مقایسه عملکرد منسوج مبدل انرژی تک‌لایه با هیبریدی تریبو پیزوالکتریک

شاهین قاسمی‌نژاد[1]/ مسعود لطیفی[1]/ روح‌اله باقرزاده[1]

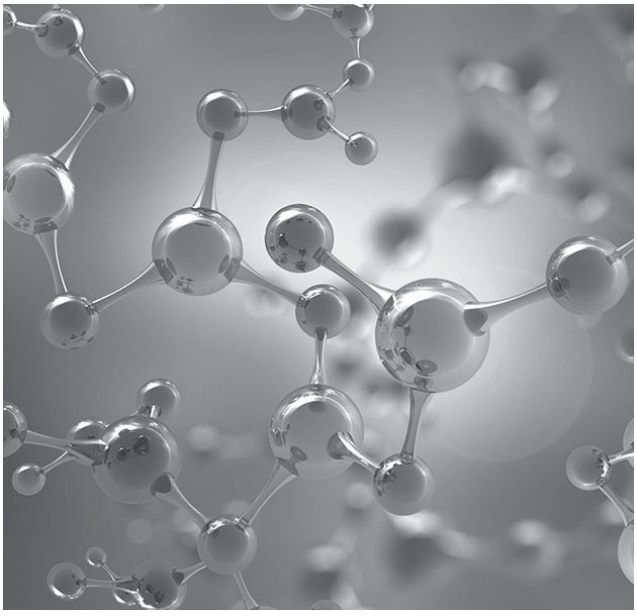
چکیده

برداشت انرژی‌های هدر رفتنی با کمک مبدل‌های انرژی مکانیکی به الکتریکی با توجه به معضل جهانی انرژی، یک شاخه مهم در مطالعه‌های انرژی است. ساز و کار پیزوالکتریک و تریبوالکتریک دو روش پرکاربرد این حوزه می‌باشند.

در این پژوهش ترکیب‌های مختلفی از مبدل‌های الیافی شامل نانوالیاف PVDF و نانوالیاف کامپوزیتی PVDF/BaTiO با لایه‌های پشمی با سه نوع بافت حلقوی پودی و الیاف پشم شانه‌شده، با توجه به جایگاه مناسب ماده پشم و PVDF در گروه مواد تریبوالکتریک، در نظر گرفته شد. ولتاژ الکتریکی حاصل از تماس- جدایش تریبوالکتریک لایه‌های ترکیبی اندازه‌گیری شد. سپس بهترین چیدمان لایه‌ای تریبوالکتریک در یک نیروی مشخص با مقدار بالاترین خروجی(V/cm)٤/٣٥تعیین گردید. در حالی که خروجی لایه پیزوالکتریک PVDF به‌تنهایی در بهترین لایه ترکیبی آزمایش شده در نمونه‌های تریبوالکتریک به‌مقدار(mV/cm)٤٧٥/٠بود. در ازای یک نیروی تاحدودی یکسان، خروجی مبدل تریبوالکتریک نسبت به لایه مبدل پیزوالکتریک PVDF/BaTiO به تنهایی، بیش از ۹۰۰۰ برابر حاصل شد.

۱- مقدمه

.برداشت انرژی فرآیند برداشت مقدارهای کوچک انرژی است که این انرژی‌ها به شکل‌های مختلف مانند گرما، صدا، ارتعاش یا جابه‌جایی اتلاف خواهند شد. مطابق با اصول حاکم بر اثر مواد پیزوالکتریک، این مواد قادر به تبدیل اطلاعات حاصل از تغییر شکل ساختار به سیگنال الکتریکی هستند. این توانایی به معنی اتصالی بین انرژی مکانیکی با انرژی الکتریکی است.



جدول۱- مشخصه‌های پارچه‌های پشمی مورد استفاده در لایه‌ی دی‌الکتریک تریبوالکتریک.

شناسه پارچه	طرح بافت	جرم واحد سطح (g/m^2)	ضخامت (mm)	ظرافت الیاف (μm)	CPC	WPC	SD
F1	plain- single jersey	۱۳۳،۸۰	۰،۶۷	۱۳،۸	۱۴،۱	۱۲،۸	۱۸۰،۵
F2	plain- single jersey	۲۱۰،۵	۰،۶۲	۲۲،۶	۱۰،۷	۱۱،۲	۱۱۹،۸
F3	single jersey Pique	۲۶۷،۵	۱،۵۹	۲۱،۹	۴،۹	۵،۶	۲۷،۴

از میان پلیمرهای پیزوالکتریک PVDF به‌علت چقرمگی، انعطاف‌پذیری و سازگاری با مواد پلیمری دیگر، به‌طور گسترده در پیزوپلیمرها مورد بررسی قرار گرفته‌است.

تریبوالکتریک اثر تماس منجر به القای بار الکتریکی است که به علت تماس اصطکاکی دو ماده با قابلیت باردار شدن ایجاد می‌گردد. توانایی مواد برای گرفتن یا ازدست دادن الکترون بستگی به قطبیت ماده دارد.

از این جهت مواد در جدولی به نام سری تریبوالکتریک بر اساس تمایل به ازدست دادن الکترون یا گرفتن الکترون طبقه بندی می شوند. هر چه فاصله دو ماده انتخابی این جدول از یکدیگر بیشتر باشد بار بیشتری از تماس این دو ماده منتقل خواهد شد.

گل‌حسن و همکاران در پژوهشی اثر سختی سطح در یک برداشت‌کننده ترکیبی پیزو–تریبوالکتریک را بررسی نمودند. در این پژوهش ترکیب نانو مکعب‌های ZnSnO بدون سرب با PDMS همراه با الکترودهای مسی به‌عنوان لایه پیزوالکتریک و تماس الکترود مس با لایه PDMS خالص به‌عنوان بخش تریبوالکتریک در نظر گرفته می‌شد.

نتیجه‌ها نشان می‌دهند که با افزایش سختی سطح، ولتاژ میانگین خروجی افزایش

پیدا می‌کند. هماجیت‌سینگ و نراج یک لایه فیلم کامپوزیتی PVDF/ZnO را تهیه کردند. از تماس این لایه با یک لایه از پلیمر PTFE در تولید نانومبدل‌های ترکیبی پیزو تریبوالکتریک استفاده نمودند.

مبدل ترکیبی آنها موفق به تولید بیشینه خروجی لحظه‌ای($\mu W/cm^2$) ۲۴،۵ شد که حدود ۲/۵ برابر بیشتر از مبدل ترکیبی حاصل از PVDF خالص است.

پژوهش‌های مرورشده نشان داد که انتخاب مواد، انتخاب یک فرآیند تولید مناسب، طراحی یک ساختار هندسی بهینه، ترتیب چیدمان لایه‌ها، طراحی مدار الکتریکی مناسب از جمله مهم‌ترین عامل‌هایی هستند که باید در طراحی و ساخت یک مبدل ترکیبی پیزو تریبوالکتریک در نظر گرفته شوند.

۲- کارهای عملی

یک دسته از مواد انتخابی برای این پژوهش شامل الیاف پشم شانه شده و سه نمونه پارچه بافته‌شده با نخ پشم در سامانه بافندگی حلقوی پودی بود.

جدول۲- درصد وزنی حجمی پلیمر و افزودنی مورد استفاده در تهیه نانوالیاف کامپوزیتی $PVDF/BaTiO_3$

نوع نانوالیاف	نانوالیاف خالص	نانوالیاف کامپوزیتی	نانوالیاف کامپوزیتی	نانوالیاف کامپوزیتی	نانوالیاف کامپوزیتی	نانوالیاف کامپوزیتی
PVDF %(W/V)	۲۳	۲۳	۲۳	۲۳	۲۳	۲۳
BaTiO3 %(W/V)	۰	۶	۱۸	۲۲	۲۴	۲۵

الیاف پشم این تحقیق با ظرفت میانگین ۲۱ میکرومتر از گروه تولیدی ریسندگی و بافندگی مطهری تهیه گردید.

پارچه‌های ۱۰۰ درصد پشمی این تحقیق نیز از دانشگاه دیکن استرالیا تهیه شد که مشخصات این پارچه‌ها در جدول ۱ آورده شده‌است.

دسته دیگر مواد مورد استفاده جهت ساخت لایه‌های پیزو تریبوالکتریک پلیمری با توجه به مطالعه‌های پیشین شامل پلیمر پلی‌وینیلیدن‌فلوراید با متوسط وزن مولکولی ۲۷۰۰۰ گرم بر مول به شکل گرانول تهیه‌شده از شرکت سیگما-آلدریچ، N,N دی‌متیل‌فرم‌آمید و استون با درصد خلوص ۹۹ درصد به‌عنوان حلال، تهیه‌شده از شرکت مرک آلمان،نانوذره‌های باریم‌تیتانات با متوسط اندازه ذره‌های کمتر از ۱۰۰ نانومتر و درصد خلوص بیشتر از ۹۹ درصد به عنوان جزء افزودنی، تهیه شده از شرکت سیگما آلدریچ،ورقه آلومینیومی به عنوان الکترود.

درصد وزنی حجمی نانوالیاف تولیدشده با روش الکتروریسی مطابق با مطالعه‌های پیشین در جدول ۲ ارائه شده‌است.

جهت ساخت لایه‌های تریبوالکتریک مواد مورد نظر ابتدا بر روی یک سمت بستر ورقه آلومینیومی انعطاف‌پذیر قرار می‌گرفت. سپس یک سیم مسی برای انتقال بار در سمت دیگر بستر متصل گردید. مجموعه حاصل به اندازه مناسب بریده میشد و درون یک قاب پلیمری به‌منظور نگهداری لایه قرار می‌گرفت.

در انتها یک اسفنج پلی‌یورتان برای ایجاد ساختار کمانی به انتهای باز قاب متصل می‌شد تا ضمن ایجاد بر آمدگی مناسب برای تماس لایه‌ها، بازگشت‌پذیری لازم پس از برداشت نیرو از روی دو لایه ایجاد گردد.

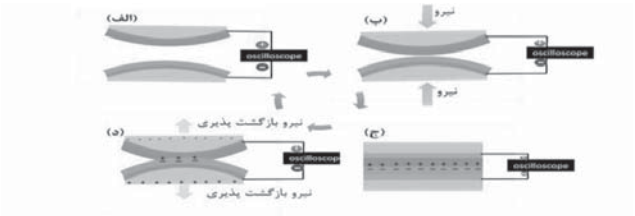
برخی از لایه‌های ساخته‌شده به این روش در شکل ۱ آورده شده‌است. هر لایه پلیمری ابتدا در تماس با لایه خالص از الیاف پشم قرار گرفت. نیروی مکانیکی به

شکل ۱ - لایه‌های ساخته‌شده برای آزمایش اندازه‌گیری بار تریبوالکتریک الف) لایه‌ی الیاف پشم، ب) نمونه F۱ ، ج) نمونه F۲ ، د) نمونه F۳ .

مقدار تقریبی (N) ۰/۸ و در محدوده فرکانس (Hz) ۲ تا ۴ اعمال شد.

هر لایه از طریق الکترودهای آن به درگاه‌های نوسان نما متصل گردید و میزان ولتاژ خروجی اندازه‌گیری شد. سپس لایه پلیمری مشخص با لایه‌های F ۱، F ۲ و F ۳ تحت حالت عملکردی تماس-جدایش عمودی قرار می‌گرفت و نتیجه‌های هر آزمایش ثبت شد.

اصول عملکرد لایه‌های تریبوالکتریک در این پژوهش در حالت تماس- جدایش عمودی به صورت شماتیک در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- عملکرد لایه‌های تریبوالکتریک در حالت تماس- جدایش عمودی.

۳ -نتایج و بحث

جهت مقایسه خصوصیت اصطکاکی پشت و روی فنی سه نمونه پارچه، از آزمایش تعیین ضریب‌های اصطکاکی استفاده شد. که نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است. از جمله خصوصیتی که با افزایش زبری سطح افزایش پیدا می‌کند خصوصیت اصطکاکی آن سطح است.

نتیجه‌های حاصل از آزمایش ضریب اصطکاک نمونه پارچه‌ها نشان می‌دهد که ضریب اصطکاک پشت و روی نمونه‌ها و در نتیجه زبری سطح آنها با یکدیگر تفاوت دارند. در شکل ۳ داده‌های اندازه‌گیری ولتاژ خروجی برای ترکیب لایه‌های مختلف آورده به صورت مقایسه آورده شده‌است.

لازم به ذکر است که عددهای این شکل بیشینه مقدار ولتاژی است که در تعدادی فرآیند تماس- جدایش عمودی برای ترکیب‌های مختلف لایه‌های تریبوالکتریک ثبت شده‌است.

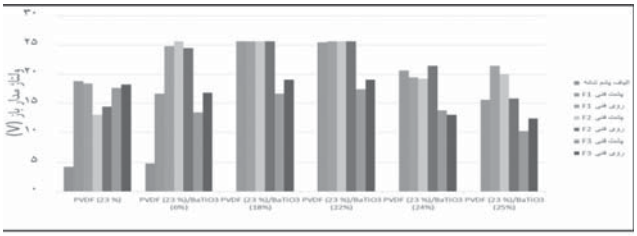
جدول۳- نتیجه‌های حاصل از آزمایش تعیین ضریب‌های اصطکاک پارچه‌ها.

نوع نمونه	ضریب‌های اصطکاک روی فنی		ضریب‌های اصطکاک پشت فنی	
	μk	μs	μk	μs
F۱	۰/۱۷۲۸	۰/۲۵۹۷	۰/۱۸۸۸	۰/۲۷۷۱
F۲	۰/۲۴۹۸	۰/۳۷۹۳	۰/۲۰۰۴	۰/۳۱۷۷
F۳	۰/۲۷۳۲	۰/۴۱۷۲	۰/۲۶۰۹	۰/۴۰۷۲

با توجه به شکل فوق لایه متشکل از الیاف پشم ولتاژ پایین‌تری نسبت به نمونه‌های متشکل از پارچه پشمی داشت. به‌گونه‌ای که خروجی آن کمتر از یک چهارم نمونه‌های پارچه‌ای است.

ازآنجا که ناهمواری سطحی لایه متشکل از پارچه پشمی نسبت به لایه متشکل از الیاف موازی پشم به‌دلیل وجود نخ در ساختمان بافت و همچنین بافت‌رفتگی نخ، از ناهمواری سطحی بالاتری برخوردار است که این نتیجه با مطالعات پیشین مطابقت دارد.

به‌طور تقریبی در تمامی نمونه‌های آزمایش شده ولتاژ خروجی لایه F۳ از لایه‌های F۱و F۲ پایین‌تر می‌باشد زیراتعداد نقطه‌های تماس برای نمونه‌های F۱ ، F۲و



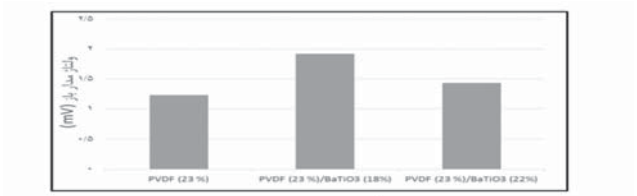
شکل ۳ – مقایسه‌ی نتیجه‌های به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری ولتاژ خروجی لایه‌های تریبوالکتریک

F۳ متناسب با تراکم حلقه بر واحد سطح آنهاست در نتیجه ولتاژ خروجی پایین‌تر نمونه F۳ نسبت به دو نمونه دیگر باتوجه به تراکم پایین‌تر حلقه آن در واحد سطح توجیه‌پذیر است.

نتیجه‌های حاصل از این آزمایش با نتیجه‌های حاصل از اندازه‌گیری ضریب‌های اصطکاک مطابقت خوبی دارد.

به عنوان مثال با در نظر گرفتن نمونه F۱ در شکل ۴ مشاهده می‌شود که با ثابت بودن نوع لایه پلیمری، پشت فنی نمونه F۱ بیشینه ولتاژ مثبت و منفی بالاتری از نظر اندازه در مقایسه با روی فنی همین نمونه دارد.

بالاتر بودن ضریب‌های اصطکاک در پشت فنی F۱ نسبت به روی فنی آن نشان‌دهنده سختی سطح بالاتر ا ست که با توجه به مطالعه‌های انجام شده سختی سطح بالاتر باعث افزایش خروجی تریبوالکتریک لایه‌ها می‌شود.



شکل ۴ – مقایسه‌ی نتیجه‌های به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری ولتاژ خروجی لایه‌های پیزوالکتریک.

همچنین با مقایسه نتیجه‌های نمونه F۲و F۳ در هر دو سمت نمونه، روی فنی هر دو نمونه ضریب‌های اصطکاک بالاتر و ولتاژ خروجی بالاتری نسبت به پشت فنی آنها داشته‌اند.

ازمیان لایه‌های پلیمری بهترین لایه‌ها، لایه نانوالیاف کامپوزیتی پلی وینیلیدن فلوراید باریم‌تیتانات با درصد وزنی حجمی باریم‌تیتانات ۱۸ و ۲۲ درصد می‌باشد زیرا به‌طور کلی در بیشتر آزمایشها هنگام تماس با لایه‌های پشمی مختلف بالاترین ولتاژهای خروجی مربوط به این لایه پلیمری می‌باشد.

از سوی دیگر بهترین لایه پشمی برای تماس تریبوالکتریک با این لایه‌های پلیمری، پشت و روی فنی نمونه F۲ با بیشتینه ولتاژ مثبت (V) ۲۵/۶ است.

درنتیجه مقایسه‌های تحلیلی برای بیان ارتباط بین آزمایش‌های مختلف و ارتباط آنها با ساختار لایه بر روی نتیجه‌های حاصل از زوج لایه تریبوالکتریک نمونه F۲ و PVDF/BaTiO با درصد وزنی حجمی باریم تیتانات ۱۸ و ۲۲ درصد و لایه نانوالیاف خالص PVDF معطوف می‌گردد.

با درنظرگیری مساحت تحت تماس دو لایه، بیشینه خروجی الکتریکی این مبدل (V/Cm^2) ۴٫۳۵ بود.

در شکل ۴ بیشینه ولتاژ مدارباز پیزوالکتریک اندازه‌گیری شده برای مبدل‌های درنظر گرفته‌شده در فرکانسی با بیشترین مقدار خروجی الکتریکی آورده شده‌است.

باتوجه به شک فوق میانگین بیشینه ولتاژ خروجی پیزوالکتریک برای لایه‌های نانوالیاف PVDF(W/V٪۲۳) خالص برابر با(mv)۱/۲، نانوالیاف کامپوزیتی $PVDF(23\%W/V)/BaTiO_3(18\%W/V)$ برابر با(mv)۱/۹ و خروجی‌پیزوالکتریک $PVDF(23\%W/V)/BaTiO_3(22\%W/V$ برابر با (mv)۱/۴ بود.

٤-جمع بندی و نتیجه گیری

در این تحقیق دو لایه منسوجی یکی متشکل از پشم و دیگری متشکل از نانوالیاف الکتروریسی شده PVDF/BaTiO تحت نیروی مکانیکی مواجه با عمل تماس– جدایش عمودی شدند که این امر منجر به القای الکترواستاتیک بار الکتریکی و در نتیجه تولید بار تریبوالکتریک گردید.

از آنجا که نانوالیاف کامپوزیتی خود یک لایه با خاصیت پیزوالکتریک است هنگامی که به تنهایی تحت تنش قرار می گیرد تولید بارالکتریکی می نماید. به گونه ای که خروجی الکتریکی حاصل از تماس– جدایش عمودی یک لایه پشمی با یک لایه متشکل از نانوالیاف کامپوزیتی برمبنای سازوکار تریبوالکتریک(نسبت به خروجی الکتریکی حاصل از نانوالیاف کامپوزیتی PVDF/BaTiOبر مبنای سازوکار پیزوالکتریک) بیش از ۹۰۰۰ برابر بود.

پی‌نوشت

۱–دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی امیرکبیر