



The Electrical Conductivity of Stretched Polyaniline and Polypyrrole Coated Yarns

M. Nouri

Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering, University of Guilan,

P.O. Box: 3756, Rasht, Iran

Received 12 July 2009, accepted 24 November 2009

A B S T R A C T

The nylon and nylon/lycra yarns were coated with electrically conductive polymers such as polyaniline and polypyrrole, via chemical polymerization process. Electrical conductivity of the coated yarns was measured at various strain levels using two-point probe technique and their strain sensitivities were studied. The results showed that, electrical conductivity of the coated yarns decreased with an increase in strain level. A sharp decrease in the electrical conductivity of the nylon/lycra coated yarn with the strain level was recorded whereas, a small drop in the electrical conductivity of the nylon coated yarn was observed. Linear relationships were found between the electrical conductivity and length for the nylon and nylon/lycra coated yarns. The polyaniline coated yarns showed higher strain sensitivity compared to polypyrrole coated yarns. Repeatability of the strain sensitivity of the coated yarns was examined and the coated nylon/lycra yarn showed better repeatability compared to that of coated nylon yarn. The coated yarns were proposed as a flexible strain sensor in the field of intelligent materials.

Key Words:

coating,
conductive polymers,
fibers,
nylone,
strain

(*)To whom correspondence should be addressed.

E-mail: mnouri69@guilan.ac.ir



مطالعه رسانایی الکتریکی نخ‌های پوشش‌یافته با پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول زیر کشش

مهدی نوری

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

دریافت: ۸۸/۴/۲۱، پذیرش: ۸۸/۹/۳

چکیده

در این پژوهش، نخ‌های نایلون و نایلون - لایکرا به وسیله پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول به عنوان پلیمرهای رسانا پوشش‌یافته‌اند و تغییرات رسانایی الکتریکی آنها زیر کشش بررسی شده است. رسانایی الکتریکی نخ‌های پوشش‌یافته زیر کشش و ازدیاد طول‌های مختلف به کمک روش دونقطه‌ای اندازه‌گیری شده و میزان حساسیت مقاومتی آنها نسبت به کشش مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج بررسی نشان می‌دهد، رسانایی الکتریکی همه نخ‌های پوشش‌یافته زیر کشش با افزایش طول بیشتر می‌شود. همچنین، تغییرات رسانایی الکتریکی نخ نایلون - لایکرا پوشش‌یافته در اثر کشش بیشتر از تغییرات رسانایی الکتریکی نخ نایلون پوشش‌یافته است. حساسیت نخ‌های پوشش‌یافته با پلی‌آنیلین نسبت به کشش نیز بیش از حساسیت نخ‌های پوشش‌یافته با پلی‌پیرول است. بررسی ارتباط بین رسانایی الکتریکی و طول نخ‌ها در فرایند کشش نشان می‌دهد، ارتباط نزدیک به خط با ضریب هم‌بستگی (R_2) برابر ۰/۹۳ برای نخ نایلونی و ۰/۹۷ برای نخ نایلون - لایکرا وجود دارد. اعمال ازدیاد طول چرخه‌ای به نخ‌های پوشش‌یافته نشان می‌دهد، حساسیت نسبت به کشش نخ نایلون - لایکرا پایداری بهتری نسبت به نخ نایلون دارد. نخ متشکل از نایلون و لایکرا قابلیت حفظ حساسیت کششی را در چرخه‌های متوالی ازدیاد طول دارد. در حالی که نخ نایلونی پس از ۳ چرخه ازدیاد طول به طور کلی حساسیت کششی خود را از دست می‌دهد.

واژه‌های کلیدی

پوشش،
پلیمرهای رسانا،
الیاف،
نایلون،
کرنش

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:

mnouri69@guilan.ac.ir

مقدمه

پلیمرهای رسانای الکتریکی به دلیل کاربردهای متعدد آنها نظیر باتری‌های قابل شارژ، پوشش‌های سطح، محافظ امواج الکترومغناطیس، حس‌گرها و عضله‌های مصنوعی و پزشکی هنوز هم مورد توجه بسیاری از پژوهش‌گران قرار دارند [۱-۶]. معرفی پلیمرهای رسانای الکتریکی به سال ۱۹۷۷ و پس از یافته‌های Shirakawa و همکاران [۷] برمی‌گردد که توانستند پلی استیلن با رسانایی الکتریکی 310 S/cm را به طور اتفاقی تهیه کنند. پس از آن، پلیمرهای رسانای دیگری با ساختار مزدوج نظیر پلی آنیلین، پلی پیرول، پلی تیوفن و پلی پارافنیل سنتز و معرفی شدند [۸]. اگر چه پلیمرهای رسانای متعددی سنتز شده‌اند، اما پلی آنیلین و پلی پیرول به دلیل خواص جالب توجه از جمله پایداری رسانایی بهتر و قابل کنترل مورد توجه بیشتری بوده‌اند.

از موارد مهم درباره مشکلات کاربرد این دسته از مواد پلیمری می‌توان به شکنندگی، حلالیت نامناسب و ناپایداری رسانایی الکتریکی اشاره کرد. از طرف دیگر، مواد و الیاف نساجی به دلیل انعطاف‌پذیری و استحکام مناسب به عنوان بستری برای پوشش دهی پلیمرهای رسانا مطرح شده‌اند. در این طرح پلیمرهای رسانا با قابلیت فرایندپذیری محدود به روش شیمیایی روی الیاف نساجی به عنوان پوشش قرار می‌گیرند و به این ترتیب ترکیب جدیدی برای استفاده در کاربردهای متفاوت ایجاد می‌شود [۹]. این ترکیب ایجاد شده که انعطاف‌پذیری و استحکام مناسب الیاف نساجی را به همراه رسانایی الکتریکی پلیمرهای رسانا دارد، می‌تواند به عنوان منسوج هوشمند برای استفاده در مهندسی بافت و موارد زیست پزشکی استفاده شود. Rossi و همکاران [۱۰] تهیه دستکش دارای احساس بر پایه پارچه لایکرا - پنبه پوشش یافته با پلی پیرول را گزارش کردند. Kim و همکاران [۱۱] استفاده از منسوج متشکل از الیاف پلی استر - اسپاندکس را به عنوان حس‌گر ازدیاد طول گزارش کردند. Li و همکاران [۱۲] حس‌گر مشابهی را از راه پوشش دهی الیاف در فاز بخار گزارش کرده‌اند که دارای درجه حساسیت زیادی است. پژوهش‌گران متعددی پوشش دهی الیاف نساجی را به وسیله پلیمرهای رسانا نظیر پلی آنیلین و پلی پیرول بررسی کرده‌اند [۱۳، ۱۴]. در فرایند پوشش دهی الیاف گزارش شده است، لایه‌ای از پلیمر رسانای الکتریکی روی سطح الیاف قرار می‌گیرد.

در این مقاله سعی شده است تا پس از پوشش دهی نخ‌های نایلون و نایلون - لایکرا به وسیله پلی آنیلین و پلی پیرول، رفتار تغییرات رسانایی الکتریکی آنها زیر کشش‌های متوالی بررسی شود. در نهایت، ضمن مقایسه رفتار نخ‌های پوشش یافته با این دو پلیمر امکان استفاده از آنها به

عنوان حس‌گر کرنش ارزیابی می‌شود.

تجربی

مواد

از نخ رشته‌ای نایلون ۶ (پلی کاپرولاکتام) محصول شرکت الیاف (ایران) و نخ نایلون - لایکرا تهیه شده از منابع محلی استفاده شده است. در نخ نایلون - لایکرا، لایکرا (الیاف کشسان بر پایه پلی یورتان) به شکل تک رشته‌ای به عنوان مغزی و نایلون رشته‌ای به عنوان الیاف پوششی قرار گرفته است. نخ نایلون با نمره ۱۰۰ دنیر و ۳۴ رشته و به شکل بافته شده و تک رشته‌ای لایکرا دارای قطر $4 \mu\text{m}$ بوده است. آنیلین محصول شرکت Merck و پیرول محصول شرکت Aldrich پس از تقطیر استفاده شدند. سایر مواد مصرفی از نوع آزمایشگاهی بودند.

دستگاه‌ها

در این پژوهش، رسانایی سنج رقمی Digital multimeter مدل DT 9201 A ساخت چین و استحکام سنج Shirley مدل 50 micro به کار گرفته شده است.

روش‌ها

آماده سازی مقدماتی

برای آماده سازی نخ‌ها و از بین بردن مواد اضافی سطح الیاف مختلف، ابتدا نمونه نخ نایلون - لایکرا به وسیله محلول شوینده و آب شسته شده و در دمای 50°C خشک شد، سپس کلاف‌هایی با وزن 0.500 g از آنها تهیه شد.

پوشش دهی با پلی آنیلین

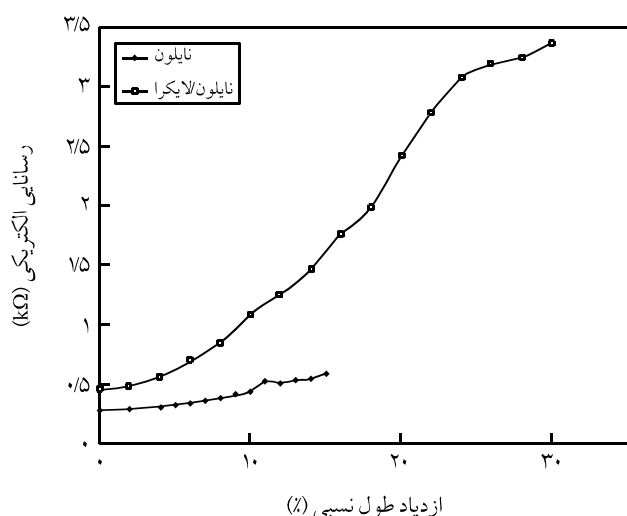
برای پوشش دهی نخ نایلون و نایلون - لایکرا با پلی آنیلین در بالن مجهز به چگالنده حاوی 200 mL محلول کلریدریک اسید 1 N مقدار مورد نیاز آنیلین تقطیر شده (0.5 g) اضافه شده است و بالن با هم زدن در داخل حمام آب و یخ قرار گرفت. پس از کاهش دمای محلول داخل بشر به $2 \pm 1^\circ\text{C}$ کلاف نخ 0.5 g گرمی به داخل بالن اضافه شد و پس از 5 min مقدار مورد نیاز آمونیم پرسولفات (7225 g) به عنوان اکسنده و آغازگر پلیمر شدن که در 10 mL آب مقطر حل شده بود، طی مدت 30 min قطره قطره به داخل بالن اضافه شد. سپس، واکنش به مدت 2 h در دمای $2 \pm 1^\circ\text{C}$ ادامه یافت. در طول آزمایش محلول داخل بالن به وسیله هم زن

پوشش‌یافته با پلی‌آنیلین در محدوده کششی کمتر از ۳۰ درصد در شکل ۱ نشان داده شده است.

نتایج این شکل نشان می‌دهد، نخ‌های نایلون و نایلون - لایکرا پوشش‌یافته در وضعیت بدون کشش رسانایی الکتریکی یکسانی دارند. با اعمال کشش به این نخ‌های پوشش‌یافته، رسانایی الکتریکی نخ نایلون - لایکرا با شیب زیادی افزایش می‌یابد. این درحالی است که رسانایی الکتریکی نخ نایلونی پوشش‌یافته با شدت و شیب کمتری افزایش می‌یابد.

در فرایند پوشش‌دهی الیاف، لایه‌هایی از پلیمر رسانا روی الیاف رسوب می‌کند [۱۴]. به هنگام کشیده شدن الیاف پوشش‌یافته، این لایه‌های پوشش‌یافته روی الیاف نیز زیر کشش قرار می‌گیرند. در نتیجه این کشش، فاصله بین ذرات پوشش روی الیاف افزایش یافته و اتصال بین ذرات پلیمر رسانای پوشش‌یافته کمتر می‌شود که نتیجه آن افزایش رسانایی الکتریکی الیاف پوشش‌یافته و حساسیت آن نسبت به کشش خواهد بود. از طرف دیگر، بررسی ارتباط بین رسانایی الکتریکی و طول نخ‌ها در فرایند کشش (شکل ۱) نشان می‌دهد که یک ارتباط نزدیک به خط با ضریب هم‌بستگی (R^2) برابر ۰/۹۳ برای نخ نایلونی و ۰/۹۷ برای نخ نایلون - لایکرا وجود دارد. اما، با توجه به مشکل بودن اندازه‌گیری و تعیین سطح مقطع نخ‌های ازدیاد طول یافته امکان اظهار نظر در خصوص صادق بودن معادله رسانایی اهمی ($R = \rho L/A$)، رسانایی الکتریکی، ρ ضریب رسانایی حجمی، L طول نمونه و A سطح مقطع نمونه است) به سادگی امکان‌پذیر نبوده و نیاز به بررسی بیشتر دارد.

به هر حال واضح است، افزایش رسانایی الکتریکی با مقدار ازدیاد



شکل ۱ - تغییرات رسانایی الکتریکی نخ‌های نایلون و نایلون - لایکرا پوشش‌یافته با پلی‌آنیلین.

مغناطیسی هم‌زده می‌شد. پس از انجام پوشش‌دهی، نمونه نخ‌های پوشش‌یافته خارج شده و ابتدا با آب مقطر و سپس در محلول آب و شوینده به منظور خارج‌سازی مواد اضافی شسته شد. در انتها کلاف‌ها در گرم‌خانه با دمای 50°C خشک شدند.

پوشش‌دهی با پلی‌پیرول

برای پوشش‌دهی نخ نایلون و نایلون - لایکرا با پلی‌پیرول در بالن مجهز به چگالنده حاوی ۲۰۰ mL آب مقطر مقدار مورد نیاز پیرول تقطیر شده (0.5 g) اضافه شده است و بالن با هم زدن در داخل حمام آب و یخ قرار گرفت. پس از کاهش دمای محلول داخل بشر به $2 \pm 1^{\circ}\text{C}$ کلاف نخ 0.5 g گرمی به داخل بالن اضافه شد و پس از ۵ min مقدار مورد نیاز کلرید آهن ($5/8\text{ g}$) به عنوان اکسند و آغازگر پلیمر شدن که در ۱۰ mL آب مقطر حل شده بود، طی مدت ۳۰ min قطره قطره به داخل بالن اضافه شد. سپس، واکنش به مدت ۲ h در دمای $2 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ادامه یافت. در طول آزمایش محلول داخل بالن به وسیله هم‌زن مغناطیسی هم‌زده می‌شد. پس از انجام پوشش‌دهی نمونه نخ‌های پوشش‌یافته خارج شده و ابتدا با آب مقطر و سپس در محلول آب و شوینده به منظور خارج‌سازی مواد اضافی شسته شد. در انتها کلاف‌ها در گرم‌خانه با دمای 50°C خشک شدند.

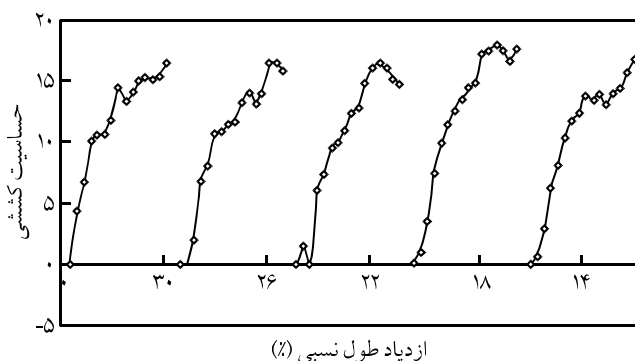
شناسایی

پس از دوپه کردن نخ‌های پوشش‌یافته با بخار کلریدریک اسید، رسانایی الکتریکی آنها در حالت آزاد و زیر کشش به وسیله رسانایی سنج رقمی اندازه‌گیری شد. کشش نخ‌های پوشش‌یافته به وسیله استحکام سنج الیاف معین شد. فاصله فک‌ها (طول اندازه‌گیری) ۲۰ mL و سرعت ازدیاد طول ۱ mm/min انتخاب شد. نمونه نخ به همراه سیم نازک مسی بین فک‌های نگه دارنده نخ قرار گرفت و سیم مسی به رسانایی سنج متصل شد. به این ترتیب، رسانایی الکتریکی نمونه‌ها در ازدیاد طول‌های متفاوت مشاهده و یادداشت شد. حداقل ۵ نمونه از هر یک مورد آزمایش کشش قرار گرفت و میانگین نتایج گزارش شد. اندازه‌گیری رسانایی الکتریکی در دمای محیط (22°C تا 25°C) و در رطوبت $75 \pm 5\%$ انجام شده است.

نتایج و بحث

تغییر رسانایی الکتریکی نخ‌های پوشش‌یافته با پلی‌آنیلین

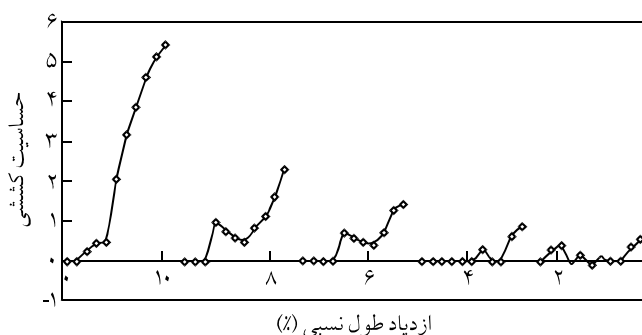
منحنی تغییرات رسانایی الکتریکی نخ‌های نایلون و نایلون - لایکرا



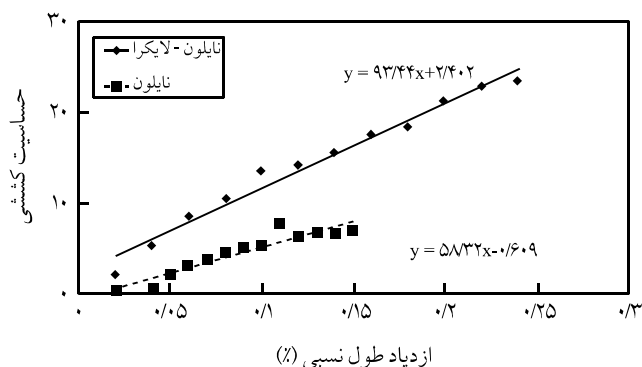
شکل ۴ - حساسیت کششی نخ نایلون - لایکرا پوشش یافته با پلی آنیلین زیر کشش‌های چرخه‌ای.

که شیب خط محاسبه شده برای حساسیت کششی نخ نایلون - لایکرا و نخ نایلون به ترتیب $93/4$ و $58/3$ است.

نتایج مشابهی برای حساسیت کششی نخ‌های نایلون و نایلون - لایکرا پوشش یافته با پلی پیرول ثبت شد. نتایج ثبت شده نشان می‌دهد، حساسیت کششی نخ نایلون - لایکرا پوشش یافته با پلی پیرول بیشتر از مقدار ثبت شده برای نخ نایلون پوشش یافته است. برای مقایسه حساسیت کششی نخ‌های نایلون - لایکرا پوشش یافته با پلی آنیلین و پلی پیرول خلاصه نتایج در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج شکل ۳ نشان می‌دهد، حساسیت کششی نخ‌های پوشش یافته با پلی آنیلین بیشتر از حساسیت کششی نخ‌های پوشش یافته با پلی پیرول است. شیب خط محاسبه شده برای حساسیت کششی نخ پوشش یافته با پلی آنیلین و پلی پیرول به ترتیب $93/4$ و $39/5$ است. این نتیجه می‌تواند مربوط به رسانایی الکتریکی بیشتر نخ‌های پوشش یافته با پلی پیرول نسبت به پلی آنیلین باشد [۱۴]. یکی از دلایل ارائه شده برای رسانایی الکتریکی بیشتر نخ پوشش یافته با پلی پیرول وجود لایه ضخیم تر پلی پیرول در



شکل ۵ - حساسیت کششی نخ نایلون پوشش یافته با پلی آنیلین زیر کشش‌های چرخه‌ای.

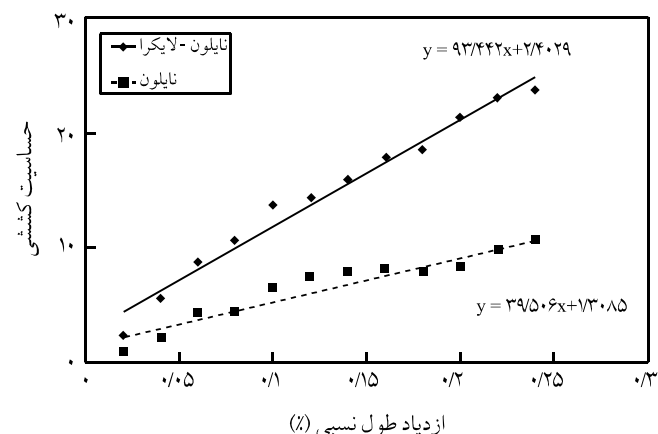


شکل ۲ - حساسیت کششی نخ‌های نایلون و نایلون - لایکرا پوشش یافته با پلی آنیلین.

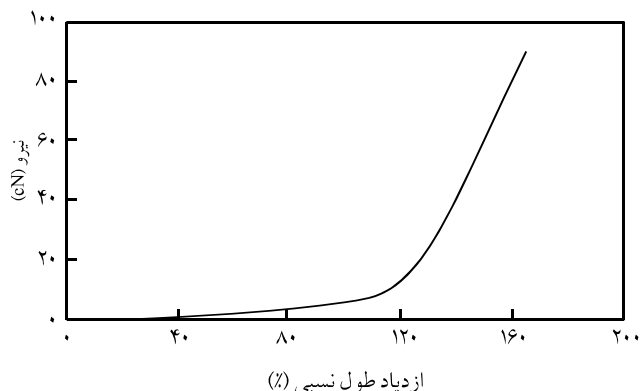
طول ارتباط دارد و به این ترتیب الیاف پوشش یافته امکان کاربرد به عنوان حس گر کرنش را دارند. حساسیت کششی (S) نخ‌های پوشش یافته می‌تواند با معادله (۱) تعریف شود:

$$S = \Delta R / \varepsilon R_0 \quad (1)$$

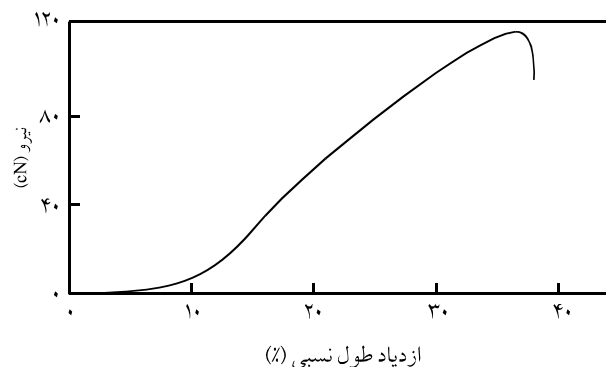
که در آن ΔR تغییر رسانایی الکتریکی در ازدیاد طول نسبی ε و R_0 رسانایی الکتریکی نخ پوشش یافته در کشش صفر است. با توجه به نتایج شکل ۱ و معادله (۱)، حساسیت کششی نخ‌های نایلون و نایلون - لایکرا پوشش یافته محاسبه و در شکل ۲ نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد، حساسیت کششی نخ‌های پوشش یافته نسبت به ازدیاد طول، رفتار خطی دارد. اما، حساسیت کششی نخ نایلون - لایکرا پوشش یافته بسیار بیشتر از حساسیت کششی نخ نایلون پوشش یافته است، به طوری



شکل ۳ - حساسیت کششی نخ نایلون - لایکرا پوشش یافته با پلی آنیلین و پلی پیرول.



(ب)



(الف)

شکل ۶- منحنی نیرو - ازدیاد طول نسبی: (الف) نخ نایلون و (ب) نخ نایلون - لایکرا.

از اعمال چند چرخه ازدیاد طول دور از واقعیت نخواهد بود.

نتیجه‌گیری

با پوشش‌دهی نخ‌های متداول نساجی به وسیله پلیمرهای رسانای الکتریکی نظیر پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول امکان تهیه مواد انعطاف‌پذیر حساس به کشش با قابلیت تغییر رسانایی الکتریکی در اثر کشش و بدون آسیب رسیدن به ساختار ظاهری الیاف وجود دارد. میزان حساسیت به کشش بستگی به نوع پلیمر رسانا دارد، به طوری که حساسیت کششی نخ‌های پوشش‌یافته با پلی‌آنیلین بیشتر از حساسیت کششی نخ‌های پوشش‌یافته با پلی‌پیرول است. هم‌چنین، شدت حساسیت کششی به نوع نخ به کار رفته نیز ارتباط دارد. نخ‌های کشسان نظیر نخ نایلون - لایکرا از حساسیت کششی بیشتر نسبت به نخ‌های غیر کشسان نظیر نایلون پس از پوشش‌دهی با پلیمرهای رسانا خواهند داشت. قابلیت حفظ حساسیت کششی نیز بستگی به نوع الیاف پوشش‌یافته دارد. نخ متشکل از نایلون و لایکرا قابلیت حفظ حساسیت کششی در چرخه‌های متوالی ازدیاد طول را دارد، در حالی که نخ نایلونی به تنهایی پس از ۳ چرخه ازدیاد طول به طور کلی حساسیت کششی خود را از دست می‌دهد. این نخ‌های پوشش‌یافته می‌توانند در ساخت منسوجات هوشمند مورد استفاده قرار گیرند. اگرچه تغییر رسانایی الکتریکی نخ‌های پوشش‌یافته در اثر کشش به افزایش فاصله بین ذرات پلیمر رسانا نسبت داده شده است، اما این پدیده نیاز به بررسی بیشتر دارد.

سطح نخ پوشش‌یافته است [۱۴]. به نظر می‌رسد، با ضخیم‌تر شدن لایه پوشش‌یافته احتمال جدا شدن ذرات رسانای پوشش‌یافته کمتر شده و کاهش رسانایی الکتریکی (مقدار حساسیت کششی) کمتر می‌شود. پایدار بودن حساسیت کششی نخ‌های پوشش‌یافته در اثر چرخه‌های ازدیاد طول در کاربرد آنها اهمیت زیادی دارد. نمونه‌ای از حساسیت کششی نخ‌های نایلون و نایلون - لایکرا پوشش‌یافته با پلی‌آنیلین طی ۵ چرخه ازدیاد طول در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. این شکل‌ها نشان می‌دهند، حساسیت کششی نخ نایلون - لایکرا پوشش‌یافته تقریباً در چرخه‌های متوالی یکسان است و تفاوت چندانی ندارند، در حالی که حساسیت کششی نخ نایلون پوشش‌یافته به تدریج در چرخه‌های کشش متوالی کاهش یافته و در نهایت پس از ۳ یا ۴ مرتبه کشش از بین می‌رود. شکل ۶ نمونه‌ای از منحنی نیرو - ازدیاد طول نسبی نخ‌های نایلون و نایلون لایکرا را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، مقدار ازدیاد طول اعمال شده به نخ نایلون در بخش غیرخطی منحنی و مقدار ازدیاد طول اعمال شده به نخ نایلون - لایکرا در بخش خطی منحنی نیرو ازدیاد طول است. در ازدیاد طول الیاف غیرکشسان نظیر نایلون با اعمال ازدیاد طول، بازگشت الیاف به طول اولیه به طور کامل اتفاق نخواهد افتاد، در حالی که در الیاف کشسان نظیر نخ مخلوط نایلون و لایکرا به دلیل وجود الیاف کشسان لایکرا، پس از اعمال کشش الیاف به طول اولیه برمی‌گردند. بنابراین به نظر می‌رسد، پایداری حساسیت کششی نخ نایلون - لایکرا به قابلیت بازگشت این نخ به طول اولیه پس از اعمال کشش ارتباط داشته باشد. با توجه به این که نخ نایلون امکان بازگشت به طول اولیه را نداشته است، بنابر این از بین رفتن حساسیت کششی پس

مراجع

- Wallace G.G., Spinks G.M., Kane-maguire L.A.P., and Teasdale P.R., *Conductive Electroactive Polymers*, 3th ed., CRC, USA, 2003.
- Bhadra S., Khastgir D., Singha N.K., and Lee J.H., Progress in Preparation, Processing and Applications of Polyaniline, *Prog. Polym. Sci.*, **34**, 783-810, 2009.
- Li Z.F., Blum F.D., Bertino M.F., Kim C.S., and Pillalamarri S.K., One-step Fabrication of a Polyaniline Nanofiber Vapor Sensor, *Sensors Actuator, Part B: Chemical*, **134**, 31-35, 2008.
- Lakard B., Segut O., Lakard S., Herlem G., and Gharbi T., Potentiometric Miniaturized pH Sensors Based on Polypyrrole Films, *Sensor Actuator, Part B: Chemical*, **122**, 101-108, 2007.
- Lee J.Y., Bashur C.A., Goldstein A.S., and Schmidt C.E., Polypyrrole-coated Electrospun PLGA Nanofibers for Neural Tissue, *Biomaterials*, **30**, 4325-4335, 2009.
- Entezami A.K. and Massoumi B., Artificial Muscles, Biosensors and Drug Delivery Systems Based on Conducting Polymers: A Review, *Iran. Polym. J.*, **15**, 13-30, 2006.
- Ito T., Shirakawa H., and Keda S., Simultaneous Polymerization and Formation of Polyacetylene Film on the Surface of Concentrated Soluble Ziegler Type Catalyst Solution, *J. Polym. Sci., Polym. Chem.*, **1**, 11-20, 1974.
- Hall N., Twenty-five Years of Conducting Polymers, *Chem. Comm.*, 1-4, 2003.
- Malinauskas A., Chemical Deposition of Conducting Polymers, *Polymer*, **42**, 3957-3972, 2001.
- Rossi D.D., Sanata A.D., and Mazzoldi A., Dressware: Wearable Hardware, *Mater. Sci. Eng.*, **C7**, 31-37, 1999.
- Kim H.K., Kim M.S., Chun S.Y., Park Y.H., Jeon B.S., Lee J.Y., Hong Y.K., Joo J., and Kim S.H., Characterization of Electrically Conductive Polymer-coated Textiles, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **405**, 161-169, 2003.
- Li Y., Cheng X.Y., Leung M.Y., Sang J. T., Tao K.M., and Yuen M.C.W., A Flexible Strain Sensor from Polypyrrole-coated Fabrics, *Synth. Met.*, **155**, 89-94, 2005.
- Kim B., Koncar V., Devaux E., Dufor C., and Vallier P., Electrical and Morphological Properties of PP and PET Conductive Polymer Fibers, *Synth. Met.*, **146**, 167-174, 2004.
- Nouri M., Haghighat Kish M., and Entezami A.A., Comparison of the Electrical Conductivity of Textile Fibers Coated with Polyaniline and Polypyrrole, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (in Persian)*, **18**, 297-307, 2005.