسیژن بر زمان ترشدن منسوج بی‌بافت پلی‌پروپیلن [۷۱].

آبدوستی الیاف پلی‌پروپیلن در اثر ایجاد گروه‌های اکسیژن دار بر سطح لیف می‌شود. این گروه‌ها در اثر واکنش گروه‌های فعال ایجاد شده در اثر پلاسما با اکسیژن هوا به وجود می‌آیند. به مرور زمان این اثر آبدوستی کاهش و زاویه تماس قطره آب افزایش می‌یابد (شکل ۴).

شکل ۵ ایجاد گروه‌های اکسیژن دار روی الیاف پلی‌پروپیلن را در اثر عمل آوری پلاسما نشان می‌دهد. طیف FTIR نمونه عمل آوری شده با پلاسما در مقایسه با نمونه خام دارای پیک‌هایی در محدوده ۱۵۴۸، ۱۶۹۷ و $3500-3700 \text{ cm}^{-1}$ است که به ترتیب مربوط به گروه‌های COO، C=O و OH هستند. جدول ۱ نتایج حاصل از طیف‌سنجی نورالکترونی پرتو X نمونه‌ها را نشان می‌دهد که تأیید کننده افزایش تعداد گروه‌های اکسیژن دار بر سطح کالاست [۷۶].

Huang و همکاران، الیاف پلی‌پروپیلن را با پلاسما اکسیژن و آرگون زیر فشار ۵ Pa عمل آوری و مشاهده کردند که این عمل آوری باعث کاهش چشمگیر زاویه تماس قطره آب و نیز ایجاد تغییرات سطحی روی الیاف



شکل ۴- اثر زمان بر زاویه تماس نمونه‌های پلی‌پروپیلن عمل آوری شده با پلاسما آرگون [۷۶].

توسعه فناوری پلاسما در شرایط فشار اتمسفری انجام می‌شود. با این حال، پلاسما فشار کم مزایایی از قبیل یکنواختی زیاد، قابلیت تکرارپذیری بهتر و مصرف بسیار کمتر گاز را دارد که باعث می‌شود، پژوهش‌های زیادی در زمینه بهبود این روش برای کاربرد در مقیاس صنعتی انجام شود [۲، ۵۷].

کاربرد پلاسما بر کالای پلی‌پروپیلن

خواص لیف پلی‌پروپیلن

لیف پلی‌پروپیلن یک لیف پلی‌اولفینی و از پرمصرف‌ترین الیاف نساجی است. درصد تبلور آن بسته به شرایط تولید، بین ۵۰٪ تا ۶۵٪ می‌تواند باشد. الیاف پلی‌پروپیلن تولید شده برای مصارف معمول نساجی دارای استحکام حدود ۴/۵ تا ۶ گرم بر دنیر هستند. الیاف پلی‌پروپیلن در حدود 150°C نرم شده و در $160-170^{\circ}\text{C}$ ذوب می‌شوند. این لیف تا دمای 70°C - انعطاف‌پذیری فوق‌العاده خود را حفظ می‌کند و تا 120°C نیز خواص خود را از دست نمی‌دهد. این لیف کمترین رسانایی گرمایی را در میان الیاف تجاری معمول دارد. دمای انتقال شیشه‌ای آن کم و در محدوده 15°C تا 20°C - است. این لیف فاقد گروه‌های فعال شیمیایی است و به همین دلیل جذب آب آن بسیار کم (کمتر از ۱٪) است. همین عامل افزون بر درصد تبلور نسبتاً زیاد این لیف باعث رنگ‌ناپذیری آن شده است [۵۸، ۵۹].

روش‌های مختلفی برای بهبود رنگ‌پذیری پلی‌پروپیلن پیشنهاد شده که از آن جمله می‌توان به آمیخته‌سازی با پلیمرهای رنگ‌پذیر [۶۴-۶۰]، پیوندزنی (grafting) [۶۵]، اکسایش [۶۶]، کلردار کردن [۶۷] و برم‌دار کردن [۶۸] اشاره کرد. روش‌های گفته شده در کنار بهبود خواص رنگ‌پذیری لیف پلی‌پروپیلن منجر به کاهش خواص مکانیکی آن نیز می‌شوند. به‌تازگی روش اصلاح سطح الیاف به کمک پلاسما برای بهبود رنگ‌پذیری پلی‌پروپیلن به کار گرفته شده است [۴۲، ۴۳]. این روش اثر چندانی بر خواص مکانیکی لیف ندارد و خواص مطلوب لیف پلی‌پروپیلن حفظ می‌شود.

اثر پلاسما بر کالای پلی‌پروپیلن

با توجه به آگریز بودن لیف پلی‌پروپیلن، عمده پژوهش‌های انجام شده در زمینه کاربرد پلاسما روی این لیف، بر بهبود خاصیت آبدوستی آن متمرکز بوده است. پژوهش‌های انجام شده توسط Lee و همکاران [۶۹] نشان‌دهنده بهبود خاصیت آبدوستی پارچه پلی‌پروپیلن در اثر عمل آوری پلاسما اکسیژن و آرگون در فشار ۲۰۰ mtorr در نتیجه ایجاد گروه‌های فعال آبدوست مانند C=O، O-C=O و C-O است. همچنین، این عمل آوری سبب ایجاد زبری سطحی روی الیاف پلی‌پروپیلن شده است.

پژوهش‌های دیگر نیز آثار مشابهی را در اثر پلاسما هوا، اکسیژن، نیتروژن، آرگون و مخلوط اکسیژن و متان بر کالای پلی‌پروپیلن تأیید می‌کنند [۷۵-۷۳]. شکل ۳ نشان‌دهنده اثر پلاسما اکسیژن بر قابلیت ترشوندگی الیاف پلی‌پروپیلن است.

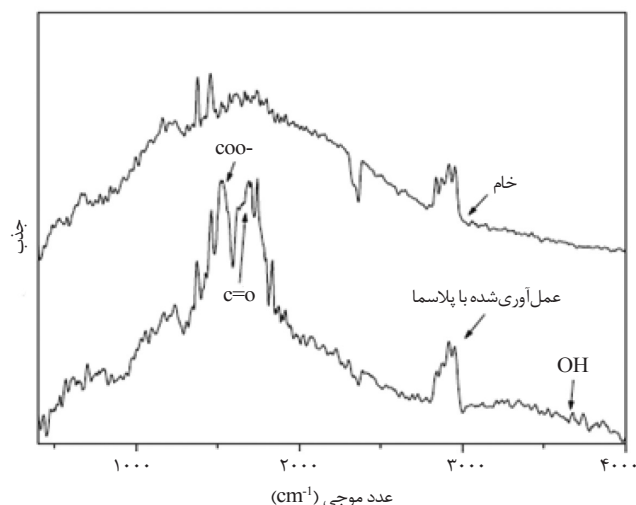
Cheng و همکاران [۷۶] نیز نشان دادند، پلاسما آرگون سبب بهبود

Wei و همکاران نیز از پلاسما و برون‌پاشی (sputtering) نقره و مس برای بهبود خواص کالای پلی‌پروپیلن استفاده کردند [۸۷-۳۱،۳۲،۸۴]. از عمل آوری پلاسما برای بهبود رنگ‌پذیری الیاف پلی‌پروپیلن نیز استفاده شده است. شهیدی از پلاسمای اکسیژن و نیتروژن بدین منظور استفاده کرده است. پلاسمای نیتروژن با افزودن گروه‌های نیتروژن‌دار سبب بهبود رنگ‌پذیری الیاف پلی‌پروپیلن به‌وسیله رنگزاهای آنیونی شده در حالی که استفاده از پلاسمای اکسیژن رنگ‌پذیری این الیف با رنگزای کاتیونی را بهبود بخشیده است [۷۳]. Yaman و همکاران [۴۲،۴۳] از پلاسمای اتمسفری آرگون برای فعال‌سازی سطح الیاف پلی‌پروپیلن استفاده کرده و سپس با پیوندزنی ترکیبات مختلف روی الیف رنگ‌پذیری آن را با رنگزاهای آنیونی و کاتیونی بهبود بخشیدند. همچنین، استفاده از پلاسمای اتمسفری آرگون و هوا منجر به بهبود جذب رنگزای خمی (به شکل رنگدانه و لوکوی محلول) بر الیف پلی‌پروپیلن شده است [۴۳].

در مطالعه جدیدتری که Yaman و همکاران انجام دادند، ابتدا سطح کالای پلی‌پروپیلنی با پلاسمای اتمسفری با استفاده از هوای محیط فعال‌سازی شد. سپس، مونومرهای ۶-آمینو هگزانوئیک اسید، آکرلیک اسید و هگزامتیل دی‌سیلوکسان روی سطح متصل شده است. کالای اصلاح شده قابلیت رنگرزی با رنگزاهای کاتیونی به همراه قدرت رنگی خوب و ثبات مناسب را نشان داده است [۸۸].

پژوهشگران مختلفی از عمل آوری پلاسما برای پیوندزنی ترکیبات مختلف بر الیف پلی‌پروپیلن و در نتیجه بهبود خواص سطحی به‌ویژه خاصیت آبدوستی آن استفاده کردند. Lin آکرلیک اسید را به کمک پلاسمای با ساسم رادیویی روی الیف پلی‌پروپیلن پیوند زده است. بدین منظور پس از فعال‌سازی الیاف به کمک پلاسمای آرگون، آکرلیک اسید به حالت بخار به محفظه پلاسمای محتوی الیاف وارد شده و عمل آوری پیوندزنی انجام شد. سپس، ترکیبات آمینی با گروه‌های کربوکسیل الیف اصلاح شده واکنش داده شده و از الیف حاصل برای جذب یون استفاده شد [۸۹]. در پژوهش دیگری که Cernakova و همکاران انجام دادند، پس از عمل آوری پلاسمای نیتروژن و هوا، الیف پلی‌پروپیلن با محلول آبی آکرلیک اسید پیوند زده شد و خواص سطحی الیف مزبور بررسی شد [۲۰].

سایر پژوهشگران نیز از فرایندهای کم و بیش مشابهی برای پیوند آکرلیک اسید، گلیسیدیل متاکریلات یا آکریلونیتریل بر الیف پلی‌پروپیلن استفاده کردند [۹۶-۱۰۹]. سردی و همکاران از آکریلونیتریل به حالت بخار برای پیوندزنی مستقیم آن بر سطح الیف استفاده کردند [۹۰]. Saxena و همکاران ابتدا تک‌رشته پلی‌پروپیلن را با پلاسمای اکسیژن فعال کرده و با قراردادن الیاف فعال شده در معرض هوا، گروه‌های هیدروپرسید مورد نیاز را برای پیوندزنی آکرلیک اسید بر سطح الیف ایجاد کردند. اثر استفاده از سولفات آهن و حلال‌های متانول، استون و بوتانول روی مقدار پیوندزنی و نقش آنها در پیشگیری از تولید هوموپلیمر آکرلیک اسید بررسی شد [۹۵]. همین گروه پژوهشگران در ادامه عوامل مؤثر بر عمل آوری پیوندزنی را بررسی کرده و تغییرات ایجاد شده بر سطح الیف را نیز ارزیابی کردند [۹۱]. سپس، کیتوسان به کمک واکنش شیمیایی به گروه‌های کربوکسیل ایجاد شده بر سطح الیف



شکل ۵- طیف FTIR نمونه پلی‌پروپیلن خام و نمونه عمل‌آوری شده با پلاسما با گاز آرگون [۷۶].

شده است [۷۷]. پلاسمای هلیوم و اکسیژن در فشار اتمسفری نیز اثری مشابه داشته و باعث بهبود آبدوستی و حکاکی سطح الیف شده است. ضمن اینکه تغییرات سطحی مزبور به دلیل تغییر در اصطکاک الیف با یکدیگر، باعث تغییر در خواص مکانیکی پارچه شده است [۷۸،۷۹]. در مطالعه انجام شده توسط McCord و همکاران نیز اثر مشابهی مشاهده شده و گروه‌های اکسیژن‌دار و نیتروژن‌دار بر سطح الیف پلی‌پروپیلن ایجاد شده است [۸۰].

در پژوهشی که توسط ارمغان و همکاران انجام شده، از پلاسمای اکسیژن برای بهبود چسبندگی دو نوع چسب پایه آکرلیکی و پلی‌یورتانی استفاده شده و نشان داده شده که این عمل آوری باعث افزایش قابل توجه گروه‌های اکسیژن‌دار در سطح منسوج بی‌بافت پلی‌پروپیلنی شده و در نتیجه چسبندگی سطح بهبود پیدا کرده است [۸۱].

در مطالعه انجام شده توسط Jinka و همکاران از پلاسمای مخلوط گازهای اکسیژن و نیتروژن در فشار اتمسفری روی منسوج بی‌بافت پلی‌پروپیلنی استفاده شده و افزون بر ایجاد گروه‌های شیمیایی دارای اکسیژن و نیتروژن، افزایش عبور بخار آب نیز مشاهده شد [۸۲]. Szabova و همکاران ابتدا به کمک پلاسمای نیتروژن در شرایط اتمسفری، گروه‌های فعال و تغییرات سطحی را بر الیف پلی‌پروپیلن ایجاد کرده و از آن برای بهبود اتصال نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید روی کالا بهره برده‌اند [۸۳]. در پژوهش مشابهی که توسط Cernakova و همکاران انجام شد، ابتدا کالای پلی‌پروپیلن با پلاسمای اتمسفری هوا فعال‌سازی شده و سپس نانوذرات اکسید آهن روی آن نشانده شده است [۲۱].

جدول ۱- ترکیب درصد اکسیژن و کربن در الیف پلی‌پروپیلن خام و عمل‌آوری شده با پلاسمای آرگون [۷۶].

نمونه	کربن (%)	اکسیژن (%)
خام	۹۳/۰۸	۶/۹۲
عمل‌آوری شده با پلاسما	۸۷/۶۹	۱۲/۳۱

بررسی شد. نتایج نشان داد، منسوج بی‌بافت اصلاح شده قابلیت جذب رنگزای کاتیونی آبی متیلن را در pH قلیایی دارد (بیش از ۷۰٪ جذب رنگ) و هم‌دمای این فرایند جذب از مدل فرندولیچ و سینتیک آن از مدل درجه اول پیروی می‌کند [۹۹].

نتیجه‌گیری

عمل آوری با پلاسما، فرایندی سریع، کم‌هزینه و دوست‌دار محیط زیست است که با مصرف مقدار بسیار کم مواد شیمیایی قابلیت اعمال اصلاحات سطحی روی الیاف نساجی را بدون تغییر آن‌چنانی در خواص توده الیاف دارد. این فرایند به‌ویژه پلاسما فشار اتمسفری، به دلیل امکان انجام به شکل پیوسته پتانسیل زیادی برای استفاده در صنعت نساجی دارد. همچنین، قابلیت کاربرد به‌عنوان عمل آوری مقدماتی برای بهبود بازده عمل آوری رنگرزی و بسیاری از فرایندهای تکمیلی معمول در صنعت نساجی را دارد. با استفاده از عمل آوری پلاسما روی الیاف پلی‌پروپیلن، خواص نامطلوب آن مانند آبگریزی و چسبندگی کم، به راحتی اصلاح شده و الیاف با خاصیت آبدوستی و چسبندگی زیاد حاصل می‌شود. با تغییر نوع گاز و شرایط عمل آوری پلاسما می‌توان کنترل کافی را روی خواص نهایی اعمال کرد. همچنین، به کمک آن می‌توان مونومرهای متنوعی را روی الیاف پلی‌پروپیلن پیوند زد و خواص مدنظر را روی سطح ایجاد کرد.

مراجع

- Saxena S., Ray A.R., Kapil A., Pavon-Djavid G., Letourneur D., Gupta B., and Meddahi-Pelle A., Development of a new polypropylene-based suture: Plasma grafting, surface treatment, characterization, and biocompatibility studies, *Macromol. Biosci.*, 11, 373-382, 2011.
- Shishoo R., *Plasma Technologies for Textiles*, Woodhead, Cambridge, 2007.
- Barani H. and Calvimontes A., Effects of oxygen plasma treatment on the physical and chemical properties of wool fiber surface, *Plasma Chem. Plasma Process.*, 34, 1291-1302, 2014.
- حاجی ا.، به‌کارگیری پلاسما اکسیژن به منظور اتصال دادن نانوذندریمر پایه آمینی بر روی پارچه پلی‌پروپیلن و بررسی خواص جذبی آن، پایان‌نامه دکتری مهندسی شیمی نساجی، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۳.
- Jafari R., Asadollahi S., and Farzaneh M., Applications of plasma technology in development of superhydrophobic surfaces, *Plasma Chem. Plasma Process.*, 33, 177-200, 2013.
- Riccardi C., Barni R., Selli E., Mazzone G., Massafra M.R., Marcandalli B., and Poletti G., Surface modification of poly(ethylene terephthalate) fibers induced by radiofrequency air plasma treatment, *Appl. Surf. Sci.*, 211, 386-397, 2003.
- Pan X., Zhang R., Peng S., and Qiu Y., Study on the surface modification of PBO fiber under dielectric barrier discharge treatment, *Fiber. Polym.*, 11, 372-377, 2010.
- Matthews S.R., Hwang Y.J., McCord M.G., and Bourham M.A., Investigation into etching mechanism of polyethylene terephthalate (PET) films treated in helium and oxygenated-helium atmospheric plasmas, *J. Appl. Polym. Sci.*, 94, 2383-2389, 2004.
- 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.
- Van Ooij W.J., Luo S., and Datta S., Surface modification of textile fibers and cords by plasma polymerization, *Plasma Polym.*, 4, 33-55, 1999.
- Sciarratta V., Vohrer U., Hegemann D., Müller M., and Oehr

- C., Plasma functionalization of polypropylene with acrylic acid, *Surf. Coat. Technol.*, 174-175, 805-810, 2003.
12. Nättinen K., Nikkola J., Minkkinen H., Heikkilä P., Lavonen J., and Tuominen M., Reel-to-reel inline atmospheric plasma deposition of hydrophobic coatings, *J. Coat. Technol. Res.*, 1-9, 2010.
 13. Mossotti R., Lopardo G., Innocenti R., Mazzuchetti G., Rombaldoni F., Montarsolo A. and Vassallo E., Characterization of plasma-coated wool fabrics, *Text. Res. J.*, 79, 853-861, 2009.
 14. Morent R., De Geyter N., Van Vlierberghe S., Vanderleyden E., Dubruel P., Leys C., et al., Deposition of polyacrylic acid films by means of an atmospheric pressure dielectric barrier discharge, *Plasma Chem. Plasma Process.*, 29, 103-117, 2009.
 15. Farsari E., Kostopoulou M., Amanatides E., Mataras D., and Rapakoulias D.E., Comparative study of plasma-deposited fluorocarbon coatings on different substrates, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 44, 194007-194013, 2011.
 16. Tseng H.J., Hsu S.H., Wu M.W., Hsueh T.H., and Tu P.C., Nylon textiles grafted with chitosan by open air plasma and their antimicrobial effect, *Fibers Polym.*, 10, 53-59, 2009.
 17. Mráček A., Lehocký M., Smolka P., Grulich O., and Velebný V., The allylamine grafting on the plasma pre-treated polyester nonwoven fabric: Preparation, characterization and utilization, *Fiber. Polym.*, 11, 1106-1110, 2010.
 18. Wang J., Liu X., and Choi H.S., Graft copolymerization kinetics of acrylic acid onto the poly(ethylene terephthalate) surface by atmospheric pressure plasma inducement, *J. Polym. Sci., Part B: Polym. Phys.*, 46, 1594-1601, 2008.
 19. Shamina L.V., Low-temperature plasma as the basis for creation of modern textile chemical technologies, *Fibre Chem.*, 36, 431-436, 2004.
 20. Cernakova L., Zahoranova A., Cernak M., and Mazur M., Surface modification of polypropylene non-woven fabrics by atmospheric-pressure plasma activation followed by acrylic acid grafting, *Plasma Chem. Plasma Process.*, 25, 427-437, 2005.
 21. Černáková L., Szabová R., Wolfová M., Buček A., and Černák M., Surface modification of polypropylene nonwoven after plasma activation at atmospheric pressure, *Fiber. Text. East. Eur.*, 15, 121-123, 2007.
 22. Carosio F., Alongi J., and Frache A., Influence of surface activation by plasma and nanoparticle adsorption on the morphology, thermal stability and combustion behavior of PET fabrics, *Eur. Polym. J.*, 47, 893-902, 2011.
 23. Borcia G., Anderson C.A., and Brown N.M.D., The surface oxidation of selected polymers using an atmospheric pressure air dielectric barrier discharge. Part I, *Appl. Surf. Sci.*, 221, 203-214, 2004.
 24. Borcia G., Anderson C.A., and Brown N.M.D., The surface oxidation of selected polymers using an atmospheric pressure air dielectric barrier discharge. Part II, *Appl. Surf. Sci.*, 225, 186-197, 2004.
 25. Haji A., Eco-friendly dyeing and antibacterial treatment of cotton, *Cell. Chem. Technol.*, 47, 303-308, 2013.
 26. Morent R., De Geyter N., Leys C., Gengembre L., and Payen E., Comparison between XPS- and FTIR-analysis of plasma-treated polypropylene film surfaces, *Surf. Interface Anal.*, 40, 597-600, 2008.
 27. Kale K., Palaskar S., Hauser P.J., and El-Shafei A., Atmospheric pressure glow discharge of helium-oxygen plasma treatment of polyester/cotton blended fabric, *Indian J. Fiber Text. Res.*, 36, 137-144, 2011.
 28. Kikani P., Desai B., Prajapati S., Arun P., Chauhan N., and Nema S.K., Comparison of low and atmospheric pressure air plasma treatment of polyethylene, *Surf. Eng.*, 29, 211-221, 2013.
 29. Sarra-Bournet C., Turgeon S., Mantovani D., and Laroche G., Comparison of atmospheric-pressure plasma versus low-pressure RF plasma for surface functionalization of PTFE for biomedical applications, *Plasma Process. Polym.*, 3, 506-515, 2006.
 30. Wei Q., Gao W.D., Hou D.Y., and Wang X.Q., Surface modification of polymer nanofibres by plasma treatment, *Appl. Surface Sci.*, 245, 16-20, 2005.
 31. Wei Q., Surface characterization of plasma-treated polypropylene fibers, *Mater. Charact.*, 52, 231-235, 2004.
 32. Wei Q., Wang Y., Hou D., and Huang F., Dynamic wetting of plasma-treated polypropylene nonwovens, *J. Appl. Polym. Sci.*, 104, 2157-2160, 2007.
 33. Masaeli E., Morshed M., Tavanai H., and Ashrafzadeh F., Effect of process variables on surface properties of low-pressure plasma treated polypropylene fibers, *Fiber. Polym.*, 9, 461-466, 2008.
 34. Bradley R.H., Mathieson I., and Byrne K.M., Spectroscopic studies of modified wool fibre surfaces, *J. Mater. Chem.*, 7, 2477-2482, 1997.
 35. Leroux F., Campagne C., Perwuelz A., and Gengembre L., Fluorocarbon nano-coating of polyester fabrics by atmo-

- spheric air plasma with aerosol, *Appl. Surf. Sci.*, 254, 3902-3908, 2008.
36. Kale K.H. and Palaskar S., Atmospheric pressure plasma polymerisation of hexamethyldisiloxane for imparting water repellency to cotton fabric, *Text. Res. J.*, 81, 608-620, 2011.
 37. Yoon Y.I., Moon H.S., Lyoo W.S., Lee T.S., and Park W.H., Superhydrophobicity of cellulose triacetate fibrous mats produced by electrospinning and plasma treatment, *Carbohydr. Polym.*, 75, 246-250, 2009.
 38. Selli E., Mazzone G., Oliva C., Martini F., Riccardi C., Barni R., Marcandalli B., and Massafra M.R., Characterisation of poly(ethylene terephthalate) and cotton fibres after cold SF plasma treatment, *J. Mater. Chem.*, 11, 1985-1991, 2001.
 39. Haji A. and Mousavi Shoushtari A., Natural antibacterial finishing of wool fiber using plasma technology, *Ind. Text.*, 62, 244-247, 2011.
 40. Mirjalili M. and Karimi L., The impact of nitrogen low temperature plasma treatment upon the physical-chemical properties of polyester fabric, *J. Text. Inst.*, 104, 98-107, 2012.
 41. Zhongfu R., Xiaoliang T., Hong'en W., and Gao Q., Continuous modification treatment of polyester fabric by Ar-O₂(10:1) discharge at atmospheric pressure, *J. Ind. Text.*, 37, 43-53, 2007.
 42. Yaman N., Ozdogan E., Seventekin N., and Ayhan H., Plasma treatment of polypropylene fabric for improved dyeability with soluble textile dyestuff, *Appl. Surf. Sci.*, 255, 6764-6770, 2009.
 43. Yaman N., Özdoğan E., and Seventekin N., Atmospheric plasma treatment of polypropylene fabric for improved dyeability with insoluble textile dyestuff, *Fiber. Polym.*, 12, 35-41, 2011.
 44. 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.
 45. Bhat N.V., Netravali A.N., Gore A.V., Sathianarayanan M.P., Arolkar G.A., and Deshmukh R.R., Surface modification of cotton fabrics using plasma technology, *Text. Res. J.*, 81, 1014-1026, 2011.
 46. Naebe M., Cookson P.G., Rippon J., Brady R.P., Wang X., Brack N., and Van Riessen G., Effects of plasma treatment of wool on the uptake of sulfonated dyes with different hydrophobic properties, *Text. Res. J.*, 80, 312-324, 2010.
 47. Sun D. and Stylios G.K., Investigating the plasma modification of natural fiber fabrics-the effect on fabric surface and mechanical properties, *Text. Res. J.*, 75, 639-644, 2005.
 48. Meade S.J., Dyer J.M., Caldwell J.P., and Bryson W.G., Covalent modification of the wool fiber surface: Removal of the outer lipid layer, *Text. Res. J.*, 78, 943-957, 2008.
 49. Lam Y.L., Kan C.W., Yuen C.W., and Au C.H., Low stress mechanical properties of plasma-treated cotton fabric subjected to titanium dioxide coating, *Text. Res. J.*, 81, 1008-1013, 2011.
 50. Wang C. and Wang C., Surface pretreatment of polyester fabric for ink jet printing with radio frequency O₂ plasma, *Fiber. Polym.*, 11, 223-228, 2010.
 51. Tao G., Gong A., Lu J., Sue H.J., and Bergbreiter D.E., Surface functionalized polypropylene: Synthesis, characterization, and adhesion properties, *Macromolecules*, 34, 7672-7679, 2001.
 52. Takke V., Behary N., Perwuelz A., and Campagne C., Surface and adhesion properties of poly(ethylene glycol) on polyester (polyethylene terephthalate) fabric surface: Effect of air-atmospheric plasma treatment, *J. Appl. Polym. Sci.*, 122, 2621-2629, 2011.
 53. Monllor P., Capablanca L., Gisbert J., Díaz P., Montava I., and Bonet Á., Improvement of microcapsule adhesion to fabrics, *Text. Res. J.*, 80, 631-635, 2010.
 54. Leroux F., Campagne C., Perwuelz A., and Gengembre L., Atmospheric air plasma treatment of polyester textile materials. Textile structure influence on surface oxidation and silicon resin adhesion, *Surf. Coat. Technol.*, 203, 3178-3183, 2009.
 55. Samanta K., Jassal M., and Agrawal A., Antistatic effect of atmospheric pressure glow discharge cold plasma treatment on textile substrates, *Fiber. Polym.*, 11, 431-437, 2010.
 56. Sadova S., The use of low-temperature plasmas in wool finishing, *High Energ. Chem.*, 40, 57-69, 2006.
 57. Schutze A., Jeong J.Y., Babayan S.E., Park J., Selwyn G.S., and Hicks R.F., The Atmospheric-pressure plasma jet: A review and comparison to other plasma sources, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, 26, 1685-1694, 1998.
 58. Marcinčin A. and Jambrich M. *Textile Polypropylene Fibers: Fundamentals*, Karger-Kocsis J. (Ed.), Springer, Netherlands, 813-820, 1999.
 59. Marcinčin A., *Dyeing of Polypropylene Fibers*, Karger-Kocsis J. (Ed.), Springer, Netherlands, 172-177, 1999.
 60. Huang X., Yu H., Zhu M.F., and Chen Y.M., Blends of polypropylene and modified polystyrene for dyeable fibers, *J. Appl.*

- Polym. Sci.*, 96, 2360-2366, 2005.
61. Yan H. and Chen Y., Blends of polypropylene and hyper-branched poly(phenylene sulphide) for production of dyeable PP fibres, *Iran. Polym. J.*, 19, 791-799, 2010.
 62. Kotek R., Afshari M., Gupta B.S., Haghghat Kish M., and Jung D., Polypropylene alloy filaments dyeable with disperse dyes, *Color. Technol.*, 120, 26-29, 2004.
 63. Yu C., Zhu M., Shong X., and Chen Y., Study on dyeable polypropylene fiber and its properties, *J. Appl. Polym. Sci.*, 82, 3172-3176, 2001.
 64. Burkinshaw S.M., Froehling P.E., and Mignanelli M., The effect of hyperbranched polymers on the dyeing of polypropylene fibres, *Dyes Pigm.*, 53, 229-235, 2002.
 65. Ghoul Y.E., Martel B., Achari A.E., Campagne C., Razafimahefa L., and Vroman I., Improved dyeability of polypropylene fabrics finished with [beta]-cyclodextrin-citric acid polymer, *Polym. J.*, 42, 804-811, 2010.
 66. TehraniBagha A.R., Mousavi Shoushtari A., Malek R.M.A., and Abdous M., Effect of chemical oxidation treatment on dyeability of polypropylene, *Dyes Pigm.*, 63, 95-100, 2004.
 67. Shah C.D. and Jain D.K., Dyeing of modified polypropylene: Cationic dyes on chlorinated polypropylene, *Text. Res. J.*, 53, 274-281, 1983.
 68. Shah C.D. and Jain D.K., Dyeing of modified polypropylene: Cationic dyes on brominated polypropylene, *Text. Res. J.*, 54, 742-748, 1984.
 69. Lee S., Sarmadi M., Denes F., and Shohet J., Surface modification of polypropylene under argon and oxygen-RF-plasma conditions, *Plasmas Polym.*, 2, 177-198, 1997.
 70. López R., Pascual M., García-Sanoguera D., Sánchez-Nacher L., and Balart R., Improvement of liquid absorption properties of nonwoven polypropylene substrates by low pressure plasma treatment with CH₄-O₂ mixture gas, *Fibers Polym.*, 13, 1139-1144, 2012.
 71. Masaeli E., Morshed M., and Tavanai H., Study of the wettability properties of polypropylene nonwoven mats by low-pressure oxygen plasma treatment, *Surf. Interface Anal.*, 39, 770-774, 2007.
 72. Wang K., Wang W., Yang D., Huo Y., and Wang D., Surface modification of polypropylene non-woven fabric using atmospheric nitrogen dielectric barrier discharge plasma, *Appl. Surf. Sci.*, 256, 6859-6864, 2010.
 73. Shahidi S., Ghoranneviss M., Moazzenchi B., Rashidi A., and Dorrnian D., Effect of using cold plasma on dyeing properties of polypropylene fabrics, *Fiber. Polym.*, 8, 123-129, 2007.
 74. Rombolà G., Parisi F., Pavan C., and Daprà D., On-line atmospheric pressure plasma (APP) treatment of polypropylene fabrics, *Czech. J. Phys.*, 56, B1021-B1028, 2006.
 75. Yaman N., Improvements surface properties of polypropylene and polyester fabrics by glow discharge plasma system under atmospheric condition, *Tekst. Konfeksiyon*, 1, 45-51, 2009.
 76. Cheng C., Liye Z., and Zhan R.J., Surface modification of polymer fibre by the new atmospheric pressure cold plasma jet, *Surf. Coat. Technol.*, 200, 6659-6665, 2006.
 77. Huang F., Wei Q., Wang X., and Xu W., Dynamic contact angles and morphology of PP fibres treated with plasma, *Polym. Test.*, 25, 22-27, 2006.
 78. Hwang Y., An J., McCord M., Park S., and Kang B., The effect of etching on low-stress mechanical properties of polypropylene fabrics under helium/oxygen atmospheric pressure plasma, *Fiber Polym.*, 4, 145-150, 2003.
 79. Hwang Y.J., Mccord M.G., An J.S., Kang B.C., and Park S.W., Effects of helium atmospheric pressure plasma treatment on low-stress mechanical properties of polypropylene nonwoven fabrics, *Text. Res. J.*, 75, 771-778, 2005.
 80. McCord M.G., Hwang Y.J., Hauser P.J., Qiu Y., Cuomo J.J., Hankins O.E., Bourham M.A., and Canup L.K., Modifying Nylon and Polypropylene Fabrics with Atmospheric Pressure Plasmas, *Text. Res. J.*, 72, 491-498, 2002.
 81. Armağan O.G., Kayaoglu B.K., Karakas H.C., and Guner F.S., Adhesion strength behaviour of plasma pre-treated and laminated polypropylene nonwoven fabrics using acrylic and polyurethane-based adhesives, *J. Ind. Text.*, 43, 396-414, 2014.
 82. Jinka S., Behrens R., Korzeniewski C., Singh V., Arunachalam A., Parameswaran S., Coimbatore G., Kendall R., Wolf R., and Ramkumar S., Atmospheric pressure plasma treatment and breathability of polypropylene nonwoven fabric, *J. Ind. Text.*, 42, 501-514, 2013.
 83. Szabová R., Cernakova E., Wolfová M., and Černáka M., Coating of TiO₂ nanoparticles on the plasma activated polypropylene fibers, *Acta Chim. Slovaca*, 2, 70-76, 2009.
 84. Wei Q., Li Q., Hou D., Yang Z., and Gao W., Surface characterization of functional nanostructures sputtered on fiber substrates, *Surf. Coat. Technol.*, 201, 1821-1826, 2006.
 85. Wei Q., Mather R., Wang X., and Fotheringham A., Functional nanostructures generated by plasma-enhanced modi-

- fication of polypropylene fibre surfaces, *J. Mater. Sci.*, 40, 5387-5392, 2005.
86. Wei Q., Wang Y., Wang X., Huang F., and Yang S., Surface nanostructure evolution of functionalized polypropylene fibers, *J. Appl. Polym. Sci.*, 106, 1243-1247, 2007.
87. Wei Q., Xu Q., Cai Y., and Wang Y., Evaluation of the interfacial bonding between fibrous substrate and sputter coated copper, *Surf. Coat. Technol.*, 202, 4673-4680, 2008.
88. Yaman N., Özdoğan E., and Seventekin N., Effect of surrounded air atmospheric plasma treatment on polypropylene dyeability using cationic dyestuffs, *Fiber. Polym.*, 14, 1472-1477, 2013.
89. Lin W. and Hsieh Y.L., Ionic absorption of polypropylene functionalized by surfacegrafting and reactions, *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, 35, 631-642, 1997.
90. Sarmadi M., Ying T.H., and Denes F., Surface modification of polypropylene fabrics by acrylonitrile cold plasma, *Text. Res. J.*, 63, 697-705, 1993.
91. Saxena S., Ray A.R., and Gupta B., Graft polymerization of acrylic acid onto polypropylene monofilament by RF plasma, *J. Appl. Polym. Sci.*, 116, 2884-2892, 2010.
92. Saxena S., Ray A.R., and Gupta B., Chitosan immobilization on polyacrylic acid grafted polypropylene monofilament, *Carbohydr. Polym.*, 82, 1315-1322, 2010.
93. Gawish S.M., Matthews S.R., Wafa D.M., Breidt F., and Bourham M.A., Atmospheric plasma-aided biocidal finishes for nonwoven polypropylene fabrics. I. Synthesis and characterization, *J. Appl. Polym. Sci.*, 103, 1900-1910, 2007.
94. Wafa D.M., Breidt F., Gawish S.M., Matthews S.R., Donohue K.V., Roe R.M., and Bourham M.A., Atmospheric plasma-aided biocidal finishes for nonwoven polypropylene fabrics. II. Functionality of synthesized fabrics, *J. Appl. Polym. Sci.*, 103, 1911-1917, 2007.
95. Gupta B. and Saxena S. Ray A., Plasma induced graft polymerization of acrylic acid onto polypropylene monofilament, *J. Appl. Polym. Sci.*, 107, 324-330, 2008.
96. Zhang S., Cheng C., Lan Y., and Meng Y., A Comparative study of hydrophilic modification of polypropylene membranes by remote and direct ar plasma, *Plasma Sci. Technol.*, 11, 576-581, 2009.
97. Labay C., Canal C., and Garcia-Celma M., Influence of corona plasma treatment on polypropylene and polyamide 6.6 on the release of a model drug, *Plasma Chem. Plasma Process.*, 30, 885-896, 2010.
98. Haji A., Mousavi Shoushtari A., and Abdouss M., RSM optimization of plasma initiated grafting of acrylic acid onto polypropylene nonwoven, *J. Macromol. Sci., Part A: Pure Appl. Chem.*, 51, 76-87, 2014.
99. Haji A., Mousavi Shoushtari A., and Abdouss M., Plasma activation and acrylic acid grafting on polypropylene nonwoven surface for the removal of cationic dye from aqueous media, *Desal. Water Treat.*, 53, 3632-3640, 2015.

An Introduction to Plasma Treatment and Its Applications in Surface Modification of Polypropylene Fibers

Aminodin Haji^{1*} and Ahmad Mousavi Shoushtari²

1. Textile Engineering Department, Birjand Branch, Islamic Azad University, Postal Code: 9717711111, Birjand, Iran
2. Textile Engineering Department, Amirkabir University of Technology, P.O. Box: 15875-4413, Tehran, Iran

Received 19 January 2015; Accepted 18 March 2015

Abstract

Plasma treatment is a fast and environmentally friendly process for surface modification of polymeric and textile materials. In this study, the various types of plasma treatment are introduced and the most effective parameters on the treatment are discussed. Furthermore, the application of cold plasma treatment on textile goods is briefly discussed and the research works on modification of polypropylene fibers are reviewed. The cold plasma treatment can improve the wettability, water absorption and adhesion of polypropylene fibers. The plasma treatment has been also used for grafting of different monomers, drug, and nanoparticles on the surface of polypropylene fibers.

Keywords

plasma,
polypropylene,
surface modification,
grafting,
wettability

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