تکنولوژی نساجی

حذف رنگـزای منو آزویی از پساب نساجی با روش الکتروکـواگولاسیون

فاطمه صفری[1] | محسن شنبه[1] | بهاره غالبی[1]

چکیده

در این تحقیق از ۵ حسگر کششی مبتنی بر منسوج طراحی شده با استفاده از بافندگی تاری -پودی جهت امکان‌سنجی اندازه‌گیری تغییرات زاویه مفاصل استفاده شد. به این منظور از نخ مخلوط الیاف منقطع فولاد و پلی‌استر (۶۰/۴۰) و نخ پلی‌استر فیلامنت /اسپاندکس به عنوان نخ پود و از نخ‌های پلی‌استر فیلامنت به عنوان نخ تار استفاده شد. جهت بررسی میزان حساسیت حسگرهای طراحی شده به تغییر زاویه، از یک بازوی طراحی شده و نصب این حسگر بر ر وی آن استفاده شد. تغییر شکل بازوی طراحی شده با قرار دادن آن بر روی دستگاه اندازه‌گیری خصوصیات کششی صورت گرفت.

نتایج حاصل از بررسی اثر تعداد نخ رسانا در ساختار حسگر نشان داد که با افزایش تعداد نخ رسانا میزان حساسیت حسگر افزایش یافته و همچنین در بررسی اثر تراکم، با افزایش تراکم میزان حساسیت حسگر روند صعودی نشان داد. در نهایت برهمکنش بین دو متغیر مورد بررسی و تأیید قرار گرفت.

۱- مقدمه

با پیشرفت‌های مداوم در علم و فناوری، محصولات نساجی روزبه‌روز کاربردی‌تر می‌شوند و لباس‌ها با عملکردی جدید، جایگزین منسوجات متداول شده‌اند. امروزه تحقیقات زیادی در راستای ادغام ساختارهای نساجی با الکترونیک انجام شده است.

به عبارتی منسوجات الکترونیکی را می‌توان به عنوان منسوجاتی با تابع الکترونیکی و فوتونیک تعریف کرد. ادغام ویژگی‌های الکترونیکی به طور مستقیم در پوشاک دارای مزایایی مانند افزایش راحتی، تحرک و همچنین قابلیت استفاده در کاربردهای زیبایی، مراقبتی و درمانی است.

روش‌های مختلفی برای طراحی منسوجات الکترونیک عمل‌کننده به عنوان حسگر وجود دارند که در برخی از تحقیقات، انواع روش‌ها و مثال‌هایی از کاربرد آنها ذکر شده است.

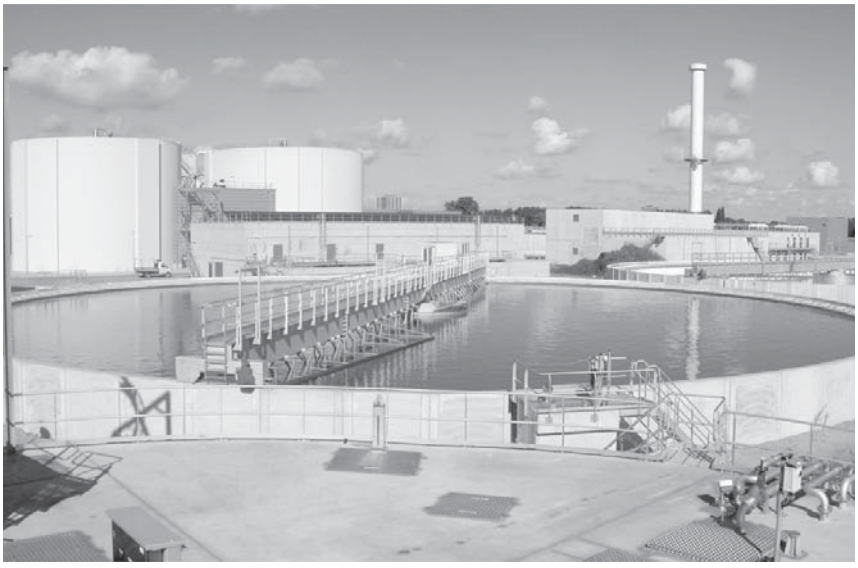
یکی از کاربردهای این منسوجات هوشمند استفاده از آنها به عنوان حسگرهای کششی است. در تحقیق صورت گرفته به وسیله گو و همکاران، قسمت رسانا با استفاده از فرایند پوشش کاری و همچنین با استفاده از نخ‌های رسانا در فرایند بافندگی تاری- پودی ایجاد شد. لی و همکاران عملکرد حسگرهای کششی حلقوی پودی تولید شده با استفاده از نخ نایلون روکش شده با نقره را مورد ارزیابی قرار دادند.

از حسگرهای کششی برای کاربردهای مراقبتی و درمانی نیز استفاده می‌شود، به‌طور مثال در پژوهش صورت گرفته به وسیله شیر و همکاران، از حسگرهای کششی برای نظارت بر زاویه خم شدن آرنج و زانو استفاده شد .

در حسگر طراحی‌شده در این پژوهش از الیاف پلی‌آمید پوشش‌داده شده با ذرات کربن (الیاف PAC)با قطر ۵۰ میکرومتر به عنوان لیف رسانا استفاده شد و ۱۵ لیف PAC با یک نخ پلی‌استر با نرخ ۸۰ تاب در متر، تاب داده شدند تا یک نخ رسانا شکل بگیرد؛ در مرحله بعد یک نخ لایکرا روی دو نخ پلی‌استر به صورت متقاطع پیچیده شد تا یک نخ الاستیک با قطر ۸۰۰ میکرومتر تشکیل شود.

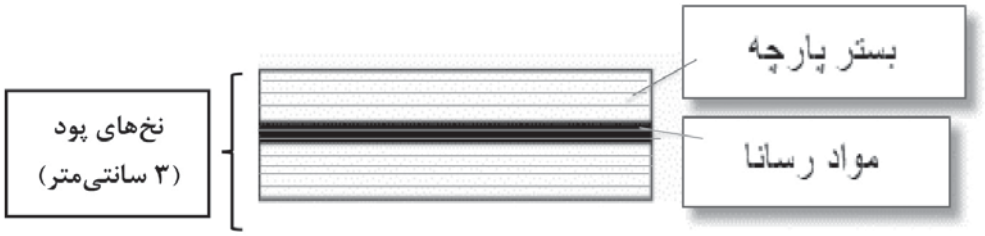
در نهایت با استفاده از بافندگی تاری- پودی و طرح بافت تافته قسمت رسانای حسگر تولید شد. در تحقیق صورت گرفته به وسیله واتسون و همکاران از سه نوع حسگر کششی برای اندازه‌گیری زاویه زانو استفاده شد.

در نوع اول برای محاسبه زاویه زانو از تغییر طول



جدول ۱.خصوصیات الکترومکانیک نخ رسانا

درصد الیاف رسانا در ساختمان نخ	نمره انگلیسی (Ne)	مقاومت خطی (ohm/cm)	استحکام تا حد پارگی (cN/tex)	ازدیاد طول تا حد پارگی (mm)
۴۰ درصد	۲۰	۲۳/۰۷	۱۲۰/۰۵	۳/۲۴



طرحواره حسگرهای کششی مبتنی بر منسوج طراحی شده، خط‌های قرمزرنگ: نخ‌های پود جزء رسانا در ساختار پارچه، خط‌های کم‌رنگ (بستر پارچه): نخ‌های پود پلی‌استر / اسپاندکس

جدول ۲. مشخصه‌های پارچه مورد استفاده در ساختار حسگرهای طراحی شده

شماره نمونه	تعداد نخ‌های رسانا در راستای پودی	تراکم پودی اسمی (1/cm)	جمع شدگی (٪)
۱	۲۰	۱۵	۲۵
۲	۱۶	۱۵	۳۰
۳	۹	۱۵	۳۲
۴	۴	۱۵	۳۳
۵	۴	۲۰	۳۲

در جلوی زانو، در نوع دوم برای محاسبه تغییر طول پارچه رسانا از تغییرات مقاومت پارچه رسانا و در نوع سوم، جهت مدل‌سازی ولتاژ به مقاومت پارچه از یک تقسیم‌کننده ولتاژ استفاده شد.

هدف از این تحقیق، طراحی و تولید حسگرهای کششی مبتنی بر منسوج با خاصیت کشسانی جهت بررسی ارتباط بین تغییر شکل حسگر و تغییر زاویه مفاصل است.

بر این اساس از فرایند بافندگی تاری–پودی جهت تولید حسگرهای کششی مبتنی بر منسوج استفاده شد.

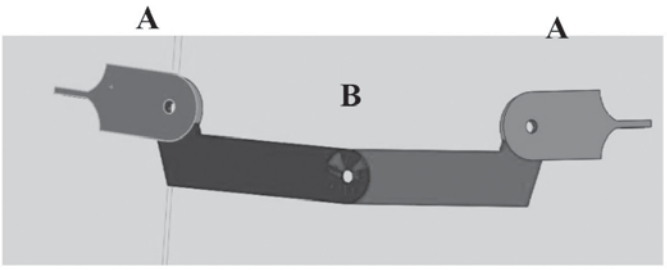
۲ – مواد و روش‌ها

۲-۱ – مشخصات نخ

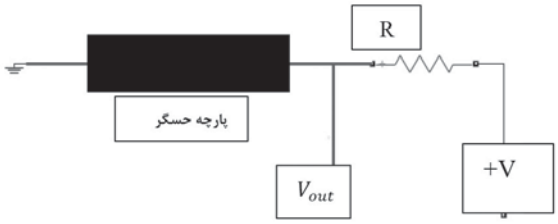
در این پژوهش جهت طراحی و تولید حسگرهای کششی مبتنی بر منسوج از بافندگی تاری–پودی استفاده شد و نمونه‌های موردنظر با هدف دستیابی به قابلیت تغییر ابعاد مناسب در اثر تغییر شکل زاویه‌ای به صورت کشسان تولید شدند.

جهت دستیابی به خاصیت کشسانی علاوه بر نخ رسانای حاوی الیاف فولاد ضدزنگ و پلی‌استر با درصد اختلاط ۴۰ به ۶۰ ، از نخ پلی‌استر فیلامنت/ اسپاندکس(۱۰۰/۴۰ دنیر)، استفاده شد. ظرافت الیاف فولاد ضدزنگ ۸ میکرون بود.خصوصیات الکترومکانیکی نخ رسانای استفاده شده در جدول ۱ ذکر شده است.

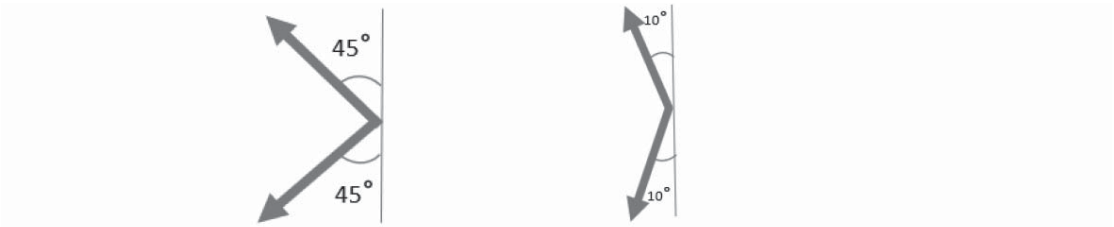
همچنین از نخ‌های پلی‌استر فیلامنت با دانسیته خطی ۱۰۰ دنیر به عنوان نخ تار استفاده شد.



شکل ۲. طرحواره بازوی طراحی شده جهت نصب بر روی دستگاه اندازه‌گیری خصوصیت کششی



شکل ۳. طرحواره مربوط به قرارگیری حسگر در مدار الکترونیک



شکل۴. نمای کلی موقعیت دو بازوی مفصل در زوایای ۹۰ و ۲۰ درجه

۲-۲-مشخصات پارچه

تراکم تاری اسمی نمونه‌های تولید شده ۳۰ در سانتیمتر و طرح بافت نمونه‌های مختلف تافته بود. ۵ حسگر کششی مبتنی بر منسوج بر مبنای شکل ۱ به گونه‌ای طراحی و تولید شد که قسمت رسانا در میانه هر نمونه و در بین نخ‌های پود کشسان قرار گرفته شود.

عرض نمونه‌های مورد استفاده در این پژوهش ۳ سانتیمتر در نظر گرفته شد و در میانه هر نمونه، نخ‌های رسانا به تعداد مختلف بر اساس جدول ۲، در راستای پود قرار داده شد.

ابعاد نمونه‌ها در آزمایشها ۲CM۳ × ۲۰ بود که در راستای پودی از نمونه جدا شده است. نمونه‌های موردنظر پس از تولید و آماده‌سازی به مدت ۱۰ دقیقه تحت عملیات استراحت خیس قرا ر داده شدند .

علاوه بر تعداد نخ‌های رسانا در ساختار حسگر، تأثیر تراکم پودی نیز بر روند تغییرات خصوصیت‌های الکتریکی حسگرهای طراحی شده با تغییر زاویه بررسی شد.

در جدول ۲ مشخصه‌های نمونه‌های تولید شده و میزان جمع‌شدگی پودی آنها پس از فرایند استراحت نشان داده شده است.

۳-۲-ابزار و مدار الکترونیک استفاده شده

به منظور بررسی رفتار الکتریکی و میزان حساسیت حسگر به تغییرات زاویه، از بازوی طراحی شده مطابق شکل ۲ با قابلیت نصب بر روی دستگاه اندازه‌گیری خصوصیت‌های کششی استفاده شد.

طراحی دو قسمت انتهایی (A) این ساختار به گونه‌ای است که در زمان کاهش فاصله بین دو فک دستگاه، خم شدن آن از مفصل میانه (B) آن اتفاق خواهد افتاد.

ثبت تغییرات الکتریکی رفتار حسگر در اثر تغییر شکل با استفاده از یک مدار الکترونیکی مجهز به پردازشگر آردیونو انجام شد.

در شکل ۳ ساختار کلی مدار الکترونیک طراحی شده و قرارگیری نمونه به عنوان یک مقاومت در آن نشان داده شده است.

حسگر مبتنی بر منسوج بر روی بازوی طراحی شده قرار گرفته و سپس از این بازو از دو انتها بر روی فک‌های دستگاه اندازه‌گیری خصوصیات کششی زوئیک که بر اساس نرخ ثابت ازدیاد طول عمل می‌کند، قرار داده شد.

با جابجایی فک متحرک دستگاه بازوی طراحی شده نیز تغییر زاویه داده و به طور همزمان تغییرات مقاومت الکتریکی حسگر نیز با استفاده از مدار الکترونیک اندازه‌گیری و ثبت شد.

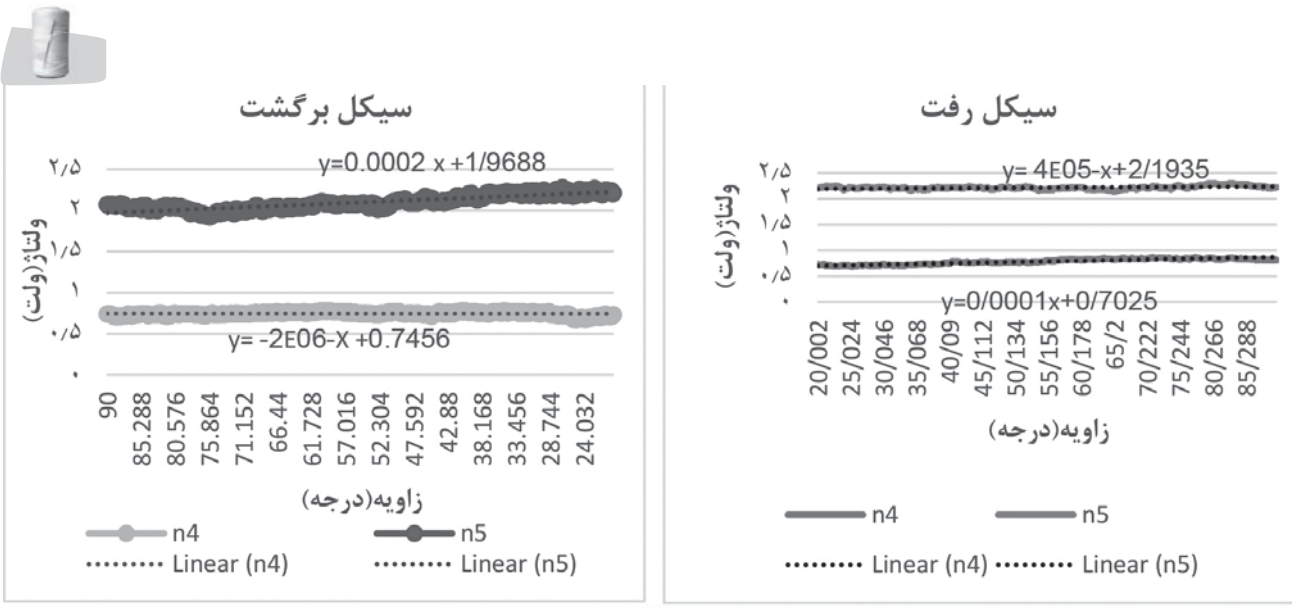
بر اساس شکل ۳، با تغذیه ۵ ولت به مدار و با اندازه‌گیری مقدار ولتاژ دو سر حسگر که همواره در حال تغییر است، می‌توان با استفاده از رابطه ۱ مقدار مقاومت حسگر طراحی شده را در هر لحظه محاسبه کرد:

$$V_{out} = \left(\frac{V}{R_{fabric} + R_{resistance}}\right) \times R_{fabric}$$

سرعت حرکت فک متحرک دستگاه ۵۰ میلیمتر بر دقیقه و از زاویه ۹۰ تا ۲۰ درجه زاویه مفصل تغییر پیدا کرد.

به عبارت دیگر فاصله بین فک ثابت و متحرک دستگاه در حال افزایش بود. در شکل ۴ نمای کلی موقعیت دو بازوی مفصل در دو زاویه ۹۰ و ۲۰ درجه نشان داده شده است.

همچنین در یک سیکل رفت و برگشت، تغییر زاویه به نمونه اعمال شد و تغییرات ولتاژ عبوری و مقاومت نمونه‌ها در حین آن ثبت شد.



شکل۵. مقایسه نمودارهای تغییرات ولتاژ-زاویه نمونه‌های ۴ و ۵ در سیکل‌های رفت و برگشت

نکته قابل توجه این است که نمونه‌ها با یک کشش یکسان بر روی بازویی قرار گرفتند.

۳- نتایج و بحث

بررسی نتایج حاصل از تغییر شکل نمونه‌های مختلف نشان داد که در نمونه‌های تولید شده با استفاده از ۲۰، ۱۶ و ۹ نخ رسانا)نمونه‌های ۱،۲ و ۳ (در هر دو سیکل رفت و برگشت مثبت است.

در سیکل رفت، تغییرات ولتاژ را به ازدیاد طول نخ‌های رسانا می‌توان نسبت داد که منجر به افزایش احتمال تماس الیاف رسانا در ساختمان نخ‌های رسانا خواهد شد.

از سوی دیگر در سیکل برگشت نیز جمع‌شدگی نمونه‌های اشاره شده منجر به افزایش احتمال تماس نخ‌های رسانا در ساختار حسگر طراحی شده خواهد شد.

در شکل ۵ نمودار تغییرات ولتا ژ-زاویه نمونه‌های شماره ۵ و ۴ در سیکل حرکتی رفت و برگشت نشان داده شده است.

تجزیه و تحلیل نمودارهای ارائه شده نشان می‌دهد که تغییرات ولتاژ-زاویه نمونه ۴ از ۹۰ به ۲۰ درجه، در محدوده ۰/۶۸-۰/۷۸ و در برگشت از ۲۰ به ۹۰ درجه از ۰/۷-۰/۹ولت بود.

روند صعودی تغییرات ولتاژ در سیکل برگشت را می‌توان به جابجایی نخ‌ها در ساختار حسگر پس از سیکل رفت نسبت داد که در سیکل دوم احتمال تماس نخ‌های رسانا را با یکدیگر افزایش داده و افزایش ولتاژ عبوری از ساختار حسگر طراحی شده را باعث میشود.

از سوی دیگر با تغییر زاویه از ۹۰ به ۲۰ درجه، با کاهش زاویه، روند تغییرات ولتاژ تقریباً ثابت و حتی نزولی بود.

در توجیه روند فوق، به کاهش کشش و تنش وارد بر نخ‌های رسانا می‌توان اشاره کرد که احتمالاً منجر به کاهش فشردگی نخ‌های رسانا میشود.

بنابراین احتمال تماس نخ‌های رسانا و الیاف موجود در ساختار نخ با یکدیگر کاهش یافته و مقاومت الکتریکی نمونه افزایش خواهد یافت.

مقایسه نمونه تولید شده با ۹ و ۴ نخ رسانا(نمونه‌های ۳ و ۴) نشان داد که روند تغییرات مقاومت الکتریکی نمونه ۴ و به عبارت دیگر شیب نمودار نسبت به نمونه ۳ بیشتر است.

روند مشاهده شده را به جمع‌شدگی بالاتر نمونه ۴ نسبت به نمونه ۳ ، می‌توان نسبت داد. مقایسه نمونه‌های ۴ و ۵ نشان داد که با افزایش تراکم پودی از ۱۵ به ۲۰ در سانتیمتر، حساسیت حسگر طراحی‌شده در ثبت تغییرات ولتاژ به واسطه تغییر زاویه، افزایش یافته است.

همانطور که در شکل ۴ مشخص است، شیب تغییرات ولتاژ نمونه ۵ در مقایسه با نمونه ۴ به ویژه در سیکل برگشت بیشتر است.

از سوی دیگر مشاهده میشود که عملاً نمونه ۵ نیز مشابه نمونه ۴ در سیکل رفت تغییرات مشخصی در برابر تغییر زاویه نشان نداده است.

نتایج حاصل نشان داد که هر دو عامل تعداد نخ رسانا در ساختار حسگر کششی مبتنی بر منسوج و تراکم پودی آن، تأثیر مشخصی بر روی حساسیت در برابر تغییر زاویه، این حسگرها نشان می‌دهند.

۴-نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر تعداد نخ‌های رسانا در ساختار پارچه تاری-پودی طراحی‌شده به عنوان حسگر و همچنین تراکم پودی، بر روی حساسیت حسگرهای کششی مبتنی بر منسوج در اثر تغییر زاویه، مورد بررسی قرار گرفت.

جهت شبیه‌سازی فرایند تغییر شکل زاویه‌ای، از یک بازوی طراحی شده با قابلیت نصب بر روی دستگاه اندازه‌گیری خصوصیات کششی استفاده شد.

نتایج حاصل نشان داد که رفتار الکترومکانیکی نمونه‌های مختلف به واسطه جمع‌شدگی متفاوت نمونه‌ها، تحت‌تأثیر تعداد نخ‌های رسانا و همچنین فواصل بین نخ‌های رسانا است.

پی‌نوشت:

۱- دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی اصفهان