پژوهشی در خصوص کاربرد الکترودهای منسوج در الکترودرمانی

نانو تکنولوژی

خلاصه

الکترود منسوج، که در کاربردهای پزشکی به ویژه الکترودرمانی استفاده می‌شود، مثالی از یک محصول تکسترونیک می باشد. این مقاله تحقیقات اولیه در زمینه منسوجات هادی جریان الکتریسیته را ارائه نموده است که می توانند به عنوان الکترودهای منسوج برای تحریک الکتریکی عضلات استفاده شوند. همچنین نتایج اندازه گیری رسانایی سطحی و الکتریکی مواد هادی جریان الکتریسیته انتخابی، ارائه شده است. جهت انجام اندازه گیری ها از ردیاب های دو یا چند نقطه ای استفاده شد. از برنامه surfer و روش های درون یابی مبنی بر الگوریتم درون یابی کریگینگ نیز برای تصویرسازی (به تصویر کشیدن) نتایج حاصله استفاده گردید.

مقدمه

در حال حاضر، منسوجات هادی جریان الکتریسیته به واسطه کاربردهای بالقوه بسیار، موضوع تحقیق پژوهشگران بسیاری می باشند. چنین منسوجاتی در سیستم های اندازه گیری مانند حسگرهای نساجی (به عنوان مسیرهایی هادی که حسگر را به سیستم انرژی متصل می کنند)، خطوط انتقال یا در سیستم های کنترل پارامترهای فیزیولوژیکی کاربرد دارند. مورد توجه قرار گرفتن منسوجات هادی جریان الکتریسیته در نتیجه توسعه تکسترونیک ها می باشد که شاخه جدیدی در دانش ترکیب کامپیوتر و الکترونیک با تکنولوژی های نساجی می باشند. الکترود منسوج مثالی از یک محصول تکسترونیک است. الکترودهای استفاده شده در پزشکی، به ویژه در الکترودرمانی، نباید هیچگونه حساسیتی در بیمار ایجاد کنند.

خصوصیت مهم دیگر یک الکترود مناسب، تماس پوست/الکترود می باشد. الکترودهای نساجی باید محصولاتی الاستیک و انعطافپذیر باشند. طی بررسی تماس بین الکترود و پوست بدن انسان، باید توجه ویژه ای صرف تغییرات طبیعی پوست (تغییرات در رطوبت، دما و ساختار) شود.

رسانایی سطحی کم الکترود، ویژگی اصلی یک فرآیند تحریک الکتریکی مناسب می باشد. در زمینه تولید الکترودهای نساجی استفاده از نخ هایی با قابلیت بالای هدایت جریان الکتریسیته مانند نخ های نایلون نقره و یا نخ های پنبه ای روکش شده با فولاد ضد لکه، مهم می باشد. الکترودهای منسوج می توانند از نخ های فلزی یا کربنی نیز تولید شوند.

در اینجا باید تاکید نمود که رسانایی الکتریکی، یکی از پارامترهای فیزیکی ماده و البته یک الکترود منسوج بوده و به شکل و ابعاد آن بستگی ندارد. با این وجود، این ویژگی به نوع لیف یا نخی که الکترود از آن حاصل شده و سایر المان های هادی جریان الکتریسیته، بستگی دارد.

با این وجود، در این مقاله مقادیر رسانایی الکتریکی که به ابعاد نمونه و الکترودهای اندازه گیری بستگی دارد، مورد بررسی قرار گرفته است. با در نظر گرفتن رسانایی الکتریکی به عنوان هدف این مقاله، نویسندگان تعریفی را بدین صورت ارائه داده اند که، رسانایی الکتریکی در نقطه ای معین ، عبارتست از رسانایی سطحی سطح که از طریق ترتیب اندازه گیری الکترودها تعیین شده و به نقطه انتخابی بر سطح نمونه (الکترود منسوج) که توسط الکترودهای اندازه گیری به دست آمده است، منسوب می شود. تولیدکنندگان ژنراتورهای پزشکی پیشنهاد کرده اند که به منظور تامین هدایت الکتریکی مناسب الکترود، رسانایی الکتریکی بین هر نقطه از الکترود نباید از ۳۰۰ Ωt تجاوز کند. هرچه الکترود رسانایی بیشتری داشته باشد، جریان تولیدی دمای بیشتری بر سطح الکترود ایجاد می نماید، که خطرناک بوده و می تواند موجب سوختگی پوست شود.

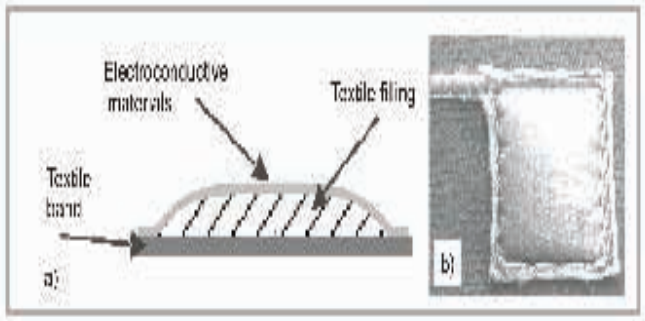
روش های توصیف شده در استانداردها که به منسوجات اختصاص داده شده است، رسانایی ورقه های نساجی را توصیف می کنند. این روش ها امکان تعیین رسانایی منسوجاتی را که دارای سطح نسبتا زیادی می باشند، فراهم نموده است. کاربردهای تکسترونیک، شامل الکترودهای مورد استفاده در تحریک ماهیچه ها، محصولاتی با ابعاد نسبتا کوچکی می باشند، از این رو نمی توان از روش های قدیمی برای تحقق هدف تعیین شده استفاده نمود.

تعیین توزیع رسانایی بر صفحات کوچک اهمیت زیادی دارد؛ چرا که مقادیر رسانایی موضعی برای کاربردهای مورد بحث، بسیار مهم می باشند. نخستین اطلاعات در زمینه این موضوع در این مقاله ارائه شده که تحقیقات اولیه را توصیف می کند.

نویسندگان این مقاله کاربرد روش های اندازه گیری رسانایی منسوجاتی را که می توانند جایگزینی برای روش های متعارف باشند، پیشنهاد نموده اند. در این زمینه، امکان تشخیص مناسب بودن یک محصول نساجی برای ساخت الکترودهای نساجی به عنوان بخشی از یک محصول تکسترونیک، فراهم شده

است. الکترودهای منسوج گوناگونی در بازار و نیز تحقیقات گذشته ی پژوهشگران وجود دارد که دارای ابعاد و ساختارهای مختلفی می باشند، برخی از آنها با به کارگیری تکنولوژی بافندگی حلقوی یا از پارچه های الاستیک تولید شده اند. به عنوان جایگزین این روش ها می توان از یک الکترود استفاده کرد که ساختار آن در ادامه ارائه شده است.

طراحی الکترودهای منسوج اغلب بر اساس ساختار چند لایه مواد با قابلیت هدایت مناسب صورت می گیرد. مثالی از این دست در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- (a) نمایی از یک الکترود منسوج کامپوزیتی جهت استفاده در تحریک‌الکتریکی
(b) تصویری حقیقی ساختار

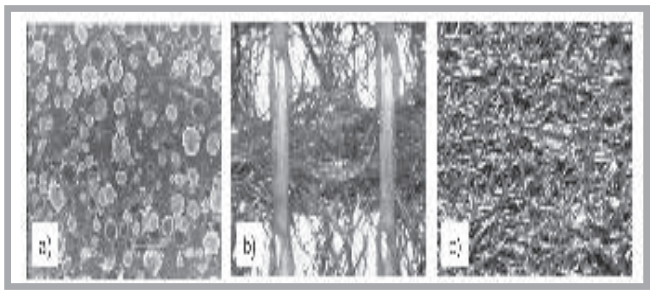
در این مورد، از یک بانداژ الاستیک به عنوان منسوج پایه و از فوم پلی پورتان با ضخامت ۳ میلی متر به عنوان پرکننده استفاده شد. ابعاد الکترود ۳۵ میلی متر × ۳۵ میلی متر، و سطح فعال تحریک الکتریکی ۳۰ میلی متر × ۳۰ میلی متر تعیین شد. سطح الکترود بسته به ابعاد بدن بیمار تغییر می کند. برای بافت محیط الکترود نیز از نخ های هادی استفاده شد. از این نوع الکترود می توان در سیستم های تکسترونیک جهت تحریک الکتریکی در قالب یک مهار زانوئی منسوج یا بانداژ بازو، استفاده کرد. این سیستم برای سفت کردن عضلات هنگام رخداد گرفتگی ها در نتیجه عدم تحرک عضو (بازو یا پای شکسته) و نیز به عنوان یک وسیله ورزشی کاربرد دارد. چنین فرض شده است که برای ساخت الکترودهای نساجی، مواد هادی جریان الکتریسیته مورد استفاده باید به طور وسیعی و با قیمتی معقول در بازار عرضه شود. با این وجود، مهم ترین معیار، انتخاب میزان رسانایی پارچه می باشد. طی انتخاب اولیه، نویسندگان نیز استفاده از منسوجات جامد هادی با ویژگی الاستیسیته بالا را در نظر داشته اند. این نوع منسوجات به خوبی بر روی پوست بدن انسان قرار گرفته و شکل اندام های بدن را به خود می گیرند. بدین ترتیب، فرآیند تحریک الکتریکی کارآمدتر خواهد شد. هدف این مقاله انتخاب بهترین و مناسب ترین از میان مواد انتخابی جهت استفاده در الکترودهای نساجی در الکترودرمانی، با در نظر گرفتن خصوصیات الکتریکی آنها می باشد.

مواد

از سه نوع ماده برای انجام آزمایشات استفاده شد:

- فویل سیلسیم هادی جریان الکتریسیته حاوی ذرات نقره.
- پارچه تاری پودی هادی ساخته شده از نخ های نیتریل استاتیک.
- یک بی بافت از جنس گرافیت.

پارامترهای اولیه این مواد و تصاویر میکروسکوپی آنها در جدول ۱ و شکل ۲ ارائه شده است.



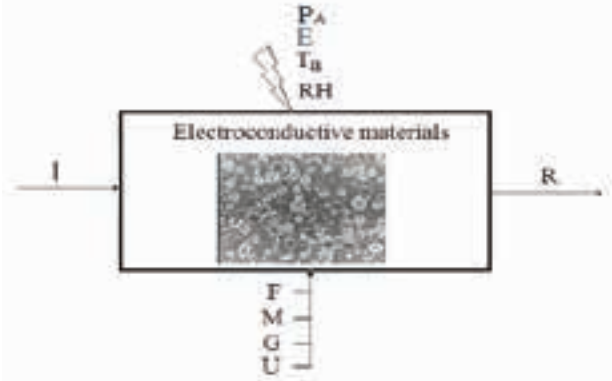
شکل ۲- تصاویر میکروسکوپی مواد هادی آزمایش شده
(a)فویل سیلسیم (b) پارچه تاری پودی (c) پارچه بی بافت

جدول ۱- خصوصیات مواد هادی مورد بررسی

نوع ماده	دانسیته هوایی (گرم‌برمترمربع)	ضخامت (میلی متر)	مواد هادی جریان الکتریسیته
فویل سیلسیم	۴۱۰	۰/۹۵	ذرات نقره
پارچه تاری پودی	۹۵	۰/۷۴	نخ های نیتریل استاتیک
پارچه بی بافت	۶۵	۰/۶۴	گرافیت

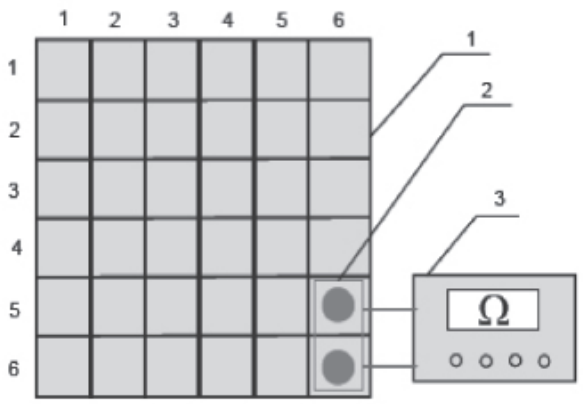
روش تحقیق

رسانایی الکتریکی یکی از مهم ترین پارامترهای منسوجات استفاده شده در الکترودهای نساجی جهت تقویت عضلات می باشد. روش های متعددی برای تعیین رسانایی منسوجات هادی جریان الکتریسیته وجود دارد. روش آزمایش رسانایی سطحی پوشاک حفاظتی در روش استاندارد ذکر شده است. روش تعیین رسانایی الکتریکی منسوجات، تکنیک اندازه گیری چهار نقطه ای می باشد. راه دیگر اندازه گیری رسانایی الکتریکی ورقه، روش Van der Pauw می باشد. از این رو توضیح صریح اندازه گیری ها مهم می باشد. بدین منظور، مدل کیفی مناسبی برای تحقیق مورد نیاز می باشد. نویسندگان در بدو امر عوامل موثر بر رسانایی در کاربردهای تکسترونیک را توصیف نموده اند. در شکل ۳ مدلی کیفی برای تعیین توزیع رسانایی الکترودهای نشان داده شده است.



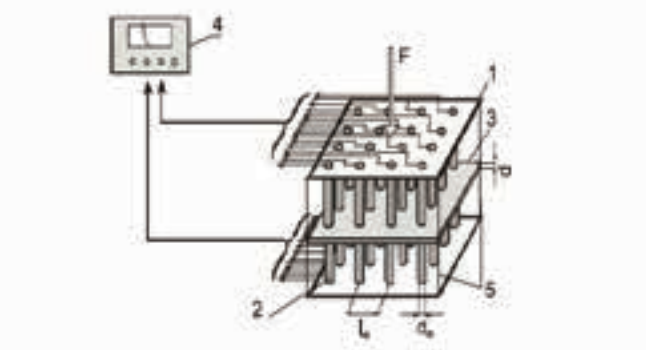
شکل ۳- مدل کیفی اندازه گیری رسانایی الکترود منسوج؛ I- جریان، R- مقاومت، F- نیروی فشاری، M- نوع ماده، G- ابعاد هندسی الکترود منسوج، U- ولتاژ اندازه گیری، AP- فشار اتمسفریک، E- تداخل الکترومغناطیس، Ta- درجه حرارت محیط، RH- رطوبت نسبی

کمیت ورودی شامل جریان (I) و کمیت های خروجی نیز رسانایی اندازه گیری شده (R) و توزیع آن می باشند. مجموعه مقادیر ثابت شامل نیروی فشاری (F)، نوع ماده (M)، ابعاد هندسی الکترود (G) و ولتاژ اندازه گیری (U) می شود. پارامترهای ایجاد کننده اختلال نیز شامل فشار اتمسفر (AP)، تداخل الکترومغناطیس (E)، دمای محیط (Ta) و رطوبت نسبی (RH) می شوند. ابعاد ماده هادی مورد بررسی ۰۶ میلی متر × ۰۶ میلی متر بود. اندازه گیری رسانایی بر سطح الکترود توسط دو نوع ردیاب که روی هر دو میدان اندازه گیری مجاور بر مواد هادی جریان الکتریسیته قرار داده شده و ماتریس توزیع مقاومت را تشکیل داده بوند، صورت گرفت. روش اول بر اندازه گیری رسانایی سطح با استفاده از دو ردیاب اندازه گیری سطح مقطع دایره ای، بنا شده است (شکل ۴).



شکل ۴- طرح ساده شده ای از پایه اندازه گیری رسانایی سطح؛
۱- الکترود منسوج، ۲- ردیاب های دو نقطه ای،
۳- مولتی سنج ۶/۵ رقمی Agillent

قطر متوسط ردیاب اندازه گیری ۸ میلی متر تعیین شد. منسوج مورد بررسی نیز به دو ناحیه اندازه گیری تقسیم شد و ماتریسی به ابعاد ۶×۶ میدان اندازه گیری ایجاد نمود. نمایی از استاندارد اندازه گیری در شکل ۴ ارائه شده است. دو الکترود اندازه گیری (۲) به یک مولتی سنج دیجیتالی
Agilent ۳۴۴۰۱A (۳) با خطا در خواندن معادل ۰/۰۱۰% و خطای دامنه ۰/۰۰۱ % متصل شدند. از مولتی سنج برای خواندن مقادیر مقاومت نمونه ها استفاده شد. در مورد دوم، اندازه گیری رسانایی الکتریکی با استفاده از دو ردیاب چند نقطه ای با ساختار خاص بین مکانی که الکترود منسوج قرار گرفته بود، صورت گرفت (شکل ۵).

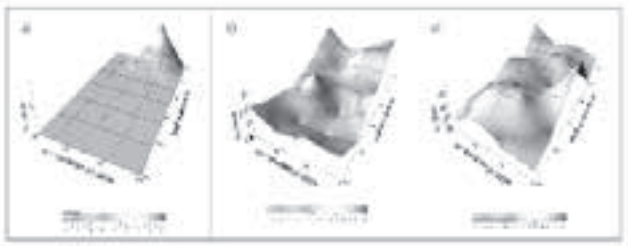


شکل ۵- طرح ساده شده ای از پایه اندازه گیری رسانایی الکتریکی، ۱- ردیاب اندازه گیری چند نقطه ای بالایی، ۲- ردیاب اندازه گیری چند نقطه ای پایینی، ۳- الکترود منسوج، ٤- مولتی سنج ٦/٥ رقمی Agilent، ٥- ریل های متقاطع، F- نیروی فشاری

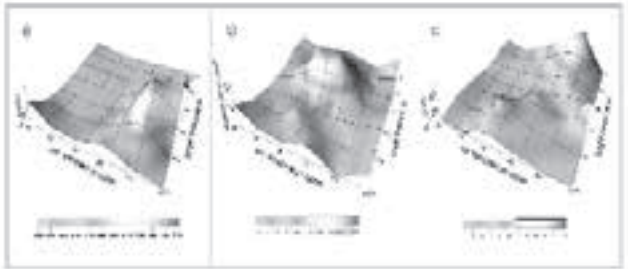
ردیاب های اندازه گیری به فاصله ۰۱ میلی متر از یکدیگر (le)، قطر ردیاب های اندازه گیری (de) ۰۱ میلی متر و ضخامت نمونه مورد بررسی (الکترود منسوج) (d) حدود ۱ میلی متر تعیین شد. به منظور قرارگیری دقیق الکترودهای اندازه گیری و تضمین نیروی فشاری ثابت، از ۴ ریل متقاطع استفاده شد که در گوشه های دستگاه اندازه گیری قرار گرفتند. اندازه گیری ها در فشار ثابت معادل ۵۲۷۲ پاسکال انجام شد. انتهای ردیاب های هم مرکز بالایی و پایینی الکترودهای اندازه گیری (۱) و (۲) نیز به مولتی سنج دیجیتال Agilent ۳۴۴۰۱A (۴) متصل شدند.

نتایج اندازه گیری ها

اندازه گیری های رسانایی الکتریکی و سطحی در دمای محیطی Ta= ۲۴/۵± ۲ºC و رطوبت نسبی ٪۳± ۴۵= HR صورت گرفت. در نتیجه اندازه گیری رسانایی، توزیع رسانایی الکتریکی و سطحی منسوج حاصل شد. مقادیر رسانایی موضعی بر اساس ۹ اندازه گیری محاسبه شدند. رسانایی سطحی برای فویل سیلسیم حاوی ذرات نقره در طیف ۰/۳۰ Ωι الی ۰/۶۳ Ωι، برای پارچه های تاری پودی بافته شده از نخ نیتریل استاتیک در طیف ۱/۳۹ Ωι الی ۳/۱۳ Ωι و برای پارچه های بی بافت گرافیتی در طیف ۱۵/۹۹ Ωι الی
۵۵/۹۹ Ωι، تغییر پیدا کرد. در ادامه نیز رسانایی الکتریکی برای فویل سیلسیم حاوی ذرات نقره در طیف ۰/۰۵ Ωι الی ۱/۱۸ Ωι، برای پارچه های تاری پودی بافته شده از نخ نیتریل استاتیک در طیف ۱/۵۲ Ωι الی ۲۳/۷۰ Ωι و برای پارچه های بی بافت گرافیتی در طیف ۰/۰۷ Ωι الی ۵۶/۸۲ Ωι قرار گرفت. در پایان نیز برای کلیه این نتایج، آنالیز خطا صورت گرفت.
اشکال ۶ و ۷ به ترتیب نمونه های از توزیع رسانایی سطحی و رسانایی الکتریکی را در مواد مورد بررسی نشان می دهند. شکل ها در بردارنده نتایج میانگین ده اندازه گیری برای هر نمونه منسوج می باشند.



شکل ٦- نمونه ای از توزیع رسانایی سطحی الکترود منسوج:
۱- فویل سیلسیم هادی حاوی ذرات نقره،
۲- پارچه تاری پودی از نخ نیتریل استاتیک، ۳- پارچه بی بافت گرافیتی



شکل ۷- نمونه ای از توزیع رسانایی الکتریکی الکترود منسوج:
۱- فویل سیلسیم هادی حاوی ذرات نقره،
۲- پارچه تاری پودی از نخ نیتریل استاتیک، ۳- پارچه بی بافت گرافیتی

از برنامه Surfer برای به تصویر کشیدن نتایج حاصله استفاده شد. این نرم افزار از روش درون یابی مبنی بر الگوریتم درون یابی کریگینگ، استفاده می کند. از الگوریتم به علت وجود ارتباطاتی میان نقاط اندازه گیری استفاده شد و بر اساس نقاط مجاور، تعیین مقدار نقاط میانی امکان پذیر می شود، هر چند مقدار یک نقطه ناشناخته کاملا به مقادیر نقاط اندازه گیری مجاور، وابسته نمی باشد.

ارزیابی خطای اندازه گیری رسانایی

آنالیز خطای اندازه گیری رسانایی (R) بر اساس تئوری عدم قطعیت انجام شد. عدم قطعیت پیچیده از رابطه ۱ محاسبه می شود:

$$U(R) = k\, u_c(R) \qquad (1)$$

که k در این رابطه ضریب انبساط (k=۲ برای سطح اطمینان ۰/۵۹) و $u_c(R)$ عدم قطعیت استاندارد مرکب R تخمینی می باشد.
عدم قطعیت نسبی اندازه گیری از رابطه ۲ به دست می آید:

$$U_{rel}(R) = \frac{U(R)}{R} 100\% \qquad (2)$$

آنالیز عدم قطعیت رسانایی سطحی و رسانایی الکتریکی مواد هادی مورد بررسی انجام شد. محاسبات عدم قطعیت های استاندارد با استفاده از روش نوع B با فرض توزیع یکنواخت مقادیر موجود در فاصله ها، محاسبه شد. در جدول ۲ بودجه عدم قطعیت رسانایی سطح برای نقطه انتخابی نشان داده شده است. تخمین مقدار کمیت ورودی بر اساس ۹ اندازه گیری تکرار شده صورت گرفت. در جدول ۳ بودجه عدم قطعیت رسانایی الکتریکی (Rv) برای نقطه انتخابی ارائه شده است.

جدول ۲- بودجه عدم قطعیت اندازه گیری رسانایی سطحی

نوع ماده	کمیت‌ورودی تخمین‌زده شده Ωι	عدم قطعیت استاندارد نوع A (Ωι)	عدم قطعیت استاندارد نوع B (Ωι)	مربع عدم قطعیت مرکب ^{۲}Ωι	عدم قطعیت پیچیده Ωι	عدم قطعیت پیچیده نسبی (٪)
فویل سیلسیم هادی حاوی ذرات نقره	۰/۴۰	۱/۵×۱۰$^{-۲}$	۵/۸×۱۰$^{-۵}$	۲/۴×۱۰$^{-۴}$	۰/۰۳	۷/۵
پارچه تاری پودی از نخ نیتریل استاتیک	۲/۰۹	۹/۸×۱۰$^{-۲}$	۵/۸×۱۰$^{-۵}$	۹/۶×۱۰$^{-۳}$	۰/۲۰	۹/۶
پارچه بی بافت گرافیتی	۵۵/۹۹	۶/۸۸	۵/۸×۱۰$^{-۵}$	۴۷/۳۹	۱۳/۷۷	۲۴/۶

جدول ۳- بودجه عدم قطعیت اندازه گیری رسانایی الکتریکی

نوع ماده	کمیت ورودی تخمین زده (Ωιشده)	عدم قطعیت استاندارد نوع A (Ωι)	عدم قطعیت استانداردBنوع (Ωι)	مربع عدم قطعیت مرکب ^{۲}(Ωι)	عدم قطعیت پیچیده (Ωι)	عدم قطعیت پیچیده نسبی (٪)
فویل سیلسیم هادی حاوی ذرات نقره	۰/۲۱	۲/۵×۱۰$^{-۲}$	۵/۸×۱۰$^{-۵}$	۶/۵×۱۰$^{-۴}$	۰/۰۵	۲۳/۸
پارچه تاری پودی از نخ نیتریل استاتیک	۴/۳۹	۰/۷۳×۱۰$^{-۲}$	۵/۸×۱۰$^{-۵}$	۰/۵۳	۱/۴۵	۳۳/۰
پارچه بی بافت گرافیتی	۱۵/۹۸	۱/۷۰	۵/۸×۱۰$^{-۵}$	۲/۹۰	۳/۴۱	۲۱/۳

در مورد رسانایی سطحی، تغییرات عدم قطعیت نسبی از ۴/۶ تا ۷۵/۹ و در خصوص رسانایی الکتریکی تغییرات عدم قطعیت از ۰/۲ الی ۴۵/۱ درصد تغییر می کنند. عدم قطعیت نسبی متغیر با ساختار ناهمگن مواد هادی مورد بررسی در تماس می باشد.

نتیجه گیری

- ساخت الکترودهای منسوج کاملا پیچیده بوده و شامل مراحل متعددی می گردد. به نظر می رسد مهم ترین امر انتخاب مناسب منسوج هادی جریان الکتریسیته می باشد. بدین منظور، اندازه گیری درست مقاومت های اطراف منسوجات هادی جریان الکتریسیته در محیط های کوچک، ضروری می باشد.
- اندازه گیری های رسانایی الکتریکی و سطحی مواد هادی جریان الکتریسیته در شرایط محیطی انتخابی توسط عدم قطعیت بالا و نسبی متغیر توصیف می شود.
- نتایج اندازه گیری های رسانایی انجام شده ثابت نموده اند که مواد مورد بررسی می توانند به عنوان الکترود در کاربردهای الکترودرمانی به ویژه برای تحریک الکتریکی عضلات بدن استفاده شوند.
- مقاومت الکترود در کمتر از مقدار مجازی که تولیدکنندگان دستگاه های پزشکی جهت الکترودرمانی پیشنهاد می کنند، آزمایش شد، بدین معنا که مقاومت ماکزیمم بین هر دو نقطه روی سطح الکترود، نباید از ۳۳۰ Ωιتجاوز کند. در این مقاله بیشترین مقدار رسانایی سطحی و الکتریکی به ترتیب ازΩι ۶۰ و ۵۷ Ωι تجاوز نکرد.

منبع:
FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe 2011, Vol. 1 9, No. 5 (88) pp. 70-74.