

# اثر پلاسمای اکسیژن بر پوشش دهی پلی استر با نانومیله‌های مخروطی مس

## Effect of Oxygen Plasma on the Polyester Coating with Conical Copper Nanorods

مهديه اردشیری لاجیمی<sup>۱</sup>، محمود صابری مطلق<sup>۲</sup>، وحید متقی طلب<sup>۱</sup>

۱- رشت، دانشگاه گیلان، دانشکده فنی و مهندسی، صندوق پستی ۳۷۵۶

۲- رشت، پارک علم و فناوری استان گیلان، صندوق پستی ۱۷۱۹-۱۶۳۵

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۹/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۱۷

### چکیده

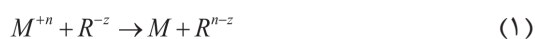
مطالعه حاضر، روی مقدار اثر فرایندهای مقدماتی بر خواص فیزیکی و شکل‌شناسی سطحی پارچه پوشش داده شده با نانوذرات مس متمرکز شده است. مراحل آماده‌سازی مقدماتی پارچه به دو روش آبکافت قلیایی و نیز حکاکی سطح با پلاسمای اکسیژن انجام شد. لایه‌نشانی نانوذرات مس با کاهش شیمیایی یون‌های مس از محلول نمک فلزی آن با استفاده از عامل کاهنده انجام شد. روش‌های میکروسکوپ الکترونی پویشی و طیف‌سنجی زیرقرمز تبدیل فوریه برای بررسی دقیق ساختار شیمیایی و نیز شکل‌شناسی سطحی استفاده شد. مقاومت الکتریکی سطحی با دستگاه چهار کاونده‌ای اندازه‌گیری شد. تصاویر میکروسکوپی به شکل جالبی حاکی از تشکیل نانومیله‌های مخروطی مس برای پارچه عمل‌آوری شده با پلاسمای اکسیژن است. در مقایسه، پارچه عمل‌آوری شده با آبکافت قلیایی ذرات شبه‌کروی را در تصویر میکروسکوپی به‌خوبی نشان می‌دهند. نتایج طیف‌سنجی زیرقرمز برای پارچه عمل‌آوری شده با پلاسمای اکسیژن پیک شدیدتری را برای گروه عاملی هیدروکسیل در مقایسه با پارچه عمل‌آوری شده با قلیا نشان می‌دهد. نتایج تجربی، تشکیل پوششی یکنواخت از نانومیله‌های مس با مقاومت سطحی کمتر را برای پارچه عمل‌آوری شده با پلاسمای در مقایسه با پارچه عمل‌آوری شده با قلیا تأیید می‌کند.

### مقدمه

مهم‌ترین مزیت روش لایه‌نشانی کاهشی، امکان پوشش سطوح مواد نارسانا با فلزات یا آلیاژهای فلزی است. زیرا، در این روش از جریان الکتریکی برای لایه‌نشانی استفاده نمی‌شود. در لایه‌نشانی کاهشی امکان پوشش سطوح با هر شکلی وجود دارد. در این روش، تمام خلل‌و فرج بستر به‌طور یکنواخت با فلز پوشش داده می‌شود، به‌طوری که ضخامت لایه فلز در تمام سطح پوشش داده شده اعم از برآمدگی‌ها و فرورفتگی‌ها تقریباً یکسان بوده و نیز تراکم فلز پوشاننده شده در این روش از سایر روش‌ها بیشتر است [۳].

به علت رسانایی زیاد مس، فرایند لایه‌نشانی

لایه‌نشانی کاهشی، روش شیمیایی متداول برای پوشش سطوح با لایه‌ای از فلز، بدون استفاده از منبع جریان الکتریکی خارجی است. در این روش، یون فلز در محلول آبی در مجاورت ماده کاهنده به روش شیمیایی کاهش یافته و فلز در مواضع فعال شده لایه‌نشانی می‌شود. حالت کلی واکنش کاهش در واکنش (۱) نشان داده شده است:



که M فلز و R ماده کاهنده است [۱، ۲].

### کلمات کلیدی

عمل‌آوری با پلاسمای، پارچه پلی‌استر، آبکافت شیمیایی، نانومیله مس، مقاومت الکتریکی

(II) کلرید و قلع کلرید همگی از شرکت Merck تهیه شده و بدون هیچ خالص‌سازی استفاده شدند. پارچه پلی‌استر با تراکم  $30 \times 32$ ، نمره نخ تار و پود  $8/8$  دنیر با بافت تافته از کارخانه به‌بافت خریداری شد. شوینده Dyatex ANW (آنیونی-غیریونی) برای شست‌وشوی کالای پلی‌استری از شرکت دایر شیمی خریداری شد.

### روش‌ها

پارچه پلی‌استری به‌عنوان زمینه انتخاب شد. برای لایه‌نشانی پارچه با مس، ابتدا لازم است، محلول‌های زیر از پیش تهیه شوند:

- مقدار  $10 \text{ g/L}$  از قلع کلرید در کلریدریک اسید حل و به حجم رسانده شد. محلول به‌مدت  $24 \text{ h}$  در دمای محیط نگه داشته تا به‌طور کامل شفاف شود.

- مقدار  $0.1 \text{ g/L}$  از پالادیم کلرید در کلریدریک اسید حل و به حجم رسانده شد. محلول در دمای محیط پس از  $2 \text{ h}$  آماده شد.

فرایند لایه‌نشانی به‌روش چندمرحله‌ای انجام شد (شکل ۱). پس از تهیه محلول، برای زدودن چربی و آلودگی‌های سطحی پارچه، ابتدا نمونه‌ها در حمام حاوی  $2 \text{ g/L}$  شوینده در دمای  $60^\circ\text{C}$  به‌مدت  $30 \text{ min}$  شست‌وشو داده شدند.

### مرحله آماده‌سازی

برای حکاکی و ایجاد گروه‌های جاذب روی سطح پارچه پلی‌استر از دو روش پلاسما و آبکافت قلیایی استفاده شد.

### آماده‌سازی نمونه با پلاسما

در این پژوهش، از دستگاه پلاسما، Femto Science Inc. Gyeonggi-Do مدل Cute-MPR ساخت کره برای آماده‌سازی نمونه‌ها استفاده شد. برای آماده‌سازی با پلاسما، نمونه‌ها در یک محفظه کوچک بین دو الکترود قرار گرفته و پس از ایجاد خلأ به مقدار  $10^{-5} \text{ bar}$  فرایند پلاسما آغاز شد. در این فرایند، از اکسیژن به‌عنوان گاز ورودی استفاده شد و عمل‌آوری با پلاسما به‌مدت  $15 \text{ min}$  در فشار  $4 \text{ mHg}$ ، توان  $90 \text{ W}$  و بسامد  $\text{kHz}$   $50$  انجام شد.

### آماده‌سازی نمونه با آبکافت قلیایی

آماده‌سازی نمونه به روش آبکافت قلیایی با استفاده از سدیم هیدروکسید انجام شد. در این روش، پارچه به‌مدت  $15 \text{ min}$  در دمای  $75^\circ\text{C}$  درون محلول  $20 \text{ g/L}$  سدیم هیدروکسید قرار گرفته و پس از آن با آب دوبار تقطیر شست‌وشو داده شد.

کاهش‌ی مس از مهم‌ترین فرایندهای صنعتی با کاربردهای گسترده و متفاوت است. اولین کاربرد تجاری فرایند الکترولس مس را کاهیل در  $1957$  گزارش کرد [۴].

لایه‌نشانی کاهشی فرایندی چندمرحله‌ای بوده که این مراحل عبارت از آماده‌سازی، حساس‌سازی، فعال‌سازی و لایه‌نشانی است. مهم‌ترین بخش از فرایند لایه‌نشانی کاهشی، مرحله آماده‌سازی است که در آن طی فرایند حکاکی (etching)، ضمن ایجاد خوردگی، گروه‌های هیدروکسیل در سطح پارچه تشکیل می‌شود تا که امکان انجام مراحل بعدی را فراهم کند. یکنواختی مراحل مختلف فرایند لایه‌نشانی به‌ویژه بازده لایه‌نشانی و یکنواختی لایه پوشش داده شده متأثر از کیفیت و نحوه اجرای این مرحله است [۵].

روش متداول برای حکاکی و تشکیل گروه‌های هیدروکسیل در سطح پارچه پلی‌استری، آبکافت قلیایی است. طی این فرایند سطح پارچه دچار ناهمواری سطحی شده و مجموعه‌ای از گروه‌های هیدروکسیل در آن ایجاد می‌شود [۶].

در سال‌های اخیر با وجود فناوری پلاسما، تحولی جدید در عرصه بهبود خواص سطحی مواد مختلف به‌وجود آمده است. پلاسما با برخورد الکترون‌ها و فرایندهای نورشیمیایی باعث قطع ارتباط مولکول‌ها و در نتیجه تولید رادیکال‌های آزاد با چگالی زیاد می‌شود. این عمل باعث اختلال پیوندهای شیمیایی در سطح الیاف و پلیمرها و در نتیجه شکل‌گیری گونه‌های شیمیایی جدید مثل  $\text{C=O}$ ،  $\text{OH}$  و  $\text{COOH}$  می‌شود. تحت تأثیر فرایند پلاسما، هم شیمی سطح و هم توپوگرافی سطح تغییر می‌کند [۷،۸].

در اصلاح الیاف و پلیمرها با پلاسما، ذرات پراثرژی و فوتون‌های تولید شده به‌شدت با سطح زیرلایه برهم‌کنش داشته و باعث چهار اثر عمده تمیز کردن سطح، حکاکی، پیوند عرضی مولکول‌های نزدیک سطح و اصلاح ساختار شیمیایی سطح می‌شود [۸]. از ویژگی‌های جالب پلاسما این است که به دلیل نفوذ کم در سطح، تغییرات در عمق چند نانومتر انجام می‌شود [۸].

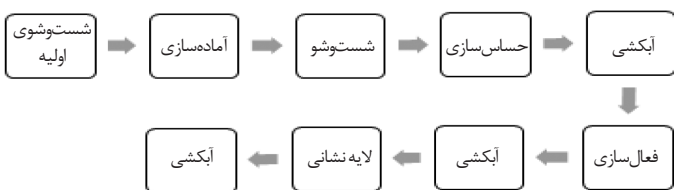
پژوهش‌های زیادی برای ایجاد بهبود خواص و حکاکی سطح پارچه‌های پلی‌استری با استفاده از پلاسما انجام شده است [۹-۱۵].

در این پژوهش اثر فرایند آماده‌سازی بر شکل‌شناسی، ساختار و مقدار مقاومت الکتریکی پارچه پوشش‌دهی شده با مس بررسی شده است. همچنین، آماده‌سازی سطحی مبتنی بر پلاسما و آبکافت شیمیایی برای منسوج پلی‌استری به‌منظور افزایش گروه‌های جاذب در الیاف و تهیه بستری مناسب برای جذب سطحی بیشتر نانوذرات مس انجام شده است.

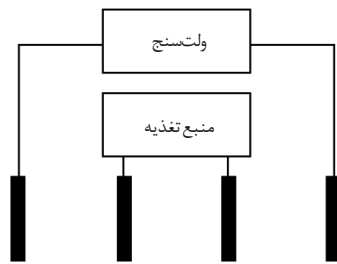
### تجربی

#### مواد

مس سولفات، نیکل سولفات، بوریک اسید، سدیم هیپوفوسفیت، سدیم سیترات، سدیم هیدروکسید، کلریدریک اسید  $37\%$ ، پالادیم



شکل ۱- مراحل لایه‌نشانی کاهشی.



شکل ۲- تصویر کلی رسانایی سنج چهار کانالی خطی.

### لایه نشانی فلز مس

پس از انجام شست و شوی اولیه، آماده سازی و آبکشی، فرایند آماده سازی پارچه با استفاده از محلول اسیدی قلع کلرید به مدت ۱۰ min در دمای محیط انجام شد. پس از آبکشی پارچه با آب دوبار تقطیر، فرایند فعال سازی در محلول اسیدی پالادیم کلرید به مدت ۱۰ min در دمای محیط انجام شده و در پی آن، آبکشی مؤثر پارچه با آب دوبار تقطیر انجام شد. سپس، پارچه فعال شده وارد حمام لایه نشانی، محتوی ۳ g/L سولفات مس، ۰/۴ g/L سولفات نیکل، ۱۱ g/L سدیم هیپوفسفات، ۱۰ g/L سدیم سیترات و ۱۱ g/L بوریک اسید شد. اسیدیته حمام با استفاده از محلول ۲۰ g/L سدیم هیدروکسید در محدوده ۹/۵ تنظیم شد. فرایند لایه نشانی در زمان های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ min انجام و پس از آبکشی، نمونه ها در گرم خانه با دمای ۶۰°C خشک شدند.

### اندازه گیری خواص

تمام نمونه ها پیش از انجام اندازه گیری ها طبق روش های استاندارد به مدت ۲۴ h در فشار اتمسفر، رطوبت نسبی ۶۵ ± ۲٪ و دمای ۲۱°C ± ۱ قرار داده شدند.

### بررسی گروه های هیدروکسیل تشکیل شده در سطح

تشکیل گروه های هیدروکسیل در سطح پارچه با استفاده از دستگاه طیف سنجی زیرقرمز تبدیل فوریه مدل Nicolet Magna 560 ساخت آمریکا بررسی شد.

### بررسی شکل شناسی سطح

برای مشاهده شکل شناسی لایه تشکیل شده، از میکروسکوپ الکترونی پویشی نشر میدانی مدل S-4160 ساخت شرکت Hitachi ژاپن استفاده شد.

### اندازه گیری وزن

برای تعیین مقدار لایه تشکیل شده روی سطح پارچه، وزن نمونه ها پیش و پس از لایه نشانی اندازه گیری و درصد تغییرات وزن طبق معادله (۲) محاسبه شد. اندازه گیری وزن پارچه با استفاده از ترازوی رقمی HR 200, Ltd ساخت ژاپن انجام شد:

$$\Delta W = \frac{W_f - W_o}{W_o} \times 100 \quad (2)$$

$\Delta W$  درصد تغییرات وزن پارچه،  $W_f$  وزن نهایی پارچه پس از فرایند لایه نشانی بر حسب گرم و  $W_o$  وزن اولیه پارچه پیش از فرایند لایه نشانی بر حسب گرم است.

### اندازه گیری مقاومت الکتریکی سطحی

مقدار مقاومت الکتریکی سطحی نمونه ها با استفاده از رسانایی سنج چهار کانالی خطی بررسی شد.

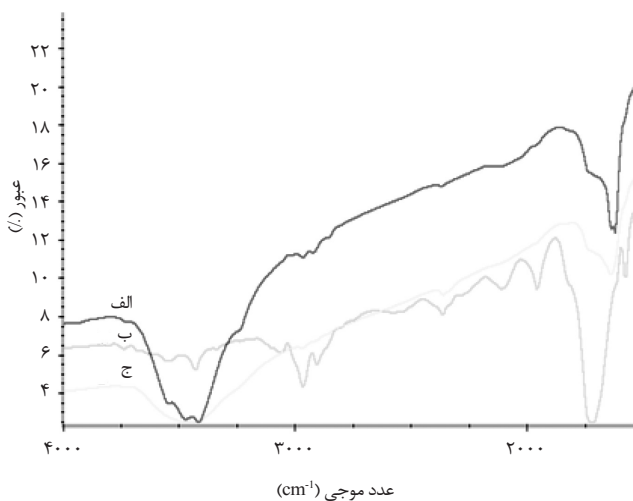
در ساخت این رسانایی سنج از ولتسنج ADM 552R, Arma Ltd و منبع تغذیه ASP-1363p, Arma Ltd استفاده شد که هر دو ساخت ایران هستند. فاصله بین الکترودهای این رسانایی سنج که در دانشکده فنی دانشگاه گیلان ساخته شد، ۱ cm است. تصویر کلی این دستگاه در شکل ۲ نشان داده شده است. با استفاده از رسانایی سنج چهار کانالی و طبق استاندارد F390:2003 مقدار مقاومت الکتریکی سطحی نمونه های رسانا شده ارزیابی شد. در ارزیابی مقدار مقاومت الکتریکی سطحی، شدت جریان الکتریکی ثابت با منبع تغذیه به نمونه اعمال و تغییرات ولتاژ با ولتسنج اندازه گیری شد. در نهایت، مقدار متوسط مقاومت الکتریکی سطحی نمونه محاسبه شد (معادله ۳):

$$R_s = \frac{V \times w}{I \times l} \quad (3)$$

در این معادله،  $V$  ولتاژ،  $w$  عرض نمونه،  $I$  متوسط شدت جریان عبوری و  $l$  طول فاصله الکترودهاست.

## نتایج و بحث

طیف سنجی زیرقرمز تبدیل فوریه برای بررسی گروه های هیدروکسیل



شکل ۳- طیف زیرقرمز تبدیل فوریه پارچه پلی استری: (الف) عمل آوری شده با پلاسمای اکسیژن، (ب) عمل آوری نشده و (ج) عمل آوری شده با آبکافت قلیایی.

الکترونی پوششی مشاهده می‌شود که در نمونه‌های عمل‌آوری شده با پلاسمای اکسیژن به شکل یکنواخت‌تر و شدیدتری نسبت به نمونه‌های عمل‌آوری شده با آبکافت قلیایی است (شکل ۴).  
به‌طور کلی، فرایند آماده‌سازی بستر برای لایه‌نشانی کاهش‌ی طبق مراحل زیر انجام شد:

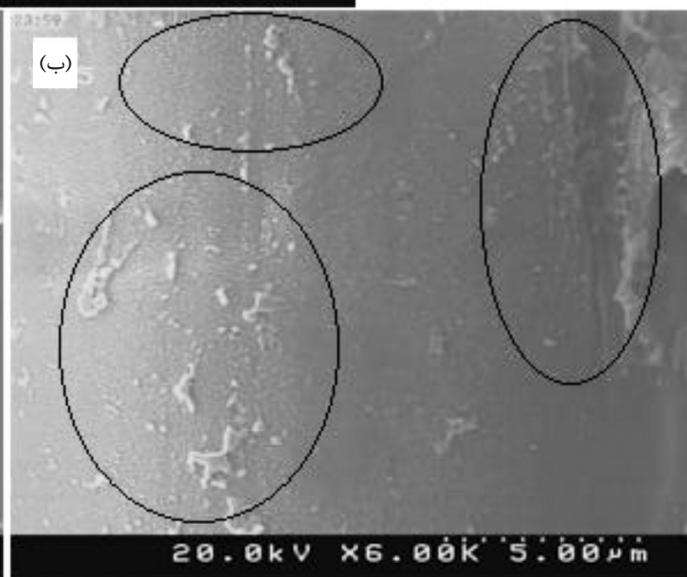
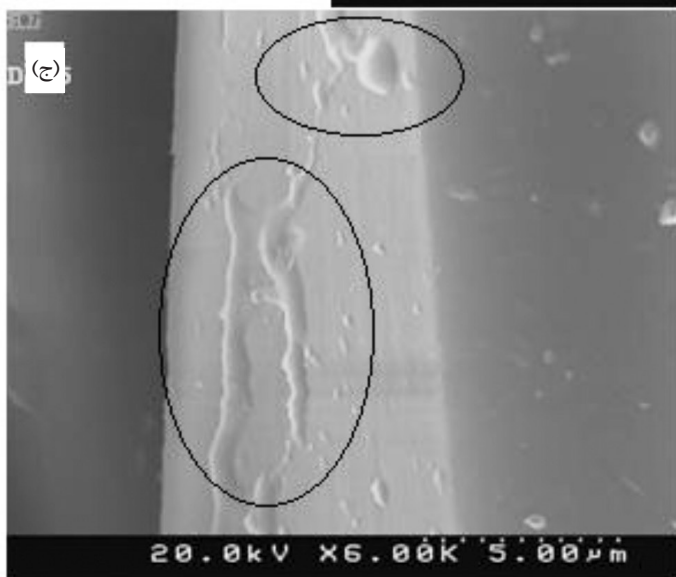
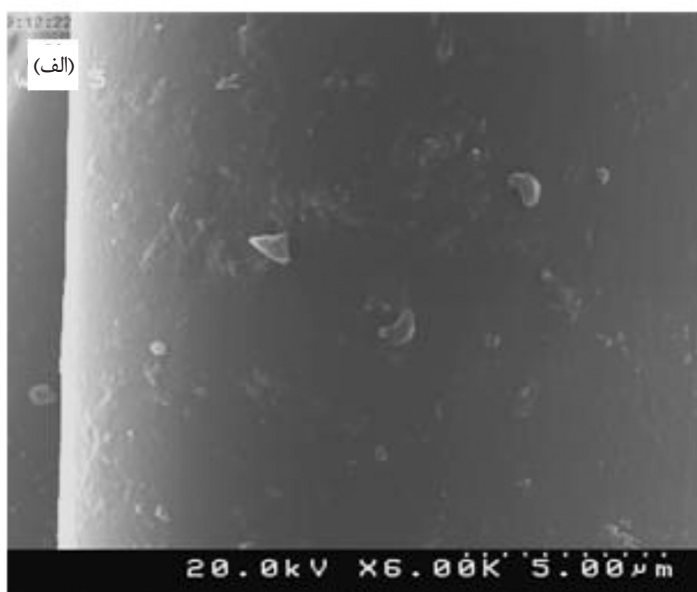
در مرحله اول، سطح پارچه با عامل خارجی (سدیم هیدروکسید و پلاسما) حکاکی شده و گروه‌های هیدروکسیل تشکیل می‌شوند. در مرحله دوم و طی فرایند حساس‌سازی، ذرات قلع در محل‌های حکاکی شده با گروه‌های هیدروکسیل واکنش می‌دهند. در طول فرایند فعال‌سازی، پالادیم با اندازه ذرات بزرگ‌تر نسبت به قلع، روی سطح قرار می‌گیرد. در مرحله پایانی و با شروع فرایند لایه‌نشانی، ذرات مس حاصل از کاهش نمک مس سولفات، در مکان‌های فعال

ایجاد شده روی سطح پارچه‌ها استفاده شد.

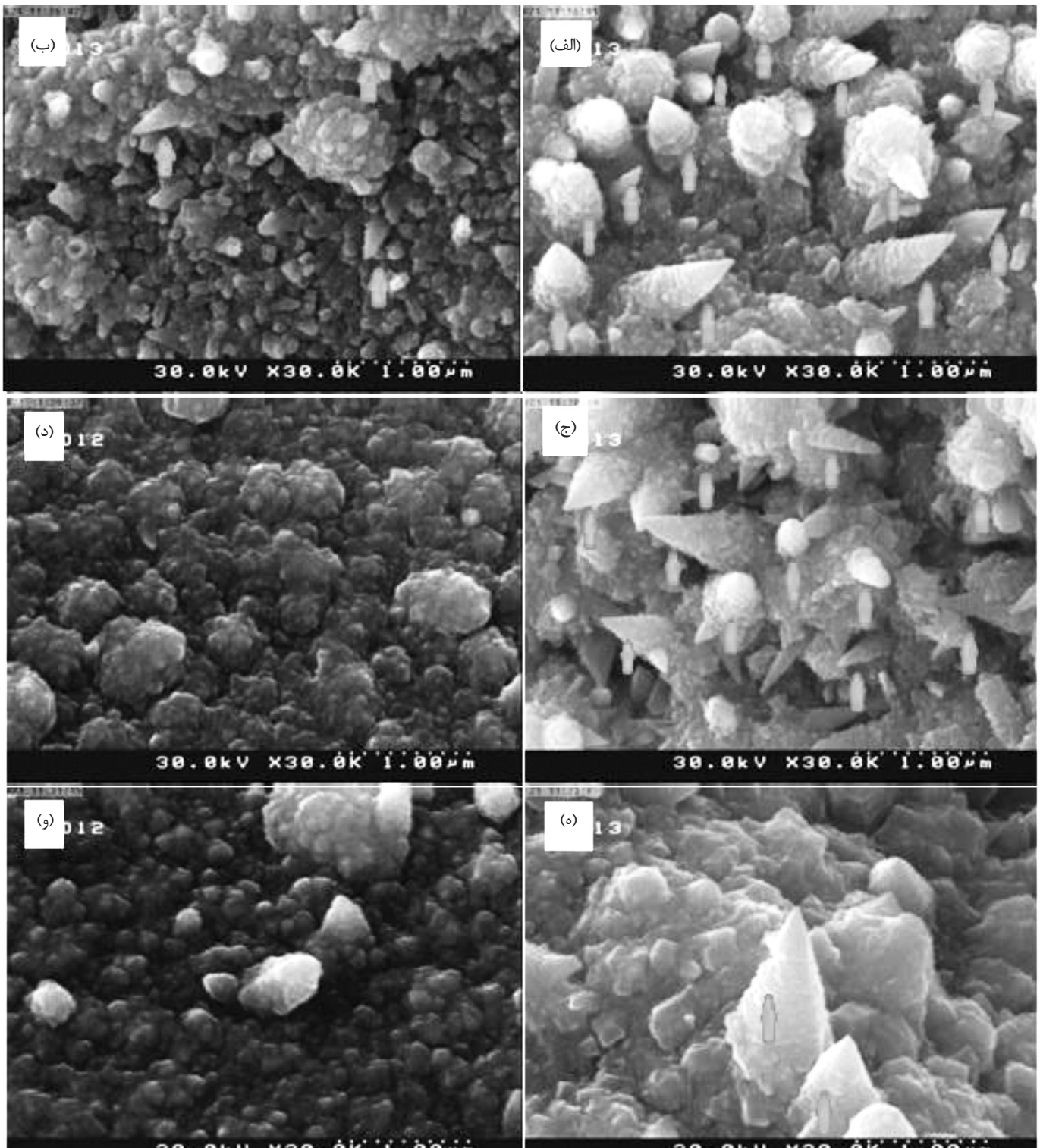
پیک ظاهر شده در  $3430 \text{ cm}^{-1}$  نشان‌دهنده گروه هیدروکسیل است که پهن و شدت پیک پس از فرایند آماده‌سازی تغییراتی را نشان می‌دهد. در فرایند آماده‌سازی با استفاده از پلاسمای اکسیژن، پیک گروه هیدروکسیل بسیار شدیدتر بوده که این موضوع نشان‌دهنده گروه‌های هیدروکسیل بیشتر در این فرایند روی سطح منسوج است (شکل ۳).

### بررسی شکل‌شناسی و ساختار سطح

مرحله آماده‌سازی در فرایند لایه‌نشانی بسیار مؤثر بوده که با ایجاد گروه‌های هیدروکسیل و حکاکی سطح پارچه، منجر به تشکیل لایه یکنواختی از نانوذرات فلزی روی سطح می‌شود. حکاکی سطح پارچه طی فرایند آماده‌سازی به حالت زبری در تصاویر میکروسکوپ



شکل ۴- تصویر SEM پارچه پلی‌استری: (الف) عمل‌آوری نشده، (ب) عمل‌آوری شده با پلاسمای اکسیژن و (ج) عمل‌آوری شده با آبکافت قلیایی.

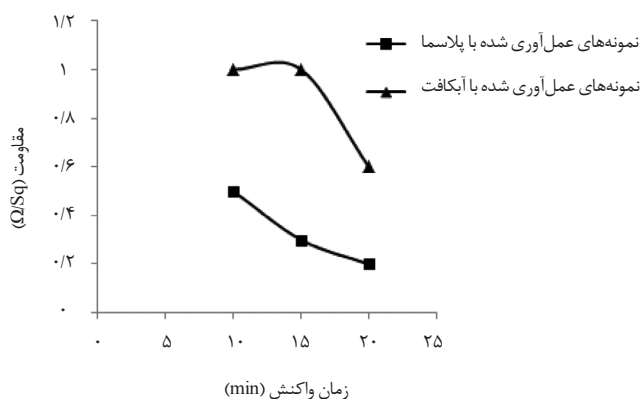


شکل ۵- تصویر SEM پارچه‌های عمل‌آوری شده با: (الف)، (ج) و (ه) پلاسمای (ب) و (د) و (و) آبکافت قلیایی پس از لایه‌نشانی با نانوذرات مس در مدت زمان غوطه‌وری نمونه‌ها درون محلول لایه‌نشانی (الف) و (ب) ۱۰ min، (ج) و (د) ۱۵ min و (ه) و (و) ۲۰ min.

شده با پالادیم رسوب می‌کند. در ابتدای فرایند، ذرات مس رسوب کرده بسیار کوچک و به‌شکل تقریباً کروی هستند. در ادامه واکنش و با بزرگ‌تر شدن اندازه ذرات، تمام ذرات در راستای افقی به یکدیگر متصل شده و با ذرات مس به شکل تجمع یافته رسوب می‌کنند. با توجه به نتایج به‌دست آمده از طیف‌سنجی زیرقرمز تبدیل فوریه، در حالت استفاده از پلاسمای اکسیژن برای حکاکی پارچه

جدول ۱- درصد تغییرات وزن نمونه‌ها.

آزمون	زمان واکنش (min)	افزایش وزن (%)	
		پلازما	سدیم هیدروکسید
۱	۱۰	۳۳/۳۳	۱۸/۵۱
۲	۱۵	۵۵/۵۵	۳۷/۵
۳	۲۰	۵۹/۲۵	۴۳/۴۷



شکل ۷- تغییرات مقاومت الکتریکی نمونه‌های عمل‌آوری شده با پلاسمای اکسیژن و آبکافت قلیایی با گذشت زمان واکنش.

### اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی سطحی

با افزایش زمان لایه‌نشانی، لایه‌های بیشتری از فلز روی سطح نمونه‌ها تشکیل می‌شود، در نتیجه مقاومت نمونه‌ها کاهش می‌یابد. در پارچه‌های عمل‌آوری شده با پلازما، به دلیل حاکاکی بهتر و نیز تشکیل گروه‌های هیدروکسیل بیشتر در سطح پارچه، فعال‌سازی سطح از بازده بیشتری برخوردار است که باعث افزایش هسته‌های اولیه در سطح، به‌عنوان منبع رشد ذرات مس می‌شود. این موضوع موجب تراکم بیشتر لایه تشکیل شده و در نتیجه، افزایش رسانایی الکتریکی می‌شود (شکل ۷).

نمونه عمل‌آوری شده با پلاسمای اکسیژن در مقایسه با آبکافت قلیایی مقاومت الکتریکی بهتری نشان داد. مقدار مقاومت الکتریکی به‌دست آمده پس از ۲۰ min فرایند لایه‌نشانی برای نمونه عمل‌آوری شده با اکسیژن  $0.12 \Omega/qS$  و نمونه عمل‌آوری شده با آبکافت قلیایی  $0.16 \Omega/qS$  است.

### نتیجه‌گیری

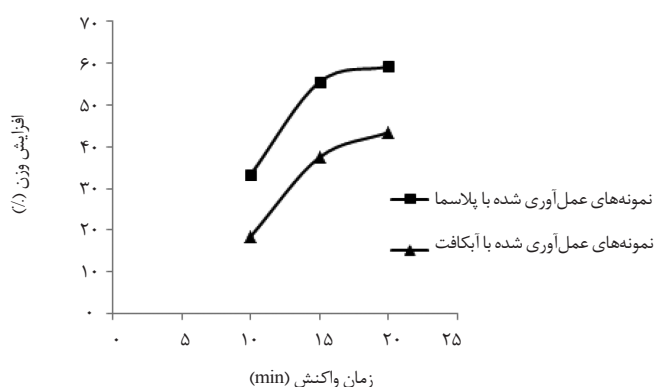
نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد، عمل‌آوری با پلاسمای اکسیژن به دلیل ایجاد خلل‌و فرج در سطح الیاف باعث افزایش خاصیت جذب مواد شیمیایی به پلی‌استر می‌شود. اصلاح خواص با پلازما محدود به سطح است و خواص توده را تغییر نمی‌دهد. با افزایش زمان فرایند لایه‌نشانی، وزن و یکنواختی نمونه افزایش و مقاومت کاهش می‌یابد. برای نمونه‌های عمل‌آوری شده با پلاسمای اکسیژن افزایش وزن و کاهش مقاومت بیشتری نسبت به نمونه‌های آبکافت شده مشاهده شد. نوع فرایند آماده‌سازی و زمان فرایند لایه‌نشانی بر شکل نانوذرات مؤثر است. با افزایش زمان غوطه‌وری نانوذرات از شکل مخروطی به شکل گل‌کلمی تغییر می‌یابد که به دنبال آن خلل‌و فرج ایجاد شده روی سطح هم کاهش می‌یابد.

شکل‌شناسی مخروطی باعث افزایش خلل‌و فرج روی سطح

پلی‌استر، تعداد گروه‌های هیدروکسیل بیشتری نسبت به آبکافت قلیایی با سدیم هیدروکسید در سطح پارچه تشکیل می‌شود. این موضوع نشان‌دهنده حاکاکی بهتر و در نتیجه تعداد مکان‌های فعال بیشتر برای جذب قلع و پالادیم است. افزایش مکان‌های فعال، سبب افزایش سرعت واکنش و در نتیجه سرعت لایه‌نشانی می‌شود که در این حالت، زیرلایه اولیه با سرعت بیشتری تشکیل می‌شود. محصول جانبی کاهش سولفات مس و رسوب ذرات مس گاز هیدروژن است. پس از تشکیل لایه اول و به‌هم پیوستن ذرات مس اولیه تشکیل شده، هیدروژن آزاد شده در محیط آبی واکنش، ایجاد حباب می‌کند که این موضوع رسوب ذرات را به سمت عمودی هدایت کرده و باعث ایجاد خلل‌و فرج در لایه می‌شود. طبق شکل ۵ با افزایش زمان واکنش تعداد مخروط‌های اولیه و خلل‌و فرج ناشی از آن کاهش یافته و یکنواختی و پیوستگی سطح افزایش می‌یابد.

### اندازه‌گیری وزن

عامل مهم دیگر در فرایند لایه‌نشانی، زمان انجام فرایند است. با افزایش زمان فرایند لایه‌نشانی، درصد تغییرات وزن در تمام نمونه‌ها روندی افزایشی را نشان می‌دهد که این موضوع بیانگر افزایش مقدار نانوذرات مس پوشش‌دهی شده روی سطح منسوج است. آماده‌سازی سطح با پلازما باعث افزایش مکان‌های فعال و در نتیجه افزایش سرعت رسوب در زمان‌های اولیه فرایند لایه‌نشانی می‌شود، به همین علت در نمونه‌های عمل‌آوری شده با پلاسمای اکسیژن افزایش وزن بیشتری مشاهده شده است (جدول ۱ و شکل ۶).



شکل ۶- تغییرات وزن نمونه‌های عمل‌آوری شده با پلاسمای اکسیژن و آبکافت قلیایی با گذشت زمان واکنش.

### قدردانی

مؤلفان از حمایت‌های بی‌دریغ پارک علم و فناوری استان گیلان و دانشگاه گیلان کمال تشکر و قدردانی را دارند.

لایه‌نشانی شده می‌شود که این موضوع باعث افزایش جذب در پوشش‌دهی ثانویه روی سطح می‌شود. از این منسوجات می‌توان به‌عنوان بستر رسانا جایگزین شیشه‌های رسانا در سلول‌های خورشیدی استفاده کرد.

### مراجع

1. *Electroless Plating: Fundamentals and Applications*, Mallory O. And Hajdu B.J. (Eds.), Noyes, New York, 1990.
2. Barker B.D., Electroless deposition of metals, *Surface Technol.*, 12, 77-88, 1981.
3. Agarwala R.C. and Agarwala V., Electroless alloy/composite coatings: A review, *Sadhana*, 28, 475-493, 2003.
4. Guo R., A Study of Optimizing Processes for Metallized Textile Design Application, PhD Thesis, The Hong Kong Polytechnic University, 2010.
5. Popov K.I., Djokic S.S., and Grgur B.N., *Fundamental Aspects of Electrometallurgy*, 249-270, Kluwer Academic, New York, 2002.
6. Dave J., Kumar R., and Srivastava H.C., Studies on modification of polyester fabrics I: Alkaline hydrolysis, *Appl. Polym. Sci.*, 33, 455-477, 1987.
7. Wróbel A.M., Kryszewski M., Rakowski W., Okoniewski M., and Kubacki Z., Effect of plasma treatment on surface structure and properties of polyester fabric, *Polymer*, 19, 908-912, 1978.
8. *Plasma Technologies for Textiles*, 1th ed., Shishoo R. (Ed.), Woodhead, 2007.
9. Jiang S.Q., Yuen C.W.M., Tao X.M., Kan C.W., and Choi P.S.R., Effect of low-temperature plasma pre-treatment on the chemical silver-plated polyester fabrics, *Res. J. Text. Apparel*, 10, 2006.
10. Poletti G., Orsini F., Raffaele-Addamo A., Riccardi C., and Selli E., Cold plasma treatment of PET fabrics: AFM surface morphology characterization, *Appl. Surface Sci.*, 219, 311-316, 2003.
11. 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.
12. Yuen C.W.M., Jiang S.Q., Kan C.W., and Tung W.S., Influence of surface treatment on the electroless nickel plating of textile fabric, *Appl. Surface Sci.*, 253, 5250-5257, 2007.
13. Kerkeni A., Behary N., Dhulster P., Chihib N., and Perwuelz, A., Study on the effect of plasma treatment of woven polyester fabrics with respect to nisin adsorption and antibacterial activity, *Appl. Polym. Sci.*, 129, 866-873, 2013.
14. Mehmood T., Kaynak A., Dai X.J., Kouzani A., and Magniez, K., Study of oxygen plasma pre-treatment of polyester fabric for improved polypyrrole adhesion, *Mater. Chem. Phys.*, 143, 668-675, 2014.
15. Shahidi S., Ghoranneviss M., and Wiener J., Improving synthetic and natural dyeability of polyester fabrics by dielectric barrier discharge, *J. Plastic Film Sheeting*, 1-23, 2015.

# Effect of Oxygen Plasma on the Polyester Coating with Conical Copper Nanorods

Mahdiyeh Arshadi Lajimi<sup>1</sup>, Mahmoud Saberi Motlagh<sup>1,2</sup>, and Vahid Motaghitalab<sup>1\*</sup>

1. Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering, University of Guilan, P.O. Boc: 3756, Rasht, Iran

2. Guilan Science and Technology Park (GSTP), P.O. Box: 41635-1719, Rasht, Iran

Received 12 December 2014; Accepted 8 March 2015

## Abstract

The current study focuses on the effect of surface pretreatment on the physical properties and surface morphology of the coated fabric with copper nanoparticles. The pretreatment steps were carried out using alkaline hydrolysis and oxygen plasma etching. The deposition of copper nanoparticles was achieved by the chemical reduction of copper ions by utilizing reducing agent from its salt solution. The scanning electron microscopy (SEM) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) were used respectively for detailed investigation of surface morphology and chemical structure of the pretreated and the coated fabric. The surface electrical resistance was measured using a digital multi meter based on two point probe technique. Interestingly, the microscopic images showed the formation of copper conical nanorods for the fabric pretreated with oxygen plasma and pseudo-spherical nanoparticles for the alkaline hydrolyzed fabric sample. The FTIR spectroscopy data for plasma treated fabric demonstrates the higher peak intensity for OH functional group compared to that for the alkaline hydrolyzed pretreated fabric. The acquired experimental results confirmed a uniform copper nanorods coating and lower surface resistance for the samples treated with oxygen plasma compared to those treated with alkaline hydrolysis.

## Keywords

plasma treatment,  
polyester fabric,  
chemical hydrolysis,  
copper nanorod,  
electrical resistance

(\* ) Address Correspondence to V. Motaghitalab, Email: motaghitalab@guilan.ac.ir