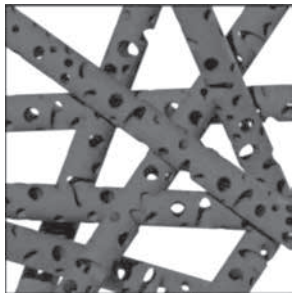
کاربرد منسوجات در حوزه انرژی
با رویکرد فناوری نانو

۱-۶- انبارههای هیدروژن (Hydrogen storage)

استفاده از هیدروژن در سیستم‌های انرژی از چند دهه قبل مورد توجه بوده و یکی از سوخت‌های ایده‌آل برای تجهیزاتی چون پیل‌های سوختی است. مزیت مهم هیدروژن، امکان ذخیره‌سازی مقدار زیاد و به‌مدت طولانی انرژی در این ماده است. اما نحوه ذخیره‌سازی هیدروژن از مهم‌ترین چالش‌های موجود در این زمینه می‌باشد. روش جذب گاز بر بستر جامد به عنوان یکی از روش‌های ایمن و با قابلیت ذخیره بالای انرژی شناخته شده است. از سوی دیگر خاصیت ذخیره‌سازی هیدروژن در کربن فعال با سطح جانبی زیاد در تحقیقات زیادی مورد بررسی قرار گرفته شده است. در نتایج به دست آمده ثابت شده است که کربن فعال برای ذخیره هیدروژن مناسب نیست؛ زیرا درصد کمی از منافذ به حد لازم کوچک هستند که از قابلیت برهم‌کنش قوی با مولکول‌های هیدروژن در دمای محیط و فشار متوسط برخوردار باشند. در سال‌های اخیر ساختارهای نوینی از کربن نظیر نانوالیاف گرافیت، نانولوله‌های کربن تک‌دیواره و چنددیواره برای این منظور پیشنهاد شده است.

نانوالیاف گرافیت از جمله مواد مورداستفاده برای ذخیره هیدروژن می‌باشد که در اثر تجزیه مخلوط اتیلن، هیدروژن و مونواکسید کربن در حضور کاتالیزور فلزی خالص یا آلیاژی مناسب تولید می‌شوند [۱۶].



شکل ۱۷- طرح‌واره نانوالیاف گرافیت با تخلخل‌های نانومتری

۱-۷- نانوژنراتورهای لیفی پیزوالکتریک

پس از گذشت چندین دهه از تولید تجهیزات الکترونیکی مینیاتوری قابل حمل و بی‌سیم، وجود منابع انرژی نوین پیشرفته‌تر از باتری‌های قابل شارژ و منابع انرژی نیازمند تعویض، برای این سیستم‌ها ضروری به نظر می‌رسد. در این خصوص استفاده از نانومواد با قابلیت تبدیل انرژی‌های محیطی (نور خورشید، گرما، انرژی مکانیکی و ...) پیشنهاد شده است؛ که در این میان استفاده از نانومواد پیزوالکتریک به عنوان راهکار ساده و موثری در مهار انرژی مکانیکی و تبدیل آن به انرژی الکتریکی توجه زیادی را به خود معطوف داشته است. نانوسیم‌های اکسید روی از جمله قدیمی‌ترین نانوژنراتورهای پیزوالکتریک به شمار می‌روند.

تلفیق خواص نیمه رسانایی و پیزوالکتریک در این ترکیب منجر به تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی می‌شود. استفاده از نانومواد با ماهیت ظاهری متفاوت نظیر فیلم، سیم و الیاف در تحقیقات دانشمندان به چشم می‌خورد.

– نانوژنراتورهای متشکل از فیلم‌های پیزوالکتریک اغلب به روش‌های چرخشی یا رسوب‌دهی لایه نازک تهیه می‌شوند. تنش‌های مکانیکی ناشی از خمش، لرزش یا فشردگی ساختار فیلم، نیروی محرک این ژنراتورها به شمار می‌روند.

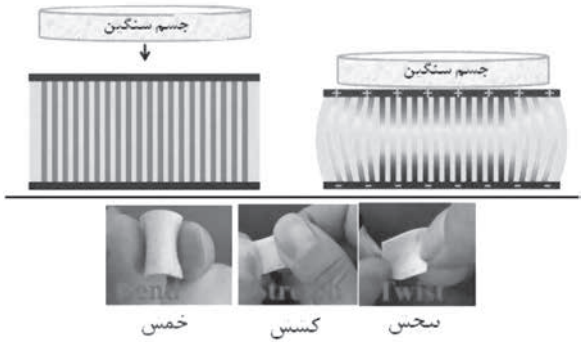
– نانو ژنراتورهای سیمی معمولاً از مواد نیمه‌رسانایی نظیر اکسید روی (ZnO)، سولفید روی (ZnS)، نیترید گالیم (GaN) یا سولفید کادمیم (CdS) تولید می‌شوند.

– نانوژنراتورهای لیفی معمولاً به روش الکتروریسی و از مواد پیزوالکتریک نظیر تیتانات زیرکونات سرب (PZT) یا پلی وینیلیدین دی فلوراید (PVDF) تهیه می‌شوند. PZT مواد سرامیکی با خواص پیزوالکتریک قابل توجه بوده که اخیراً در برداشت‌کننده‌های لیفی مورداستفاده قرار می‌گیرند. از جمله چالش‌های موجود در استفاده از نانوژنراتورهای PZT می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

– دمای بازپخت بیش از ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد برای افزایش خاصیت پیزوالکتریک PZT موردنیاز می‌باشد.

– فرایند الکتروریسی نیازمند اختلاط PZT با یک ماده حلال است که این امر سبب کاهش چگالی PZT و کاهش بازده تبدیل انرژی در این ماده می‌شود.

در مقابل نانوالیاف PVDF از خواص قابل توجهی نظیر انعطاف‌پذیری، سبک وزن بودن، زیست‌سازگاری و قابلیت تولید در طول‌های بسیار بلند، ضخامت و شکل‌های متفاوت برخوردار است که خواص مذکور امکان استفاده از PVDF را در برداشت‌کننده‌های انرژی قابل پوشش و یا تجهیزات کاشتنی در بدن فراهم می‌سازد [۱۷].

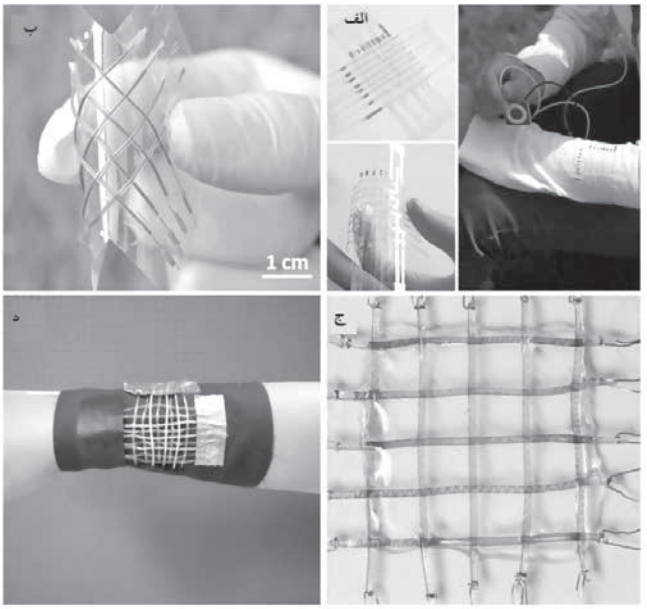


شکل ۱۸- پیزوالکتریک‌های لیفی منعطف و نحوه تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی

۱-۸- منسوجات و انرژی

در بخش‌های گذشته به استفاده از الیاف در تجهیزات مربوط به انرژی اشاره شد. در شکل ۱۹ خلاصه‌ای از کاربرد این الیاف در منسوجات نشان داده شده است. در شکل ۱۹-الف پارچه بافته شده به عنوان سلول خورشیدی پلیمری (PSC)، سلول خورشیدی حساس به رنگینه (DSC) در شکل ۱۹-ب، پارچه ذخیره‌کننده انرژی تهیه شده از ابرخازن‌های رنگی لیفی در شکل ۱۹-ج و پارچه بافته شده به عنوان باتری یون لیتیوم به عنوان بخشی از یک لباس در شکل ۱۹-د نشان داده شده است.

نمونه‌های اولیه از این منسوجات از ساختارهای نانولیفی ذکر شده در بخش‌های قبلی و عمدتاً به صورت تاری-پودی (بر مبنای دو الکترود) بافته شده‌اند. در کاربردهای عملی، سلول‌های خورشیدی پلیمری به دلیل پرهیز از استفاده الکترولیت‌های مایع و دشواری کپسوله کردن مواد مایع در بستر جامد، از جذابیت بیشتری برخوردار می‌باشند. پارچه‌های مورداستفاده به عنوان سلول‌های خورشیدی پلیمری و سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ متشکل از سیم‌های تیتانیوم اصلاح شده



شکل ۱۹- منسوجات بافته شده از تجهیزات انرژی لیفی[۲۱-۱۸]

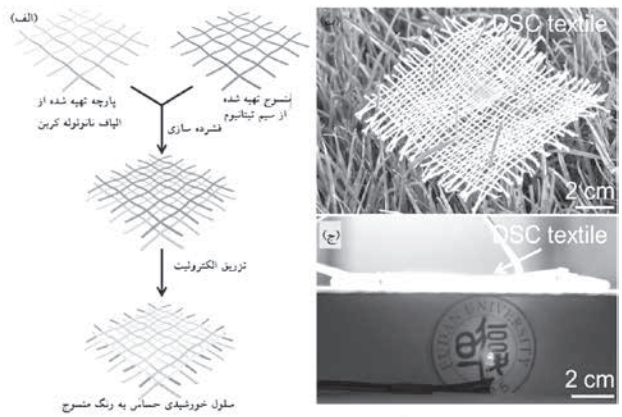
و الیاف نانولوله کربنی تابیده شده به یکدیگر هستند. از آنجایی که سیم Ti از انعطاف کمتری نسبت به الیاف CNT برخوردار است، لذا خم کردن الکترودها برای ممانعت از تغییر شکل ضروری به نظر می‌رسد. استفاده از ژل‌های الکترولیتی برای ابرخازن‌های لیفی و باتری‌های لیتیوم به منظور سازگاری بیشتر با محیط پیرامون پیشنهاد شده است. بافت پارچه نیازمند الیاف طویل است، اما در اکثر موارد افزایش طول واحدهای انرژی لیفی سبب کاهش کارایی این تجهیزات می‌شود. به منظور رفع این مشکل از استراتژی تولید منسوجات مربوط به انرژی با الکترودهای منسوج بهره گرفته شده است. در ادامه به توضیح مختصر این موارد می‌پردازیم.

۱-۱۰-۱-منسوجات فوتوولتائیک

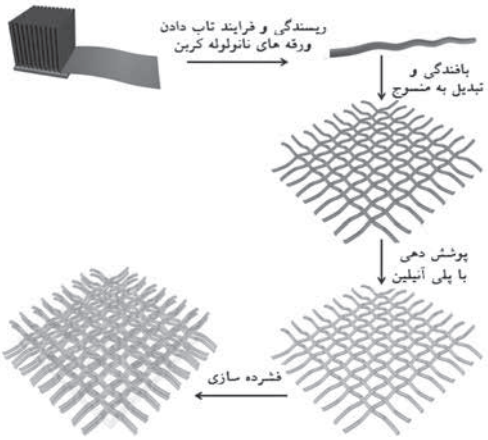
به منظور ساخت سلول خورشیدی حساس به رنگ (DSC) پارچه‌ای از دو الکترود پارچه‌ای استفاده می‌شود. همانگونه که در شکل ۲۰- الف نشان داده شده است، پارچه تهی شده از الیاف CNT برروی پارچه اصلاح شده با سیم تیتانیوم قرارداده می‌شود و در ادامه الکترولیت به این سامانه تزریق می‌شود. این منسوج را می‌توان به سهولت بر روی بسترهای منعطف متفاوت به کار برد (شکل ۲۰-ب). این سلول خورشیدی بر روی لباس از توان لازم برای روشن کردن یک LED قرمز برخوردار می‌باشد. (شکل ۲۰-ج)

۱-۱۰-۲-ابرخازن‌های منسوج

در کنار استفاده از الکترودهای لیفی، استفاده از الکترودهای پارچه‌ای روشی موثر برای تولید ابرخازن‌های پوشیدنی می‌باشد. برای مثال پوشش‌دهی پارچه پنبه‌ای با استفاده از نانولوله‌های کربن یا ورقه‌های گرافن روشی مناسب برای تولید پارچه رسانا است. استفاده از روش چاپ شابلونی کربن فعال بر سطح پارچه پنبه‌ای یا پلی‌استر نیز برای تولید الکترودهای پارچه‌ای مناسب برای مصرف در ابرخازن‌ها پیشنهاد شده است. منسوجات ابرخازن از طریق فشرده کردن الکترودهای پارچه‌ای تهیه شده



شکل ۲۰- فرایند تولید سلول خورشیدی حساس به رنگ منسوج از الکترودهای منسوج (الف)، پارچه DSC تعبیه شده برروی یک لباس (ب)، قابلیت روشن شدن LED با استفاده از DSC منسوج [۲۲].



شکل ۲۱- فرایند تولید منسوج ابرخازن با استفاده از الکترودهای پارچه‌ای کامپوزیت CNT/PANI [۲۳].

از نانولوله‌های کربن تهیه می‌شوند. به منظور افزایش ظرفیت خازن، از رسوب‌دهی الکتروشیمیایی پلی آنیلین (PANI) بر پارچه مذکور استفاده می‌شود. ابرخازن با فشرده‌سازی دو پارچه CNT/PANI جدا شده از یکدیگر به واسطه ژل الکترولیت تولید می‌شود (شکل ۲۱).

۲- چشم‌انداز

در این گزارش برخی از موارد کاربرد منسوجات اعم از سازه‌های نانولیفی و منسوجات پوشش داده شده با نانوساختارها در حوزه انرژی به اختصار بیان شد. گروهی از این منسوجات که از قابلیت حمل، پوشش و انعطاف‌پذیری برخوردارند، توجه ویژه تولیدکنندگان و محققان این حوزه را به خود معطوف داشته است.

۲-۱- مزایا

در سال ۲۰۰۱، استفاده از تجهیزات لیفی در حوزه انرژی به دلیل قابلیت استفاده در تجهیزات مدرن الکترونیکی مورد توجه قرار گفت. برخی از مزایای استفاده از ساختارهای لیفی در این تجهیزات در ذیل اشاره شده است:

- **انعطاف‌پذیری:** به دلیل استفاده از الکترودهای لیفی، تجهیزات تولید شده از قابلیت انعطاف‌پذیری قابل توجهی بدون از دست دادن کارایی خود برخوردار هستند که این قابلیت امکان تولید تجهیزات قابل حمل و قابل پوشش را فراهم می‌آورد.
- **کوچک‌سازی:** بدون شک کوچک‌سازی از جمله اهداف اصلی تولیدکنندگان تجهیزات الکترونیکی مدرن می‌باشد. کوچک و سبک شدن تجهیزات الکترونیکی از مزایای اصلی استفاده از برداشت‌کننده‌ها و ذخیره‌سازهای انرژی نانولیفی است. قطر الکترودهای لیفی در حدود mm ۱-۰/۰۱ است و با کنترل فرایند تولید، قطر کلی تجهیزات نهایی کمتر از mm ۰/۱ خواهد بود. طول تجهیزات را نیز می‌توان بدون آسیب وارد کردن به قابلیت آنها در حد چند میلی‌متر کنترل کرد.
- **قابلیت بافت:** تبدیل شدن به پارچه با استفاده از روش‌های رایج بافندگی از جمله مزایای با اهمیت ساختارهای نانولیفی به شمار می‌آیند. با کنترل نواحی اتصال تجهیزات لیفی در ساختار پارچه در حالت سری یا موازی، می‌توان ولتاژ و توان خروجی را به نحو چشم‌گیری افزایش داد.
- **قابلیت پوشش:** در مقایسه با تجهیزات مشابه صفحه‌ای، تجهیزات لیفی برای به‌کارگیری در وسایل الکترونیکی قابل پوشش بسیار مناسب‌تر هستند. زیرا انعطاف‌پذیری و توان پذیرش تنش‌های مکانیکی متوالی ناشی از تحرکات بدن فرد، سبک وزن بودن و عدم ایجاد بار اضافی برای فرد و سهولت بافت در قالب پوشاک مورداستفاده از مزایای قابل توجه این تجهیزات به شمار می‌آیند.
- **سایر مزایا:** علاوه بر موارد ذکر شده، تجهیزات لیفی از سازوکار عملکرد ویژه و پیکربندی تک بعدی برخوردار هستند. برای مثال راستای نور تابیده شده بر عملکرد سلول‌های خورشیدی لیفی بی‌تاثیر است؛ در حالی که سلول‌های خورشیدی صفحه‌ای فقط قادر به دریافت نور ورودی از سمت فتوآند است.

۲-۲- کاربرد

برای تجهیزات لیفی در حوزه انرژی کاربردهای بالقوه فراوانی در نظر گرفته شده است که در ذیل اشاره می‌شود.

- **تجهیزات قابل حمل:** سلول‌های خورشیدی لیفی سبک وزن و انعطاف‌پذیر را می‌توان به صورت مستقیم به عنوان منبع تولید انرژی تجهیزات الکترونیکی قابل حمل نظیر دوربین، تلفن همراه و رایانه‌های قابل حمل به کار برد. از خازن‌های الکتروشیمیایی لیفی و باتری‌های یون لیتیوم می‌توان به عنوان انرژی پیش‌شارژ منبع انرژی یا تجهیزات قابل حمل شارژ کننده استفاده کرد. خصوصاً با تجربه‌های موفق تولید تجهیزات قابل حمل نظیر Galaxy Round ساخت شرکت سامسونگ و Google Glass ساخت شرکت گوگل، تجهیزات با قابلیت انعطاف زیاد به عنوان برداشت‌کننده‌ها و ذخیره‌سازهای انرژی بیشتر مورد تقاضا قرار گرفته‌اند که همین امر فرصت ارزشمندی برای توسعه تجهیزات لیفی به شمار می‌رود.
- **تجهیزات میناتوری:** میکروموتورها (قطر mm ۴-۲) با ولتاژ محرک ۳ ولت و جریان ۱۰ میلی‌آمپر و وزن حدود ۰/۲ گرم از جمله موارد کاربرد تجهیزات لیفی است. از تجهیزات لیفی می‌توان به عنوان منبع انرژی برای به حرکت درآوردن تجهیزات الکترونیکی میکروموتری استفاده کرد.
- **کاربردهای نظامی:** از آنجاکه در شرایط سخت، سرباز نیازمند تجهیزات یکپارچه و مجتمع چند منظوره است؛ تجهیزات لیفی سبک، انعطاف‌پذیر، قابل تلفیق با سایر لوازم رزم، بادوام و پربازده گزینه مناسبی برای این موارد به شمار می‌آیند. از این تجهیزات به عنوان برداشت‌کننده و ذخیره‌ساز انرژی خورشید و در زمان نیاز از انرژی ذخیره شده برای شارژ تجهیزات ضروری استفاده می‌شود. چادرهای صحرایی نظامی محل مناسبی برای

تعبیـه تجهیـزات مبـدل انـرژی لیفی اسـت کـه در طـول روز انرژی نور خورشـید را ذخیـره کـرده و در طـول شـب از انـرژی ذخیـره شـده بـرای مصارفـی نظیـر روشـنایی، رایانـه یا وسـایل ارتباطی اسـتفاده می‌شـود. سـربازی کـه از تجهیزات لیفـی همـراه بهـره می‌بـرد، قـادر بـه برداشـت و ذخیـره درجـای انـرژی بـرای تجهیـزات قابـل حمـل خـود می‌باشـد. در آینـده نزدیـک، کارایـی بیشـتری از تجهیـزات لیفـی مبـدل انـرژی نظیـر حس‌گـر بـرای پایـش شـرایط محیطی یا حافظـه بـرای ثبـت داده‌هـا و ... مـورد انتظـار اسـت.

- **تجهیـزات قابـل پوشـش:** اسـتفاده از ایـن تجهیـزات بـه عنـوان پوشـاک، از جملـه جـذاب تریـن مـوارد کاربـرد ایـن تجهیـزات بـه شـمار می‌آید. عـلاوه بر ایـن امـکان اسـتفاده از آنهـا در مصارفـی نظیر عینـک ، سـاعت و ... وجـود دارد.

۲-۳- معایب و چالش‌های موجود

بـا وجـود مزایـای ذکـر شـده، امـکان اسـتفاده از این تجهیـزات در مقیـاس انبوه هنـوز در هالـه‌ای از ابهـام اسـت کـه برخـی از مـوارد در ادامـه ذکـر می‌شـود.

- **الکترودهـای لیفـی:** از آنجایـی کـه در تمـام تجهیـزات مربوطـه از الکترودهـای لیفـی بـه منظـور انتقـال الکترون‌هـا اسـتفاده می‌شـود، لـزوم رسـانش مناسـب در سـاختارهای لیفـی بـه منظـور کاهـش مقاومـت داخلـی تجهیـزات ضـروری اسـت. از سـوی دیگـر تجهیـزات مختلـف نیازمنـد الکترودهـای لیفـی بـا قابلیت‌هـای خاصـی نظیـر فعالیـت کاتالیسـتی در سـلول‌های خورشـیدی حسـاس شـده بـا رنـگ، سـطح مخصـوص بـزرگ در خازن‌هـای الکتروشـیمیایی و رسـانش در باتری‌هـای یـون لیتیـوم می‌باشـند. از آنجایـی که الکترودهـای لیفـی موجـود تمـام قابلیت‌هـای مذکـور را دارا نیسـتند؛ بنابرایـن اسـتفاده از آنهـا بـا محدودیـت مواجـه اسـت. بـرای مثـال الکترودهای فلـزی از رسـانش نسـبتاً زیـاد (10^5 S/cm) و سـطح مخصـوص نسـبتاً انـدک و بارگیری ضعیـف برخوردارنـد. در حالـی که، الکترودهـای لیفی کربن از سـطح مخصوص و قابلیـت بارگیـری مناسـب برخوردارنـد؛ لیکـن رسـانش در این مـواد ضعیف(10^{-2}-10^{-3} S/cm) اسـت.

– ظرفیـت برداشـت‌کننده‌ها و ذخیره‌سـازهای انـرژی: هرچنـد ظرفیـت تجهیـزات لیفـی افزایـش قابـل توجهی یافته اسـت؛ لیکـن هنوز میـان ظرفیت ایـن تجهیـزات بـا تجهیـزات صفحـه‌ای تفـاوت چشـم‌گیری وجـود دارد. بـرای مثـال بیشـترین بـازده تبدیـل انـرژی در سـلول‌های خورشـیدی لیفـی ۳/۸۱٪ و بسـیار کمتـر از ۱۱/۵٪ در رقبـای صفحـه‌ای آنـان اسـت. در ابرخازن‌هـای الکتروشـیمیایی لیفی، بیشـترین ظرفیـت جرم مخصـوص حـدود ۳۰۰ F/g و در تجهیـزات مشـابه صفحـه‌ای حـدود ۳۰۰۰ F/g اسـت.

– پایـداری: بـا توجـه بـه مـوارد مصـرف تجهیـزات لیفـی، پایـداری از جملـه مهم‌تریـن عوامـل تاثیرگـذار بـر طـول عمـر تجهیـزات می‌باشـد. پایـداری بـا روش تولیـد ارتبـاط مسـتقیم دارد. بـرای مثـال فوتوآندهـای تهیـه شـده از نانـوذرات دی اکسـید تیتانیـوم از سـاختار TiO2 تاثیـر می‌پذیـرد وبـه طـرز چشـم‌گیری سـبب کاهـش پایـداری تجهیـزات لیفـی می‌شـود. همچنیـن یکنواخـت بـودن لایـه ژل الکترولیت در خازن‌های الکتروشـیمیایی لیفی بسـیار موثـر اسـت. چنانچـه لایـه یکنواخـت نبـوده یـا بیـش از حـد ضخیـم باشـد، الکترودهـا در طـول مصـرف بـا یکدیگـر تمـاس می‌یابنـد و سـبب اخـلال در عملکـرد تجهیـزات لیفـی می‌شـود.

– ایمنـی: برخـی از الکترولیت‌هـای مـورد اسـتفاده در تجهیـزات لیفی به شـدت خورنـده و برخـی سـمی هسـتند. همچنیـن ولتـاژ مصرفـی در تجهیـزات لیفی سـری ممکـن اسـت بیـش از ولتـاژ ایمـن بـرای بـدن انسـان باشـد. اتصـال ایمـن و فراینـد اسـتخراج الکترودهـا بسـیار بااهمیـت و چالـش برانگیـز اسـت.

۳- منسوجات تجاری عرضه شده در حوزه انرژی

از آنجـا کـه اسـتفاده از نانـو منسـوجات در حـوزه انـرژی در زمـره زمینه‌هـای جدیـد تحقیقاتـی می‌باشـد و هنـوز بـه مرحلـه تولید انبـوه نرسـیده، لـذا در ادامه بـه تعـداد محـدودی از محصـولات عرضـه شـده در ایـن حوزه اشـاره می‌شـود.

شـرکت Cella Energy US Inc در آمریـکا یکـی از شـرکت‌های فعـال در زمینـه اسـتفاده از نانوالیـاف بـه عنـوان ذخیره‌سـاز هیـدروژن بـه شـمار می‌آیـد. تیـم تحقیقاتـی ایـن شـرکت بـه سرپرسـتی پروفسـور اسـتفان بنینگتـون بـا اسـتفاده از روش الکتروریسـی هـم محـور موفـق بـه حبـس گاز هیـدروژن در نانوالیـاف شـدند[۲۶].

شـرکت eZelleron GmbH یـک شـرکت نوپـا و نـوآور در زمینـه توسـعه منابـع مولـد انـرژی بـرای اسـتفاده در تجهیـزات الکترونیکـی قابـل حمل می‌باشـد. این شـرکت فعالیـت خـود را از سـال ۲۰۰۸ در کشـور آلمـان آغـاز نمـوده اسـت. سـلول سـوختی تولیـد شـده توسـط ایـن شـرکت از قابلیـت اسـتفاده برای محـدوده وسـیعی از ادوات کوچـک تـا متوسـط الکترونیکـی برخـوردار مـی باشـد. در سـلول‌های سـوختی انـرژی شـیمیایی بـه طورمسـتقیم بـه انـرژی الکتریکـی تبدیـل می‌شـود. فرآینـد اکسـایش وکاهـش شـیمیایی کـه عامـل اصلی تبدیـل انرژی اسـت، توسـط یـک الکترولیـت از یکدیگـر جدامی‌شـوند. در ایـن سـلول‌ها از نانوالـیاف بـه عنـوان عامـل هدایت هیـدروژن دارای بـار مثبـت بـه سـمت کاتـد اسـتفاده می‌شـود[۲۷].

جهـت کاهـش اسـتفاده از سـوخت‌های فسـیلی و پاسـخگویی بـه تقاضـای رو بـه رشـد وسـایل نقلیـه هیبریـدی و برقـی، شـرکت آمریکایـی دوپونـت نخسـتین باتـری پلیمـری مبتنـی بـر جداکننـده نانولیفـی که سـبب افزایـش عملکـرد و ایمنـی باتـری یـون لیتیومـی می‌شـود را بـه بـازار عرضـه نمـوده. جـدا کننده‌هـای لیفـی بـا نـام Energain™ می‌توانـد سـبب افزایـش ۱۵ تـا ۳۰ درصـدی قـدرت و ۲۰٪ عمـر باتـری شـده و بـا افزایـش پایـداری حرارتـی باتـری، ایمنـی را بهبـود بخشـد[۲۸].

در برخـی از کشـورهای پیشـرفته صنعتـی از برداشـت‌کننده‌های پیزوالکتریـک منسـوج به‌عنـوان پرچم‌هـا، پوسـترهای تبلیغاتـی و سـنگ‌فرش‌های پیزوالکتریـک بـه منظـور تامیـن انـرژی الکتریکـی مـورد نیـاز بـرای روشـنایی معابـر اسـتفاده می‌شـود [۲۹].

شکل ۲۲- استفادهاز پرچم‌های پیزوالکتریک جهت برداشت انرژی از جریان باد

شـرکت محصـولات ورزشـی Nike و Brinco در تولیـد برخـی کفش‌هـای ورزشـی و بـه منظـور تامیـن انـرژی تجهیـزات الکتریکـی قابل حمـل از نانوالیـاف پیزوالکتریک اسـتفاده می‌نمایـد [۳۰].

جـوراب متشـکل از نانوالیـاف PVDF پیزوالکتریـک جهت برداشـت انـرژی از راه رفتـن، بـه صـورت آزمایشـگاهی توسـط شـرکت Teijin ژاپـن ارائـه شـده اسـت [۳۰].

شکل ۲۳- کفش شرکت Nike که در آن از فناوری برداشت‌کننده‌های انرژی استفاده شده است.

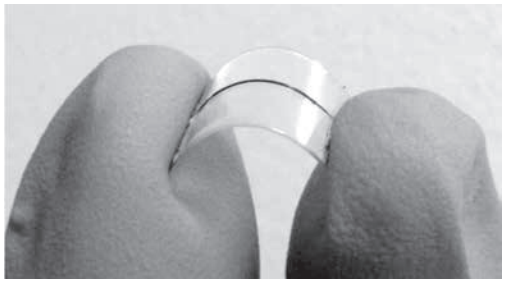
تیمـی متشـکل از محققیـن بین‌المللـی در دانشـگاه Nanyung Technical سـنگاپور موفـق بـه تولیـد ابرخازن‌هـای لیفـی متشـکل از الیـاف نانولولـه کربـن و گرافـن شـدند کـه به دلیـل قابلیـت انعطـاف امـکان اسـتفاده از آنها در منسـوجات بافتـه شـده وجـود دارد. ایـن ابرخازن‌هـا از قابلیـت شـارژ و تخلیـه بیـش از ۱۰۰۰۰ چرخـه برخـوردار می‌باشـند. در تولیـد ایـن محصـول از روش گرمایـش و اتصـال ورقه‌هـای میکرومتـری گرافـن و نانولوله‌هـای کربـن بـرای تولیـد فیلامنـت اسـتفاده می‌شـود [۳۱].

٤- پژوهش در ایران

از جملـه تحقیقـات صـورت گرفتـه در کشـور، سـاخت و بهینه‌سـازی سـلول‌های خورشـیدی حسـاس شـده بـا رنگینـه در دانشـکده علـوم پایـه دانشـگاه تربیـت مـدرس می‌باشـد. در ایـن پژوهـش فوتوآندهـای کامپوزیتـی متشـکل از نانوسـیم‌ها و نانوالیـاف از جنـس ZnO و نانـوذرات TiO_2 مـورد اسـتفاده قـرار گرفـت. در مطالعـه دیگـری در دانشـگاه امیرکبیـر، نانوالیـاف دی‌اکسـید تیتانیـوم بـا هـدف اسـتفاده در سـلول‌های خورشـیدی منعطـف و

شکل ٢٤- جوراب پیزوالکتریک

پربـازده تولیـد شـد. هرچنـد پژوهش‌هـای صـورت گرفتـه در تولیـد صفحـات خورشـیدی پربـازده بـر نانـو الیافمعطوف بـوده اسـت، لیکـن در ادامه سـازه‌های دیگـری چـون نانـو نخ‌هـا مـورد تحقیـق قـرار خواهـد گرفـت. در یکـی دیگـر از تحقیقـات صـورت گرفتـه در دانشـگاه امیرکبیـر کامپوزیـت نانـو لیفـی بـر پایـه نانولوله‌هـای کربـن بـرای ذخیره‌سـازی هیـدروژن در شـرایط عملـی مـورد اسـتفاده در پیل‌هـای سـوختی پلیمـری تولیـد شـد. در ایـن طـرح کـه بـرای نخسـتین بـار در جهـان انجـام شـد، امـکان ذخیره‌سـازی هیـدروژن در جاذب‌هـای فیزیکـی چـون نانولوله‌هـای کربـن بـه اثبـات رسـید. در زمینـه سـلول‌های سـوختی پـروژه‌ای تحـت عنـوان «بررسـی‌های فنـی اقتصـادی تهیـه هیـدروژن خورشـیدی و تکنولوژی‌هـای وابسـته» از سـال ۱۳۷۲ بـا همـکاری دفتـر انرژی‌هـای نـو معاونـت امـور انـرژی وزارت نیـرو و بـه منظـور بومی‌سـازی دانـش ذخیره‌سـازی هیـدروژن و تولیـد سـلول‌های سـوختی آغـاز شـده اسـت. امـروزه اقدامـات صـورت گرفتـه تحـت حمایـت کمیتـه راهبـردی پیـل سـوختی و حمایـت از پایان‌نامه‌هـا و مقـالات مربوطـه، منجـر بـه رشـد بیـش از ۴/۷ برابـری تعـداد مراکـز علمـی، صنعتـی فعـال و رشـد بیـش از ۹/۲ برابـری تعـداد نیـروی انسـانی متخصـص دانشـگاهی در ایـن حوزه شده‌اسـت. از سـوی دیگـر تعـداد دانشـگاه‌های فعـال بـه ۲۶ دانشـگاه و مراکـز فعـال و شـرکت‌های دانش‌بنیـان بـه ۱۲ مرکـز رسـیده اسـت.



شکل ۲۵- ابرخازن منعطف لیفی

نتیجه‌گیری

بـا وجـود قابلیت‌هـای فـراوان سـازه‌های نانولیفـی در بهبـود عملکـرد تجهیزات در حـوزه انـرژی و پژوهش‌هـای فـراوان انجـام شـده در ایـن حـوزه، بـه نظـر می‌رسـد کـه در آینـده نزدیـک اسـتفاده از سـازه‌های منعطـف نانولیفـی بـا رشـد چشـم‌گیری در جهـان روبـرو شـود و اسـتفاده از ایـن زمینـه جهـت تامین و تبدیـل انـرژی بـرای نسـل‌های بعـد و رهایـی از بحـران انـرژی الزامـی بـه نظـر می‌رسـد.

منابع در دفتر مجله موجود است.