

بررسی اثر پلاسمای سرد و کم فشار بر خواص رطوبتی پارچه پلی استر

Study of Low Pressure Cold Plasma on Moisture Properties of Polyester Fabric

الهه مسائلی، صدیقه برهانی*

اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده نساجی، کد پستی ۸۴۱۵۶

دریافت: ۸۵/۴/۲۶، پذیرش: ۸۵/۱۰/۱۲

چکیده

یکی از روشهای نسبتاً جدید برای بهبود خواص سطح مواد، عمل‌آوری آنها با پلاسماست. عمل‌آوری با پلاسمای سرد و کم فشار مقرون به صرفه و مفید برای اصلاح و تغییر سطح پلیمرها در ابعاد میکروسکوپی بدون استفاده از روشهای شیمیایی و عملیات دستی است. در این پژوهش، تغییر خواص رطوبتی پارچه پلی استر عمل‌آوری شده با دو نوع پلاسمای هوا و اکسیژن بررسی شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که عمل‌آوری با پلاسمای هوا باعث افزایش خواص پخش قطره آب، انتقال آب و رسانش الکتریکی الیاف می‌شود. اما، این روش بر رطوبت بازیافتی الیاف اثری ندارد. همچنین، تصاویر میکروسکوپی الکترون پویشی نشان می‌دهد که پلاسمای سرد و کم فشار در ابعاد میکرون نیز اثرگذار است.

واژه‌های کلیدی

عمل‌آوری با پلاسمای سرد و کم فشار،
ترشوندگی، خواص رطوبتی،
رسانش الکتریکی

مقدمه

پلاسماست. عمل‌آوری سطوح مختلف به ویژه پلیمرها به روش پلاسمای سرد و کم فشار در دهه اخیر به طور گسترده‌ای پیشرفت کرده است. با توجه به آزمایشها و پژوهشهای انجام شده به نظر می‌رسد با این روش بتوان مشکلات زیست محیطی را با انجام فرایندها در محیط خشک برطرف کرد.

دهه‌های اخیر تحولات عظیمی در روشهای مختلف بهبود و تغییر خواص سطح مواد ایجاد شده است. ویژگی مهم و اساسی این فناوریها، امکان تغییر خواص سطح مواد بدون تغییر در خواص توده ماده است. از جمله روشهای بهبود خواص سطح مواد، عمل‌آوری سطح با

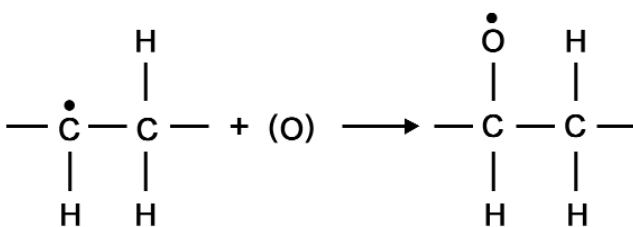
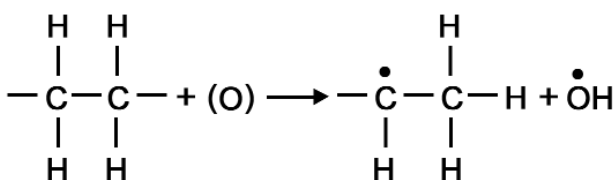
Key Words

plasma treatment, polyester,
wetting, moisture properties,
electric conduction

اطلاعات مربوط به اثر عمل آوری با پلازما روی الیاف پلی استر بیشتر معطوف به پلاسمای سرد در فشار جو است. از پلازما به منظور افزایش خاصیت ترشوندگی و جذب رنگ الیاف پلی استر نیز استفاده می شود. هر چند با استفاده از گازهایی مانند CF_4 و CHF_3 می توان خاصیت جذب آب الیاف را کاهش داد. تجزیه اتمهای سطح به روش طیف بینی الکترونی (ESCA) و حتی FTIR، وجود گروههای $C=O$ ، $COOH$ ، OH و CH را روی سطح الیاف پلی استر عمل آوری شده با پلاسمای اکسیژن تأیید کرده است [۴].

نتایج به دست آمده از اثر پلازما روی الیاف پلی استر نشان دهنده افزایش خواص آبدوستی این الیاف با گازهای هوا، اکسیژن، هلیوم و آرگون و کاهش خواص آبدوستی با گازهای CF_4 ، CHF_3 و $CClF_3$ است [۹-۶].

در پژوهشهای انجام شده خلل و فرج ایجاد شده در سطح الیاف بر اثر خوردگی ناشی از پلازما و همچنین ایجاد گروههای قطبی آبدوست در سطح الیاف بر اثر اکسایش سطحی نمونه، دلایل افزایش ترشوندگی ذکر شده اند [۱۰]. همچنین، اظهار شده است که اکسیژن اتمی آغازکننده واکنشهای اکسایش در پلازماست و ساز و کار زیر برای هیدروژن زدایی انجام شده به وسیله عمل آوری با پلاسمای اکسیژن روی زنجیر پلیمری که موجب ایجاد گروههای آلکوکسی می شود، پیشنهاد شده است [۱۱]:



واکنش ایجاد گروه آلکوکسی روی زنجیر پلیمر به وسیله اکسیژن

عمل آوری با پلازما روشی مقرون به صرفه و مفید برای اصلاح و تغییر سطح پلیمر در ابعاد میکروسکوپی بدون استفاده از مواد و روشهای شیمیایی و عملیات دستی است. با این روش امکان تمیز کردن، واکنش پذیر کردن و طراحی یا تغییر سطح مواد پلاستیکی، فلزی و سرامیکی برای بهبود خواص پیوندپذیری یا به دست آوردن خواص سطحی جدید به طور کاملاً کنترل شده فراهم می شود [۳-۱].

واژه پلازما به گاز یون شده ای اطلاق می شود که همه اتمهای آن یا بخش قابل توجهی از آنها یک یا چند الکترون از دست بدهند و به یونهای مثبت تبدیل شوند. به طور کلی پلازما به دو روش سرد و داغ دسته بندی می شود.

پلاسمای داغ، پلاسمایی است که دارای الکترونها و اجزای اتمی و مولکولی در دمای خیلی زیاد و یکسان است و با عنوانهای دیگری چون پلازما با یونش زیاد، پلاسمای تعادلی و پلازما با دمای زیاد نیز نامیده می شود. این نوع پلازما به وسیله قوسهای الکتریکی، واکنشهای گرما- هسته ای و تحریک لیزری ایجاد می شود. در این نوع پلازما محدوده دمایی برای تمام اجزا از چند ده هزار تا پنجاه هزار درجه کلونین تغییر می کند [۴].

پلاسمای سرد، پلاسمایی است که دارای الکترونیایی با دمای زیاد و اجزای اتمی و مولکولی در دمای کم است، این روش پلازما با یونش کم، پلاسمای غیرتعادلی و پلازما با دمای کم نیز نامیده می شود. اصولاً در پلاسمای سرد، دمای الکترونها تا چند ده هزار کلونین و دمای سایر اجزا که همان دمای کلی گاز است در حدود دمای محیط تا چند صد درجه کلونین است [۴].

پلازما به طور کلی از تخلیه الکتریکی در فشار جو یا فشار کم ایجاد می شود. بر این اساس دو نوع پلازما در شیمی کار برد دارند که عبارتند از [۵]:

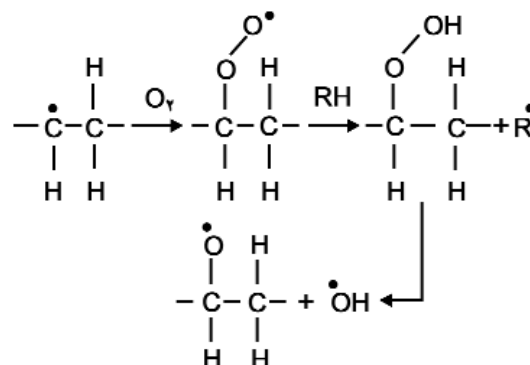
- پلازما در فشار کم یا خلأ
- پلازما در فشار جو

از اوایل دهه ۱۹۵۰ پژوهشها برای اصلاح پلی استرها شروع شده است. الیاف پلی استر اصلاح شده بخش عمده ای از پلی استر تولیدی را تشکیل می دهند. این الیاف در مقایسه با پلی استر معمولی از نظر کاربردی خواص بهتری دارند. از معایب الیاف پلی اتیلن ترفتالات می توان به جذب آب بسیار کم، تمایل زیاد به تشکیل پرز و الکتریسیته ساکن و رنگرزی مشکل آنها اشاره کرد. هدف از اصلاح این الیاف بر طرف کردن یک یا تمام این موارد است [۵].

مولکولی نیز مطابق زیر است :

جدول ۱ مشخصات پارچه پلی استر استفاده شده در این پژوهش.

وزن واحد سطح (g/m ²)	نمره متریک نخ		تراکم در سانتیمتر		نوع بافت
	تار	پود	تار	پود	
۱۳۱	۲۶/۸۷	۲۴/۰۵	۲۵	۲۱	تافته



دستگاهها

برای عمل آوری با پلازما از کوره پلاسمای RF ساخت مرکز پژوهشی - مهندسی سطح ایران واقع در شهرک علمی - تحقیقاتی اصفهان استفاده شده است. برای اندازه گیری مقاومت الکتریکی نمونه ها از دستگاه Static Voltmeter R-۴۰۲۱ ساخت شرکت سوئسی Rothschild، برای بررسی طیف FTIR نمونه ها از دستگاه Michelson MB Series ساخت شرکت Bomen Hartmann & Broun و به منظور بررسی شکل شناسی سطح نمونه ها از میکروسکوپ الکترونی پوشی مدل XL ۳۰ ساخت شرکت Philips استفاده شده است.

پیوند آلكوكسى ايجاد شده ناپايدار است و طبق واكنش زير به گروه كربول تجزيه مي شود:

روشها

انتخاب نمونه ها

برای عمل آوری با پلازما، ابتدا نمونه هایی به ابعاد ۲۸ × ۲۸ cm از پارچه بریده شد، سپس نمونه ها در شرایط استاندارد (دمای ۲۰°C و ۶۵ درصد رطوبت نسبی) قرار گرفتند.

جدول ۲ شرایط عمل آوری با پلازما.

نوع گاز	توان (W)	زمان (min)
هوا	۲۰۰	۱، ۳، ۶، ۱۰، ۱۵
هوا	۱۰۰	۶
هوا	۵۰۰	۶
اکسیژن	۲۰۰	۳، ۶، ۱۰

بررسیها نشان می دهد که اثر پلازما روی پلیمر نامحدود نبوده و گذشت فقط چند ساعت منجر به کاهش آثار آبدوستی ایجاد شده می شود. علت این موضوع به فرار رادیکالهای آبدوست از سطح پلیمر و ناپایداری برخی گروههای فعال ایجاد شده نسبت داده شده است [۱۲]. در این پژوهش، اثر عمل آوری با پلازما روی خواص رطوبتی پارچه های پلی استری بررسی شده است. همچنین، اثر متغیرهایی نظیر توان و زمان عمل آوری و نوع گاز به کار رفته بر خواص یاد شده ارزیابی شده است.

تجربی

مواد

مشخصات پارچه پلی استری استفاده شده در جدول ۱ آمده است.

در این معادله R مقاومت الکتریکی پارچه بر حسب اهم و t مدت زمان اندازه‌گیری شده بر حسب ثانیه است.

اندازه‌گیری مقدار رطوبت بازیافتی

نمونه‌های عمل‌آوری شده با پلازما، ابتدا در شرایط استاندارد توزین و سپس به مدت ۳۵ min داخل گرمخانه با دمای ۱۲۰°C قرار داده شدند. نمونه‌ها پس از خارج شدن از گرمخانه و قرار گرفتن در خشکانه دارای سیلیکاژل به مدت ۵ min مجدداً توزین شدند. رطوبت بازیافتی نمونه‌ها با توجه به معادله (۲) محاسبه شد:

$$(2) \times 100 = \frac{\text{وزن نمونه خشک} - \text{وزن نمونه مرطوب}}{\text{وزن نمونه خشک}} \text{ درصد رطوبت بازیافتی}$$

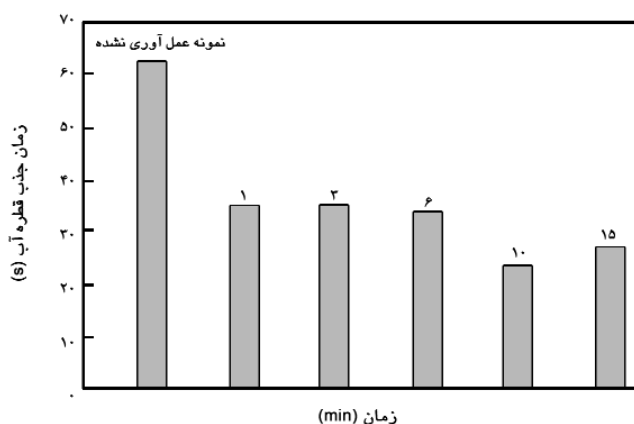
بررسی‌های آماری

معنی دار بودن مقایسه میانگینها با آزمون واریانس تک‌راهی (one way) کراسکال والیس و آنالیز واریانس تک‌راهی توکی (Tukey) در سطح اطمینان ۰/۰۵ انجام شد.

نتایج و بحث

بررسی خاصیت پخش قطره آب

شکل‌های ۱ تا ۴ نتایج مدت زمان جذب قطره آب الیاف پلی استر را بعد از عمل‌آوری با پلازما نشان می‌دهند. با توجه به نتایج ملاحظه می‌شود که



شکل ۱ اثر زمان عمل‌آوری با پلاسمای هوا و توان ۲۰۰ W بر خاصیت پخش قطره آب الیاف پلی استر.

عمل‌آوری با پلازما

عمل‌آوری با پلازما در شرایط متغیر شامل زمان، توان و نوع گاز پلازما در کوره پلازما انجام شد. شرایط مختلف این عملیات در جدول ۲ ذکر شده است. مطابق این جدول اثر دو نوع گاز اکسیژن و هوا، توان تخلیه (۵۰۰ W و ۲۰۰، ۱۰۰) و زمان عمل‌آوری (۱، ۳، ۶ و ۱۰ min) روی نمونه‌ها بررسی شده است.

اندازه‌گیری خاصیت پخش قطره آب

اندازه‌گیری خاصیت پخش قطره آب مطابق با استاندارد BS ۴۵۵۴ برای تعیین مقدار نفوذپذیری آب موجود در پارچه، انجام شده است [۱۳]. در این روش ابتدا، نمونه در شرایط استاندارد (۶۵ درصد رطوبت نسبی و دمای ۲۱°C) قرار گرفت. سپس با قرار دادن نمونه یاد شده روی دهانه بشر، قطره‌ای آب به وسیله لوله مدرج (buret) روی سطح نمونه ریخته و از زاویه ۴۵ درجه ناپدید شدن قطره از سطح نمونه بررسی شد. مدت زمانی که قطره آب از روی سطح منسوج محو می‌شود نشان‌دهنده مقدار نفوذپذیری آب در پارچه است.

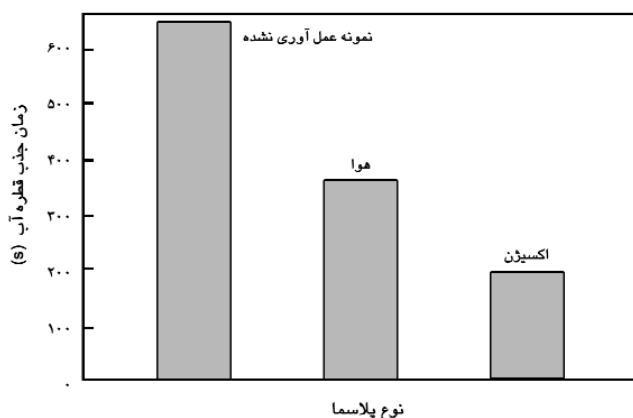
اندازه‌گیری خاصیت انتقال آب

برای اندازه‌گیری قدرت انتقال آب، نمونه‌هایی به ابعاد ۳×۱۵ cm بریده و ۱ cm آنها داخل آب قرار داده شدند. مدت زمان بالا آمدن آب از نوار پارچه‌ای تا ارتفاع ۳ cm نوار که نشان‌دهنده قدرت انتقال آب منسوج است، اندازه‌گیری شد [۱۴، ۱۵].

اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی

برای اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی به منظور تعیین الکتریسیته ساکن، ابتدا نمونه‌هایی به ابعاد ۱×۱۵ cm بریده و به مدت ۲۴ h در شرایط استاندارد (۶۵ درصد رطوبت نسبی و دمای ۲۰°C) قرار داده شدند. سپس، الکتروود مناسب را روی پایانه ورودی دستگاه قرار داده و نمونه بین دو فنر آن قرار داده شد. پس از آن بخش جداسازی شده پایانه ورودی تا ۱۵۰ V شارژ شد. زمان تخلیه شارژ به وسیله زمان‌سنج از لحظه اعمال ولتاژ تا لحظه‌ای که تنش به نصف مقدار کاهش یابد، اندازه‌گیری شد. مقدار مقاومت سطحی از معادله (۱) به دست می‌آید:

$$R = 10^{11} \times t \quad (1)$$

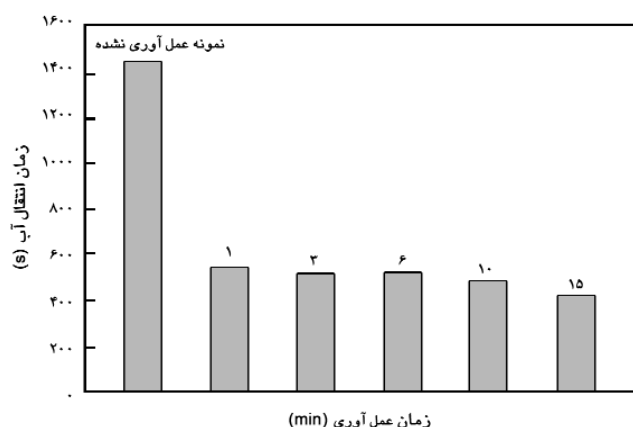


شکل ۴ اثر نوع گاز پلاسما بر مدت زمان پخش قطره آب روی نمونه‌های پلی استر عمل آوری شده با پلاسما در توان ۲۰۰ W به مدت ۶ min.

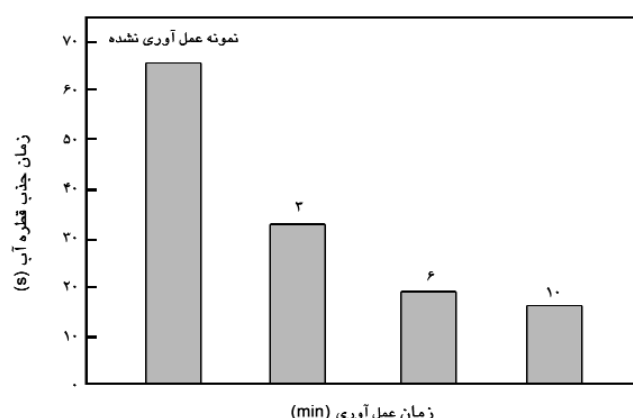
با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود که پلاسمای اکسیژن نسبت به پلاسمای هوا قابلیت ترشوندگی پلی استر را به مقدار بیشتری افزایش داده است. همچنین، در بررسیهای آماری تفاوت میان نمونه‌های عمل آوری شده در اکسیژن و هوا به اثبات رسیده است.

بررسی خاصیت انتقال آب

نتایج حاصل از اندازه‌گیری زمان انتقال آب نمونه‌ها پس از عمل آوری با پلاسما در شرایط مختلف در شکل‌های ۵ تا ۸ مشاهده می‌شود. در پلاسمای هوا افزایش زمان عمل آوری اثر معنی داری بر مدت زمان انتقال آب ندارد، ولی در پلاسمای اکسیژن با افزایش زمان عمل آوری، زمان انتقال آب به طور معنی داری کاهش یافته است. از نتایج به دست آمده



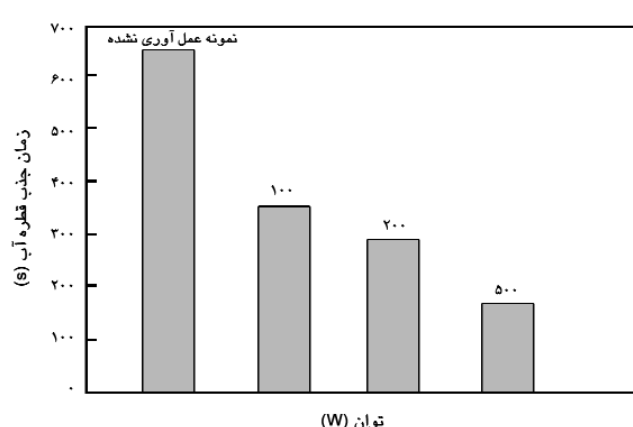
شکل ۵ اثر مدت زمان عمل آوری بر خاصیت انتقال آب الیاف پلی استر با پلاسمای هوا و توان ۲۰۰ W.



شکل ۲ اثر زمان عمل آوری با پلاسمای اکسیژن و توان ۲۰۰ W بر خاصیت پخش قطره آب الیاف پلی استر.

عمل آوری پلاسما باعث کاهش زمان جذب قطره روی الیاف پلی استر می‌شود. افزایش مدت زمان عمل آوری باعث کاهش مدت زمان پخش قطره و افزایش مقدار نفوذپذیری آب در الیاف پلی استر می‌شود. در پلاسمای اکسیژن با افزایش مدت زمان عمل آوری، زمان جذب قطره به طور محسوسی افزایش یافته است، در حالی که افزایش مدت زمان عمل آوری در پلاسمای هوا اثر کمتری بر ترشوندگی الیاف دارد و با بررسیهای آماری نیز نتایج تأیید شده است.

در شکل ۳ اثر توان پلاسما بر ترشوندگی الیاف مشاهده می‌شود، ملاحظه می‌شود که با افزایش توان پلاسما ترشوندگی الیاف افزایش یافته است. با بررسیهای آماری تفاوت میان نمونه‌های عمل آوری شده در توانها مختلف تأیید شده است.



شکل ۳ اثر توان تولید پلاسما بر خاصیت پخش قطره آب الیاف پلی استر در پلاسمای هوا به مدت ۶ min.

جدول ۳ اثر عمل آوری با پلاسما بر رطوبت بازیافتی پلی استر.

رطوبت بازیافتی (%)	نمونه پلی استر
۰/۲۱	عمل آوری نشده
۰/۲۰۶	عمل آوری شده با پلاسمای هوا (۶ min)
۰/۲۶	عمل آوری شده با پلاسمای اکسیژن (۶ min)

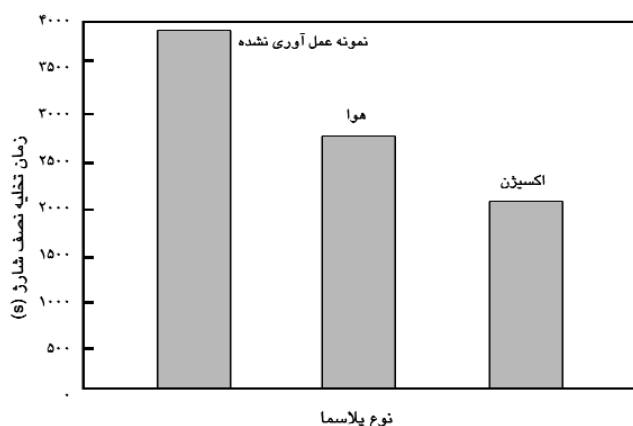
در شکل ۷ می توان اظهار داشت که افزایش توان پلاسما با افزایش خاصیت انتقال آب همراه است. با توجه به شکل ۸ ملاحظه می شود قابلیت انتقال آب در نمونه عمل آوری شده با پلاسمای اکسیژن به مقدار جزئی بیش از نمونه عمل آوری شده با پلاسمای هواست.

بررسی رطوبت بازیافتی نمونه ها

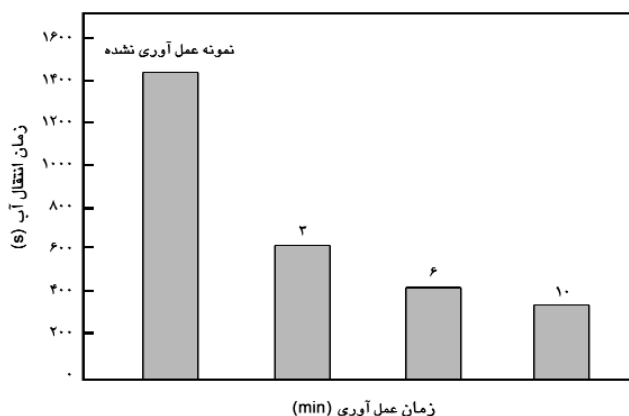
در بررسی نتایج مندرج در جدول ۳ مشاهده می شود که عمل آوری با پلاسما اثر محسوسی بر مقدار جذب رطوبت بازیافتی پلی استر ندارند. به دلیل اینکه عمل آوری با پلاسما محدود به سطح الیاف است و طی آن خواص توده الیاف تغییری نمی کند، انتظار می رود که این عمل آوری روی رطوبت بازیافتی الیاف اثری نداشته باشد. عدم اثر این عمل آوری بر رطوبت بازیافتی به کمک آزمونهای آماری تأیید شده است.

بررسی مقاومت الکتریکی نمونه ها

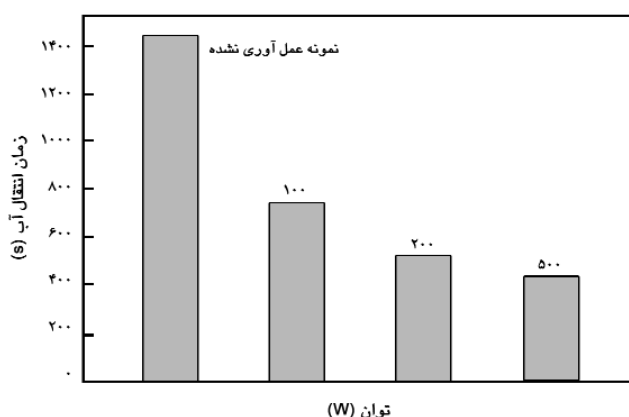
نتایج حاصل از اندازه گیری مقاومت الکتریکی نمونه ها در شکل ۹ نشان



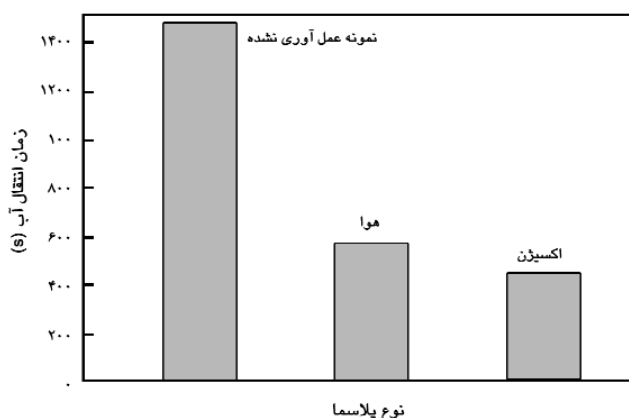
شکل ۹ اثر عمل آوری با پلاسما و توان ۲۰۰ W به مدت ۶ min بر مقاومت الکتریکی الیاف پلی استر.



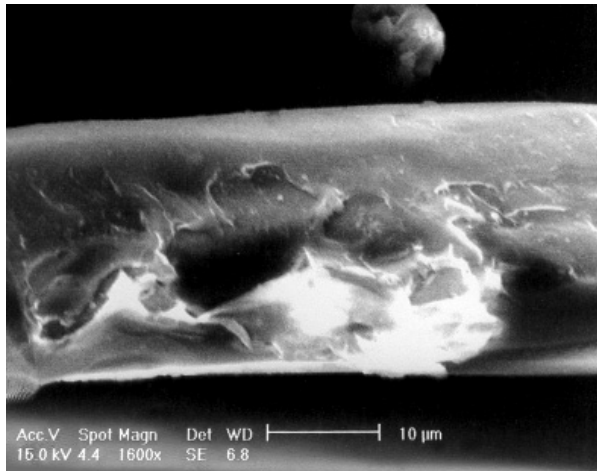
شکل ۶ اثر زمان عمل آوری بر خاصیت انتقال آب الیاف پلی استر با پلاسمای اکسیژن و توان ۲۰۰ W.



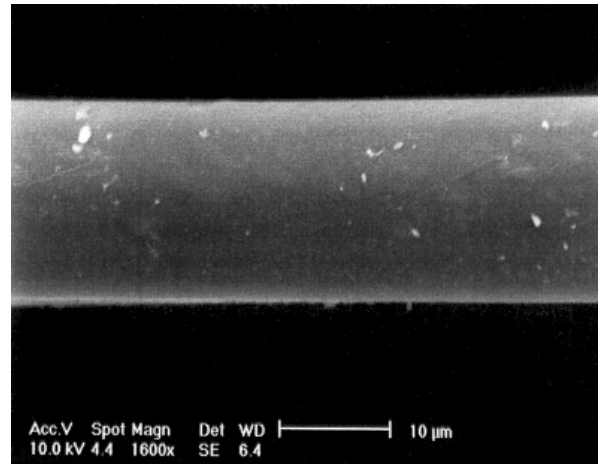
شکل ۷ اثر توان تولید پلاسما بر خاصیت انتقال آب الیاف پلی استر در پلاسمای هوا به مدت ۶ min.



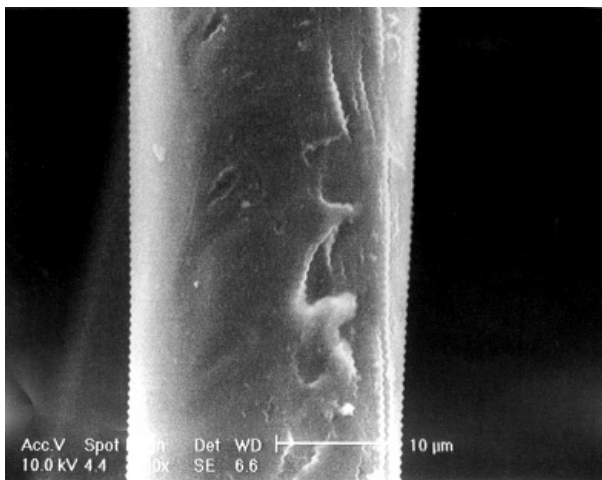
شکل ۸ اثر نوع گاز پلاسما بر زمان انتقال آب نمونه های پلی استر عمل آوری شده با پلاسما به مدت ۶ min و توان ۲۰۰ W.



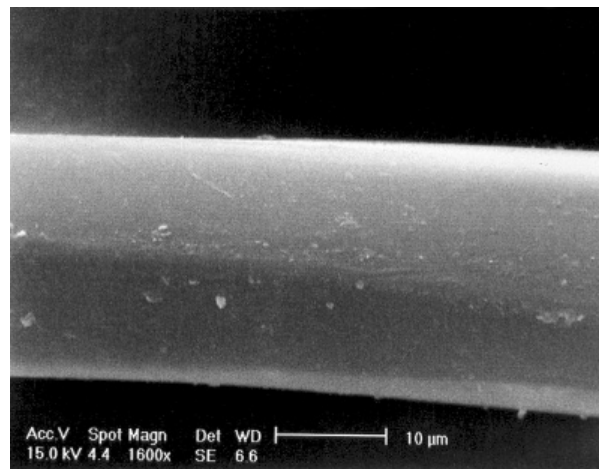
(ج)



(الف)



(د)



(ب)

شکل ۱۰ عکسهای میکروسکوپ الکترون پویشی الیاف پلی استر: (الف) عمل آوری نشده، (ب) عمل آوری شده به مدت ۶ min در پلاسمای هوا با توان ۲۰۰ W، (ج) عمل آوری شده به مدت ۶ min در پلاسمای اکسیژن با توان ۲۰۰ W و (د) عمل آوری شده به مدت ۶ min در پلاسمای هوا با توان ۵۰۰ W.

بررسی طیف FTIR نمونه‌ها

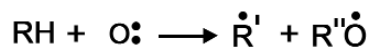
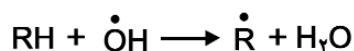
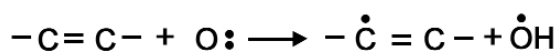
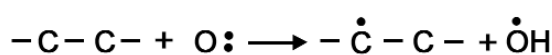
در مقایسه طیف FTIR نمونه‌های عمل آوری شده با پلاسمای هوا با نمونه عمل آوری نشده تفاوت خاصی مشاهده نمی‌شود، همچنین نمونه‌های عمل آوری شده با پلاسمای فاقد هر نوع پیک مربوط به گروه‌های آبدوست هستند. همان‌طور که قبلاً گفته شد عمل آوری با پلاسمای چنانچه منجر به ایجاد گروه‌های آبدوست در الیاف شود، این گروه‌ها فقط در سطح الیاف ایجاد می‌شوند. از این رو، در نمونه‌گیری برای طیف FTIR از الیافی که به حالت پودر درآمده‌اند، طیف مربوط به توده نمونه‌ها و نه سطح آنهاست. به همین دلیل امکان مشاهده این گروه‌ها بسیار ناچیز است.

داده شده است. مشاهده می‌شود که با عمل آوری پلی استر به وسیله پلاسمای مقاومت الکتریکی الیاف به دلیل افزایش خاصیت آبدوستی آن کاهش یافته است. مولکولهای آب جذب شده به تخلیه بار الکتریکی کمک می‌کنند، به همین دلیل سرعت تخلیه بار الکتریکی در الیاف عمل آوری شده با پلاسمای نسبت به الیاف عمل آوری نشده بیشتر است. همچنین، از آنجا که عمل آوری با پلاسمای اکسیژن اثر بیشتری بر آبدوستی الیاف می‌گذارد، مدت زمان تخلیه بار در نمونه عمل آوری شده با پلاسمای اکسیژن بیشتر است. بررسیهای آماری نیز وجود اختلاف معنی دار را نشان می‌دهد.

بررسی شکل‌شناسی سطح نمونه‌ها

با توجه به عکسهای میکروسکوپ الکترون پویشی (شکل ۱۰)، مشاهده می‌شود که عمل آوری الیاف با پلازما باعث تخریب سطح نمونه‌ها شده است. علت تخریب سطح الیاف، اکسایش سطح آنهاست که به وسیله ذرات باردار پلازما انجام شده است.

ساز و کارهای متفاوتی برای واکنشهای تخریب پلیمر به وسیله پلازما ارائه شده است. جزء اساسی تخریب در همه این واکنشها اکسیژن اتمی یا رادیکال آزاد اکسیژن است. اتم اکسیژن به سطح پلیمر حمله می‌کند و واکنشهای زیر منجر به تخریب آن می‌شود [۱۶]:



در این واکنشها وجود رادیکالهای پلیمری و شکست زنجیر پلیمری دیده می‌شود، که به معنی تخریب سطح پلیمر در اثر پلازماست. همچنین، مشاهده می‌شود که پلاسمای اکسیژن نسبت به پلاسمای هوا اثر بیشتری بر سطح الیاف داشته است و با افزایش توان عمل آوری مقدار خوردگیها افزایش یافته است.

نتیجه گیری

در این پژوهش، تغییر خواص رطوبتی پارچه پلی استر عمل آوری شده با

دو نوع پلاسمای هوا و اکسیژن بررسی شده است. با توجه به نتایج به دست آمده ملاحظه می‌شود که عمل آوری با پلازما به دلیل ایجاد خلل و فرج در سطح الیاف باعث افزایش خواص آبدوستی پلی استر می‌شود. با افزایش مدت زمان عمل آوری و توان تخلیه الکتریکی، خواص آبدوستی الیاف نیز افزایش می‌یابد.

اثر عمل آوری با پلاسمای اکسیژن روی خواص آبدوستی پلی استر بیشتر از پلاسمای هواست. همچنین، اثر مدت زمان عمل آوری بر خواص آبدوستی در پلاسمای اکسیژن محسوس تر از پلاسمای هواست.

عمل آوری با پلازما باعث کاهش مدت زمان نفوذ آب، مدت زمان انتقال آب در نمونه و مقاومت الکتریکی پارچه پلی استر می‌شود، ولی این عمل آوری بر مقدار رطوبت بازیافتی پلی استر اثر محسوسی ندارد، زیرا همان طور که اشاره شد این اصلاح خواص در سطح الیاف است و خواص توده را تغییر نمی‌دهد.

دلیل افزایش خواص آبدوستی پلی استر به وسیله پلازما، خوردگیهای سطحی الیاف است که به وسیله میکروسکوپ الکترون پویشی مشاهده شده است.

همچنین، از آنجاکه در طیف FTIR، گروههای آبدوست ظاهر نشدند و در رنگرزی با رنگ بازی هم افزایش جذب رنگ بسیار نامحسوس بود، می‌توان نتیجه گرفت که چنانچه گروههای آبدوستی در اثر این عمل آوری ایجاد شده باشند، مقدار آنها بسیار ناچیز و تنها محدود به سطح الیاف است.

قدردانی

بدین وسیله از همکاریهای مرکز پژوهش و مهندسی سطح ایران واقع در شهرک علمی - تحقیقاتی اصفهان به‌ویژه جناب آقای دکتر اشرفی زاده و جناب آقای مهندس دهاقین برای انجام آزمایشهای پلازما تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

1. Palmers J., Surface Modification Using Low-pressure Plasma Technology, *Medical Device & Diagnostic Industry Magazine*, 2000.
2. Hocker H., Plasma Treatment of Textile Fibers, *Pure Appl.Chem.*, **74**, 423-427, 2002.
3. Poll H.U. , Schladitz U. and Schreiter S. , Penetration of Plasma Effects into Textile Structures, *Surface Coat. Technol.*, **142**, 489-493, 2001.
4. Izadan H., *Application of Plasma in Textile Industry*, MSc Seminar, Textile Department, Isfahan University of

- Technology, 1996.
5. Tavanaei H., *Man-made Fibers*, 1st ed., Ardekan, Iran, 89-160, 1998.
 6. Dai X.J. and Kviz L., *Study of Atmospheric and Low Pressure Plasma Modification on the Surface Properties of Synthetic and Natural Fibers*, Textile Institute 81st World Conference, Melbourne, Australia, April 2001.
 7. 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.
 8. Wakida T., Tokino S., Niu S. and Kawaamura H., Surface Characterization of Wool and Poly(ethylene terephthalate) Fabrics and Film Treated with Low Temperature Plasma under Atmospheric Pressure, *Text. Res. J.*, **63**, 433-438, 1993.
 9. Zhang D., Sun Q., Rongguo Z. and Wadsworth L.C., Dyeing PET and PP Nonwovens Using Water Soluble Dyes, *Text. Chem. Color. Am. Dyestuff Report.*, **32**, 32-36, 2000.
 10. Bhat N.V. and Benjamin Y.N., Surface Resistivity Behavior of Plasma Treated and Plasma Grafted Cotton and Polyester Fabrics, *Text. Res. J.*, **69**, 38-42, 1999.
 11. Egitto F.D. and Matienzo L.J., Plasma Modification of Polymer Surfaces for Adhesion Improvement, *IBM J. Res. Developmen.*, **38**, 423-439, 1994.
 12. Stahel P., Janca J. and Subedi P., Surface Modification of Non-fabricated Polypropylene Textile in Low-temperature Plasma at Atmospheric Pressure, Department of Physical Electronics, Masaryk University, Kot, [http://www.ut.ee/hakone8/papers/t7stahel\(tp\)](http://www.ut.ee/hakone8/papers/t7stahel(tp)), available in 2002.
 13. Determination of Wettability of Textile Fabrics, *British Standard Institution*, 4/204-4/210, 1974.
 14. Ferrero F., Wettability Measurement on Plasma Treated Synthetic Fabrics by Capillary Rise Method, *Polym. Test.*, **22**, 571-578, 2003.
 15. Malek R.M.A and Holme I., The Effect of Cold Plasma Treatment on Some Properties of Cotton Fibers, *6th Asian Textile Conference*, Hong Kong, 2001.
 16. Egitto F.D., Plasma Etching and Modification of Polymers, *Pure Appl.Chem.*, **62**, 1699-1708, 1999.