منابع تجدیدپذیر انرژی مبتنی‌بر نانوژنراتورهای تریبوالکتریک

امیرحسین مردانی[1]، آسیه سادات کاظمی [1,*]

چکیده

امروزه با افزایش روز افزون جمعیت و نیازهای انرژی محور آنها و از طرفی با توجه به ذخایر محدود انرژی فسیلی و معایب متعدد این مواد، جوامع بشری به‌سمت استفاده از روش‌های نوین برای تولید انرژی سوق پیدا کرده‌اند. با پیشرفت فناوری، منابع تجدیدپذیر توانسته‌اند توجهات زیادی را در این زمینه به سوی خود جلب کنند. یکی از این منابع تجدیدپذیر، نانوژنراتورهای تریبوالکتریک هستند که می‌توانند طی فرایندی انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی قابل بهره‌برداری تبدیل کنند. این قطعات با استفاده از حرکات طبیعی مکانیکی مختلف نظیر حرکات بدن انسان، باد و امواج دریا برق تولید می‌کنند. استفاده از این منابع طبیعی که به‌طور اجتناب‌ناپذیر و گسترده در اختیار همه انسان‌هاست، در راستای تولید انرژی‌های موردنیاز روزمره همواره از آرزوهای بشریت بوده و امروزه به واقعیت تبدیل شده است. در این مقاله، چگونگی عملکرد این مولدها و همچنین نحوه برداشت انرژی به روش‌های مختلف به زبان ساده مرور شده است.

کلیدواژگان: منابع تجدیدپذیر، نانوژنراتور تریبوالکتریک، انرژی الکتریکی، انرژی مکانیکی، نانوژنراتورهای پوشیدنی

* عهده‌دار مکاتبات، استادیار، تلفن: ۹۸۲۱۷۳۲۲۵۸۹۷ ، نمابر: ۹۸۲۱۷۷۲۴۰۴۹۷ ،آدرس الکترونیکی asiehsadat_kazemi@iust.ac.ir

۱ دانشکده فیزیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

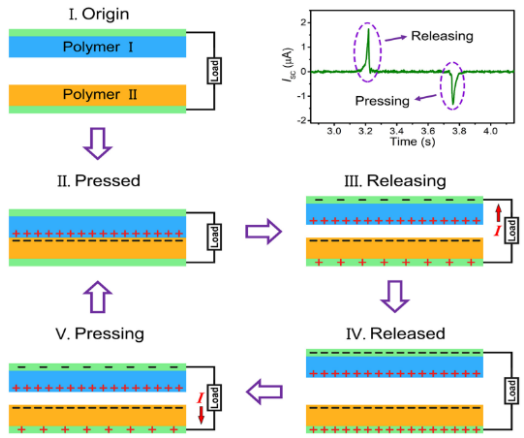
مقدمه

امروزه با پیشرفت فناوری، اهمیت منابع انرژی تجدیدپذیر بیش‌ازگذشته موردتوجه کشورهای آینده‌نگر است. از طرفی با روند کاهشی سوخت‌های فسیلی و معایب متعدد آنها نظیر گرم شدن کره زمین، تهدیدهای زیست محیطی گوناگون، قیمت بالای این منابع و مشکلاتی که بر اکوسیستم‌ها و زیست‌بوم‌های مختلف وارد می‌کند، باعث شده تا منابع تجدیدپذیر به یک گزینه ضرروی برای جایگزینی این سوخت‌های فسیلی مطرح شود [۳-۱]. منابع مطرح تجدیدپذیر با همه اهمیت و مزایایی که دارند دارای ضعف‌هایی هم هستند که استفاده از این منابع را با چالش‌هایی روبه‌رو کرده است. برخی از این ضعف‌ها شامل بازده پایین، هزینه ساخت زیاد و پیچیدگی در مراحل ساخت است [۷-۴]. در سال‌های اخیر با پیشرفت فناوری، منابع تجدیدپذیر جدیدی معرفی شده‌اند که مبتنی بر پدیده تریبوالکتریک[1] هستند و امکان تأمین انرژی از خورشید، باد، نوسانات و ارتعاشات محیط، امواج الکترومغناطیس، فعالیت‌های مکانیکی بدن انسان [۸] و امواج دریاها [۹] را دارند.

در اینجا به فرایندهای تولید انرژی توسط نانوژنراتورهای تریبوالکتریک[2] (TENG) پرداخته شده است. از این پس جهت رعایت اختصار، به جای نانوژنراتورهای تریبوالکتریک از TENG استفاده می‌شود. TENGها قطعات کوچکی هستند که توانایی تبدیل انرژی مکانیکی محیط برمبنای «اثر تریبوالکتریک (الکتریسیته تماسی)» را به انرژی الکتریکی دارند. به انتقال الکترون بین دو جسمی که در تماس با یکدیگرند «اثر تریبوالکتریک» گویند. این نانوژنراتورها به‌دلیل مزایایی نظیر سازگاری با محیط زیست، هزینه‌های ساخت پایین، دوام و پایداری مناسب در تولید انرژی و کارکردهای گوناگون، توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند.

به‌عنوان‌مثال با تبدیل انرژی مکانیکی موجود در راه رفتن روزانه افراد، دویدن ورزشکاران و یا با شنا کردن غواص‌ها و با استفاده از نیروی مفاصل آرنج و زانو می‌توان انرژی الکتریکی موردنیاز را با صرف کم‌ترین هزینه و زمان حتی در دورافتاده‌ترین مکان‌ها فراهم آورد [۱۰]. شکل ۱ طرحی شماتیک از یک TENG را نشان می‌دهد که توانایی تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی را دارد.

در این شکل، دو الکترود از دو لایه دی‌الکتریک متفاوت روبه‌روی هم، تشکیل شده‌اند. وقتی‌که دو سطح توسط یک نیروی خارجی به همدیگر فشرده می‌شوند، سطوح دو دی‌الکتریک؛ یکی به‌عنوان آند و دیگری به عنوان کاتد، شارژ می‌شوند. با جدا شدن سطوح از هم، هریک از دی‌الکتریک‌ها، مقدار شارژ به‌وجود آمده را حفظ می‌کنند و یک اختلاف پتانسیل بین دو ماده ایجاد می‌شود. به‌دلیل اختلاف پتانسیل ایجاد شده، بار الکتریکی از یک الکترود به الکترود دیگر انتقال می‌یابد و از طریق تکرار فرایند تماس و جداسازی، جریان متناوب تولید می‌شود [۱۱].



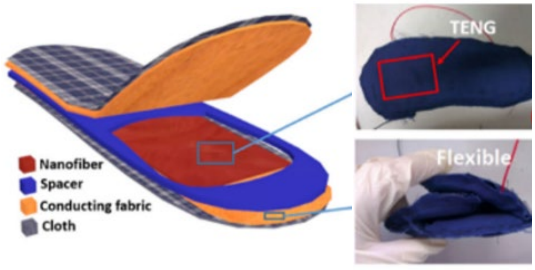
شکل ۱. طرح شماتیک از اساس کار نانو ژنراتورهای تریبوالکتریک [۱۱].

تولید برق با استفاده لوازم پوشیدنی و تحرکات بدن

در زندگی روزمره، بدن انسان همواره در حال انجام حرکات مکانیکی مختلفی است و با به‌کارگیری مناسب TENGها می‌توان از این حرکات مکانیکی برق تولید کرد. قطعات پوشیدنی روزبه‌روز در حال فراگیرتر شدن در زندگی روزمره انسان هستند و کاربردهایی نظیر پایش تناسب اندام و سلامت، نمایش میزان سوخت‌وساز بدن و کنترل عملکرد فیزیکی و ورزشی را دارند. در مراحل ابتدایی، این قطعات انعطاف‌پذیری کمی داشتند و حین تست و استفاده، مزاحمت و تداخل در حرکات و فعالیت‌های بدنی افراد بوجود می‌آمد. با گذشت زمان و پیشرفته‌تر شدن فناوری، قطعات پوشیدنی انعطاف‌پذیری بیشتری پیدا کردند و به‌سرعت مورد استقبال قرار گرفتند [۱۶-۱۵]. با طراحی TENGهایی در کفی کفش (شکل ۲) هنگام راه رفتن امکان تأمین انرژی لازم برای شارژ وسایل الکترونیکی پوشیدنی وجود خواهد داشت [۱۲]. در

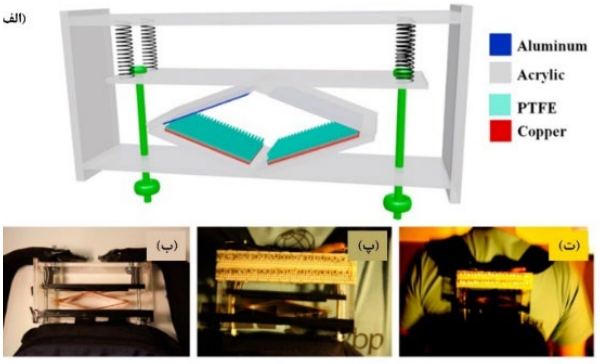
[1] Triboelectric
[2] Triboelectric nanogenerator (TENG)

این کفی‌ها، با فشار آوردن پا حین راه رفتن بر قسمت بالایی TENG، پوشش رسانای آن با نانو الیاف لایه زیرین، تماس برقرار می‌کند. یک لایه اسفنجی در کفی تعبیه شده که با خاصیت برگشت‌پذیری منجر به جدا شدن دو لایه از یک‌دیگر می‌شود. با برداشته شدن پا و قطع نیروی اعمالی در هنگام قدم زدن، دو لایه از هم جدا می‌شوند. این فرایند اتصال و جداسازی در کل مراحل راه رفتن تولید جریان تناوبی الکتریکی می‌کند [۱۲].



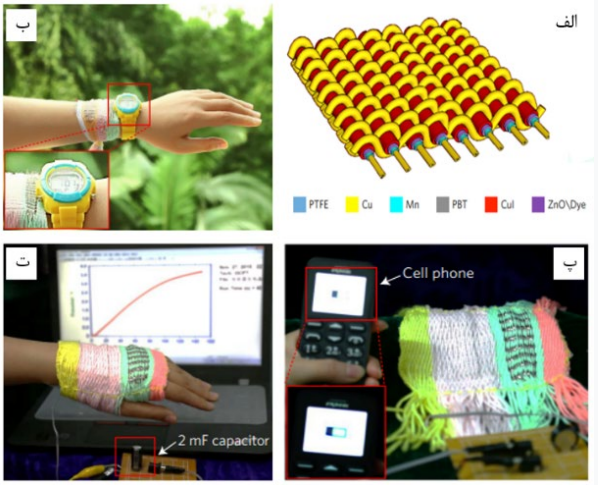
شکل۲. نمایی از نانوژنراتور تریبوالکتریک در کفی کفش [۱۲].

در تحقیقات دیگر برای تولید برق با استفاده از حرکت بدن انسان، کوله‌پشتی‌هایی معرفی شده که با طراحی TENG لوزی‌شکل درون کوله، حرکت بدن انسان را در طول راه رفتن به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند (شکل۳). این کوله پشتی با هر حرکت بدن انسان، برق تولید می‌کند و توانایی روشن کردن ۴۰ عدد LED[1] سری را دارد [۱۳].



شکل3. (الف) شمای از TENG لوزی شکل؛ (ب) تصویر TENG نصب شده بر روی کوله‌پشتی ؛ (پ) تصویر قرارگیری کوله بر روی شانه؛ (ت) روشن شدن ۴۰ لامپ LED در هنگام راه رفتن [۱۳].

توسعه منابع انرژی سبک وزن، انعطاف‌پذیر، تاشو و پایدار با قابلیت حمل‌ونقل و ذخیره‌سازی انرژی، یکی از چالش‌های مهم بشریت است. با به‌کارگیری TENG در صنعت نساجی این چالش تاحد قابل‌توجهی برطرف شده است. با استفاده از TENG برای ساخت پارچه‌های هوشمند می‌توان به‌طور مداوم یک ساعت الکترونیکی و یا تلفن همراه را به‌صورت مستقیم شارژ کرد (شکل۴). این ماژول‌های نساجی رنگارنگ در اندازه‌ها و الگوهای مختلف بافته می‌شوند و هم با جذب نور خورشید و هم با قرارگیری روی بدن انسان و استفاده از حرکات مکانیکی بدن، برق تولید می‌کنند [۱۴].

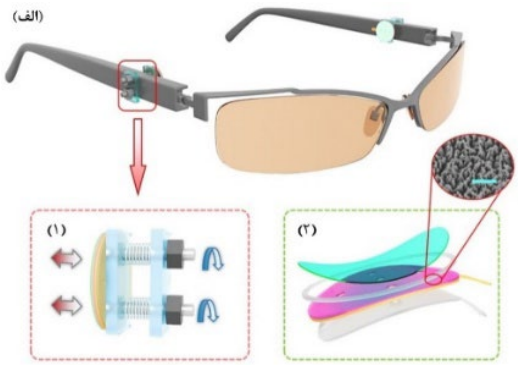


شکل۴. (الف) نمایی از TENG بافته شده؛ (ب) شارژ کردن یک ساعت الکترونیکی توسط TENG پوشیدنی؛ (پ) تصویری از شارژ تلفن همراه؛ (ت) TENG پوشیدنی انعطاف‌پذیر [۱۴].

نانوژنراتورهای تریبوالکتریک حتی توانایی استفاده از حرکات مکانیکی کوچک را نیز دارند و می‌توانند از این حرکات کوچک، سیگنال تولید کنند. به‌عنوان‌مثال می‌توان از حرکت پوست در کنار چشم، به‌عنوان یک منبع خوب در جهت تولید سیگنال استفاده کرد. با استفاده از حس‌گرهای میکروحرکتی مبتنی بر TENG[2] امکان استفاده از این منبع فراهم گردیده است [۱۷]. این TENG با قرارگیری در دسته عینک مطابق با شکل ۵، در سامانه‌های مدیریت خانه‌های هوشمند، کارایی دارد. با پلک زدن کاربر، سیگنال‌های تولید شده به سیگنال‌های کلیدزنی قطعات الکترونیکی منزل تبدیل می‌شوند. از این حس‌گرها در تجهیزات بی‌سیم، می‌توان بدون دخالت دست و صرفاً با پلک زدن، استفاده کرد [۱۷]. این نوع

[1] Light emitting diode (LED)
[2] Triboelectric nanogenerator (TENG)–based micromotion sensor

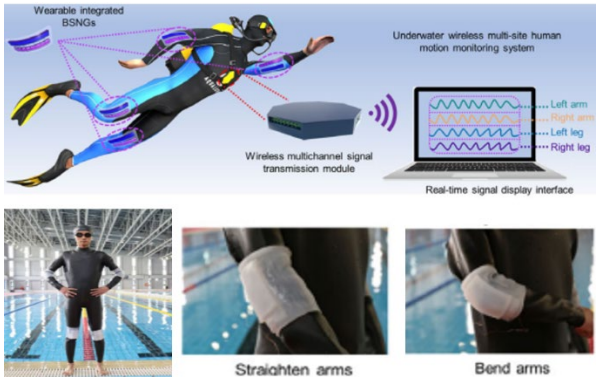
TENGها با قرار گرفتن به صورت‌های گوناگون در سایر نقاط بدن، کاربردهای گسترده‌ای در حوزه ربات‌های هوشمند دارند.



شکل۵. نمایی شماتیک از TENG تعبیه شده بر روی دسته عینک [۱۷].

با استفاده از نیروی بین‌مفاصل و با به‌کارگیری TENG برپایه لاستیک‌های انعطاف‌پذیر[1]، انرژی حاصل از خمش زانو و آرنج مطابق شکل۶ به برق تبدیل می‌گردد [۱۸]. TENGهای پوشیدنی منعطف امروزه توجهات زیادی را به‌سوی خود جلب کرده‌اند. از این قطعات به‌عنوان پایشگر سلامت، سنسورهای بی‌سیم خودشارژ شونده و ابزاری برای ارائه تجزیه‌وتحلیل داده‌های بزرگ در صنعت ورزش هم استفاده می‌شود. شکل ۷ یک TENG منعطف ضدآب را نشان می‌دهد که با نصب شدن بر روی مفاصل آرنج و زانوی غواص، سیگنال الکتریکی تولید می‌کند [19]. با نصب TENG بر روی مفاصل، هرگونه فعالیت بدنی غواص در هنگام شنا کردن، توسط این دستگاه به جریان الکتریکی تبدیل می‌شود. تجزیه‌وتحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از طریق این TENG بی‌سیم، می‌تواند منجر به بهبود مطالعه رفتاری ورزشکاران در هنگام انجام فعالیت ورزشی شود [۱۹].

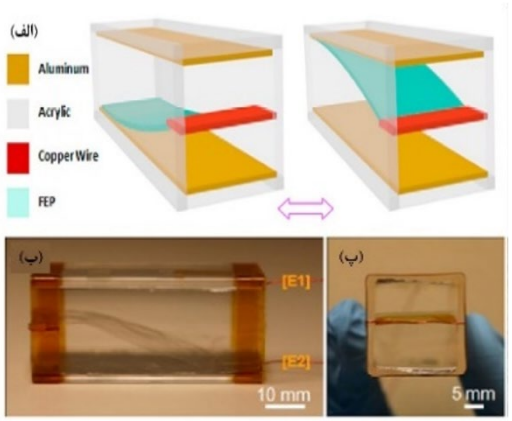
شکل۶. نمایی از نحوه قرارگیری وسیله بر روی زانو در زوایای خمش گوناگون [۱۸].



شکل۷. تصویری از TENG بی‌سیم نصب‌شده بر روی مفاصل ارنج و زانوی یک غواص [۱۹].

تولید برق از وزش طبیعی باد به کمک TENG

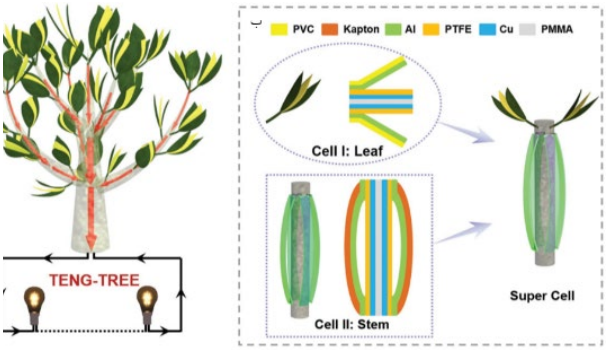
در گذشته، باد نقش به‌سزایی در کمک به بهبود زندگی انسان داشته و آسیاب‌های بادی نمونه‌ای از این اثرگذاری است. با گذشت زمان، انسان همواره به فکر تولید انرژی پاک از وزش باد بوده و تا به امروز توربین‌های بادی در سراسر جهان درحال کار و بهره‌برداری هستند. ولی توربین‌های بادی رایج، دارای نقاط ضعفی از جمله ابعاد بزرگ، هزینه بالای نصب و راه‌اندازی و کم بودن بازدهی به‌دلیل فرسودگی‌های مکانیکی هستند [۲۰]. محققین تا به امروز تلاش‌های زیادی کرده‌اند تا با روش‌های پیشرفته و جایگزین بتوانند از انرژی طبیعی باد بهره‌های بهتری ببرند. در یکی از روش‌های جدید مبتنی بر TENG، وزش باد به نانو ژنراتور باعث می‌شود یک لایه FEP که در میان دو ورقه آلومنیوم قرار دارد به حرکت در بیاید. با هر بار تماس لایه FEP با صفحات آلومنیومی، برق تولید می‌شود (شکل ۸) [۲۱].



شکل ۸. (الف) طرحی از TENG بادی. (ب و پ) نماهایی واقعی از TENG بادی [۲۱].

[1] Stretchable-rubber-based (SR-based) triboelectric nanogenerator (TENG)

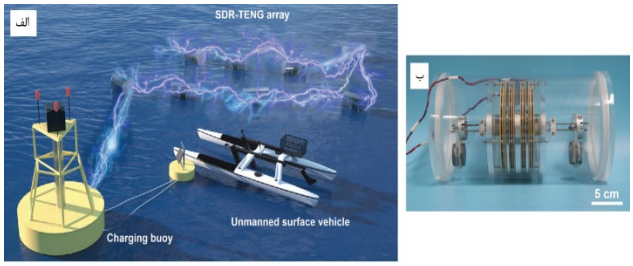
همه صدای برگ درختان در اثر قرارگیری در مسیر باد را شنیده‌اند. همین تکان خوردن برگ درختان، خود الهام‌دهنده روشی نوین در استفاده از وزش باد است. همانطور که برخورد باد باعث به حرکت در آمدن برگ درختان و ایجاد یک نیروی مکانیکی می‌شود، می‌توان با ساخت TENG درخت مانند، این انرژی مکانیکی به‌وجود آمده را تبدیل به انرژی الکتریکی کرد. در اینجا برگ‌ها و ساقه، خود نوعی TENG بوده و هر کدام الکتریسیته تولید می‌کنند (شکل۹) [۲۲]. از این نانوژنراتورهای درختی می‌توان در جاده‌ها و تونل‌ها برای روشن کردن تابلوهای راهنمایی و ساخت پایگاه‌های امدادی و اضطراری استفاده کرد.



شکل۹. (الف) طرح‌واره‌ای از TENG درختی؛ (ب) TENG درختی متشکل از دو نوع سلول بوده که یکی در برگ‌ها و دیگری در ساقه به‌کار رفته است[۲۵].

تولید برق با استفاده از امواج آب و به‌کمک TENG

دریاها علاوه‌بر تأمین زنجیره غذای انسان، نقش بسیار مهمی در رشد و تولید انرژی پاک در جهان امروزی دارند. اهدافی همچون ایجاد منبع سیار برق در دریا، ساخت کشتی‌های الکتریکی و کاهش مصرف سوخت ناشی از حمل‌ونقل دریایی، انسان‌ها را به‌سمت برداشت انرژی از دریا سوق داده است [۲۳]. TENGها اخیراً به‌عنوان یک فناوری امیدوارکننده برای برداشت انرژی از امواج توجهات زیادی رو به خود جلب کرده‌اند. به‌دلیل خشن بودن دریا، تعمیر و نگهداری قطعات در دریا هزینه‌بر است؛ بنابراین دانشمندان TENGهای بادوام و با راندمان بالا برای برداشت انرژی از امواج، طراحی کرده‌اند[۲۴]. یک روش خلاقانه جهت دستیابی به چگالی توانی بالا در آب، استفاده از TENG های شناور روی سطح آب است که با قرار گرفتن در معرض امواج آب می‌توانند برق تولید کنند [۲۵]. در این نوع TENG با شناور ماندن روی سطح آب و در اثر برخورد امواج با دستگاه، به‌دلیل چرخش دیسک‌های تریبوالکتریک، برق تولید می‌شود. از برق تولیدی این دستگاه می‌توان در جهت تأمین انرژی قایق‌های بدون سرنشین بهره برد.



شکل۱۰. (الف) شمایی از تولید جریان توسط TENG از امواج دریا. (ب) تصویر نانوژنرتور ساخته شده برای شناوری روی سطح دریا [۲۳].

نتیجه‌گیری

در اینجا، نانوژنراتورهای تریبوالکتریک (TENG) معرفی شد و سپس به‌مرور چگونگی عملکرد TENGها و کاربرد آنها در حوزه‌های مختلف پرداخته شد. در راستای تأمین انرژی از منابع گوناگون از جمله تولید انرژی با استفاده از لوازم پوشیدنی، تولید برق از حرکات مکانیکی ظریف، انرژی موجود در مفاصل (زانو، آرنج و انگشتان)، تولید انرژی از وزش باد، برگ درختان و امواج دریاها از TENG بحث شد. همچنین نشان داده شد که از TENGهای پوشیدنی می‌توان میزان تحرک بدن در حین انجام ورزش، ضربان قلب و سایر علائم حیاتی را نمایش داد. هدف اصلی از گسترش TENGها تأمین برق در کم‌ترین زمان و با کم‌ترین هزینه در تمامی مکان‌ها است. با تمام پیشرفت‌هایی که در این حوزه صورت گرفته اما TENGها در نقاط مختلف دنیا در ابتدای مسیر خود بوده و نقاط ضعفی نظیر پیچیدگی مراحل ساخت، هزینه‌بر بودن، عدم‌پایداری و طول‌عمر بالا، زیست‌تخریب‌پذیری، محدودیت در استفاده از مواد، نوسان زیاد در تولید انرژی و باقی‌ماندن در مقیاس آزمایشگاهی دارند. در ساخت TENGها از موادی باید استفاده شود که قابلیت ذخیره و انتقال بار الکتریکی را داشته باشد. این فناوری‌ها برای رشد و ورود به صنعت، نیازمند حمایت گسترده سیاست‌گذاران و دولت‌مردان کشورها است.

منابع و مآخذ

[1]. El Bassam, N., Schlichting, M., & Pagani, D. (Eds.). (2021). Distributed Renewable Energies for Off-Grid Communities: Empowering a Sustainable,

Competitive, and Secure Twenty-First Century. Elsevier.
[2]. Belyakov, N. (2019). Sustainable power generation: current status, future challenges, and perspectives, 417-438, 2019.
[3]. Cada, G. F,, Sale, M. J., Dauble, D. D. (2004), Encyclopedia of Energy, Elsevier Science, pp. 291-300.
[4]. Cada, G. F., Sale, M. J., & Dauble, D. D. (2004). Hydropower, environmental impact of (No. PNNL-SA-38065). Pacific Northwest National Lab.(PNNL), Richland, WA (United States).
[5]. Thompson, F. L., Iida, T., & Swings, J. (2004). Biodiversity of vibrios. Microbiology and molecular biology reviews, 68(3), 403-431.
[6]. Pires, J. C. M., & da Cunha Gonçalves, A. L. (Eds.). (2019). Bioenergy with carbon capture and storage: using natural resources for sustainable development. Academic Press.
[7]. Cleveland, C. J., & Morris, C. G. (2013). Handbook of energy: diagrams, charts, and tables (Vol. 1). Newnes.
[8]. Jiang, C., Li, X., Lian, S. W. M., Ying, Y., Ho, J. S., & Ping, J. (2021). Wireless technologies for energy harvesting and transmission for ambient self-powered systems. ACS nano, 15(6), 9328-9354.
[9]. Wei, X., Zhao, Z., Zhang, C., Yuan, W., Wu, Z., Wang, J., & Wang, Z. L. (2021). All-weather droplet-based triboelectric nanogenerator for wave energy harvesting. ACS nano, 15(8), 13200-13208.
[10]. Zou, Y., Tan, P., Shi, B., Ouyang, H., Jiang, D., Liu, Z., ... & Li, Z. (2019). A bionic stretchable nanogenerator for underwater sensing and energy harvesting. Nature Communications, 10(1), 2695.
[11]. Luo, J., & Wang, Z. L. (2020). Recent progress of triboelectric nanogenerators: From fundamental theory to practical applications. EcoMat, 2(4), e12059.
[12]. Huang, T., Wang, C., Yu, H., Wang, H., Zhang, Q., & Zhu, M. (2015). Human walking-driven wearable all-fiber triboelectric nanogenerator containing electrospun polyvinylidene fluoride piezoelectric nanofibers. Nano Energy, 14, 226-235.
[13]. Yang, W., Chen, J., Zhu, G., Yang, J., Bai, P., Su, Y., ... & Wang, Z. L. (2013). Harvesting energy from the natural vibration of human walking. ACS nano, 7(12), 11317-11324.
[14]. Chen, J., Huang, Y., Zhang, N., Zou, H., Liu, R., Tao, C., ... & Wang, Z. L. (2016). Micro-cable structured textile for simultaneously harvesting solar and mechanical energy. Nature Energy, 1(10), 1-8.
[15]. Wang, Y., Wang, L., Yang, T., Li, X., Zang, X., Zhu, M., ... & Zhu, H. (2014). Wearable and highly sensitive graphene strain sensors for human motion monitoring. Advanced Functional Materials, 24(29), 4666-4670.
[16]. Hwang, B. U., Lee, J. H., Trung, T. Q., Roh, E., Kim, D. I., Kim, S. W., & Lee, N. E. (2015). Transparent stretchable self-powered patchable sensor platform with ultrasensitive recognition of human activities. ACS nano, 9(9), 8801-8810.
[17]. Pu, X., Guo, H., Chen, J., Wang, X., Xi, Y., Hu, C., & Wang, Z. L. (2017). Eye motion triggered self-powered mechnosensational communication system using triboelectric nanogenerator. Science advances, 3(7), e1700694.
[18]. Yi, F., Lin, L., Niu, S., Yang, P. K., Wang, Z., Chen, J., ... & Wang, Z. L. (2015). Stretchable-rubber-based triboelectric nanogenerator and its application as self-powered body motion sensors. Advanced Functional Materials, 25(24), 3688-3696.
[19]. Zou, Y., Tan, P., Shi, B., Ouyang, H., Jiang, D., Liu, Z., ... & Li, Z. (2019). A bionic stretchable nanogenerator for underwater sensing and energy harvesting. Nature Communications, 10(1), 2695.
[20]. TANRIVERDİ, H., Karakuş, G., & Ulukan, A. (2023). Wind turbine inspection with drone: Advantages and disadvantages. Journal of Energy Systems, 7(1), 57-66.
[21]. Yang, Y., Zhu, G., Zhang, H., Chen, J., Zhong, X., Lin, Z. H., ... & Wang, Z. L. (2013). Triboelectric nanogenerator for harvesting wind energy and as self-powered wind vector sensor system. ACS nano, 7(10), 9461-9468.
[22]. Bian, Y., Jiang, T., Xiao, T., Gong, W., Cao, X., Wang, Z., & Wang, Z. L. (2018). Triboelectric nanogenerator tree for harvesting wind energy and illuminating in subway tunnel. Advanced materials technologies, 3(3), 1700317.
[23]. Yu, D., Sun, C., Wang, K., Yin, S., Sun, L., Chen, H., & Kong, F. (2022). A novel direct-driven triboelectric–electromagnetic hybridized wave energy converter for buoy power supply. Applied Nanoscience, 12(5), 1697-1711.
[24]. Abbas, M., & Shafiee, M. (2020). An overview of maintenance management strategies for corroded steel structures in extreme marine environments. Marine Structures, 71, 102718.
[25]. Wang, X., Chen, L., Xu, Z., Chen, P., Ye, C., Chen, B., ... & Wang, Z. L. (2023). High-Durability Stacked Disc-Type Rolling Triboelectric Nanogenerators for Environmental Monitoring Around Charging Buoys of Unmanned Ships. Small, 2310809.

Science and Education

Renewable Energy Resources Based on Triboelectric Nano Generators

Amir Hossein Mardani[1], **Asieh Sadat Kazemi**[*,1]

The growth of global population and the energy demand, limitations in fossil fuels and their shortage, have all motivated human beings to explore new approaches for energy supply. With the innovations in technology, the use of renewable resources has been the center of interest in this regard. Among these resources, are triboelectric nano generators that have the capacity to turn mechanical energy into electrical energy that can be used. These devices exploit natural mechanical movements of human body, wind and oceans to generate electricity. The idea of using these natural resources that are available to all human beings has always been a dream and today, it has come true. Herein, the mechanisms of energy generation and energy intakes are reviewed in simple words by various approaches.

Keywords: Renewable resources, Triboelectric nanogenerators, Electrical Energy, Mechanical Energy, Wearable Nanogenerators

[*] Corresponding Author, Assistant Professor, Tel: (+98)2173225897, Fax: (+98)2173240497, E-mail: asiehsadat_kazemi@iust.ac.ir
[1] Department of Physics, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.