Archive of SID

مجله علوم و تکنولوژی پلیمر ، سال هجدهم،
شماره ۵، صفحه ۳۰۱-۲۹۱، ۱۳۸۴
ISSN : 1016-3255

مقایسه رسانندگی الکتریکی الیاف پوشش‌دهی شده با پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول

Comparison of the Electrical Conductivity of Textile Fibers Coated with Polyaniline and Polypyrrole

مهدی نوری[1*]، محمد حقیقت کیش[2]، علی‌اکبر انتظامی[3]

۱ ـ رشت، دانشگاه گیلان، دانشکده فنی، گروه مهندسی نساجی، صندوق پستی ۳۷۵۶

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

۳ ـ تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده شیمی، کدپستی ۵۱۶۶۴

دریافت: ۸۳/۶/۲۵، پذیرش: ۸۴/۳/۲۴

چکیده

در این پژوهش، کاربرد پلیمرهای رسانای الکتریکی در کاهش مقاومت الکتریکی الیاف نساجی مورد توجه قرار گرفته است. به این منظور پوشش‌دهی نخهایی از جنس پنبه، پشم، پلی‌استر، آکریلیک و پلی‌آمید با پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول به عنوان پلیمرهای رسانا مطالعه شده است. اثر شرایط متفاوت پوشش‌دهی نظیر نسبت مولی اکسیدان به مونومر، نسبت وزنی مونومر به الیاف و دوپه کردن الیاف پوشش داده شده بررسی گردیده است. مقاومت الکتریکی، پایداری مقاومت الکتریکی و برخی خواص فیزیکی نخهای پوشش‌دهی شده اندازه‌گیری شده است . نتایج بررسیها نشان می‌دهد که ویژگی سطح الیاف در پوشش‌دهی اهمیت زیادی دارد. پوشش‌دهی الیاف با پلی‌پیرول در کاهش مقاومت الکتریکی آن مؤثرتر است و پایداری مقاومت الکتریکی نخهای پوشش داده شده با پلی‌پیرول قبل از دوپه شدن بهتر از پایداری مقاومت الکتریکی نخهای پوشش داده شده با پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول دوپه شده است. پوشش‌دهی با این دو پلیمر رسانا اثر چندانی بر استحکام و ازدیاد طول تا پارگی نخها ندارد. نتایج بر اساس نظریه‌های موجود درباره پلیمرهای رسانا توجیه شده است.

واژه‌های کلیدی

الیاف نساجی، پلی آنیلین، پلی پیرول، مقاومت الکتریکی، رسانندگی الکتریکی

Key Words

textile fibers, polyaniline, polypyrrole, electrical resistance, electrical conductivity

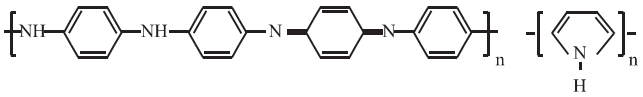
مقدمه

پس از گذشت چند دهه از معرفی پلیمرهای رسانای الکتریکی [۱] و بررسیهای متعدد انجام شده هنوز هم پژوهشگران زیادی به مطالعه در زمینه پلیمرهای رسانا علاقمند هستند[۲،۳]. از میان پلیمرهای رسانا پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول شاید به دلیل سهولت تولید، پایداری بیشتر و در دسترس بودن مواد اولیه بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند[۴]. تهیه پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول توسط پژوهشگران زیادی بررسی شده است [۷-۵]. ساختار شیمیایی این دو پلیمر در طرح ۱ نشان داده شده است. گزارشهای متعددی از کاربرد پلیمرهای رسانا در دسترس است. از جمله

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار: mnouri69@guilan.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID



(الف) (ب)

طرح ۱ ساختار شیمیایی: (الف) پلی پیرول و (ب) پلی آنیلین آمرالدین بازی.

کاربردهای این پلیمرها می‌توان به استفاده از آنها در تهیه لایه‌های جاذب امواج ریزموج و الکترومغناطیس [۸،۹]، از بین برنده الکتریسیته ساکن [۱۰] و تهیه پوششهای مقاوم به خوردگی[۱۱] اشاره کرد. تبدیل پلیمرهای رسانا به شکل فیلم و الیاف راه را برای استفاده گسترده‌تر از این پلیمرها هموارتر می‌کند. تلاشهای زیادی برای تولید الیاف از پلیمرهای رسانا انجام شده است که از این میان می‌توان تهیه الیاف از پلی آنیلین [۱۵-۱۲] و تهیه آن از مخلوط پلی آنیلین با دیگر پلیمرهای قابل تبدیل به الیاف[۱۹-۱۶] را نام برد. استحکام کم الیاف تولیدی، مشکل بودن فرایند تولید الیاف از این پلیمرها و محدود شدن تولید الیاف به پلیمرهای رسانای فرایندپذیر از مشکلات تولید الیاف از پلیمرهای رسانا است.

پوشش‌دهی الیاف متداول نساجی با پلیمرهای رسانا به عنوان روشی جایگزین برای تولید الیاف و لایه‌های رسانا مورد توجه قرار گرفته است[۲۴-۲۰]. در این روش پلیمر شدن و تولید پلیمر رسانا با الیاف نساجی انجام می‌گیرد و به این ترتیب پلیمر شدن در سطح الیاف انجام شده و سطح الیاف به وسیله پلیمر رسانا پوشش داده می‌شود.

آنبراسان [۲۲] با مطالعه پوشش‌دهی الیاف ریون به وسیله پلی آنیلین نشان داده است که پوشش‌دهی با اتصال زنجیرهای پلی آنیلین به الیاف همراه است. آنبراسان معتقد است که وجود اکسیدان در فرایند پلیمر شدن آنیلین موجب ایجاد مکانهای رادیکالی در سطح الیاف و اتصال آنیلین به این مکانها می‌شود. در پژوهشی [۲۱] پوشش‌دهی الیاف نایلون ۶،۶ با پلی آنیلین مطالعه و نشان داده شده است که پوشش‌دهی در پلیمر شدن همزمان پلی آنیلین مؤثرتر از پوشش‌دهی از طریق آغشته‌سازی الیاف به آنیلین و سپس پلیمرشدن الیاف آغشته شده در ظرف حاوی اکسیدان است. پوشش‌دهی الیاف کربن با پلی پیرول برای استفاده در باطریهای قابل شارژ [۲۳] و پوشش‌دهی الیاف متفاوت نساجی با پلی پیرول نیز گزارش شده است [۲۰،۲۴].

اگر چه پوشش‌دهی الیاف نساجی با پلی پیرول و پلی آنیلین به‌طور مجزا مورد بررسی قرار گرفته است، اما مقایسه الیاف پوشش داده شده با این دو پلیمر کمتر مورد توجه بوده است. در این مقاله شرایط پوشش‌دهی، خواص الکتریکی الیاف پوشش داده شده و پایداری مقاومت الکتریکی در برخی از الیاف پوشش داده شده با پلی آنیلین و پلی پیرول بررسی شده است.

تجربی

مواد

در این پژوهش، از آمونیم پرسولفات، آهن(III) کلرید، کلریدریک اسید، آنیلین و پیرول از نوع آزمایشگاهی، الیاف آکریلیک و پلی استر محصول شرکت پلی آکریل ایران، الیاف پلی آمید از شرکت الیاف تهران و پنبه و پشم تهیه شده از منابع محلی استفاده شد. پنبه، آکریلیک و پشم به شکل نخهای ریسیده شده و پلی آمید ۶ (پلی کاپرولاکتام) و پلی استر (پلی اتیلن ترفتالات) به شکل الیاف پیوسته استفاده شدند. همچنین، آنیلین و پیرول قبل از مصرف در خلأ تقطیر شدند.

دستگاهها

در این پژوهش، برای اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی نخهای پوشش داده شده از اهم‌متر UNTI-T Digital Multimeter (ساخت کره) با دقت ±۰/۱۵ درصد، برای تعیین ثبات سایشی پس از تهیه پارچه با بافت حلقوی از دستگاه Shirley Crock Meter (ساخت انگلستان)، برای تعیین خواص مکانیکی نخها از دستگاه اینسترون و برای تهیه تصاویر نوری از دستگاه میکروسکوپ نوری Carl Zeiss Jena (ساخت آلمان) استفاده شد.

روشها

آماده سازی الیاف

برای آماده سازی الیاف مختلف و از بین بردن مواد اضافی سطح آن، ابتدا نمونه نخهای الیاف مختلف با محلول شوینده و آب شسته شد، سپس در دمای ۵۰ °C خشک و کلافهای با وزن ۰/۵۰۰g از آنها تهیه شد.

پوشش دهی با پلی آنیلین

برای پوشش‌دهی الیاف مختلف با پلی آنیلین در بشری محتوی ۵۰ mL محلول کلریدریک اسید ۱ N مقدار مورد نیاز آنیلین تقطیر شده اضافه شد، بشر حین همزدن داخل حمام آب و یخ قرار گرفت. پس از کاهش دمای محلول داخل بشر به ۱°C±۲، کلاف نخ ۰/۵ گرمی به داخل بشر اضافه شد، پس از ۵ min مقدار مورد نیاز آمونیم پرسولفات به عنوان

www.SID.ir

Archive of SID

اکسیدان و آغازگر واکنش پلیمر شدن که در ۱۰mL آب مقطر حل شده است، طی مدت ۳۰min قطره قطره به مخلوط واکنش اضافه گردید. سپس، واکنش به مدت ۲h در دمای ۱±۲°C ادامه یافت. در طول آزمایش محلول داخل بشر با همزن مغناطیسی همزده شد . پس از پوشش دهی، نمونه نخهای پوشش داده شده خارج شدند، ابتدا با آب مقطر و سپس در محلول آب و شوینده به منظور خارج سازی مواد اضافی شسته و در انتها کلافها در آون با دمای ۵۰°C خشک شدند.

پوشش دهی با پلی پیرول

برای پوشش دهی الیاف مختلف با پلی پیرول در بشری حاوی ۵۰mL آب مقطر مقدار مورد نیاز پیرول تقطیر شده اضافه شد، بشر حین همزدن داخل حمام آب و یخ قرار گرفت. پس از کاهش دمای محلول داخل بشر به ۱±۲°C، کلاف نخ ۰/۵ گرمی به داخل بشر اضافه شد، پس از ۵ min مقدار مورد نیاز آهن(III) کلرید به عنوان اکسیدان و آغازگر پلیمر شدن که در ۱۰mL آب مقطر حل شده است، طی مدت ۳۰ min قطره قطره به داخل بشر اضافه گردید. سپس، واکنش به مدت ۲ h در دمای ۱±۲°C ادامه یافت. در طول آزمایش محلول داخل بشر با همزن مغناطیسی همزده شد. پس از پوشش دهی، نمونه نخهای پوشش داده شده خارج شدند، ابتدا با آب مقطر و سپس در محلول آب و شوینده به منظور خارج سازی مواد اضافی شسته و در انتها کلافها در آون با دمای ۵۰°C خشک شدند.

اندازه گیری مقاومت الکتریکی

برای اندازه گیری مقاومت الکتریکی نخهای پوشش دهی شده نمونه ها به دور لامل شیشه‌ای پیچیده شدند و مقاومت الکتریکی آنها به وسیله دو گیره فنری با فاصله ۱ cm از یکدیگر که به اهم‌متر متصل بودند، اندازه‌گیری شد. این روش توسط مورتون وهرل [۲۵] بکار گرفته شد. اندازه گیری مقاومت پس از متعادل سازی نمونه ها در محفظه‌ای مسدود و مجهز به دستکش با رطوبت نسبی ۶۵ درصد و دمای ۳۰°C انجام شد. محفظه مسدود مورد استفاده با ابعاد ۸۰cm × ۸۰ × ۱۰۰ است که رطوبت و دمای فضای آن با قرار دادن مواد شیمیایی مشخص و گرم‌کن برقی کنترل می‌شود. این محفظه مجهز به دستکش هایی است که می توان بدون باز شدن دستگاه به فضای داخل آن دسترسی داشت. مقاومت الکتریکی مخصوص جرمی نمونه ها (R_S) به وسیله معادله (۱) محاسبه شد:

$$R_S = (R \times N \times T)/(L \times 10^5) \qquad (1)$$

که در این معادله R مقاومت الکتریکی ثبت شده به وسیله اهم متر، N تعداد رشته نخها هنگام اندازه گیری، L طول نخ نمونه و T نمره نخ بر حسب tex (وزن ۱۰۰۰مترنخ) است. مقاومت مخصوص جرمی بر حسب $\Omega g/cm^2$ بیان شده است که با واحد متداول برای مقاومت مخصوص از طریق معادله $R_s = \rho d$ ارتباط دارد [۲۵]. در این معادله ρ بر حسب $\Omega.cm$ و d چگالی الیاف بر حسب g/cm^3 است. رسانندگی الکتریکی مخصوص الیاف که با S_o نشان داده می شود، عکس مقاومت مخصوص جرمی بوده و واحد آن Scm^2/g است.

اندازه گیری خواص مکانیکی، ثبات سایشی و شستشویی نخها

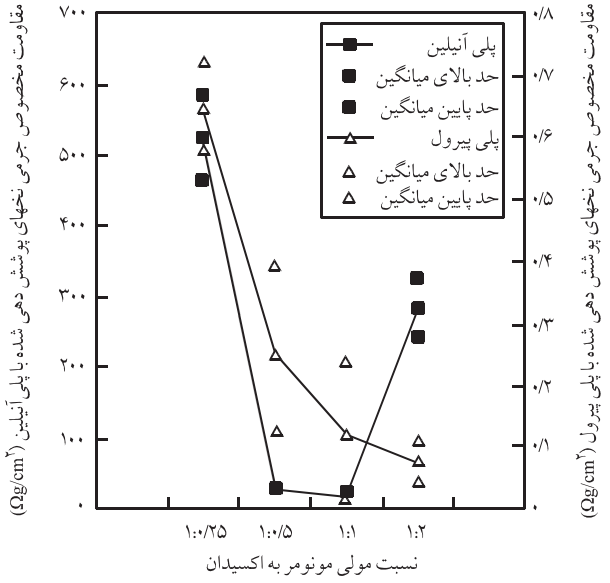
خواص مکانیکی (استحکام وازدیاد طول تاپارگی) نخها با دستگاه استحکام‌سنج با فاصله فکهای ۲۰cm اندازه‌گیری شد. نتایج بر اساس میانگین حداقل ۳۰ اندازه گیری گزارش شده است. ثبات سایشی نمونه ها مطابق روش استاندارد ISO-۱۰۵-X۱۲ ۱۹۹۳ (E) [۲۶] و ثبات شستشویی نمونه ها مطابق روش استاندارد ISO ۱۰۵-c۰۱ ۱۹۹۲ (E) معین شد [۲۷].

نتایج و بحث

مقایسه شرایط پوشش دهی نمونه ها با پلی آنیلین و پلی پیرول

اثر نسبت مولی اکسیدان به مونومر

در شکل ۱ اثر نسبت مولی مونومر آنیلین به اکسیدان (آمونیم پرسولفات)



شکل ۱ مقاومت مخصوص جرمی نخهای پنبه‌ای پوشش داده شده با پلی آنیلین (نسبت وزنی الیاف به آنیلین برابر ۱:۱) و پلی پیرول (نسبت وزنی الیاف به پیرول برابر ۰/۵:۱) در نسبتهای مختلف مولی مونومر به اکسیدان (حدود میانگین با خطای ۹۵ درصد محاسبه شده است).

www.SID.ir

Archive of SID

و مونومر پیرول به اکسیدان (آهن (III)کلرید) روی مقاومت مخصوص جرمی نخهای پنبه‌ای پوشش دهی شده با این مواد نشان داده شده است. شکل ۱ نشان می دهد که مقاومت الکتریکی الیاف پوشش دهی شده با هر دو پلیمر به نسبت مولی اکسیدان مصرفی به مونومر بستگی دارد. با انتخاب نسبت مناسبی از غلظت اکسیدان در هنگام پوشش دهی می توان به کمترین مقاومت الکتریکی دست یافت. نتایج این بررسی نشان می دهد در محدوده مورد مطالعه در نسبت مولی برابر ۱:۱ از اکسیدان به آنیلین، الیاف پوشش داده شده با پلی آنیلین کمترین مقاومت الکتریکی را دارند و در نسبتهای مولی کمتر و بیشتر از این مقدار مقاومت الکتریکی الیاف پوشش داده شده افزایش می‌یابد. گریگوری و تزو [۲۸] نشان داده‌اند که با توجه به ساز و کار پلیمر شدن پلی آنیلین، برای تبدیل هر مولکول آنیلین به پلی‌آنیلین در حالت آمرالدین نیاز به ۱/۲۵ مولکول آمونیم پرسولفات (اکسیدان) است. در غلظتهای کمتر اکسیدان افزون بر این که بازده پلیمر شدن کاهش می‌یابد، پلی آنیلین تهیه شده در حالت لوکو آمرالدین (احیا شده) است و در غلظتهای زیاد اکسیدان، پلی آنیلین تهیه شده در حالت پرنیگرآنیلین (اکسید شده) است. از آنجا که پلی‌آنیلین تنها در حالت آمرالدین رسانای الکتریکی است، بنابراین افزایش مقاومت الکتریکی الیاف پوشش داده شده با پلی‌آنیلین در غلظتهای کم و زیاد اکسیدان دور از انتظار نیست.

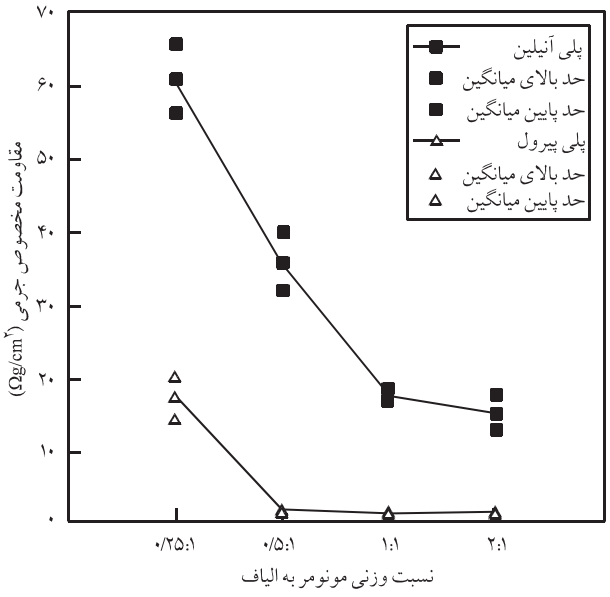
نتایج مطالعه نسبت مولی اکسیدان به پیرول در پوشش دهی نخهای پنبه‌ای با پلی‌پیرول در شکل ۱ نشان داده شده است. این شکل نشان می دهد که در محدوده مورد مطالعه با افزایش غلظت اکسیدان مقاومت الکتریکی نخهای پوشش داده شده کاهش می یابد به‌طوری که در نسبت مولی برابر ۱:۲ اکسیدان به پیرول (۲ مول اکسیدان به ازای ۱ مول پیرول) کمترین مقاومت الکتریکی بدست می آید. آرمس [۶] نشان داده است که برای تبدیل هر مول پیرول به پلی پیرول نیاز به ۲/۲۵ mol آهن (III) کلرید است که با نتایج بدست آمده در این بررسی مطابقت دارد.

اثر نسبت وزنی مونومر به الیاف

اثر نسبت وزنی مونومر پیرول و آنیلین به الیاف روی مقاومت الکتریکی مخصوص جرمی الیاف پنبه‌ای پوشش داده شده با این دو ماده در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد با افزایش مقدار پیرول یا آنیلین نسبت به وزن الیاف مقاومت مخصوص جرمی نخهای پوشش داده شده کاهش می‌یابد، اما کاهش مقاومت الکتریکی با افزایش مقدار مونومر در محیط پلیمر شدن روند کاهشی دارد، به‌طوری که در مورد پوشش دهی با پلی آنیلین مقاومت الکتریکی تا نسبت وزنی برابر ۱:۱ از آنیلین و الیاف کاهش شدید می‌یابد و کاهش مقاومت الکتریکی در نسبتهای بیشتر ناچیز است. در پوشش دهی نخهای پنبه‌ای با پلی پیرول مقاومت الکتریکی تا نسبت وزنی برابر ۱:۰/۵ کاهش شدید نشان می دهد و با افزایش مقدار پیرول در محیط واکنش مقاومت الکتریکی به مقدار کمی کاهش می‌یابد، بنابراین بهترین نسبت وزنی برابر ۱:۱ از مونومر و الیاف برای پوشش دهی الیاف پنبه‌ای با آنیلین و برای پوشش دهی با پیرول برابر ۱:۰/۵ (۰/۵ g پیرول به ازای ۱ g الیاف) است. بنابراین مشاهده می شود که پوشش دهی با پلی پیرول مؤثرتر از پوشش دهی با پلی آنیلین است و با مقدار کمتری از پیرول می توان به مقاومت الکتریکی مناسبی دست یافت.

پوشش دهی الیاف مختلف با پلی آنیلین و پلی پیرول

مقاومت الکتریکی الیاف متداول نساجی پس ازپوشش دهی با پلی آنیلین و پلی پیرول در جدول ۱ با یکدیگر مقایسه شده است. مقاومت الکتریکی الیاف نساجی در حالت معمولی بدون مواد اضافی در محدوده $10^{7/6}$ تا $10^{14}\ \Omega g/cm^2$ قرار دارد [۲۵]. نتایج جدول ۱ نشان می دهد در اثر پوشش دهی این الیاف با پلی آنیلین و پلی پیرول مقاومت الکتریکی الیاف به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد، اما کاهش مقاومت الکتریکی الیاف پوشش داده شده با پلی پیرول بیشتر از کاهش مقاومت الکتریکی الیاف پوشش داده شده با پلی آنیلین است، به‌طوری که در اثر پوشش دهی الیاف مختلف با پلی پیرول مقاومت الکتریکی به ۰/۱۲ تا ۲/۴ $\Omega g/cm^2$



شکل ۲ مقاومت مخصوص جرمی نخهای پنبه‌ای پوشش دهی شده با پلی آنیلین (نسبت مولی اکسیدان به مونومر برابر ۱:۱) و پلی پیرول (نسبت مولی اکسیدان به مونومر برابر ۱:۲) در نسبتهای مختلف وزنی مونومر به الیاف (حدود میانگین با خطای ۹۵ درصد محاسبه شده است).

www.SID.ir

Archive of SID

کاهش می‌یابد، در حالی که در اثر پوشش دهی همین الیاف با پلی آنیلین مقاومت الکتریکی به ۵/۳۴ تا $\Omega g/cm^2$ ۱۷/۴۸ کاهش یافته است.

بیشترین کاهش مقاومت الکتریکی در اثر پوشش دهی با پلی آنیلین و پلی‌پیرول مربوط به الیاف پنبه و کمترین کاهش آن مربوط به الیاف پلی‌استر و پشم است. کم بودن کاهش مقاومت الکتریکی در این الیاف به دلیل عدم پوشش دهی کامل و یکنواخت سطح الیاف است. خواص فیزیکی و شیمیایی سطح الیاف، روی فرایند پلیمرشدن آنیلین بر سطح الیاف اثر می‌گذارد. زیاد بودن مقاومت الکتریکی در الیاف پلی‌استر و پشم پوشش داده شده می‌تواند به مناسب نبودن سطح الیاف پلی‌استر مربوط باشد.

آنبرسان [۲۲] معتقد است که وجود اکسیدان در فرایند پلیمرشدن آنیلین موجب ایجاد مکانهای رادیکالی در سطح الیاف و اتصال آنیلین به این مکانها می‌شود، بنابراین در الیافی که سطح فعال مناسبی دارند، پوشش دهی راحت‌تر و با بازده بیشتری انجام می‌شود. پاد [۲۹] نشان داده است که پوشش دهی سطح پلی‌اتیلن ترفتالیت تنها در محیط آب حاوی کلر یا برم امکان‌پذیر است. پیوندزنی سطح پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن ترفتالیت با آکریلیک اسید برای ایجاد سطحی فعال برای پوشش دهی با پلی‌آنیلین گزارش شده است [۳۰]. هیرس و همکاران [۳۱] در بررسی پوشش دهی الیاف پشم با آنیلین و اکسیدان آمونیم پرسولفات و پتاسیم یدات نشان داده‌اند که پوشش دهی الیاف پشم با آمونیم پرسولفات به آهستگی و با ضخامت کم اتفاق می‌افتد، در حالی که این پوشش دهی با استفاده از پتاسیم یدات مؤثرتر بوده، الیاف با مقاومت الکتریکی کمتری حاصل می‌شود. مؤثرتر بودن پتاسیم یدات در پوشش دهی الیاف پشم به تشکیل سیستیک اسید در سطح الیاف پشم در اثر وجود پتاسیم یدات نسبت داده شده است. بنابراین، می‌توان گفت که ویژگی سطح الیاف در پوشش دهی الیاف و متصل شدن پلیمرهای رسانا به سطح الیاف مؤثر است.

شکلهای ۳ و ۴ به ترتیب سطح مقطع طولی الیاف پوشش داده شده با پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول را نشان می‌دهند. در این تصاویر نحوه پوشش الیاف مختلف با پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول نشان داده شده است . تصاویر میکروسکوپی نمونه‌های پنبه، آکریلیک و نایلون نشان دهنده پوششی یکنواخت از پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول در سطح الیاف است، اما در نمونه‌های پشم و پلی‌استر، تصاویر میکروسکوپی نشان دهنده پوشش نایکنواخت پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول در سطح الیاف است. به‌طوری که در بعضی از نقاط مقدار پلیمر پوشانده شده روی سطح الیاف کم است. بنابراین، انتظارمی‌رود که یکنواخت نبودن پوشش در این الیاف موجب رسانایی کم آنها شده است.

اثر دوپه شدن روی مقاومت الکتریکی الیاف پوشش‌دهی شده

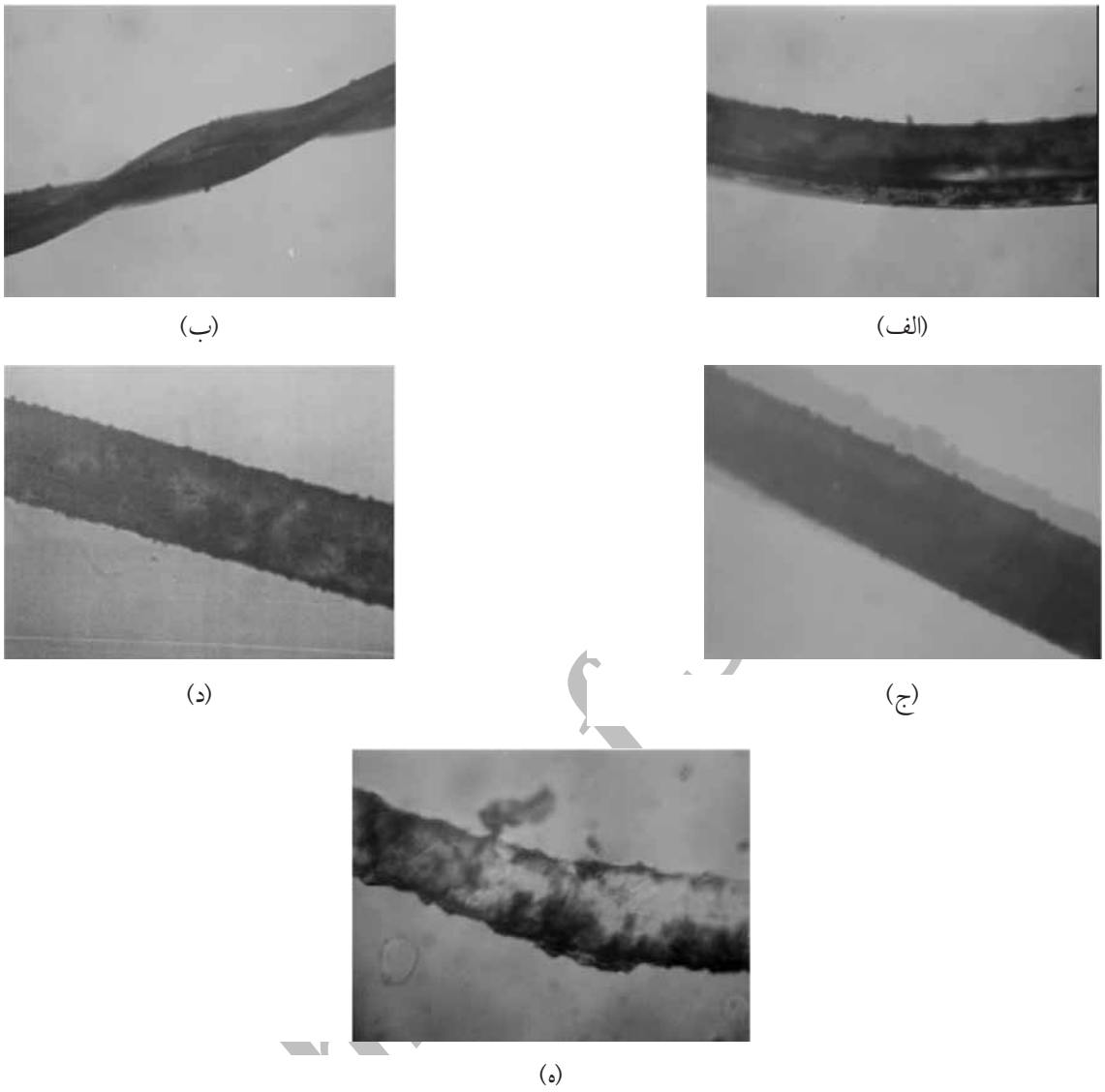
رسانایی پلیمرهای رسانا در اثر دوپه شدن با مواد دوپه کننده افزایش قابل ملاحظه‌ای نشان می‌دهد. رسانایی الیاف پوشش داده شده با پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول نیز در اثر دوپه شدن با مواد اسیدی نظیر کلریدریک اسید افزایش می‌یابد. در شکل ۵ افزایش رسانایی نخهای پنبه‌ای پوشش داده شده با پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول در اثر دوپه شدن با کلریدریک اسید نشان داده شده است. شکل ۶ نشان می‌دهد که در اثر دوپه شدن با کلریدریک اسید افزایش رسانایی الیاف پوشش داده شده با پلی‌آنیلین به مراتب محسوستر از افزایش رسانایی الیاف پوشش داده شده با پلی‌پیرول است. در حقیقت شرایط پوشش دهی و شستشوی بعد از پوشش دهی طوری است که پلی‌آنیلین پوشش داده شده در سطح الیاف به حالت آمرالدین بازی پلیمری می‌شود که نارسانا است. در نتیجه الیاف پوشش داده شده با پلی‌آنیلین رسانایی الکتریکی ندارند. برای رسانا شدن این الیاف پوشش داده شده لازم است تا پلی‌آنیلین تشکیل شده در سطح الیاف دوپه شوند . اما، شرایط پوشش دهی با پلی‌پیرول طوری است که الیاف پس از پوشش دهی بدون نیاز به دوپه شدن مقاومت الکتریکی کمی

جدول ۱ مقاومت مخصوص جرمی(حدود اطمینان ۹۵ ± درصد) الیاف مختلف پوشش داده شده با پلی‌آنیلین (نسبت مولی اکسیدان به آنیلین و نسبت وزنی الیاف به آنیلین برابر ۱:۱) و پلی پیرول (نسبت مولی اکسیدان به پیرول برابر ۱:۲ و نسبت وزنی الیاف به پیرول برابر ۱:۰/۵) پس از دوپه شدن (مقاومت الکتریکی الیاف نساجی در حالت معمولی بدون مواد اضافی در حدود $۱۰^{۷/۶}$ تا $۱۰^{۱۴}$ $\Omega g/cm^2$ است) [۲۶].

الیاف / نوع پوشش دهی	پشم	پنبه	آکریلیک	پلی آمید	پلی استر
پلی آنیلین	۱۷/۴۸±۵/۷۲	۵/۳۴±۱/۵	۰/۹۲±۵/۴۶	۷/۵±۱/۴	۱۵±۳/۳
پلی پیرول	۱/۴۲±۰/۴۸	۰/۱۲±۰/۰۳۳	۰/۹۵±۰/۱۶	۰/۴۵±۰/۰۶۶	۲/۴±۰/۵۴

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپ نوری از سطح مقطع طولی الیاف مختلف پوشش داده شده با پلی آنیلین (نسبت مولی اکسیدان به آنیلین برابر ۱:۱ و نسبت وزنی الیاف به آنیلین برابر ۱:۱): (الف) آکریلیک، (ب) پنبه، (ج) نایلون، (د) پلی استر و (ه) پشم.

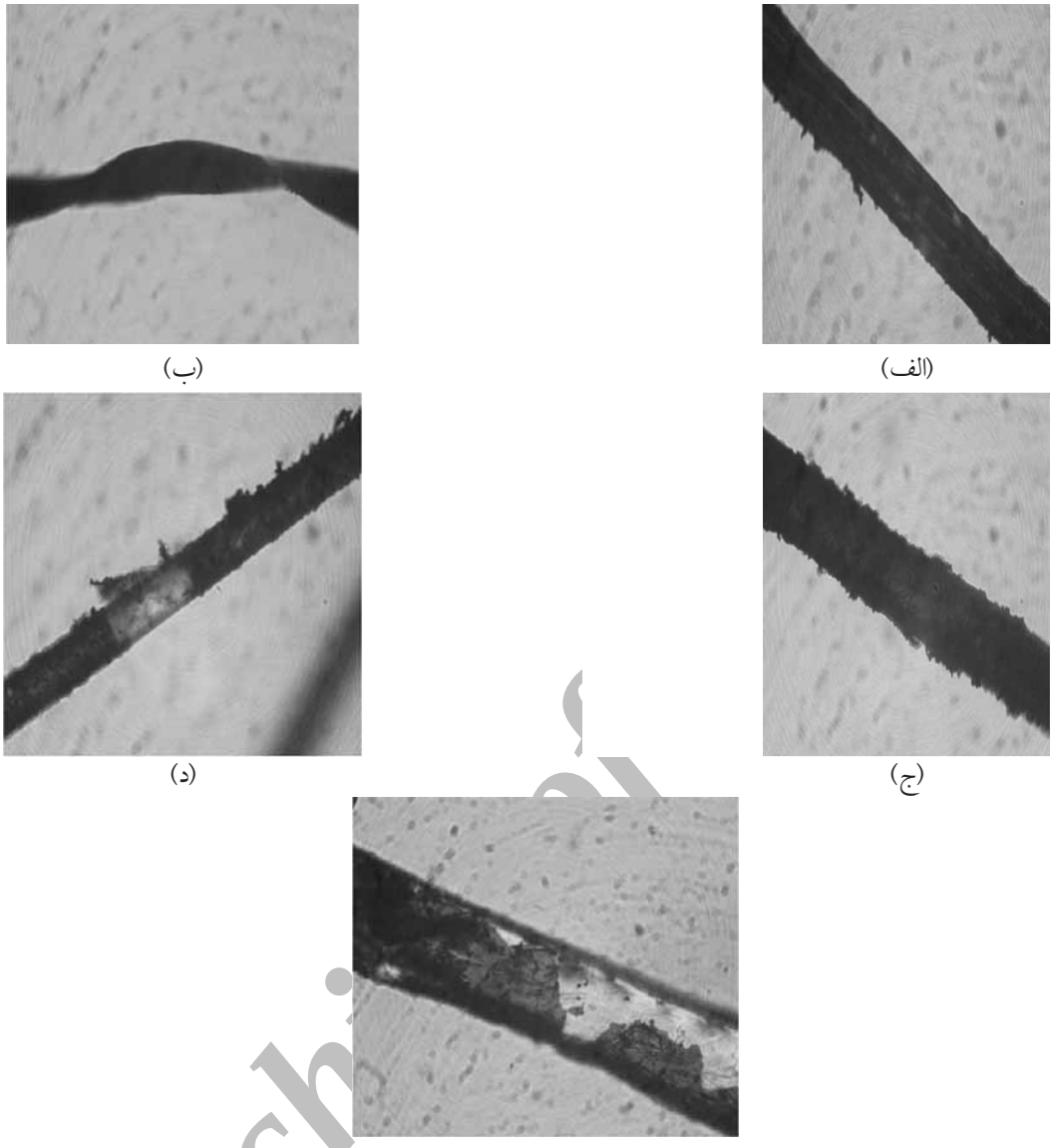
دارند. بدیهی است دوپه کردن این الیاف باعث کاهش بیشتر مقاومت الکتریکی آنها خواهد شد. به این ترتیب نتایج نشان می دهد که الیاف پوشش داده شده با پلی پیرول مناسب تر از الیاف پوشش داده شده با پلی آنیلین هستند، چرا که بدون نیاز به دوپه کردن می توان الیافی با رسانایی بیشتر بدست آورد. اثر دوپه کننده‌ها بر تغییرات مقاومت الکتریکی با توجه به نظریه های ارائه شده[۳۲] قابل توجیه است. بر طبق این نظریه گروههای ایمین پلی آنیلین بازی می تواند پروتونه شده که در اثر آن بار مثبت در پلی آنیلین بوجود آمده، ساختار پلارونی ایجاد می شود. در اثر تشکیل این ساختار پلارونی رسانندگی الکتریکی در پلی آنیلین بوجود می آید.

مقایسه ناپایداری مقاومت الکتریکی الیاف پوشش‌دهی شده با پلی آنیلین و پلی پیرول

رسانایی الکتریکی پلیمرهای رسانا با گذشت زمان کاهش می یابد. تغییر رسانایی الکتریکی پلیمرهای رسانا با گذشت زمان ناپایداری رسانایی الکتریکی نامیده می شود.

در شکل ۵ تغییر مقاومت مخصوص جرمی نخهای پنبه‌ای پوشش داده شده با پلی آنیلین و پلی پیرول در اثر گذشت زمان نشان داده شده است. نتایج این شکل نشان دهنده ناپایدار بودن مقاومت الکتریکی الیاف پوشش داده شده است. برای مقایسه بهتر ناپایداری مقاومت الکتریکی در شکل ۶ مقاومت مخصوص جرمی بهنجار شده (normalized)

www.SID.ir



شکل ۴ تصاویر میکروسکوپ نوری از سطح مقطع طولی الیاف مختلف پوشش داده شده با پلی پیرول (نسبت مولی اکسیدان به پیرول برابر ۱:۲ و نسبت وزنی الیاف به پیرول برابر ۰/۵:۱): (الف) آکریلیک، (ب) پنبه، (ج) نایلون، (د) پلی استر و (ه) پشم.

(R_s/R_{s_0}) نشان داده شده است که عبارت است از مقاومت مخصوص جرمی در زمان t به مقاومت مخصوص جرمی در زمان شروع اندازه گیری برای نخهای پنبه‌ای پوشش دهی شده. با توجه به شکل ۶ بنظر می رسد که ناپایداری مقاومت الکتریکی در نمونه با پوشش پلی پیرول در حالت دوپه نشده کمتر از سایر نمونه ها باشد و نمونه های دارای پوشش پلی آنیلین و پلی پیرول دوپه شده دارای ناپایداری تقریبا برابری هستند. شاکلت و همکاران [۳۳] کاهش رسانایی الکتریکی پلی آنیلین در اثر گذشت زمان را در دمایی مشخص با معادله (۲) بدست آورده اند:

$$S = S_0 Exp(-(t/\tau)^{\gamma}) \qquad (۲)$$

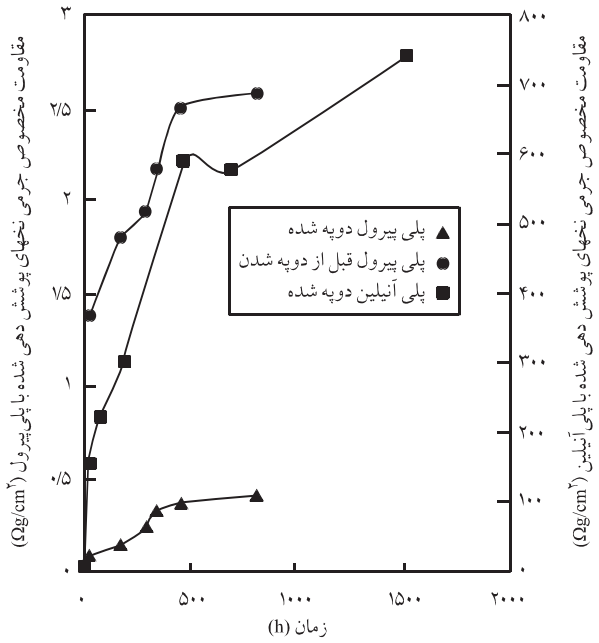
دراین معادله S رسانایی الکتریکی در زمان t، S_0 رسانایی الکتریکی در زمان صفر، τ نشان دهنده زمان مشخصه کاهش رسانایی الکتریکی و γ ثابتهایی هستند که به طور تجربی بدست می آیند. زمان مشخصه نیمه عمر یعنی زمانی که مقدار رسانایی الکتریکی به نصف کاهش می یابد می تواند برای نشان دادن سرعت کاهش رسانایی الکتریکی استفاده شود. زمان نیمه عمر رسانایی الکتریکی با توجه به معادله (۲) از معادله (۳) محاسبه می شود:

$$t_{1/2} = \tau (Ln\ 2)^{1/\gamma} \qquad (۳)$$

با توجه به اینکه رسانایی الکتریکی عکس مقاومت الکتریکی است.

www.SID.ir

Archive of SID



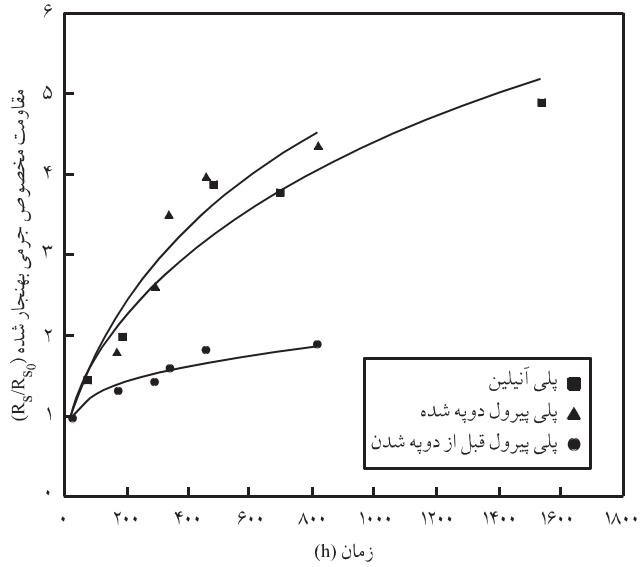
شکل ۵ پایداری رسانایی الکتریکی نخهای پنبه‌ای پوشش داده شده با پلی آنیلین (نسبت مولی اکسیدان به آنیلین برابر ۱:۱ و نسبت وزنی الیاف به آنیلین برابر ۱:۱) و پلی پیرول (نسبت مولی اکسیدان به پیرول برابر ۱:۲ و نسبت وزنی الیاف به پیرول برابر ۰/۵:۱).

بنابراین، رابطه شاکلت و همکاران برای مقاومت مخصوص جرمی به معادله (۴) تبدیل خواهد شد:

$$R_s = R_{s_0} \mathrm{Exp}\left((t/\tau)^{\gamma}\right) \qquad (۴)$$

مقادیر γ، τ و $t_{1/2}$ محاسبه شده از نتایج اندازه‌گیریهای متوالی مقاومت مخصوص جرمی برای نمونه پنبه‌ای پوشش دهی شده با پلی آنیلین و پلی پیرول در جدول ۲ درج شده است. نتایج جدول ۲ نشان می دهد که زمان کاهش رسانایی الکتریکی در نمونه پوشش دهی شده با پلی پیرول قبل از دوپه شدن بیش از سایر نمونه هاست. به طوری که زمان لازم برای نصف شدن رسانایی الکتریکی در این نمونه حدود h ۷۹۵ است. در حالی که این زمان برای نمونه پوشش دهی شده با پلی آنیلین h ۲۰۲و برای نمونه پوشش دهی شده با پلی پیرول دوپه شده h ۱۷۲ است.

افزایش مقاومت الکتریکی پلیمرهای رسانا موضوعی است که باید در استفاده از این پلیمرها مورد توجه قرار گیرد. در مقاله قبلی [۳۴] افزایش مقاومت الکتریکی الیاف پوشش دهی شده با پلی آنیلین پس از دوپه شدن با کلریدریک اسید بررسی و بیان شد که این افزایش مقاومت الکتریکی ممکن است به دلیل خروج مولکولهای اسید دوپه کننده و



شکل ۶ پایداری رسانایی الکتریکی نخهای پنبه‌ای پوشش داده شده با پلی آنیلین (نسبت مولی اکسیدان به آنیلین برابر ۱:۱ و نسبت وزنی الیاف به آنیلین برابر ۱:۱) و پلی پیرول (نسبت مولی اکسیدان به پیرول برابر ۱:۲ و نسبت وزنی الیاف به پیرول برابر ۰/۵:۱).

همچنین به دلیل اثر اکسیژن محیط روی پلی آنیلین باشد و با توجه به شرایط پوشش دهی الیاف می توان شدت افزایش مقاومت الکتریکی را کاهش داد.

اثر پوشش دهی بر استحکام و ازدیاد طول تا پارگی الیاف

در جدول ۳ تغییر نیروی پارگی و ازدیاد طول تا پارگی الیاف مختلف در اثر پوشش دهی با پلی آنیلین و پلی پیرول درج شده است. نتایج این جدول نشان می دهد که تغییر خواص فیزیکی نمونه ها در اثر پوشش دهی از نظر آماری معنی دار نیست و پوشش دهی با پلی آنیلین و

جدول ۲ مقادیر γ، τ و $t_{1/2}$ برای نخهای پنبه‌ای پوشش داده شده با پلی آنیلین (نسبت مولی اکسیدان به آنیلین برابر ۱:۱ و نسبت وزنی الیاف به آنیلین برابر ۱:۱) و پلی پیرول (نسبت مولی اکسیدان به پیرول برابر ۱:۲ و نسبت وزنی الیاف به پیرول برابر ۰/۵:۱).

نوع پوشش دهی	γ	τ	$t_{1/2}$ (h)
پوشش با پلی آنیلین دوپه شده	۰/۴۹۷۱	۴۲۲/۸	۲۰۲
پوشش با پلی پیرول قبل از دوپه شده	۰/۵۸۶۳	۱۴۸۵	۷۹۵/۲
پوشش با پلی پیرول بعد از دوپه شدن	۰/۵۸۵۲	۳۲۲/۱	۱۷۲/۱

www.SID.ir

جدول ۳ مقایسه خواص فیزیکی نخهای پوشش داده شده با پلی‌آنیلین (نسبت مولی اکسیدان به آنیلین و نسبت وزنی الیاف به‌آنیلین برابر ۱:۱) و پلی پیرول (نسبت مولی اکسیدان به پیرول برابر ۱:۲ و نسبت وزنی الیاف به پیرول برابر ۰/۵:۱) و نخهای بدون پوشش (حدود اطمینان در سطح ۹۵ درصد).

نوع پوشش دهی / نوع الیاف	الیاف بدون پوشش		پوشش دهی با پلی آنیلین		پوشش دهی با پلی پیرول	
	استحکام (cN)	ازدیاد طول تا پارگی (٪)	استحکام (cN)	ازدیاد طول تا پارگی (٪)	استحکام (cN)	ازدیاد طول تا پارگی (٪)
پنبه	۵۰/۸±۱/۲	۴/۹۱±۰/۴۶	۴۹/۴±۱/۵	۴/۸۲±۰/۳۲	۴۸/۷±۱/۷	۴/۷۶±۰/۸۱
آکریلیک	۵۱/۷±۱/۲	۱۳/۲۵±۳/۱۴	۵۶/۷±۲/۴	۱۵/۶۷±۴/۲۸	۵۲/۱۲±۱/۸	۱۶/۱۵±۲/۹۸
پشم	۳۲/۵±۱/۵	۶/۴۲±۱/۷۲	۳۲/۲±۱	۷/۱۶±۱/۲۵	۳۱/۱±۱/۴	۵/۹۲±۲/۰۴
پلی استر	۲۰/۱±۰/۵	۳۸/۵۴±۵/۶۲	۲۰/۳±۰/۶	۳۷/۹±۴/۱۸	۲۰/۷±۰/۶	۳۹/۲۵±۴/۱۹
پلی آمید	۲۱/۹±۰/۲	۵۵/۱۷±۷/۴۲	۲۱±۰/۳	۶۰/۳۵±۶/۷۳	۲۱/۲±۰/۴	۵۴/۳۷±۴/۲۶

پلی‌پیرول بدون اثر منفی روی خواص فیزیکی الیاف می‌تواند در تهیه الیاف رسانا استفاده شود.

ثبات شستشویی و سایشی نخهای پوشش‌دهی شده

همان‌طور که در بخشهای قبل نشان داده‌شد پلیمرهای رسانا روی الیاف، لایه‌ای تشکیل می‌دهند. ثبات و دوام این لایه بسیار با اهمیت است، زیرا ممکن است در اثر سایش یا شستشو این لایه از بین برود. برای مشخص شدن دوام این لایه ثبات شستشو و سایش به کمک آزمونهای ثبات شستشویی و سایشی رنگ منسوجات اندازه‌گیری شد. بدیهی است که این روشها برای اندازه‌گیری ثبات این نوع عملیات طراحی نشده و لازم است روشهای جدیدی برای این موضوع طراحی شود. در هر حال این آزمایش را می‌توان برای سنجش ثبات نسبی مورد استفاده قرار داد. مطابق با روشهای آزمون استاندارد شدت رنگ منتقل شده در اثر سایش از سطح کالای نساجی به سطح پارچه‌ای سفید را ثبات سایشی می‌نامند. شدت رنگ منتقل شده به پارچه سفید به طور مقایسه چشمی با معیار خاکستری برای لکه‌گذاری [۳۵] سنجیده می‌شود. تغییر شدت رنگ کالای نساجی در اثر شستشو با مواد شوینده را ثبات شستشویی می‌نامند. تغییر شدت رنگ پارچه در اثر شستشو به‌طور مقایسه چشمی با معیار خاکستری برای تغییر رنگ [۳۶] سنجیده می‌شود. این ثباتها از درجه ۱ برای ثبات بد تا ۵ برای ثبات عالی درجه‌بندی می‌شوند [۲۶،۲۷].

نتایج ثبات سایشی و ثبات شستشویی نمونه‌های الیاف پوشش داده شده با پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول در جدول ۴ آمده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که در هر دو مورد پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول ثبات شستشویی الیاف پوشش‌داده شده در حد بالایی قرار دارد، اما ثبات سایشی نمونه‌های پوشش داده شده کم است. ثبات شستشویی خوب الیاف پوشش داده شده می‌تواند به دلیل نامحلول بودن پلی‌آنیلین یا پلی‌پیرول تشکیل شده روی سطح الیاف در آب باشد. کم بودن ثبات سایشی الیاف پوشش داده شده به دلیل سطحی بودن پوشش‌دهی و عدم نفوذ پلیمر به داخل الیاف است [۳۴].

جدول ۴ ثبات سایشی و شستشویی نخهای پوشش داده شده با پلی آنیلین(نسبت مولی اکسیدان به آنیلین و نسبت وزنی الیاف به آنیلین برابر ۱:۱) و پلی پیرول (نسبت مولی اکسیدان به پیرول برابر ۱:۲ و نسبت وزنی الیاف به پیرول برابر ۰/۵:۱) و نخهای بدون پوشش.

نوع پوشش دهی / ثبات	پوشش دهی با پلی پیرول			پوشش دهی با پلی آنیلین		
	پنبه	آکریلیک	پشم	پنبه	آکریلیک	پشم
سایشی (لکه گذاری)	۱	۱	۱	۱/۵-۲	۱/۵-۲	۱-۱/۵
شستشویی (تغییر رنگ)	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۴-۵

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه گیری

یکی از روشهای کاهش مقاومت الکتریکی الیاف، پوشش دهی الیاف متداول نساجی با پلیمرهای رساناست. به این ترتیب الیاف با مقاومت الکتریکی کم و خواص فیزیکی مناسب تهیه شد. کاهش مقاومت الکتریکی الیاف بستگی به شرایط پوشش دهی، پلیمر رسانای مورد استفاده برای پوشش دهی، نوع الیاف مورد استفاده و وجود ماده دوپه کننده دارد. نتایج پوشش دهی با پلی آنیلین و پلی پیرول نشان می دهد که هر دو پلیمر برای کاهش مقاومت الکتریکی الیاف نساجی قابل استفاده هستند، اما استفاده از پلی پیرول در کاهش مقاومت الکتریکی مؤثرتر از پلی آنیلین است، به طوری که با پوشش دهی الیاف پنبه، پشم، آکریلیک، نایلون و پلی استر با پلی آنیلین می توان به مقاومت مخصوص جرمی ۵ تا ۱۷ $\Omega g/cm^2$ دست یافت، در حالی که با پوشش دهی با پلی پیرول مقاومت مخصوص جرمی این الیاف به ۰/۱ تا ۲ $\Omega g/cm^2$ کاهش خواهد یافت. الیاف پشم و پلی استر بیشترین مقاومت الکتریکی را در الیاف پوشش دهی شده دارند، زیاد بودن مقاومت الکتریکی در این الیاف به دلیل نایکنواختی پوشش دهی سطح این الیاف با پلیمر رسانا و وجود مناطق بدون پوشش در سطح این الیاف است.

بررسی شرایط پوشش دهی نشان می دهد که اگر چه بدون توجه به شرایط پوشش دهی می توان مقاومت الکتریکی الیاف را به مقدار قابل توجهی کاهش داد، اما برای دستیابی به کمترین مقاومت الکتریکی نیاز به انتخاب شرایط بهینه برای پوشش دهی است. مقدار کاهش مقاومت الکتریکی الیاف پوشش دهی شده وابستگی شدیدی به وجود ماده دوپه کننده پلیمر رسانا دارد. پلی آنیلین پوشش داده شده در سطح الیاف معمولاً به حالت نارسانا وجود دارد و برای اینکه الیاف پوشش دهی شده رسانا شوند، باید آنها را با مواد دوپه کننده نظیر کلریدریک اسید دوپه کرد. در مورد الیاف پوشش دهی شده با پلی پیرول مشاهده شد که این الیاف بدون نیاز به دوپه شدن رسانایی الکتریکی زیادی دارند، اما به هر حال در اثر دوپه شدن این الیاف با کلریدریک اسید رسانایی به مقدار قابل توجهی افزایش خواهد یافت.

از مشکلات استفاده از پلیمرهای رسانا برای کاهش مقاومت الکتریکی الیاف، ناپایداری رسانایی آنهاست. شدت ناپایداری رسانایی الکتریکی بستگی به نوع پلیمر رسانای مورد استفاده دارد، به طوری که نمونه های پوشش دهی شده با پلی پیرول در حالت دوپه نشده بهترین پایداری رسانایی را دارند، روند کاهش رسانایی الکتریکی در نمونه های پوشش دهی شده با پلی آنیلین و پلی پیرول پس از دوپه شدن با کلریدریک اسید تقریباً یکسان است.

بررسی خواص فیزیکی نمونه های پوشش دهی شده با پلی آنیلین و پلی پیرول نشان دهنده عدم تغییر خواص فیزیکی الیاف در اثر پوشش دهی است. در حقیقت پوشش دهی الیاف متداول نساجی روش مطمئنی برای کاهش مقاومت الکتریکی الیاف و دسترسی به الیاف با رسانایی الکتریکی زیاد و خواص فیزیکی مناسب است، اما به هر حال ثبات سایشی الیاف پوشش دهی شده کم است. پایین بودن ثبات سایشی موضوعی است که در آینده باید مورد توجه قرار گیرد.

مراجع

1. Ito T., Shirakawa H. and Keda S., Simutltaneous Polymerization and Formation of Polyacetylene Film on the Surface of Concentrated Soluble Zigler Type Catalyst Solution, *J. Polym. Sci. Polym. Chem.,* **1**, 11-20, 1974.
2. Hirase R., Hasegawa M. and Shirai M., Counductive Fibers based on Poly (ethylene terephthalate)-Polyaniline Composites Manufactured by Electrochemical Polymerization, *J. Appl. Polym. Sci.,* **87**, 1073-1078, 2003.
3. Liu W. and Gao G., Preparation of Counductive Polyaniline Fibers by Continuous Forming- Drawn, *J. Appl. Polym. Sci.,* **93**, 956-960, 2004.
4. Malinauskas A., Chemical Decomposition of Conducting Polymers, *Polymer,* **42**, 3957-3972, 2001.
5. Cao Y., Andreatta A., Heeger A.J. and Smith P., Influence of Chemical Polymerization Condition on the Properties of Polyaniline, *Polymer,* **30**, 2305-2311, 1989.
6. Armes S.P., Optimum Reaction Conditions for the Polymerization of Pyrrole by Iron (III) Chloride in Aqueous Solution, *Synth. Met.,* **20**, 365-371, 1987.
7. Gospadinova N. and Terlemezyan L., Counducting Polymers, Prepared by Oxidative Polymerization: Polyaniline, *Prog. Polym. Sci.,* **23**, 1443-1448, 1998.
8. Taka T., EMI Shielding mesurments on Poly (3-octyl thiophene) Blends, *Synth. Met.,* **41**, 1177-1180, 1991.
9. Makela T., Isotalo H., Sten J. and Hujanen A., High Frequency Polyaniline Shields, *Synth. Met.,* **101**, 707-709, 1999.
10. Strenger Smith J.D., Intrinsically Electrically Conducting Polymers, Synthesis Characterization and their Applications, *Prog.*

www.SID.ir

Archive of SID

Polym. Sci., **23**, 57-59, 1998.

11. Wesling B. and Postorefer J., Corrosion Prevention with an Organic Metalo Polyaniline, *Electrochimi Acta,* **4**, 2139-2147, 1999.
12. Pomfret S.J., Adams P.N., Montman A.P. and Comfort N.P., Advances in Processing Routs for Conductive Polyaniline Fibers, *Synth. Met.,* **101**, 724-725, 1999.
13. Andreatta A., Cao Y., Chiang J.C., Heeger A.J. and Smith P., Electrically Conductive Fibers of Polyaniline Spun from Solution in Concentrated Sulfuric Acid, *Synth. Met.,* **26**, 383-389, 1988.
14. Scherr E.M. and Macdiarmid A.G., Polyaniline Oriented Film and Fibers, Grant No. N00014-90-J, Tech. Report No. 1990-4, March 1991.
15. Gregory R.V., Improved Solution Stability and Spinability of Concentrated Polyaniline Solution Using N,N-Dimethyl Propylene Urea as the Spin Bath Solvent, *Synth. Met.,* **69**, 109-112, 1995.
16. Andreatta A. Electrically Conductive Polyblends Fibers of Polyaniline and Poly(*p*-phenylene terephethalamide), *Polym. Comm.,* **31**, 275-278, 1990.
17. Andreatta A. and Smith P., Processing of Counductive Polyaniline-UHMW Polyerhylene Blend from Solution in nonpolar Solvent, *Synth. Met.,* **55**, 1017-1022,1993.
18. Abraham D., Bharathi A. and Subramanyam S.V., Highly Conducting Polymer Blend Film of Polyaniline and Nylon 6 by Cosolvation in an Organic Acid, *Polymer,* **37**, 5295-5299, 1996.
19. Nouri M., Haghighat Kish M. and Entezami A.A., Electrically Conductive Fibers of Polyaniline and Polyacrylonitrile Blend, *Iran. Polym. J. Sci. Technol.,* **18**, 8-17, 2005.
20. Gregory R.V., Kimbrell W.C. and Kuhn H. H., Conductive Textile Composite, *Proc. 3RD Int. Sampe. Electronics Conf.,* 570-577, 1989.
21. Oh K.W. and Kim S.H., Electrically Conductive Textiles by in Situ Polymerization of Aniline, *J. Appl. Polym. Sci.,* **74**, 2094-2101, 1999.
22. Anbarsan R., Jayaseharan J., Sudha M., Devi J.L., Nirmala P.V. and Gopalan A.J., Peroxosalt Initiated Graft Copolymerization of Anilin onto Rayon Fiber : A Kinetic Approch, *J. Appl. Polym. Sci.,* **81**, 468-478, 2001.
23. Li H.H., Shi C.Q., Ye W., Li C. and Liang Y.Q., Polypyrrole Carbon Composite Film Prepared by Chemical Oxidation Polymerization of Pyrrole, *J. Appl. Polym. Sci.,* **64**, 2149-2154, 1997.
24. Boutrois J.P., Jolly R. and Petrescu C., Process of Polypyrrole Deposited on Textile Product: Characterization and Applications, *Synth. Met.,* **85**, 1405-1406, 1997.
25. ISO-105-X12, Textile Tests for Color Fastness, 1993 .
26. ISO 105-C01, Textile Tests for Color Fastness, Part I -Color Fastness to Washing, 1992.
27. Morton W.E. and Hearle J.W.S., *Physical Properties of Textile Fibers,* The Textile Institute, London, UK, 509-511, 1975.
28. Tzou K. and Gregory R.V., Kinetic Study of Chemical Polymerization of Aniline in Aqueous Solution, *Synth. Met.,* **47**, 267-277, 1992.
29. Pud A.A., Rogalsky S.P., Shapoval G.S. and Korzhenko A.A., The Polyaniline Poly(ethylene terephthalate) Composite, *Synth. Met.,* **99**, 175-179, 1999.
30. Kang E.T., Neoh K.G., Pun M.Y., Tan K.L. and Loh F.C., Charg Transfer Intractions between Polyaniline and Surface Functionalized Polymer Substrate, *Synth. Met.,* **69**, 105-108, 1995.
31. Firase R., Shikata T. and Shirai M., Selective Formation of Polyaniline on Wool by Chemical Polymerization, Using Potassium Iodate, *Synth. Met.,* **146**, 73-77, 2004.
32. Stafstrom S., Bredas J.L., Epestin A.J., Woo H.S. and MacDiarmid A.G., Polaron Lattice in Highly Conducting Polyaniline: Theoretical and Optical Studies, *Phys. Rev. Lett.,* **59**, 1464-1467, 1987.
33. Shacklette L.W., Han C.C. and Luly M.H., Polyaniline Blend in Termoplastics, *Synth. Met.,* **57**, 3532-3537, 1993.
34. Nouri M., Haghighat Kish M., Entezami A.A. and Edrisi M., Conductivity of Textile Fibers Treated with Aniline, *Iran. Polym. J.,* **9**, 49-57, 2000.
35. ISO 105-A03, Grey Scale for Assessing Staining, 1993.
36. ISO 105-A02, Gray Scale for Assessing Change in Colour, 1993.

www.SID.ir