پوشاک

طراحي خازن‌هـای مبتني برمنسوج جهت استفاده درجـوراب بيماران ديابتي

نیلوفر یزدانی[1] / افسانه عبادی[1] / محسن شنبه[1]

چکیده

امروزه استفاده از منسوجات هوشمند در بسیاری از حوزه‌های پزشکی در دنیا مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از حسگرهای پارچه‌ای سبب راحتی پوشاک در سازه‌های هوشمند می‌شود؛ به همین دلیل محققان تلاش می‌کنند تا ابعاد این حسگرها را کاهش و حساسیت آنها را افزایش دهند.

در این مطالعه طراحی و سنجش حساسیت حسگرهای خازنی مبتنی بر منسوج جهت استفاده در جوراب‌های هوشمند دیابتی مور توجه قرار گرفته است. همچنین تاثیر عواملی از قبیل مساحت صفحات، ضخامت لایه دی الکتریک و نوع ساختار لایه دی الکتریک بر حساسیت خازن مورد بررسی فرار گرفت.

مقدمه

عارضه نوروپاتی زیر شاخه‌ای از عوارض میکرواسکولار بیماری دیابت است که منجر به کاهش یا از دست دادن حس درد می‌شود. بیش از ۷۵ درصد افراد دیابتی مبتلا به زخم های دیابتی هستند که در آمریکا ۸۰ درصد آنها منجر به قطع عضو می‌شود و اگر به موقع رسیدگی شود احتمال قطع عضو به شدت کاهش خواهد یافت .

با از دست دادن حس درد، تشکیل زخم در کف پای بیمار تشخیص داده نمی‌شود و به علت تاخیر در ترمیم زخم به خاطر بیماری دیابت عضو به تدریج دچار عفونت شدید و در نهایت دچار قطع عضو می‌شود. براین اساس بهترین روش درمان، پیشگیری و تشخیص سریع زخم است.

رامیرز، پیشرفتهای گزارش‌شده در زمینه حسگرهای تعبیه‌شده در کفش را برای اندازه‌گیری فشار راه رفتن و تشخیص و تحلیل در توانبخشی بررسی کرد. بررسی و تحلیل فشار کف پا اجازه میدهد، عوامل زیادی از قبیل فشار میانگین, فشار بیشینه و سرعت جابجایی مرکز فشار، تخمین زده شود. این عوامل برای تشخیص ناهنجاری‌های مادرزادی مانند شکل پای گود و یا تخت و تشخیص بسیاری از بیماریها از قبیل پاهای بی‌حس, پارکینسون, نوروپاتی محیطی, ضعف و بیشینه فشار در پای بیماران دیابتی ضروری است.

یکی از روش‌های نوین بررسی توزیع فشار در کف پا، استفاده از خازن‌های مبتنی بر منسوج است. خازن وسیله‌ای الکتریکی است که می‌تواند بار الکتریکی را در خود ذخیره کند و از دو صفحه ی رسانا و دی الکتریک عایق بین آنها و دو درگاه متصل به صفحات رسانا تشکیل شده است.

با اعمال نیروی فشاری بر صفحات خازن فاصله بین صفحات تغییر می کند و طبق رابطه۱ ، ظرفیت خازن تغییر می‌یابد.

$$C = K\varepsilon\frac{A}{d}$$

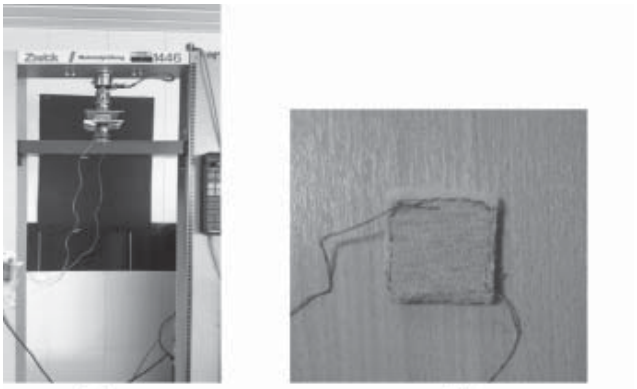
در این رابطه، C : ظرفیت خازن ، K : ثابت دی الکتریک ، ε : ضریب گذردهی

جدول۱- مشخصات نمونه‌های تولیدشده با استفاده از دی الکتریک اسپیسر حلقوی تاری

ابعاد خازن (سانتیمتر)	تعداد لایه و ضخامت دی الکتریک		
	یک لایه، ۵ میلی متر	سه لایه، ۱۰ میلی متر	چهارلایه، ۱۵میلی متر
۳*۳	A	D	G
۴*۴	B	E	H
۵*۵	C	F	I

جدول۲- مشخصات نمونه‌های تولیدشده با استفاده از دی الکتریک بی بافت

ابعادخازن (سانتیمتر)	تعداد لایه و ضخامت دی الکتریک	
	۲لایه و ۵ میلی متر	۴ لایه و ۱۵ میلی متر
۴*۴	J	K



(ب) (الف)

شکل۱ الف نمونه ای از خازن‌های طراحی شده، ب نمای کلی روش آزمایش نمونه‌های مختلف

خلأ ، A : مساحت صفحه خازن و d : فاصله بین دو صفحه خازن(ضخامت دی‌الکتریک) است.

سرجیو برای تهیه حسگر خازنی از ماتریس‌هایی با جنس پارچه برای کف پا استفاده کرد. وقتی دولایه روی هم قرار می‌گیرد با تقاطع الکترودها، ماتریس تشکیل می‌شود.

این روش مانند تولید مدار با استفاده از جوهر رسانا است، با این تفاوت که از نخ‌های دولای رسانا و عایق کنار هم استفاده شده است و یک سنسور منعطف و نرم را تولیدمی‌کند.

فری و همکاران حسگرهای منعطف و قابل کشش را برای بررسی حرکات بدن انسان ارایه نمودند.

برای طراحی صفحه رسانا از دو روش استفاده شد. روش اول بافت نخ رسانا بر روی پارچه و روش دوم چاپ جوهر رسانا بر روی پارچه بود.

مایر و همکاران یک حسگر فشار مبتنی برمنسوج برای اندازه‌گیری توزیع فشار بر روی بدن انسان طراحی کردند.

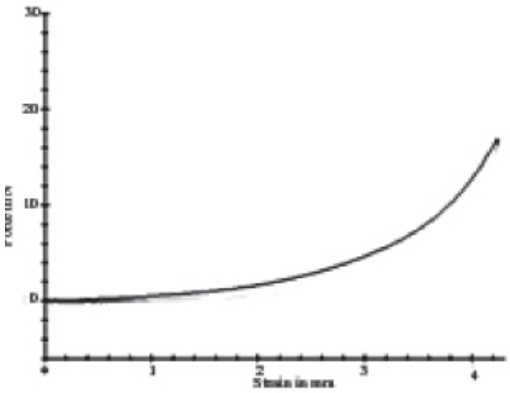
الکترودهای ساخته‌شده با منسوجات رسانا در دو سوی ماده عایق با قابل فشردگی قرار داشتند و یک خازن متغیر را تشکیل می‌دهند. با استفاده از منسوجات, طراحی حسگرهای ساده، راحت، سبک و قابل شستشو امکان پذیر می‌شود.

خازن‌های مبتنی بر منسوج طراحی شده با استفاده از صفحات رسانای پوشش دادهشده با نقره و لایه عایق اسپیسر™ Croslite در لباس ورزشکاران مختلف مثل اسکی به‌وسیله هولسزک و همکاران مورد ارزیابی قرارگرفت.

درتحقیق صورت گرفته به‌وسیله آتالای و همکاران ، از دو نوع منسوج حلقوی و تاری پودی به عنوان صفحات رسانا – و از سیلیکون به عنوان ماده عایق استفاده‌شد. همچنین خازن طراحی شده در یک دستکش جای‌گذاری شده و در فعالیت‌های روزانه مورد بررسی به صورت عملی قرار گرفت.

هدف از این تحقیق طراحی خازن‌های مبتنی بر منسوج جهت استفاده در جوراب بیماران دیابتی است.

همچنین با تغییر مساحت صفحات رسانا، ضخامت لایه دی‌الکتریک و نوع لایه دی الکتریک، تغییرات ظرفیت خازن در اثر نیروی فشاری مورد بررسی قرار گرفت و مزایا و معایب هر نمونه با ویژگی‌های منحصر به فرد خود مشخص می‌شود.



شکل۲- منحنی تغییرات نیرو- ضخامت نمونه B

۲-تجربیات

برای آماده‌سازی حسگرهای خازنی مبتنی بر منسوج از پارچه حلقوی پودی رسانا برای صفحات خازن و از منسوج عایق جریان الکتریکی به عنوان دی الکتریک و در نهایت از نخ رسانای پلی‌استر/ فول۸۰/۲۰ تولید شرکت Xiamen JL–fiber science and technol–ogy در چین با نمره ۵۹/۵ تکس و مقاومت خطی ۱/۵۸اهم در سانتیمتر به عنوان رابط جریان الکتریکی بین حسگر و برد الکتریکی استفاده شد.

جهت تولید پارچه حلقوی پودی از ماشین حلقوی پودی فالمک یک‌رو سیلندر و نخ رسانای با نمره ۳۰ تکس حاوی الیاف کوتاه (۲۸ درصد فولاد و ۷۲ درصد پلی‌استر) استفاده شد.

ظرافت الیاف فولاد ۱۲ میکرون بود و مقاومت خطی آن ۵۰ اهم در سانتیمتر، ازدیاد طول تا حدپارگی، ۱۰/۷۵درصد و نیروی پارگی ۱۹۹/۷۵ سانتی نیوتن بود. منسوج عایق مورد استفاده نیز از دو نوع اسپیسر حلقوی تاری با وزن ۶۶۰ گرم بر متر مربع و جنس پلی‌استر و لایه بی بافت کالندرشده پلی‌استر با وزن ۵۰۰ گرم بر متر مربع بود. نمونه‌ها با عوامل متفاوت که در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است، تولید شد. درنمونه‌های جدول ۱ از دی الکتریک اسپیسر حلقوی تاری و در نمونه‌های جدول ۲ از لایه بی‌بافت استفاده شده است.

جهت دستیابی به خازن‌های با فاصله صفحات مختلف، تعداد لایه‌های قرار داده شده از هر منسوج عایق، تغییر داده شد.

برای انجام آزمایش خصوصیات فشاری خازن‌های طراحی شده در بارگذاری فشاری از دستگاه اندازه‌گیری خصوصیات کششی زوئیک مدل ۱۴۴۶ که براساس نرخ ثابت ازدیادطول عمل میکند، استفاده شد.

همچنین جهت ثبت دائم تغییرات ظرفیت خازن در خلال آزمایش از یک مبدل دیجیتال به آنالوگ Arduino و یک برنامه ویژه پردازنده میکرو که توانایی ثبت تغییرات بسیار پایین ظرفیت خازن را داشته باشد، استفاده شد.

ظرفیت اولیه خازن‌های C,B,A ، به ترتیب ۶/۳۴، ۹/۱۴ و ۱۱/۸۱ پیکو فاراد بود.

در شکل ۱ نمونه‌ای از خازن‌های طراحی شده و نمای کلی روش بررسی تغییرات ظرفیت خازن در اثر بارگذاری فشاری نشان داده‌شده است.

پس از بررسی‌های اولیه و جهت شبیه‌سازی فرایند، نیروی فشاری بیشینه، ۱۷۰۰

جدول۳- تغییرات ظرفیت(٪) نمونه خازن‌های ساخته شده با استفاده از دی الکتریک اسپیسر حلقوی تاری

ابعاد خازن (سانتیمتر)	ضخامت لایه دی الکتریک		
	یک لایه ۵ میلی متر	سه لایه ۱۰ میلی متر	چهارلایه ۱۵میلی متر
۳*۳	(۳۳۲٪/۸۷) A	(۱۱۱٪/۰۴) D	(۱۰۰٪/۳۰) G
۴*۴	(۱۵۶٪/۰۰) B	(۱۱۲٪/۵۶) E	(۴۶٪/۰۹) H
۵*۵	(۹۹٪/۵۶) C	(۳۵٪/۲۸) F	(۳۹٪/۹۳) I

گرم و سرعت آزمایش نیز ۱۰ میلیمتر بر دقیقه درنظر گرفته شد. درشکل ۲ منحنی تغییرات نیرو – ضخامت نمونه B نشان داده شده است.

۳-نتایج و بحث

طبق آزمایش انجام شده به روی هر نمونه و داده‌های لحظه‌ای به دست آمده، درصد تغییرات ظرفیت خازن براساس رابطه ۲ بدست آمد. در جدول ۳ درصد تغییرات ظرفیت نمونه‌های مختلف، ارایه شده است.

$$\text{تغییرات ظرفیت خازن} = \frac{\text{مقدار کمینه} - \text{مقدار بیشینه}}{\text{مقدار کمینه}} * 100$$

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۳ ، دریک مساحت، نرخ نیروی وارد شده و جنس دی‌الکتریک ثابت، با افزایش ضخامت دی‌الکتریک، کاهش درصد تغییرات ظرفیت خازن مشاهده شد.

به‌عنوان نمونه در نمونه‌های A,D,G به ترتیب تغییرات ظرفیت خازن،۳۳۲/۸۷، ۱۱۱/۰۴و ۱۰۰/۳۰ درصد بود.

در توجیه روند مشاهده شده به فشردگی بیشتر لایه دیالکتریک در نمونه‌های با ضخامت کم در مقایسه با نمونه‌های با ضخامت بالاتر می‌توان اشاره کرد.

براساس نتایج ارائه شده در جدول ۳، با افزایش مساحت صفحات خازن، درصد تغییرات ظرفیت آن با افزایش نیروی فشاری، کاهش یافته است؛ به گونه‌ای که در نمونه‌های G,H,I ، به ترتیب ۱۰۰/۳۳۰، ۴۶/۰۹و ۳۹/۹۳ درصد بود.

به طور کلی انتظار می‌رود که با افزایش مساحت، توزیع نیرو در واحد سطح کاهش و درنتیجه تغییرات ضخامت آن نیز کاهش یابد؛ بنابراین علت مشاهده روند مذکور را می‌توان توجیه نمود.

براساس نتایج به دست آمده درصد تغییرات ظرفیت خازن نمونه‌های تولیدشده با دی الکتیریک بی بافت کالندرشده به ترتیب ۱۵۰/۷۷ و ۳۷/۴۵درصد متعلق به دو نمونه J و K بود.

مقایسه نمونه‌های ساخته‌شده با لایه اسپیسر و بی‌بافت نشان می‌دهد که درصد تغییرات ظرفیت خازن در نمونه‌های J و K نسبت به نمونه‌های B و H کمتر است. به نظر می‌رسد در شرایط ثابت اعمال نیرو، تغییرات ضخامت خازن ساخته‌شده از لایه‌های با بافت پلی‌استر کمتر باشد. به عبارت دیگر نمونه‌های B و H در یک نیروی یکسان، بیشتر فشرده می‌شوند. روند اشاره شده بر اساس نمودار تغییرات نیرو ضخامت حاصل از آزمایش فشار مورد تایید قرار گرفت.

٤-نتیجه‌گیری

دراین تحقیق ضمن طراحی و آماده‌سازی خازن‌های مبتنی بر منسوج، تاثیر مساحت صفحات، ضخامت لایه دی‌الکتریک و همچنین نوع لایه دیالکتریک بر حساسیت خازن دراثر بارگذاری فشاری مورد ارزیابی قرار گرفت.

هدف از این بررسی دستیابی به نمونه‌های مناسب جهت استفاده در جوراب بیماران دیابتی بود. براین اساس نمونه‌های تولید شده با ابعاد ۳ * ۳میلی‌میتر و استفاده‌شده از لایه اسپیسر حلقوی تاری به عنوان دی الکتریک، بهترین تغییرات ظرفیت را دراثر بارگذاری فشاری نشان دادند.

در آینده تاثیر عواملی از قبیل شرایط محیطی بر حساسیت خازن‌های مبتنی بر منسوج و همچنین پسماند ظرفیت خازن در اثر بارگذاری دوره‌ای فشاری مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

پی‌نوشت:

۱–دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی اصفهان