مروری بر روش‌های برداشت انرژی با استفاده از مواد پیزوالکتریک

محمد آگاه [۱*]، شاهین رفیعی [۲*]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک و بیوسیستم، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس منابع طبیعی و کشاورزی دانشگاه تهران، کرج، ایران (mohammad.agah@ut.ac.ir)

۲. استاد، گروه مهندسی مکانیک و بیوسیستم، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس منابع طبیعی و کشاورزی دانشگاه تهران، کرج، ایران (shahinrafiee@ut.ac.ir)

چکیده:

بحران انرژی، گرمایش جهانی کره‌زمین و آلودگی‌های زیست محیطی محققان را بر آن داشت تا فناوری‌های نوین را برای برداشت انرژی از محیط کشف کنند. انرژی مکانیکی پر کاربردترین انرژی محیطی است که می‌تواند جذب شده و به نیروی الکتریکی مفید تبدیل شود. استفاده از مبدل‌های پیزوالکتریک یکی از روش‌های متداول برای برداشت و تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی مفید می‌باشد. این نوع مبدل‌ها ضریب جفت شدگی بالاتری نسبت به مبدل‌های الکترومغناطیس، الکترواستاتیک و تریبوالکتریک دارند. پیشرفت مواد در مقیاس نانو و میکرو و فرآیندهای تولید، ساخت ژنراتورهای پیزوالکتریک با ویژگی‌های مطلوب مانند ضریب جفت شدگی الکترومکانیکی پیشرفته، ضریب پیزوالکتریک بالاتر، انعطاف‌پذیری بیشتر؛ قابلیت ادغام برای کاربردهای مختلف را ممکن ساخته‌است. علاوه بر این دستگاه‌های الکترونیکی با توان مصرفی کم، نظیر حسگرها و دستگاه‌های بی‌سیم به سرعت در حال گسترش هستند. پیش‌بینی می‌گردد در آینده‌ای نزدیک بسیاری از قطعات و ادوات الکترونیکی انرژی موردنیاز خود را به کمک مبدل‌های پیزوالکتریک تامین کنند. بنابراین در این مقاله به روش‌های مختلف برداشت انرژی مکانیکی از محیط با کمک مواد پیزوالکتریک پرداخته شده‌است و اصول تبدیل انرژی پیزوالکتریک مشخص شده است و مکانیزم‌های کاری ژنراتورهای پیزوالکتریک نشان داده شده است. کاربردهای پیزوالکتریک در وسایل نقلیه، سطح جاده‌ها، سازه در برخورد با سیالات و خانه‌های هوشمند بررسی گردیده است. به طور خلاصه، این بررسی طیف گسترده‌ای از مکانیزم‌های پیزوالکتریک را برای تامین انرژی الکترونیک بی‌سیم در زمینه‌های مختلف ارائه می‌دهد.

کلمات کلیدی :

پیزوالکتریک، برداشت انرژی، الکترونیک بی‌سیم

*نویسنده مسئول
رایانامه:
shahinrafiee@ut.ac.ir

مروری بر روش‌های برداشت انرژی با استفاده از مواد پیزوالکتریک

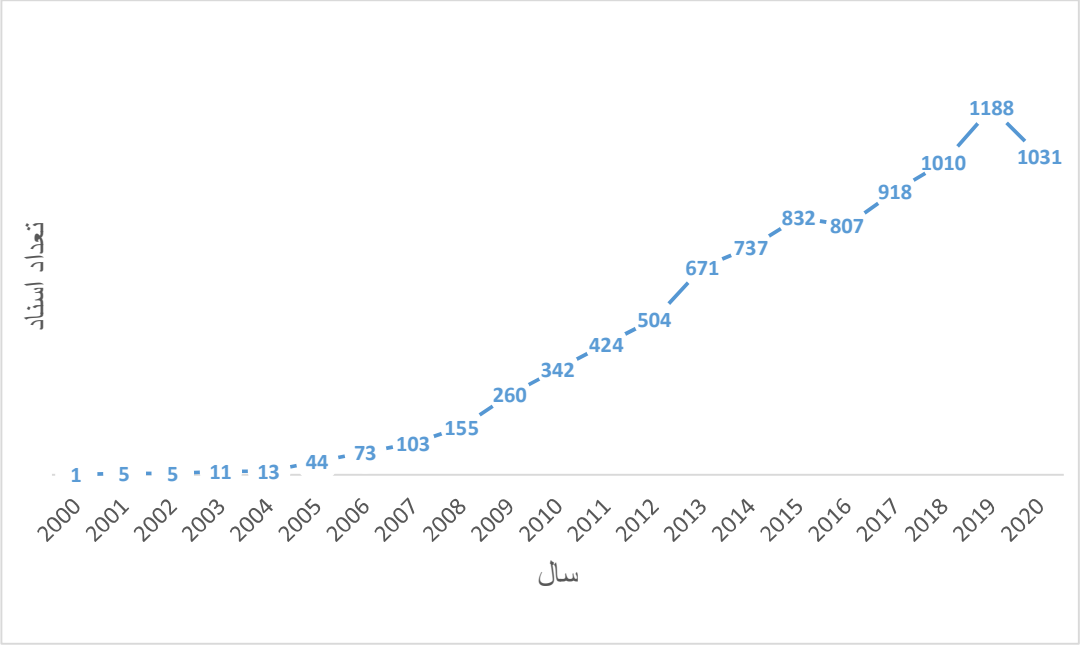
مقدمه

برای برطرف کردن نیاز روز افزون به انرژی پایدار و تجدیدپذیر نیاز به پیشرفت در زمینه برداشت انرژی وجود دارد. کاهش استفاده از انرژی‌های فسیلی و توسعه انرژی‌های سبز جایگزین، که بسیار مورد توجه هستند، ضروری است. از طرفی برای دستیابی به سیستم‌های الکترونیکی نسل جدید، نیاز مبرم به کاهش ابعاد و وزن دستگاه‌های الکترونیکی وجود دارد. با استفاده از ورقه‌های پیزوالکتریک می‌توان به سیستمی منعطف، خود محرک، کوچک، قابل اطمینان با چگالی توان بالا دست یافت [۱ و۲]. برداشت انرژی در حوزه صنعت و پژوهش‌های آکادمیک برای استفاده در سیستم‌های بی‌سیم، حسگرها و قطعات الکترونیکی با مصرف انرژی پایین، بسیار مورد توجه هستند. دستگاه‌های الکترونیکی مذکور به طور معمول از باتری‌های الکتروشیمیایی برای تامین انرژی موردنیاز خود استفاده می‌کنند، اما عمر مفید باتری کمتر از دستگاه‌های الکترونیکی می‌باشد و باتری‌ها نیاز به رسیدگی و تعویض دارند. هزینه تعویض و نگهداری این قطعات بخصوص در مناطق دور از دسترس بسیار زیاد بوده از این رو استفاده از یک سیستم خود محرک هزینه‌های مصرفی قطعات الکترونیکی را تا حد قابل توجهی کاهش می‌دهد. مواد پیزوالکتریک، فروالکتریک و پیروالکتریک امکان برداشت انرژی از محیط را فراهم می‌کنند [۳ و٤] . انرژی محیط شامل ارتعاشات، نور، گرما، فرکانس‌های رادیویی، جریان سیال و انواع دیگری از انرژی که در محیط اطراف آزاد می‌گردند؛ می‌باشد. در میان منابع انرژی نام برده شده انرژی مکانیکی به وفور در محیط اطراف آزاد می‌گردد و اغلب این منبع بدون تبدیل به انرژی سودمند هدر خواهد رفت [٥]. یکی از موثرترین و ساده‌ترین راه‌های تبدیل انرژی مکانیکی هدر رفته استفاده از مواد پیزوالکتریک می‌باشد. مواد پیزوالکتریک دارای چگالی توان بالا هستند و مانند دیگر روش‌های مرسوم برداشت انرژی مکانیکی نظیر الکترومغناطیس و الکترواستاتیک نیاز به منبع تغذیه (ولتاژ) و یا میدان مغناطیسی ندارند و صرفا بر اساس پولاریزاسیون ماده پیزوالکتریک تبدیل انرژی را انجام می‌دهند [٦] .

مبدل‌های پیزوالکتریک با دوام‌تر، حساس‌تر به کرنش‌های کوچک و دارای توان خروجی ۳ تا ٥ برابری نسبت به دیگر مبدل‌ها نظیر تریبوالکتریک هستند. پیزوالکتریک‌ها قابل فشرده سازی و کوچک کردن ابعاد برای قرار دادن در انواع قطعات میکروالکترومکانیکی هستند. این مواد به دلیل اثر نگرفتن از عوامل محیطی مخرب نظیر رطوبت دارای کاربرد بسیاری در حمل و نقل، الکترونیک بی‌سیم، سیستم‌های میکروالکترومکانیکی، اینترنت اشیا، دستگاه‌های زیست پزشکی و غیره می‌باشد. به عنوان مثال فشار باد یک چرخ را می‌توان با حسگرهای محرک بوسیله پیزوالکتریک کنترل و پایش کرد [۷] .

یکی دیگر از استفاده‌های مواد پیزوالکتریک در حوزه پزشکی می‌باشد. ژنراتورهای پیزوالکتریک می‌توانند از انرژی‌های موجود در بدن، مانند ضربان قلب، حرکت ریه، کشش عضله، و جریان خون برای تقویت دستگاه‌های بیومدیکال مانند ضربان قلب، محرک عمیق مغز، سمعک، یا سنسورها برای تشخیص ضربان قلب، فشار خون، تنفس، و غیره برای تعدادی از بیماری‌های مربوط به قلب، مغز، و دیگر اندام‌های مهم استفاده کنند [۸] .

تحقیقات محققان در حوزه برداشت انرژی از مواد پیزوالکتریک از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۲۰ به طرز قابل توجهی افزایش یافته است. در سال ۲۰۲۰ تعداد اسناد چاپ شده در حوزه پیزوالکتریک به بالاتر از ۱۰۰۰ مورد رسیده است. در شکل ۱، نمودار مربوطه



شکل ۱- منبع اطلاعات این نمودار اسکوپوس[1] می‌باشد

از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ ترسیم شده است.

نحوه عملکرد پیزوالکتریک

اثر پیزوالکتریک برای اولین بار در سال ۱۸۸۰ میلادی، توسط برادران کوری[2] کشف گردید. اثر پیزوالکتریک مواد با عنوان تغییر نامتوازن بارها و یا یون‌ها در معرض کرنش مکانیکی تعریف می‌شود. موادی مانند کوارتز، تورمالین، توپاز و غیره مثال‌هایی از مواد پیزوالکتریک هستند. این مواد در صورتی که تحت تنش مکانیکی قرار گیرند انرژی مکانیکی را به الکتریسیته تبدیل می‌کنند. این عمل تحت عنوان عملکرد مستقیم پیزوالکتریک شناخته می‌شود. هنگامی که پیزوالکتریک تحت پتانسیل الکتریکی قرار گیرد در آن تغییر شکل حاصل می‌گردد که این پدیده را اثر معکوس پیزوالکتریک می‌نامند.

هردو اثر مستقیم و معکوس پیزوالکتریک کاربردهای زیادی دارند ، اما اثر مستقیم برای سنسورها و تبدیل انرژی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد [۹].

اثر مستقیم و معکوس پیزوالکتریک‌ها بوسیله رابطه ۱ و ۲ نشان داده می‌شود:

$$D = dT + \varepsilon E \qquad (۱)$$

$$X = st + dE \qquad (۲)$$

[1] Scopus
[2] Curie

که در روابط ۱ و ۲، D جابه‌جایی الکتریکی، d ضریب پیزوالکتریک، T تنش مکانیکی، ضریب گذردهی ماده، E میدان الکتریکی، X کرنش مکانیکی و s نیز تطابقگر مکانیکی است [۱۰].

کاربرد پیزوالکتریک در برداشت انرژی

بدلیل توسعه پیدا کردن مولدهای پیزوالکتریک متعدد با ویژگی‌های منحصر به فرد مانند انعطاف‌پذیری، قابلیت کشش، دوام، عملکرد بالا، زیست سازگاری و غیره، تحقیقات زیادی در خصوص برداشت انرژی از مواد پیزوالکتریک و کاربرد آن در زمینه‌های مختلف همانند حمل و نقل، صنایع مرتبط با سیالات از قبیل هوایی و آبی، هوشمند سازی منازل و اینترنت اشیاء، ادوات الکترونیکی و قطعات میکروالکترومکانیکی صورت رفته است [۷].

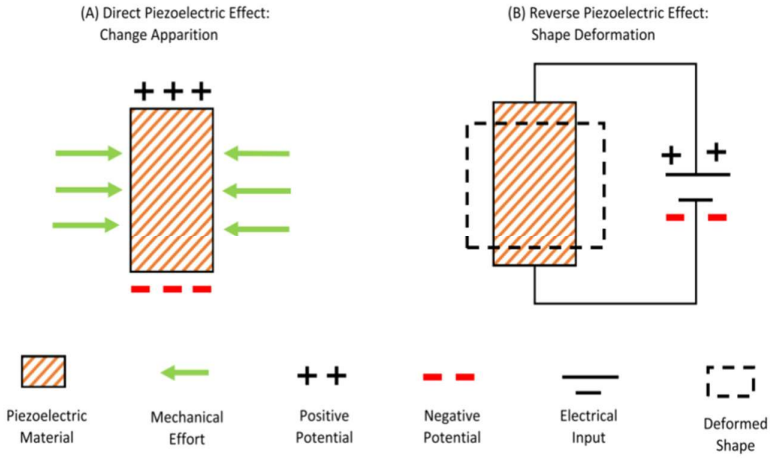
مطالعات انجام شده

موتور درون‌سوز:

کیم[3] [۱۱] با استفاده از ارتعاشات پیچشی ناشی از احتراق در موتورهای درون‌سوز انرژی مکانیکی را به کمک پیزوالکتریک به الکتریسیته تبدیل کرد. در نمونه آزمایشگاهی یک تیر پیزوالکتریک بر روی یک شفت دوار (خروجی موتور) قرار داده شد که توان تغذیه سنسور را دارا بود. این مدل با روش عددی المان محدود در نرم‌افزارهای تجاری CATIA و ANSYS نیز در فرکانس‌های مختلف و مدهای ارتعاشی تحلیل گردید. داده‌ها حاصل از این نمونه تحت گشتاور ارتعاشی ۳۰ نیوتن متر (دور موتور ۲۰۰۰ دور بر دقیقه) توانایی تولید انرژی در محدوده ۱٤ میکروواوت را دارد.

ساختمان هوشمند[4]:

پترینی و کوماس[5] [۱۲] مدلی مفهومی از برداشت انرژی در ساختمان های هوشمند با ریزش گردابه‌های جریان سیال در کانال‌های تهویه مطبوع ارایه دادند. این دستگاه از جریان سیال درون کانال‌های تهویه با قطعه‌ی پیزوالکتریک و یه پره که با توجه به مباحث ایرودینامیک هر کانال طراحی گشته، انرژی حاصل از ریزش گردابه‌های جریان سیال را به الکتریسیته تبدیل می‌کند. این مدل مفهومی در تونل باد مورد آزمایش قرار گرفت و سپس تحلیل‌های عددی FEM و CFD برای آن انجام شد. در این پژوهش به بررسی دو نمونه پره، با سطح مقطع‌های



[3] G.W.Kim
[4] Smart House
[5] Petrini and Gkoumas

شکل ۲- اثر مستقیم و معکوس پیزوالکتریک

دایره‌ای شکل و T شکل پرداخته شد. هدف این دستگاه، تغذیه یک سنسور رطوبت و دما و انتقال داده‌ها در حالت بی‌سیم در زمینه اتوماسیون ساختمان می‌باشد. توان تولید شده بسته به سطح مقطع پره آیرودینامیکی بین ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرو وات است، چیزی که کاملا با الزامات انرژی برای تقویت سنسورهای کوچک مانند سنسور دما، سازگار است.

هی و همکاران[6] [۱۳] با طراحی سازه مکانیکی دو لایه‌ی فشرده شونده‌ای از نیروی وارده بر پله‌ها هنگام عبور از آنها، انرژی هدررفته را با کریستال‌های پیزوالکتریک بازیاب کرده و به الکتریسیته تبدیل کردند. این مکانیزم شامل یک صفحه رویی و ۸ اتصال مفصلی برای تقویت نیرو است، در میان مفاصل یک صفحه‌ی دولایه‌ای شامل پیزوالکتریک و نگهدارنده قرار دارد. با فشرده شدن صفحه‌ی بالایی مفاصل نیروی وارده را تقویت کرده و سپس به لایه های پیزوالکتریک وارد می‌شود که در نهایت باعث پولاریزه شدن و اختلاف پتانسیل در پیزوالکتریک می گردد.

ولتاژ الکتریکی و توان خروجی تولید شده در شرایط عملی تحت حرکات و فرکانس‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. در فرکانس ۱/۸۱ هرتز و جابه جایی ۵ میلی متر، ولتاژ RMS خروجی به مقدار ۵۲/۲ ولت ثبت گردید. بدین ترتیب توان ۱۳٤/۲ میکروووات بدست آمد که پتانسیل تغذیه لوازم الکترونیکی کم توان را دارا می باشد.

موج:

یکی از سازه‌های ساحلی مورد استفاده موج‌شکن‌ها هستند. این سازه‌ها در اثر برخورد موج دریا دچار ارتعاش می‌شوند. از آنجایی که نزدیک به ۷۰ درصد سطح کره زمین آب است، با مهار کردن این ارتعاش ناشی از موج‌ها انرژی پاک زیادی در دسترس است. نبوی و همکاران[7] [۱٤] به بررسی آزمایشگاهی و عددی مدل اولیه‌ای از موج شکن پرداختند و آن را در مودهای فرکانسی مورد تحلیل قرار دادند. برای برداشت انرژی ، یک سیستم برداشت انرژی تیر – ستون پیزوالکتریک با حجم کم پیشنهاد شده‌است. چهار مدل مفهومی بررسی شد. برای دستیابی به بهترین مدل از روش PR استفاده گردیده است. که در این مدل برداشت انرژی حداکثری به عنوان مطلوب و کرنش و تغییر شکل‌های بزرگ نا مطلوب تعیین شده است. مدل ریاضی دروگر انرژی که برای توصیف کاربرد سیستم به دست می‌آید با نتایج تجربی تطبیق داده می‌شود و پس از تایید ، برای مطالعه برداشت انرژی از امواج اقیانوس به کار می‌رود.

عبور وسایل نقلیه:

چن و همکاران[8] [۱۵] با استفاده از مکانیزمی، از عبور وسایل نقلیه روی دست اندازهای جاده‌ای انرژی الکتریکی دریافت کردند. این مکانیزم که شامل ۲ فنر در طرفین و یک اهرم صلب L شکل در وسط دست‌انداز بود، با بالا و پایین رفتن فنرها در طرفین باعث حرکت اهرم صلب می‌شود، سپس این اهرم با برخورد به یک تیر یک سر درگیر که شامل یک لایه پیزوالکتریک است موجب ارتعاش این تیر می‌گردد. با ارتعاش این تیر پیزوالکتریک پولاریزه شده و ولتاژ ایجاد می‌کند. برای بدست آوردن حداکثر توان پیزوالکتریک از یک مدار باک_بوست DC-DC استفاده شده است. انرژی کل برداشت شده از یک خودروی در حال عبور از روی دست‌انداز برابر با ۱/۲٦ میکرو ژول بود. در این مدل آزمایشگاهی مدیریت کنترل مدار در زمان عبور نکردن وسیله نقلیه، ماژول‌ها را در حالت آماده باش نگه می‌دارد که باعث کاهش انرژی مصرفی ماژول و مدار و در نهایت افزایش یافتن بازده کل می‌گردد.

[6] He et al., 2019
[7] Nabavi et al, 2017
[8] Chen et al., 2017

لی و همکاران[9] [۱۶] با ساخت یک مدل آزمایشگاهی با استفاده از پیزوالکتریک PZT 5H ، برداشت انرژی از سطح جاده را بررسی کردند. از آنجایی که خوردروهای در حال حرکت به دلیل سرعت بالا شوک لحظه ای به پیزوالکتریک واردمی‌آورند، لازم است که از تعدادی پیزوالکتریک بصورت سکه ای یا مستطیلی استفاده گردد. برای مدل‌سازی آزمایشگاهی، لایه‌ی رویی از مواد معدنی و در زیر آن پزوالکتریک قرار داده شد. سپس با کمک یک دیسک فشار چرخ‌ها بر روی پیزوالکتریک ها بررسی گردید. برای اطمینان از اینکه ارتعاش پیزوالکتریک می‌تواند ظرفیت تولید پیزوالکتریک را تحت تحریک‌های کوچک و محدوده فرکانس تحریک گسترده داشته باشند، یک ساختار ارتعاشی پیزوالکتریک دو کریستاله در این کار مورد استفاده قرار گرفت و دو کریستال به کناره‌های پایه فلزی متصل شدند و برای ساده تر شدن مدار الکتریکی آن‌ها بصورت سری به یکدیگر وصل شدند.

حداکثر ولتاژی که به آن دسترسی پیدا شد ۶۵/۲ ولت بوده است و ظرفیت تولید انرژی ۰/۸ کیلووات بر ساعت به ازای یک روز را دارا است که نیاز الکتریکی چراغ‌های راهنمایی را بر طرف می‌سازد.

مور و همکاران[10] [۱۷] با قرار دادن سنج‌های پیزوالکتریک در آسفالت برداشت انرژی از رفت و آمد وسایل نقلیه در جاده‌ها را بررسی کردند. برای اولین بار از پیروالکتریک قرار گرفته در لایه آسفالت انرژی الکتریکی برداشت شد. این سنج‌های پیزواکتریک از یک لایه پیزوالکتریک سرامیکی PZT و لایه اپوکسی برای سرپوش‌های برنجی آن ساخته شده‌اند. نتایج نشانگر ولتاژ RMS به اندازه ۱۲ ولت است. هر سنج پیزوالکتریک با عبور یک وسیله نقلیه سنگین ۱۶ میکروووات توان تولید می کند. با یک برون یابی می توان نتیجه گرفت انرژی حاصل از عبور و مرور در یک جاده پر رفت و آمد با استفاده از ۳۰۰۰۰ سنج پیزوالکتریک می‌توان توانی در گستره ۴۰ تا ۵۰ مگاوات ساعت بر متر مربع به دست آورد که هزینه اولیه آن به ازای هر کیلووات ساعت ۲ یورو می‌باشد. بنابراین انرژی هدر رفته در سطح جاده‌ها را می‌توان به انرژی قابل استفاده تبدیل کرد.

سیستم تعلیق خودرو:

ژی و وانگ[11] [۱۸] یک مدل دو جرمی برداشت انرژی به کمک پیزوالکتریک از ارتعاشات ناشی از سیستم تعلیق خودرو را تعمیم دادند. این برداشت کننده انرژی از جرم فنر (جرم بدنه) و جرم فنر نشده (جرم چرخ) متصل به مبدل میله پیزوالکتریک ساخته شده است که در مدل ریاضی بصورت فنر و میراگر بیان گردیدند. برای محاسبه میزان انرژی خروجی یک مدل ریاضی بیان کردند و سپس تاثیرات برخی فاکتور های مهم، مانند عرض میله‌ی پیزوالکتریک، سرعت وسایل نقلیه و کلاس زبری جاده بر مجذور میانگین توان الکتریکی تولیدی مورد بحث قرار گرفته‌است.

نتایج محاسبات نشان می‌دهد که ولتاژ RMS با افزایش سرعت وسایل نقلیه و کلاس سطح جاده، افزایش نسبت بازوهای ممان اهرم و کاهش عرض میله پیزوالکتریک افزایش می‌یابد. انتظار می‌رود که در عمل چهار یا بیشتر از بار پیزوالکتریک جدید دروگر انرژی می‌تواند بر روی یک وسیله نقلیه نصب شود و برداشت انرژی موثرتری را به عنوان انرژی کمکی وسایل نقلیه فراهم کند. انتظار می‌رود که در عمل تعداد چهار عدد یا بیشتر از میله‌های پیزوالکتریک بر روی یک وسیله نقلیه نصب شود و برداشت انرژی موثرتری را به عنوان انرژی کمکی وسایل نقلیه فراهم کند.

سیستم‌های آبی :

تیلور و همکاران[12] [۱۹] با قرار دادن فیلم‌های پیزوالکتریک در جریان سیال آب در اقیانوس‌ها و رودخانه‌ها باعث نوسان آن‌ها و تبدیل انرژی جنبشی سیال به انرژی الکتریکی گردید. نحوه عملکرد این ابزار که با نام Eel ارایه شد،

[9] Li et al., 2018
[10] Moure et al., 2016
[11] Xie and Wang, 2017
[12] Taylor et al., 2001

بدین صورت بود که با عبور جریان سیال از روی بدنه استوانه‌ای با سطح مقطع دایره، پدیده گرداب خیابانی فون کارمان و ریزش گردابه رخ می‌داد. نیروهای ایجاد شده بواسطه ریزش متناوب گردابه‌ها پیزوالکتریک را پولاریزه کرده و باعث تبدیل انرژی جنبشی سیال به انرژی الکتریکی می‌شود. به دلیل خواص پلیمرهای پیزوالکتریک تجاری موجود، Eel نسبتا ارزان بوده و به راحتی قابل مقیاس سازی بوده و ظرفیت تولید از میلی وات تا چندین وات بسته به اندازه سیستم و سرعت جریان محیط محلی را دارد. در این مدل از پیزوالکتریک PVDF استفاده شده است. ولتاژ RMS در حدود ۲ ولت برای این مدل مشاهده گردید.

ال تورک و دل پورته[13] [۲۰] با کمک اثر معکوس پیزوالکتریک‌های کامپوزیتی مبتنی بر فیبر از یک ورق پیزوالکتریک به عنوان یک عملگر استفاده کردند. این کامپوزیت‌ها مزیت‌هایی نسبت به دیگر پیزوالکتریک‌ها دارند از جمله، چگالی انرژی بالاتر، عملکرد خمشی بهتر، وزن کمتر، عملکرد در محدوده فرکانس بیشتر و بازده بالاتر می‌باشد.

در این مقاله، نیروی رانش زیر آب و تولید الکتریسیته به طور تجربی با تمرکز بر ساختارهای بیومیمتیک[14] با پیزوالکتریک کامپوزیتی ماکرو فیبر برای بررسی و امکان‌سنجی استفاده از نیروی رانشی ایجاد شده در اثر معکوس پیزوالکتریک برای راه‌اندازی پلتفرم‌هایی مانند ربات‌های زیر آبی مورد بررسی قرار گرفته‌است.

دو پیکربندی به صورت باله‌ی ماهی، همراه با دنباله و بدون آن در زیر آب مورد بررسی قرار گرفتند. پیکربندی با دنباله در محدوده‌ی فرکانسی بیشتری عمل کرده است.در این پژوهش متوسط توان الکتریکی برای ایجاد نیروی رانشی به اندازه ۱۹ نیوتن متر در فرکانس ٦ هرتز برای پیزوالکتریکی به وزن ۱۰ گرم، معادل ۱۲۰ میلی وات گزارش گردیده است. بالاترین سطح ولتاژ تحریک RMS برابر با ۱۳۰۰ ولت با نیروی رانشی متوسط بالای ۳۰ نیوتن متر در محدوده فرکانسی ٤ تا ۱۷ هرتز بدست آمد.

چا و همکاران[15] [۲۱] به برداشت انرژی از طریق تحریک یک تیرآلومینیومی قرار گرفته مابین دو لایه پیزولکتریک کامپوزیتی در زیر آب پرداختند. در این بررسی چهار پیکربندی هندسی مختلف به طور تجربی مورد مطالعه قرار گرفته است، که در آن تیر به طور کامل ، یک هشتم آن، یک چهارم آن و یا نیمی از طول آن در زیر آب مستغرق است. در این پژوهش از پیزوالکتریک‌های MFC استفاده گردیده است. ابعاد هرکدام از قطعات پیزوالکتریک MFC مورد استفاده ۳۵ * ۱۰۲ میلی‌متر می‌باشد. برای ضد آب کردن این پیزوالکتریک از لایه‌ای چسب استفاده شده است.

نتایج نشانگر آن است که با افزایش طول غوطه‌وری فرکانس رزونانس کاهش می‌یابد و توان الکتریکی برداشت نیز کمتر می‌شود.

باد:

اورگو و همکاران[16] [۲۲] از برخورد باد به یک ورق پیزوالکتریک انرژی الکتریکی برداشت کردند. در این ساختار فیلم نازکی از پیزوالکتریک به میله‌ای متصل شده است و با برخورد جریان باد به فیلم پیزوالکتریک باعث نوسان این فیلم و در نهایت پولاریزه شدن پیزوالکتریک می‌گردد. در سرعت‌های باد ٥ تا ۹ متر بر ثانیه حداکثر توان الکتریکی برداشت شده در گستره ٥-۱ میلی وات بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد و برای رژیم‌های بادی با سرعت پایین‌تر در محدوده ۲/٥ تا ٤ متر بر ثانیه توانی معادل ۰/۱ تا ۰/٤ میلی‌وات بر سانتی‌متر مکعب برای فیلم پیزوالکتریک با طول ٦۰ و ۱۰۰ میلی‌متر قابل استحصال است.

[13] Erturk and Delporte
[14] Biomimetic
[15] Cha et al., 2013
[16] Orrego et al., 2017

از این برداشت کننده انرژی برای تغذیه سنسور دما بدون باتری با موفقیت استفاده گردید. این یافته‌ها فرصت‌های جدیدی را برای دستگاه‌های خودکار با استفاده از انرژی باد محیط با شرایط متغیر و رژیم‌های سرعت پایین ایجاد می‌کند.

برای برداشت موثر تر انرژی از ارتعاشات ناشی از گردابه، لای و همکاران[17] [۲۳] مدل هیبریدی پیزو-دی‌الکتریک را پیشنهاد کرده و مورد بررسی قرار دادند. در این مدل پیشنهادی نحوه تبدیل انرژی جنبشی باد به انرژی الکتریکی، با استفاده از ورقه‌های پیزوالکتریک و یک مبدل الاستومر دی الکتریک ارتعاشی می‌باشد.

این مدل پیشنهادی از یک تیر یک سر درگیر و یک بدنه‌ی استوانه‌ای در انتهای آزاد آن تشکیل شده است. درون استوانه یک گوی قرار داده شده که ارتعاش استوانه باعث حرکت گوی می‌گردد. این گوی با حرکت خود و ایجاد فشار بر الاستومر دی‌الکتریک باعث ایجاد اختلاف پتانسیل و در نهایت جریان الکتریکی می‌گردد. تنش‌های ناشی از ارتعاش در تیر نیز بوسیله ورقه پیزوالکتریک به الکتریسیته تبدیل می‌گردد.مدل ریاضیاتی این دروگر انرژی توسط این محققان ارئه گردید و ضرایب ایرودینامیکی در تونل باد آزمایش و مورد اعتبار سنجی واقع شدند.

نتایج نشانگر آن است که جرم کوچکتر، سختی زیاد و قطر بیشتر بدنه استوانه‌ای قرار گرفته در سر تیر باعث کارکرد دستگاه در رنج گسترده‌تری از سرعت‌های باد می‌گردد.

جمع‌بندی:

مروری بر روش‌های مختلف برداشت انرژی به کمک مواد پیزوالکتریک ارائه شده است. پیزوالکتریک‌های منعطف نظیر PVDF برای برداشت انرژی از تیرهای یک سر درگیر بسیار مورد استفاده قرار گرفته است. در تحقیقات مرور شده استفاده‌ها و کاربردهای مختلف پیزوالکتریک برای سنسورها، دستگاه‌های بی‌سیم و کنترل از راه دور، سیستم‌های خود محرک و غیره بررسی شده است. اگرچه تحقیقات نتایج امیدوار کننده‌ای را نشان داده‌اند، اما تنها تعداد کمی از محصولات پیزوالکتریک در بازار محقق شده‌اند در حالی دیگر محصولات هنوز در مراحل تحقیق و توسعه هستند. برای پیشرفت صنایع پیزوالکتریک نیاز مبرم به دانش مواد و جنس‌های نوین پیزوالکتریک با قدرت تبدیل انرژی بالاتر و تحمل کارکرد در شرایط سخت تر از جمله حرارت وجود دارد. علاوه بر این، انتظار می‌رود که برداشت انرژی با کمک پیزوالکتریک با اکتشاف مواد پیزوالکتریک جدیدتر و منابع انرژی هدر رفته دیگر به رشد خود ادامه دهد.

تحقیقات نشان داده‌اند که مبدل‌های پیزوالکتریک می‌توانند به طور موثری برای برق‌رسانی به دستگاه‌های زیست پزشکی پوشیدنی و قابل کاشت به عنوان سنسورهای خود محرک برای نظارت بر وضعیت سلامت بیماران و به عنوان محرک‌هایی برای بازسازی بافت‌های عصبی و استخوانی مورد استفاده قرار گیرند.

امروزه، روند توسعه الکترونیک کوچک کردن اندازه دستگاه‌ها، کاهش مصرف توان، و بهبود انعطاف‌پذیری دستگاه و قابلیت یکپارچه‌سازی است. از سوی دیگر، توسعه مواد و فرآیندهای تولید امکان شبیه‌سازی میکرو و نانو مولدهای پیزوالکتریک را با انعطاف‌پذیری بیشتر و چگالی توان خروجی بالاتر را فراهم می‌کند. بنابراین، می توان پیش‌بینی کرد که در آینده نزدیک، مبدل‌های پیزوالکتریک قادر به تامین انرژی موردنیاز اکثر دستگاه‌های الکترونیکی بی‌سیم خواهند بود.

منابع:

[17] Lai et al., 2021

[1] Won, S. S., Seo, H., Kawahara, M., Glinsek, S., Lee, J., Kim, Y., ... & Kim, S. H. (2019). Flexible vibrational energy harvesting devices using strain-engineered perovskite piezoelectric thin films. Nano Energy, 55, 182-192.
[2] Yan, J., Liu, M., Jeong, Y. G., Kang, W., Li, L., Zhao, Y., ... & Yang, G. (2019). Performance enhancements in poly (vinylidene fluoride)-based piezoelectric nanogenerators for efficient energy harvesting. Nano Energy, 56, 662-692.
[3] Bowen, C. R., Kim, H. A., Weaver, P. M., & Dunn, S. (2014). Piezoelectric and ferroelectric materials and structures for energy harvesting applications. Energy & Environmental Science, 7(1), 25-44.
[4] Wang, X. (2012). Piezoelectric nanogenerators—Harvesting ambient mechanical energy at the nanometer scale. Nano Energy, 1(1), 13-24.
[5] Sun, Y., Chen, J., Li, X., Lu, Y., Zhang, S., & Cheng, Z. (2019). Flexible piezoelectric energy harvester/sensor with high voltage output over wide temperature range. Nano Energy, 61, 337-345.
[6] Wang, D. W., Mo, J. L., Wang, X. F., Ouyang, H., & Zhou, Z. R. (2018). Experimental and numerical investigations of the piezoelectric energy harvesting via friction-induced vibration. Energy Conversion and Management, 171, 1134-1149.
[7] Sezer, N., & Koç, M. (2020). A Comprehensive Review on the State-of-the-Art of Piezoelectric Energy Harvesting. Nano Energy, 105567.
[8] Parvez Mahmud, M. A., Huda, N., Farjana, S. H., Asadnia, M., & Lang, C. (2018). Recent advances in nanogenerator-driven self-powered implantable biomedical devices. Advanced Energy Materials, 8(2), 1701210.
[9] Rajabi, A. H., Jaffe, M., & Arinzeh, T. L. (2015). Piezoelectric materials for tissue regeneration: A review. Acta biomaterialia, 24, 12-23.
[10] Kim, H. S., Kim, J. H., & Kim, J. (2011). A review of piezoelectric energy harvesting based on vibration. International journal of precision engineering and manufacturing, 12(6), 1129-1141.
[11] Kim, G. W. (2015). Piezoelectric energy harvesting from torsional vibration in internal combustion engines. International Journal of Automotive Technology, 16(4), 645-651.
[12] Petrini, F., & Gkoumas, K. (2018). Piezoelectric energy harvesting from vortex shedding and galloping induced vibrations inside HVAC ducts. Energy and Buildings, 158, 371-383.
[13] He, M., Wang, S., Zhong, X., & Guan, M. (2019). Study of a piezoelectric energy harvesting floor structure with force amplification mechanism. Energies, 12(18), 3516.
[14] Nabavi, S. F., Farshidianfar, A., Afsharfard, A., & Khodaparast, H. H. (2019). An ocean wave-based piezoelectric energy harvesting system using breaking wave force. International Journal of Mechanical Sciences, 151, 498-507.
[15] Chen, N., Jung, H. J., Jabbar, H., Sung, T. H., & Wei, T. (2017). A piezoelectric impact-induced vibration cantilever energy harvester from speed bump with a low-power power management circuit. Sensors and Actuators A: Physical, 254, 134-144.
[16] Li, R., Yu, Y., Zhou, B., Guo, Q., Li, M., & Pei, J. (2018). Harvesting energy from pavement based on piezoelectric effects: Fabrication and electric properties of piezoelectric vibrator. Journal of Renewable and Sustainable Energy, 10(5), 054701.
[17] Moure, A., Rodríguez, M. I., Rueda, S. H., Gonzalo, A., Rubio-Marcos, F., Cuadros, D. U., ... & Fernández, J. F. (2016). Feasible integration in asphalt of piezoelectric cymbals for vibration energy harvesting. Energy Conversion and Management, 112, 246-253.
[18] Xie, X. D., & Wang, Q. (2015). Energy harvesting from a vehicle suspension system. Energy, 86, 385-392.
[19] Taylor, G. W., Burns, J. R., Kammann, S. A., Powers, W. B., & Welsh, T. R. (2001). The energy harvesting eel: a small subsurface ocean/river power generator. IEEE journal of oceanic engineering, 26(4), 539-547.

[20] Erturk, A., & Delporte, G. (2011). Underwater thrust and power generation using flexible piezoelectric composites: an experimental investigation toward self-powered swimmer-sensor platforms. Smart materials and Structures, 20(12), 125013.
[21] Cha, Y., Kim, H., & Porfiri, M. (2013). Energy harvesting from underwater base excitation of a piezoelectric composite beam. Smart materials and Structures, 22(11), 115026.
[22] Orrego, S., Shoele, K., Ruas, A., Doran, K., Caggiano, B., Mittal, R., & Kang, S. H. (2017). Harvesting ambient wind energy with an inverted piezoelectric flag. Applied energy, 194, 212-222.
[23] Lai, Z., Wang, S., Zhu, L., Zhang, G., Wang, J., Yang, K., & Yurchenko, D. (2021). A hybrid piezo-dielectric wind energy harvester for high-performance vortex-induced vibration energy harvesting. Mechanical Systems and Signal Processing, 150, 107212.

A review of energy extraction methods using piezoelectric materials

Mohammad Agah[1], Shahin Rafiee[2]

1. Department of Agricultural Machinery, MSc student of Biosystems mechanical engineering - Renewable energy, College of Agricultural and Natural Resources, Karaj, Iran (mohammad.agah@ut.ac.ir)

2. Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agricultural and Natural Resources, Karaj, Iran (shahinrafiee@ut.ac.ir)

Abstract

The energy crisis, global warming, and environmental pollution have prompted researchers to discover new technologies for extracting energy from the environment. Mechanical energy is the most widely used environmental energy that can be absorbed and converted into useful electrical force. The use of piezoelectric converters is one of the common methods for harvesting and converting mechanical energy into useful electrical energy. These types of exchangers have a higher coupling coefficient than electromagnetic, electrostatic and triboelectric exchangers. Development of nanoscale and micro scale materials and production processes, construction of piezoelectric generators with desirable characteristics such as advanced electromechanical coupling coefficient, higher piezoelectric coefficient, more flexibility; Ability to integrate for different applications. In addition, low-power electronic devices, such as sensors and wireless devices, are expanding rapidly. It is predicted that in the near future many electronic components and devices will supply their required energy with the help of piezoelectric converters. Therefore, in this paper, different methods of mechanical energy extraction from the environment with the help of piezoelectric materials are discussed and the principles of piezoelectric energy conversion are specified and the working mechanisms of piezoelectric generators are shown. The applications of piezoelectricity in vehicles, road surfaces, structures in dealing with fluids and smart homes have been investigated. In summary, this study presents a wide range of piezoelectric mechanisms for wireless electronic power supply in various fields.

Key words: Piezoelectric, Energy harvesting, Wireless Electronics

*Corresponding author
E-mail: shahinrafiee@ut.ac.ir