

## مقایسه هدایت الکتریکی الیاف پوشش داده شده توسط پلی آنیلین و پلی پیروول

مهدی نوری<sup>۱\*</sup>، محمد حقیقت کیش<sup>۲</sup>، علی اکبر انتظامی<sup>۳</sup>

- ۱- استادیار و عضو هیات علمی گروه نساجی، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان
- ۲- استاد و عضو هیات علمی دانشکده نساجی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر
- ۳- استاد و عضو هیات علمی دانشکده شیمی دانشگاه تبریز

### چکیده :

کاربرد پلیمرهای رسانای الکتریسیته در کاهش مقاومت الکتریکی الیاف نساجی مورد توجه قرار گرفته است. به این منظور پوشش دهی نخهای از جنس پنبه، پشم، پلی استر، اکریلیک و پلی آمید با پلی آنیلین و پلی پیروول به عنوان پلیمرهای رسانای مطالعه شده است و مقاومت الکتریکی، پایداری هدایت الکتریکی و برخی خواص فیزیکی نخهای پوشش داده شده اندازه گیری شده است. نتایج بررسی نشان داده است که پوشش دهی با پلی پیروول در کاهش مقاومت الکتریکی الیاف مؤثر بوده است و پایداری هدایت الکتریکی نخهای پوشش داده شده با پلی پیروول بهتر از پایداری هدایت الکتریکی نخهای پوشش داده شده با پلی آنیلین است. پوشش دهی با این دو پلیمر رسانای تأثیر چندانی بر استحکام و ازدیاد طول تا حد بارگی نخها نداشته است. نتایج بر اساس نظریه های موجود در رابطه با پلیمرهای رسانای توجیه شده است.

**کلمات کلیدی:** الیاف نساجی، پوشش دهی، پلی آنیلین، پلی پیروول، مقاومت الکتریکی، هدایت الکتریکی.

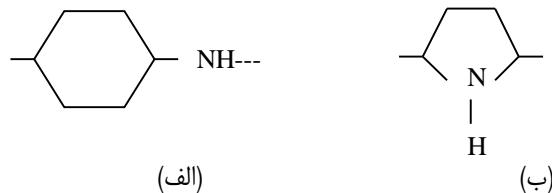
### -۱- مقدمه -

الیاف رسانای جریان الکتریسیته امروزه کاربردهای متعددی دارند که از آن میان می توان به تولید کالاهای ضد الکتریسیته ساکن [۱] و یا پارچه های جاذب امواج الکترومغناطیس [۲] اشاره نمود. برای تولید الیاف رسانای الکتریسیته روشهای متعددی مورد بررسی قرار گرفته است. تولید الیاف از پلیمرهای رسانای الکتریسیته [۳و۴]، پوشش دهی الیاف متداول نساجی توسط پلیمرهای رسانا [۵-۸] و تولید الیاف از مخلوط پلیمرهای متداول و پلیمرهای رسانا [۹و۱۰] از روشهای متفاوت است. از میان پلیمرهای رسانا پلی آنیلین و پلی پیروول شاید بدلیل سهولت تولید پلیمر و پایداری خوب هدایت الکتریکی بیشتر مورد توجه قرار گرفته اند[۱۱]. تهیه پلی آنیلین و پلی پیروول بوسیله محققین بررسی شده است [۱۲و۱۳]. مطابق با این بررسی ها ساختمان شیمیائی پلی آنیلین و پلی پیروول در شکل ۱ نشان داده شده است.

اگرچه پوشش دهی الیاف نساجی توسط پلی آنیلین و پلی پیروول گزارش شده است [۷-۵] اما این گزارشات به امکان پذیر بودن پوشش دهی و گزارش نتایج محدود می گردد و بررسی شرایط پوشش دهی و مقایسه الیاف پوشش داده شده توسط پلی آنیلین و پلی پیروول کمتر مورد توجه بوده است. در یک بررسی تأثیر شرایط پوشش دهی با پلی آنیلین بر روی خواص

الکتریکی الیاف مختلف نساجی و مورفولوژی سطحی الیاف پوشش داده شده توسط پلی آنیلین مطالعه شده است [۱۴]. در مقاله حاضر خواص الکتریکی و پایداری هدایت الکتریکی الیاف پوشش داده شده توسط پلی آنیلین و پلی پیروول مورد توجه قرار گرفته است.

شکل ۱- ساختمان شیمیائی پلی آنیلین (الف) و پلی پیروول (ب)



## ۲- تجربیات

آنیلین و پیروول قبل از مصرف تحت خالاً تقطیر شده اند. پرسولفات آمونیم، کلرید آهن III و اسید کلریدریک از درجه آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفت.

پنبه، اکریلیک و پشم بصورت نخهای رسیده شده و پلی آمید ۶ (پلی کاپرولاکتان) و پلی استر (پلی اتیلن ترفتالات) بصورت الیاف مداوم استفاده شده اند. الیاف اکریلیک و پلی استر از کارخانه پلی اکریل ایران، اصفهان، الیاف پلی آمید از کارخانه الیاف، تهران و الیاف پنبه و پشم از منابع محلی تهیه شده اند.

برای پوشش دهی الیاف مختلف با پلی آنیلین و پلی پیروول ابتدا نمونه نخهای الیاف مختلف توسط محلول شوینده و آب بمنظور از بدن مواد اضافی سطحی شسته و خشک گردیده اند و سپس کلافهای با وزن ۵۰/۵۰۰ گرم از آنها تهیه شد. برای پوشش دهی در یک بشر حاوی ۵۰ CC محلول اسید کلریدریک ۱ نرمال (برای پوشش دهی با پلی آنیلین) و یا آب مقطار (برای پوشش دهی با پلی پیروول) مقدار نیاز آنیلین یا پیروول تقطیر شده اضافه شده است و بشر با همزدن در داخل حمام آب و یخ قرار گرفت. پس از کاهش دمای محلول داخل بشر به  $1\pm 2^{\circ}\text{C}$  ۳۰ دقیقه قطره قدره داخل بشر اضافه شد و پس از ۵ دقیقه مقدار مورد نیاز اکسیدان (پرسولفات آمونیم برای پوشش دهی با پلی آنیلین و کلرید آهن III برای پوشش دهی با پلی پیروول) که در ۱۰ CC آب حل شده است در طی مدت ۳۰ دقیقه قطره داخل بشر اضافه گردید. سپس واکنش بمدت ۲ ساعت در دمای  $2\pm 1^{\circ}\text{C}$  ادامه یافت. در طول آزمایش محلول داخل بشر توسط همزن مغناطیسی همzedه می شد. پس از انجام پوشش دهی نمونه نخهای پوشش داده شده خارج شده و ابتدا با آب مقطار و سپس در محلول آب و شوینده به منظور خارج سازی مواد اضافی شسته شد. در انتهای کلافها در آون با دمای  $50^{\circ}\text{C}$  خشک گردید.

## ۳- شناسائی

مقاومت الکتریکی نخهای پوشش داده شده بوسیله اهم متر UNTI-T Digital Multimeter با دقت  $0.15\pm$  درصد اندازه گیری شده است. نخها بدور یک لام شیشه ای پیچیده شدنده مقاومت الکتریکی آنها بوسیله دو گیره فرنری با فاصله بک سانتی متر از یکدیگر که به اهم متر متصل بوده اند اندازه گیری شد. این روش بکار برده شده توسط مورتون و هرل [۱۵] میباشد. اندازه گیری مقاومت پس از تعادل سازی نمونه ها در یک محفظه مسدود مجهز به دستکش با رطوبت نسبی ۶۵٪/و دمای  $30^{\circ}\text{C}$  انجام شد. مقاومت الکتریکی مخصوص جرمی بوسیله رابطه  $R_{\text{S}}=(R\times N\times T)/(L\times 10^6)$  که در آن R مقاومت الکتریکی قرائت شده توسط اهم متر ، N تعداد رشته نخها هنگام اندازه گیری ، L طول نخ نمونه و T نمره نخ بر حسب

Tex (وزن ۱۰۰۰ متر نخ) محاسبه می‌شود. مقاومت مخصوص جرمی بر حسب  $\Omega\text{g}/\text{Cm}^2$  بیان شده است که با واحد متداول برای مقاومت مخصوص بر حسب  $\Omega\cdot\text{Cm}$  در ارتباط است [۱۵].

خواص مکانیکی (استحکام و ازدیاد طول گسیختگی) نخها توسط دستگاه استحکام سنج Instron با فاصله فکهای ۱ cm اندازه گیری شده است.

## ۴- نتایج و بحث

### ۴-۱- مقایسه پوشش دهی الیاف مختلف

مقاومت الکتریکی الیاف متداول نساجی پس از پوشش دهی با پلی آنیلین و پلی پیروول در جدول ۱ با یکدیگر مقایسه شده است. مقاومت الکتریکی الیاف نساجی در حالت معمولی بدون مواد اضافی در محدوده  $10^{14} \text{ تا } 10^{16} \Omega\text{g}/\text{Cm}^2$  قرار دارد. نتایج جدول ۱ نشان میدهد که در اثر پوشش دهی این الیاف با پلی آنیلین و پلی پیروول مقاومت الکتریکی الیاف بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد اما کاهش مقاومت الکتریکی الیاف پوشش داده شده با پلی پیروول بیشتر از کاهش مقاومت الکتریکی الیاف پوشش داده شده با پلی آنیلین است، بطوریکه در اثر پوشش دهی الیاف مختلف با پلی پیروول مقاومت الکتریکی به  $2/4 \text{ تا } 2/4 \Omega\text{g}/\text{Cm}^2$  کاهش می‌یابد در صورتیکه در اثر پوشش دهی همین الیاف با پلی آنیلین مقاومت الکتریکی به  $17/48 \text{ تا } 17/48 \Omega\text{g}/\text{Cm}^2$  کاهش یافته است.

بیشترین کاهش مقاومت الکتریکی در اثر پوشش دهی با پلی آنیلین و پلی پیروول مربوط به الیاف پنبه و کمترین کاهش مقاومت الکتریکی مربوط به الیاف پلی استر است که کم بودن کاهش مقاومت الکتریکی در الیاف پلی استر به دلیل عدم پوشش دهی کامل و یکنواخت سطح الیاف در اثر پوشش دهی می‌باشد. [۱۶].

جدول ۱ - مقاومت مخصوص جرمی الیاف مختلف پوشش داده شده توسط پلی آنیلین و پلی پیروول ( $\Omega\text{g}/\text{Cm}^2$ )  
( مقاومت الکتریکی الیاف نساجی در حالت معمولی بدون مواد اضافی در محدوده  $10^{14} \text{ تا } 10^{16} \Omega\text{g}/\text{Cm}^2$  قرار دارد ) [۱۵]

الیاف	پشم	پنبه	اکریلیک	پلی آمید	پلی استر	نوع پوشش دهی
پلی آنیلین	۱۷/۴۸	۵/۳۴	۵/۴۶	۷/۵	۱۵	پلی آنیلین
پلی پیروول	۰/۴۲	۰/۱۲	۰/۹۵	۰/۴۵	۲/۴	پلی پیروول

### ۴-۲- اثر دوپینگ روی هدایت الکتریکی الیاف پوشش داده شده

رسانائی پلیمرهای رسانا در اثر دوپینگ با مواد دوپه کننده افزایش چشمگیری نشان میدهد. رسانائی الیاف روکش داده شده توسط پلی آنیلین و پلی پیروول نیز در اثر دوپینگ با مواد اسیدی نظیر اسید کلریدریک افزایش پیدا می‌کند. در شکل ۲ افزایش رسانائی نخهای پنبه ای پوشش داده شده توسط پلی آنیلین و پلی پیروول در اثر دوپینگ با اسید کلریدریک نشان داده شده است. نتایج شکل ۲ نشان می‌دهد که در اثر دوپینگ با اسید کلریدریک افزایش رسانائی الیاف پوشش داده شده با پلی آنیلین به مراتب محسوس‌تر از افزایش رسانائی الیاف پوشش داده شده با پلی پیروول می‌باشد. در حقیقت شرایط پوشش دهی و شستشوی بعد از پوشش دهی به گونه‌ای است که پلی آنیلین پوشش داده شده در سطح الیاف به صورت امراضی بازی پلی مری می‌گردد که نارسانا است. در نتیجه الیاف پوشش داده شده با پلی آنیلین رسانائی الکتریکی ندارند. برای رسانا شدن این الیاف پوشش داده شده لازم است تا پلی آنیلین تشکیل شده در سطح الیاف دوپ شوند. اما شرایط پوشش دهی با پلی پیروول بگونه‌ای است که الیاف پس از پوشش دهی بدون نیاز به دوپ شدن دارای هدایت الکتریکی هستند. بدینهی است دوپ کردن

این الیاف باعث افزایش هدایت الکتریکی آنها خواهد گردید . به این ترتیب نتایج نشان می دهد که از این جهت الیاف پوشش داده شده با پلی پیروول مناسب تر از الیاف پوشش داده شده با پلی آنیلین می باشد چرا که بدون نیاز به دوب کردن می توان الیاف با رسانای بالاتری را بدست آورد . تأثیر دوپه کننده های بر تغییرات هدایت الکتریکی با توجه به نظریه های ارائه شده [ ۱۶ ] قابل توجیه است .

#### ۴-۳- مقایسه پایداری هدایت الکتریکی الیاف پوشش داده شده با پلی آنیلین و پلی پیروول

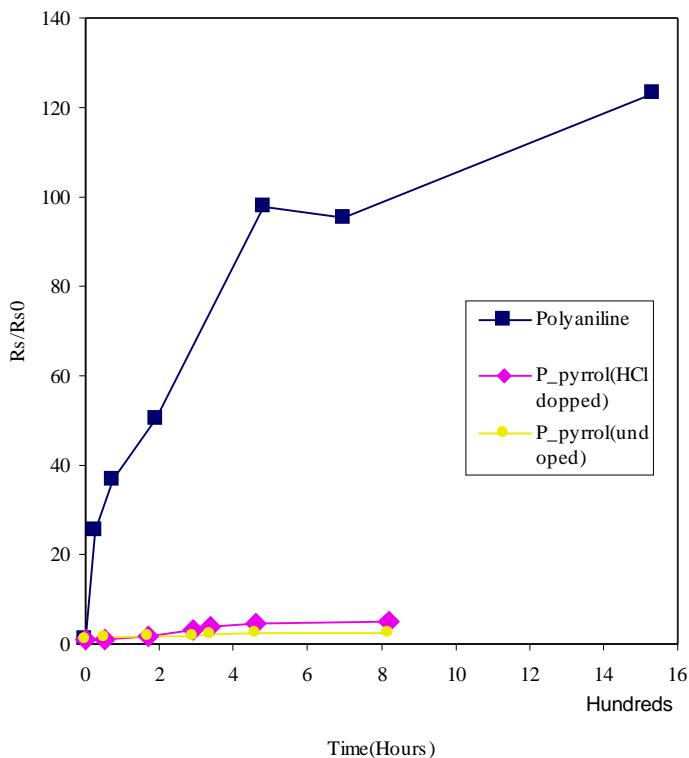
کاهش هدایت الکتریکی پلیمر های رسانای الکتریسیته موضوعی است که باید در استفاده از این پلیمر ها مورد توجه قرار گیرد . در مقاله قبلی [ ۱۴ ] افزایش مقاومت الکتریکی الیاف پوشش داده شده توسط پلی آنیلین پس از دوب کردن با اسید کلریدریک مورد بررسی قرار گرفت و بیان شده است که این افزایش مقاومت الکتریکی ممکن است بدلیل اثر اکسیژن محیط بر روی پلی آنیلین و همچنین خروج ملکولهای اسید دوب کننده از پلی آنیلین پوشش داده شده روی الیاف باشد . در آن مقاله نشان داده شد که با توجه به شرایط روکش دهی الیاف می توان شدت افزایش مقاومت الکتریکی با زمان را کاهش داد .

در شکل ۲ تغییر مقاومت مخصوص جرمی نرمال شده ( $R_s/R_{s0}$ ) که عبارت است از مقاومت مخصوص جرمی در زمان  $t$  به مقاومت مخصوص جرمی در زمان شروع اندازه گیری ( $t_0$ ) نخهای پنبه ای پوشش داده شده توسط پلی آنیلین و پلی پیروول نشان داده شده است . نتایج شکل ۲ نشان می دهد که پایداری هدایت الکتریکی در الیاف پوشش داده شده توسط پلی پیروول بیشتر از پایداری هدایت الکتریکی الیاف پوشش داده شده توسط پلی آنیلین می باشد . بطوريکه افزایش مقاومت الکتریکی الیاف پوشش داده شده با پلی آنیلین پس از ۸۰۰ ساعت حدود ۱۰۰ برابر افزایش می یابد در صورتیکه در همین مدت مقاومت الکتریکی الیاف پوشش داده شده با پلی پیروول پس از دوب شدن با اسید کلریدریک ۸ برابر و الیاف پوشش داده شده با پلی پیروول قبل از دوب شدن ۵ برابر افزایش می یابد .

#### ۴-۴- اثر پوشش دهی روی استحکام و ازدیاد طول گسیختگی الیاف

در جدول ۲ تغییر نیروی پارگی و ازدیاد طول گسیختگی الیاف مختلف در اثر پوشش دهی توسط پلی آنیلین و پلی پیروول درج شده است . نتایج این جدول نشان می دهد که تغییر خصوصیات فیزیکی نمونه ها در اثر پوشش دهی از نظر آماری معنی دار نیست و پوشش دهی با پلی آنیلین و پلی پیروول بدون تاثیر منفی بر روی خواص فیزیکی الیاف می تواند در تهیه الیاف رسانای الکتریسیته استفاده گردد .

شکل ۲ پایداری هدایت الکتریکی نخهای پنبه ای پوشش داده شده با پلی آنیلین و پلی پیرول



جدول ۲- مقایسه خواص فیزیکی نخهای پوشش داده شده با پلی آنیلین و پلی پیرول با نخهای بدون پوشش  
(حدود اطمینان در سطح ۹۵٪)

نوع الیاف	الیاف با پوشش پلی آنیلین	الیاف با پوشش پلی آنیلین	الیاف بدون پوشش	
پنبه	۴۸/۷ ± ۱/۷	۴۹/۴ ± ۱/۵	۵۰/۸ ± ۱/۲	CN استحکام
	۴/۷۶ ± ۰/۸۱	۴/۸۲ ± ۰/۲۳	۴/۹۱ ± ۰/۴۶	٪ گسیختگی
اکریلیک	۵۲/۲ ± ۱/۸	۵۶/۷ ± ۲/۴	۵۱/۷ ± ۱/۲	CN استحکام
	۱۶/۱۵ ± ۲/۹۸	۱۵/۶۷ ± ۴/۲۸	۱۳/۲۵ ± ۳/۱۴	٪ گسیختگی
پشم	۳۱/۱ ± ۱/۴	۳۲/۲ ± ۱	۳۲/۵ ± ۱/۵	CN استحکام
	۵/۹۲ ± ۲/۰۴	۷/۱۶ ± ۱/۲۵	۶/۴۲ ± ۱/۷۲	٪ گسیختگی
پلی استر	۲۰/۷ ± ۰/۶	۲۰/۳ ± ۰/۶	۲۰/۱ ± ۰/۵	CN استحکام
	۳۹/۲۵ ± ۴/۱۹	۳۷/۹۲ ± ۴/۱۸	۳۸/۵۴ ± ۵/۶۲	٪ گسیختگی
پلی آمید	۲۱/۲ ± ۰/۴	۲۱ ± ۰/۳	۲۱/۹ ± ۰/۲	CN استحکام
	۵۴/۳۷ ± ۴/۲۶	۶۰/۳۵ ± ۶/۷۳	۵۵/۱۷ ± ۷/۴۲	٪ گسیختگی

## ۵- نتیجه گیری

با پوشش دهی توسط پلی پیروول و پلی آنیلین می توان مقاومت الکتریکی الیاف متداول نساجی را بطور مؤثری کاهش داد. کاهش مقاومت الکتریکی الیاف پوشش داده شده توسط پلی پیروول بیش از کاهش مقاومت الکتریکی الیاف پوشش داده شده توسط پلی آنیلین می باشد. شرایط پوشش دهی با پلی آنیلین و پلی پیروول بر روی میزان کاهش مقاومت الکتریکی الیاف مؤثر می باشد. الیاف پوشش داده شده با پلی آنیلین قبل از دوپ کردن هدایت الکتریکی ندارند اما پس از دوینگ با مواد اسیدی هدایت الکتریکی آنها افزایش می یابد اما الیاف پوشش داده شده توسط پلی پیروول قبل از دوپ کردن نیز هدایت الکتریکی دارند و هدایت الکتریکی آنها پس از دوپ کردن با مواد اسیدی افزایش می یابد. بررسی پایداری هدایت الکتریکی الیاف پوشش داده شده توسط پلی آنیلین و پلی پیروول نشان داد که پایداری هدایت الکتریکی الیاف پوشش داده شده توسط پلی پیروول بهتر از پایداری هدایت الکتریکی الیاف پوشش داده شده توسط پلی آنیلین می باشد و از این نظر پوشش دهی با پلی پیروول روش بهتری برای کاهش مقاومت الکتریکی الیاف می باشد اما به حال ثبات سایشی الیاف پوشش داده شده با هر دو پلیمر کم می باشد. ناچیز بودن ثبات سایشی موضوعی است که در آینده باید به آن توجه داشت.

## ۶- مراجع

- 1- Holms, I., McIntyre, J. E., Shen, Z. J., "Electrostatic Charging of Textiles" Textile Progress, 1998, Vol 28, No 1, 1-90
- 2- Epstein et al., "Electro Magnetic Radiation Absorber", 1995, USP 5,463,014
- 3- Andreatta, A., Cao, Y., "Electrically Conductive Fibers of Polyaniline Spun From Solution in Concentrated Sulfuric Acid ", Synth. Met., 1988, 26, 383-389
- 4- Okito, S., Smith, P., " Highly Conductive and Stiff Fibers of Poly(2,5-dimethoxy -p phenylen vinylen)", Polymer, 1991, 32, 3, 464-470
- 5- Gregory, R. V., Kimbrell, W. C., Kuhn, H. H., " Conductive Textile Composite ", Proc. 3RD Int. Sampe. Electronics Conf., 1989, 570-577
- 6- Oh Kw, Kim SH, "Electrically Conductive Textiles by in Situ Polymerization of Aniline", J. Appl. Polym. Sci., 1999, Vol 74, No 8, 2094-2101
- 7- Oh Kw, Kim SH, "Improved Surface Characteristics and the Conductivity of Polyaniline Nylon 6 Fabrics by Plasma Treatment", J. Appl. Polym. Sci. , 2001 , Vol 81, No 3, 684-694
- 8 – Farsi Refrence
- 9- Andreatta, A., et.al. , "Electrically Conductive Polyblend Fiber of Polyaniline and

Poly(p- phenylene terephthalamide)" , Polym . Commun. , 1990, 31, 275-278

- 10- Andreatta, A., Smith, P., " Processing of Conductive Polyaniline-UHMW Polyethylen Blends from Solution in non Polar Solvent " , Synth. Met., 1993, 55, 1017-1022
- 11- Cotts, D.B., Reys, Z., "Electrically Conductive Organic Polymers for Advanced Application ", Noyes Pata Corporation, 1986
- 12- Cao, Y., Andreatta, A., Heeger, A. J., Smith, P., " Influence of Chemical Polymerization Condition on The Properties of Polyaniline" , Polymer , 1989, Vol 30, Dec, 2305- 2311
- 13- Armes, S.P., " Optimum Reaction Conditions For The Polymerization of Pyrrole by Iron III Chloride in Aqueous Solution " , Synth. Met. , 1987, 20, 365-371
- 14- Nouri, M., Hagighat kish, M., Entezami, A., Edrisi, M., " Conductivity of Textile Fibers Treated with Aniline " , Iranian Polymer J., Vol. 9, No 1, 49-58, 2000
- 15- Morton, W. E., Hearl, J.W.S., "Physical Properties of Textile Fibers", 2th Ed. 1975, Textile Institute
- 16- Stafstrom S. et al , :Polaron Lattice in Highly Conducting Polyaniline : Theoretical and Optical Studies " , Phys. Rev. Lett., 1987, Vol 59, No 13, 1464-1467

۸- ع. شمس ناتری ، م. حقیقت کیش " پوشش دهی برخی الیاف مصنوعی با پلی آنیلین برای بهبود رسانائی الکتریکی " ، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر ، ۱۳۷۶ ، ش ۱ ، ۵-۱۱ .