مروری برروش‌های مختلف برداشت انرژی جهت تأمین توان ادوات الکترونیکی کم‌مصرف

زهرا جعفری[۱]، فاروق شریفیان[۲*] و رسول معروفی آذر[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، jafarizahra801@gmail.com
۲- ۲.استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران ، f.sharifian@urmia.ac.ir
۳- استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران، r.maroofi@gmail.com

چکیده

امروزه استفاده از سیستم اینترنت‌اشیاء درکشاورزی باعث افزایش چشمگیر بازده محصولات شده است. کشاورزی هوشمند با استفاده از فناوری‌شبکه‌حسگر بی‌سیم توسعه پیدا کرده است. محقیقین در طی مطالعات یافته-اند که با استفاده از روش‌های مختلف برداشت انرژی، می‌توان توان الکتریکی مورد نیاز برخی از حسگرهای مورد استفاده در کشاورزی هوشمند راکه دارای ولتاژ مصرفی در حدود چند میلی‌ولت هستند را تأمین کرد. برداشت انرژی به شکل‌کلی به عملیات برداشت و ذخیره‌سازی انرژی‌های بسیار اندک از یک منبع خارجی برای تأمین انرژی موردنیاز وسیله‌ای باتوان مصرفی کم اطلاق می‌شود. روش‌های مختلفی برای برداشت انرژی وجود دارد. این روش‌ها شامل پیزوالکتریک، ترموالکتریک، الکترومغناطیس، تریبوالکتریک، پیروالکتریک، الکترواستاتیک، فتوولتائیک و غیره هستند. بنابراین اساسی‌ترین اهداف برداشت انرژی، تبدیل مستقیم انرژی محیط به انرژی الکتریکی و عدم استفاده از باتری در قطعات الکترونیکی با ولتاژ مصرفی پایین است .

واژگان کلیدی:

اینترنت اشیاء،کشاورزی هوشمند، باتری، ترموالکتریک، پیزوالکتریک، الکترومغناطیس

نویسنده مسئول: فاروق شریفیان

۱ – مقدمه

انرژی الکتریسیته امروزه یکی از نیازهای اساسی بشر است و از مهم ترین منابع انرژ ی‌الکتریسیته سیار می‌توان به باتری‌ها اشاره کرد [٦]. اکثر کشورها انرژی‌الکتریسیته را ازسوخت‌های فسیلی بدست می آورند، باتوجه به رو به پایان بودن سوخت‌های فسیلی و مشکلات ناشی از آن‌ها، شامل آلودگی‌های زیست‌محیطی و هزینه های کلان

بهره‌برداری، لزوم استفاده از انرژی‌های پاک تجدیدپذیر روز به روز بیش‌تر احساس می‌شود [۱۰]. در سال‌های اخیر به‌کارگیری انرژی‌های طبیعی جایگزین در مقیاس بزرگ مانند انرژی خورشید، باد و غیره و در مقیاس کوچک نیز با عنوان انرژی‌های تلف شده در دستور کار کشورهای در حال‌توسعه و توسعه‌یافته قرار گرفته است [۵]. غیر از سوخت‌های فسیلی منابع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر در جهان را می‌توان به پنج دسته اصلی تقسیم‌بندی کرد: ۱- انرژی خورشیدی، ۲- انرژی گرمایی، ۳- انرژی باد، ٤- آکوستیک و ٥- ارتعاشات مکانیکی [۳].

۱-۱- فناوری اینترنت اشیاء[1]

برداشت انرژی[2]، استفاده از انرژی اطراف و تبدیل آن به انرژی الکتریکی است. هدف از برداشت انرژی، استفاده از انرژی‌هایی است که به راحتی و در محیط اطراف تلف می‌شوند [۱۲]. امروزه ازطریق برداشت انرژی به روش‌های مختلف بااستفاده از انرژی‌های دیگر مانند جنبشی، گرمایی، نور، صوت و غیره می‌توان انرژی الکتریکی (در محدوده توانی چند میکروووات و با ولتاژی در اندازه چند میلی‌ولت) موردنیاز لوازم الکترونیکی همراه و یا حسگرها را تأمین کرد [۱۲]. یکی از نتایج رشد فناوری در بخش کشاورزی، هوشمندسازی با استفاده از فناوری اینترنت اشیاء است. فناوری اینترنت اشیاء، هوشمندسازی محیط پیرامون همراه باصرفه-جویی در زمان، هزینه و انرژی است. در سیستم اینترنت اشیا، هر شیء دارای یک هویت دیجیتالی است و از طریق حسگری که در آن تعبیه شده، قابل شناسایی بوده و می‌تواند با سیستم مرکزی و اپراتور ارتباط برقرار کند. سه لایه اصلی درابزارهای مربوط به سیستم اینترنت اشیاء شامل:۱- لایه حسگر: جهت دریافت و سنجش لحظه‌ای اطلاعات. ۲- لایه شبکه: ارتباط بین اجزای شبکه و اشیاء هوشمند و سیستم مرکزی در این لایه صورت می‌گیرد. ۳- لایه خدمات : جهت ارائه خدمات به کاربران است [۷].

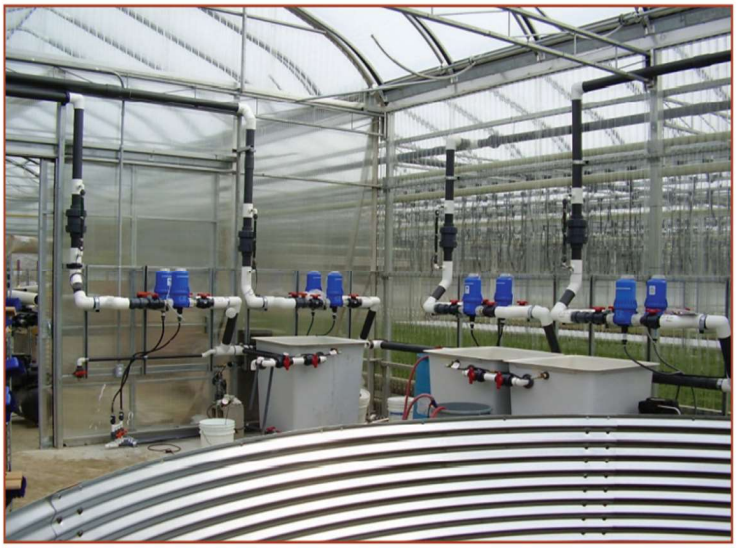
۱-۲- فناوری کشاورزی هوشمند

فناوری کشاورزی هوشمند در مزارع و گلخانه‌ها، میزان محصول را در زمان و شرایط مشابه با کشاورزی سنتی افزایش می‌دهد این فناوری می‌تواند برای جمع‌آوری داده‌ها و ذخیره آنها در دستگاه-های رایانش ابری برای ایجاد هشدار و ارسال پیام کوتاه پیام (SMS) به کشاورزان به‌کار رود.

[1] - Internet Of Things
[2] - Energy harvesting

شکل ۱- یک گلخانه مجهز به سیستم هوشمند [۷]

شکل ۲- سیستم آبیاری هوشمند گلخانه‌ای [7]



شکل ۳- سیستم کوددهی هوشمند گلخانه‌ای[7]

کشاورز با استفاده از حسگرها و ابزارهای مختلف بیسیم می‌تواند به اطلاعات مربوط به مراحل مختلف کاشت، داشت، برداشت، از قبیل رطوبت خاک، دما، شدت نور، میزان دی‌اکسیدکربن و منوکسید کربن، شرایط تغذیه‌ای و عناصر خاک، بیماری‌ها و آفات گیاهی و غیره دست یابد.

۱-۳- فناوری دامداری هوشمند

مدیریت هوشمند دام بسیار به کشاورزی هوشمند نزدیک است. بر مبنای اینترنت اشیاء، می‌توان از راه دور به نظارت دامداری پرداخت و موقعیت فیزیکی و شرایط‌حیاتی دام را کنترل کرد. این سیستم به منظور افزایش بهره‌وری دام، بررسی آب و علوفه موردنیاز، کنترل تصاعد بیش از حد گازهای آلی توسط فضولات و جلوگیری از آتش‌سوزی در دامداری به کار می‌رود [۷]. با استفاده از سیستم اینترنت اشیا و حسگرهای بیسیم دامداران می‌توانند از یک مکان مرکزی بر دام‌ها نظارت کنند و تمام اطلاعات همراه با جزئیات را درباره هر یک از دام‌ها دریافت کنند. حسگر در بدن دام برای بدست آوردن اطلاعات بیولوژیکی ارزشمند نصب یاکاشت می‌گردند. اطلاعاتی که توسط این حسگرها جمع آوری و اندازه‌گیری می‌شود، می‌تواند برای تشخیص مشکلات سلامتی دام و تعیین موقعیت مکانی دام مفید بوده و مورد استفاده واقع شود. این حسگرها در اندازه‌گیری داده‌های بیولوژیکی نظیر دمای بدن، میزان تعریق، فشار خون، ضربان قلب، تنفس و چرخه طبیعی بدن مورد استفاده قرار می‌گیرند. موقعیت این حسگرها می‌تواند در اعضای مختلف دام مانند دم، گردن، گوش، ساق‌پا، سم و معده باشد [۲۳،۲۰].

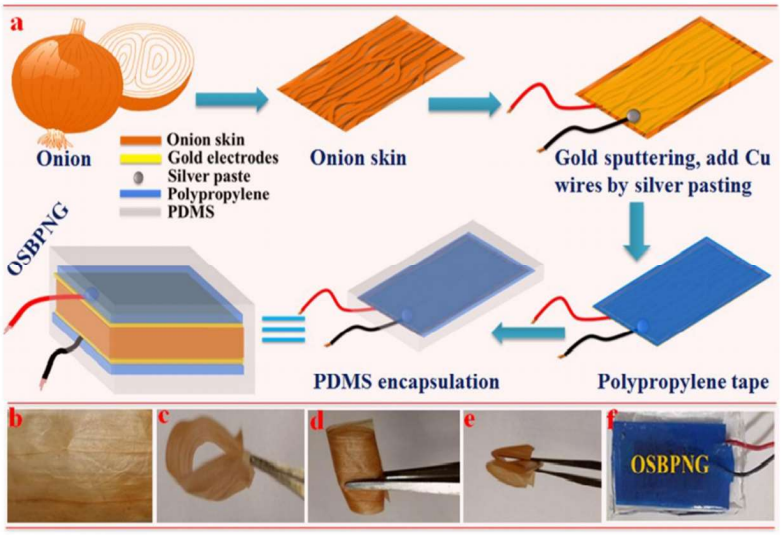
شکل ٤- دام مجهز به حلقه‌گردنی هوشمند [7]

بطور سنتی حسگرها از باتری به عنوان منبع تغذیه استفاده می‌کنند، اما مشکلاتی از جمله وزن زیاد، عمر محدود باتری‌ها، مشکل تعویض آنها و عدم امکان استفاده از باتری در حسگرهای بیسیم که در جاهای غیر قابل دسترس مثل حیات وحش بکار می‌روند، دلایل اصلی برداشت انرژی الکتریکی از منابع انرژی محیطی برای عدم نیاز به باتری در حسگرها است [٤]. بنابراین به کمک برداشت انرژی می‌توان یک جریان الکتریکی ضعیف را تولید و در حسگرهای موردنیاز برای گلخانه و دامداری‌های هوشمند استفاده نمود. روشهای مختلفی برای برداشت انرژی وجود دارد. این روشها شامل پیزوالکتریک، ترموالکتریک، الکترومغناطیس، تریبوالکتریک، پیروالکتریک، الکترواستاتیک، فتوولتائیک و غیره است [۲۲].

١-٤-کاربرد برداشت انرژی

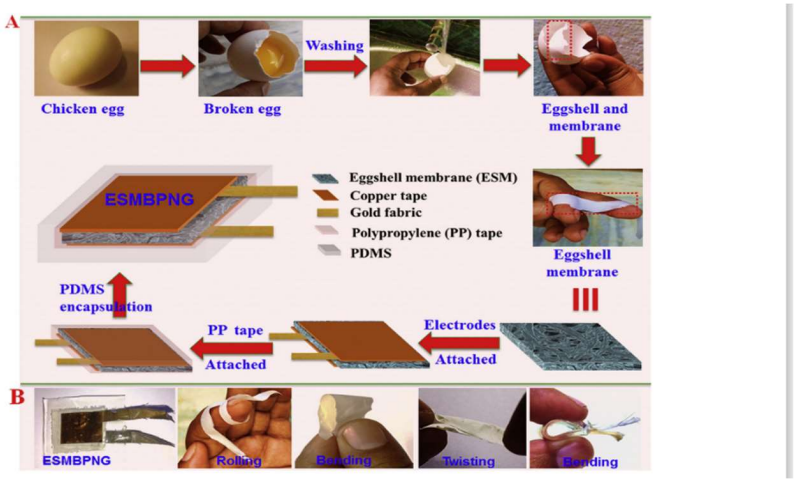
میتی و همکاران (۲۰۱۷) از پوست پیاز به عنوان یک روش مبتکرانه برای تولید مواد پیزوالکتریک-زیستی(OSBPNG[1]) با انعطاف‌پذیری و میزان توان تولیدی بالا استفاده کردند. مقدار ولتاژ و جریان حاصله از نوع جدید زیست‌پیزوالکتریک در حدود ۱۸ ولت و ١٦٦نانوآمپر می‌باشد [۲۵].

[1] - Onion skin bio-piezoelectric nanogenerator



شکل ۵- نمایش الگوواری از نحوه استفاده از پوست پیاز در ساختار پیزوالکتریک [25]

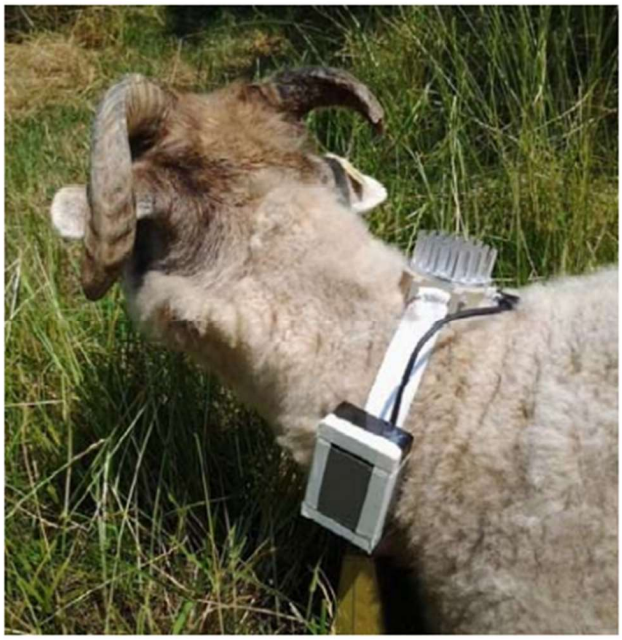
کومرکارن و همکاران (۲۰۱۸) از غشاء پوسته تخم‌مرغ که دارای سطح متخلخل بوده و یک ماده ارزان-قیمت وکم‌مصرف است، به عنوان یکی از مواد استفاده شده درتولید قطعه‌پیزوالکتریک زیستی (ESMBPNG[1]) استفاده کردندکه ولتاژ خروجی این قطعه ۲۶/۴ ولت و جریان آن ۱/۴۵میکروآمپر است [۲۷].



شکل ٦- شماتیک کلی از نحوه مراحل استفاده از غشاء پوسته تخم‌مرغ در ساختار پیزوالکتریک [۲۷]

[1] - eggshell membrane bio-piezoelectric nanogenerator

وویاس و همکاران (۲۰۱٤) در تحقیق خود به برداشت انرژی از یک قطعه ترموالکتریک با ابعاد ۲۱*۱۸میلی‌مترمربع بر روی حیواناتی مثل گوسفند پرداختند تا از توان تولیدشده در حسگرردیابی حیوانات استفاده کنند. به این صورت که سیستم ترموالکتریک (TEG) بر روی گردنبندی نصب شده و بر روی گردن‌گوسفند قرار گرفته تا از اختلاف دمای بدن گوسفند و هوای محیط توانی تولید شود. در این سیستم توان خروجی الکتریکی ٥٤ میکروووات برای تأمین توان سیستم ردیابی(VHF) کافی بود [۲۸].



شکل ۷- تصویری از ترموالکتریک نصب شده بر حلقه‌گردنی گوسفند [۲۸]

زی و همکاران (۲۰۱۳) به تحلیل برداشت انرژی توسط پیزوالکتریک از امواج‌دریا پرداختند. سیستم برداشت‌کننده متشکل از یک تیر یکسرگیردار متصل به تکه‌های پیزوالکتریک و یک جرم اثباتی (جرم آزمایشی) بود. برای توصیف فرآیند برداشت انرژی یک مدل ریاضی برای محاسبه ولتاژ خروجی، با توجه به تئوری موج خطی ایری درنظرگرفته شده است. نتایج نشان داد مقدار میانگین توان تولید شده با افزایش نسبت عرض به ضخامت‌تیر، ارتفاع موج، عمق دریا، نسبت جرم اثباتی به جرم تیر و نسبت عمق دریا به طول موج افزایش دارد. در نهایت مقدار توان بدست آمده از مقادیر عمق‌دریا، ارتفاع موج و طول موج که به ترتیب ۱۵ ،۲، ۳ مترهستند، حدودا ۵۵ وات است [۲۹]. دادیانی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از نوع خاصی حسگر پیزوالکتریک در مناطق زلزله‌خیز ایران مثل زاگرس امکان پذیری برداشت انرژی حاصل از لرزش‌های زمین‌لرزه با هدف ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی بوسیله طراحی نرم‌افزاری و سخت‌افزاری سامانه‌ای با نام سامانه سبز را مورد بررسی قرار دادند

.خروجی نهایی مدار طراحی و ساخته شده، پس از چندین بار آزمایش بطور متوسط ۳-٤ ولت در ازای هر عدد حسگر پیزوالکتریک است [١٤]. اصغرزاده و همکاران (۱۳۹۳) برداشت انرژی الکتریکی از ارتعاشات تیر یکسرگیردار ذوزنقه‌ای اویلربرنولی با یک لایه پیزوالکتریک و تحریک پایه را با استفاده از روش پارامترهای توزیع شده مورد بررسی قرار دادند . طبق نتایج بدست آمده پیکره‌بندی ذوزنقه‌ای شکل می‌تواند عملکرد بهتری در تولید انرژی الکتریکی نسبت به پیکره‌بندی مستطیلی داشته باشد. برای تیر یکسرگیردار با لایه پیزوالکتریک به دلیل اینکه کرنش تیر با پیکره بندی ذوزنقه‌ای معکوس (قائده ذوزنقه در محل تکیه‌گاه بزرگتر از نوک تیر است) بیشتر از تیر مستطیلی است، در نتیجه توان الکتریکی بیشتری تولید می‌کند. در این مطالعه حرکت پایه هارمونیک و دائمی فرض شده که منجر به تولید خروجی الکتریکی پیوسته از سیستم می‌شود و الکترودها به صورت سری به لایه پیزوالکتریک متصل هستند تحت شرایط یکسان، پیکره بندی سری الکترودها منجر به تولید ولتاژ خروجی بیشتر و پیکره بندی موازی آنها منجر به تولید جریان خروجی بیشتری می‌شود. در نتیجه میزان انرژی برداشتی از برداشت کننده ذوزنقه‌ای مستقیم، کمتر از مقدار به‌دست آمده از برداشت‌کننده مستطیلی است [٤]. فخار و همکاران (۱۳۹۲) برای کسب انرژی از راه رفتن از مبدل پیزوالکتریک به هدف تأمین انرژی ابزارالکترونیکی پزشکی پوشیدنی، استفاده کردند . مبدل پیزوالکتریک درون کفش زیر پاشنه پا کار گذاشته شده و انرژی کسب شده در هر گام برای استفاده در ابزارهای الکترونیکی ذخیره‌سازی شد. این ابزار با استفاده از یک مبدل پیزوالکتریک، امکان تأمین توان دائمی را در حد ۰/۸ میلی وات را فراهم نمود [١٥]. پاشائی (۱۳۹۸) با استفاده از اسلاشینگ سیال(حرکت موجی) همراه با آهنربای معلق در آن به تغییر شار مغناطیس پرداخت که این امر منجر به القای ولتاژ در سیم‌پیچ موجود در دستگاه گردید. در این روش جهت بررسی اسلاشینگ از چند نوع سیال مانند سیال نیوتونی آب، سیال غیرنیوتونی ترکیب ۳٦۰ گرم نشاسته ذرت با ۳۵۰ میلی‌لیتر آب و سیال غیرنیوتونی ترکیب ٤ گرم کربوکسی متیل سلولز (CMC) با ٤۰۰ میلی‌لیتر آب و از یک عدد آهنربای معمولی به ابعاد ۵*۲۵*٤۰ و دو عدد آهنربای نئودیمیوم به ابعاد ۵*۲۰*۵۰ و۱۰*۱۰*۲۰ ، و جهت معلق‌سازی آهنرباها در روی سطح سیال از یونولیت به ابعاد ۳۰*۳۵*۷۰ استفاده شده است. دور ظرف پلاستیکی استوانه‌ای به قطر پانزده سانتیمتر با سیم مسی یک میلی‌متری ۵۰۰ دور به طور منظم سیم‌پیچی می‌شود و دو سر سیم‌پیچ جهت اتصال به اسیلوسکوب آزاد نگه داشته شده و دو انتهای سیم‌پیچ توسط سنباده نرم تمیز شده است تا جریان القاء شده در سیم پیچ بطور کامل به اسیلوسکوب منتقل شود. دو سر سیم‌پیچ به دو سر مقاومت وصل شده و به صورت موازی به دو سر پرآب متصل می‌شود. دستگاه اسیلوسکوب به صورت اتوماتیک تنظیم شده و در حالت سکون داده‌برداری انجام می‌شود. سپس دستگاه نوسانگر درچندین فرکانس مختلف روشن شده و در اثر اسلاشینگ سیال داخل ظرف پلاستیکی، آهنربای معلق نوسان نموده و توسط اسیلوسکوب ولتاژ لحظه ای داده‌برداری می‌شود. در دستگاه صفحه تراش نیزحرکت رفت و برگشتی کشاب توسط مبدل اسالشینگ به حرکت آهنربا داخل سیم پیچ تبدیل شده و در اثر نوسان آهنربا داخل سیم پیچ، ولتاژ الکتریکی تولید می‌شود [٥].

مصطفوی ومحمودی (۱۳۹۹) با مدل‌سازی دودکش و محاسبه پارامترهای مربوط به دود جاری در آن،یک مدل ژنراتور ترموالکتریک بر روی دودکش را طراحی نمودند. در بررسی سیستم ژنراتور ترموالکتریک، در مرحله اول، توزیع دما در دودکش و سیستم خنک کننده بررسی شد و در مرحلهٔ بعد، انرژی تولیدشده

توسط ژنراتور ترموالکتریک مورد محاسبه قرار گرفت. دود جاری در دودکش به صفحهٔ اتصال دودکش به سطح داغ ترموالکتریک برخورد می‌کند و همچنین یک هیت سینک به سطح سرد ترموالکتریک‌ها متصل شده و ۹ ماژول ترموالکتریک که فقط ۳۲٤ سانتیمتر مربع فضا اشغال کرده، در بین صفحهٔ اتصال دودکش به سطح داغ ترموالکتریک و هیت‌سینک قرار دارد. سیستم ژنراتور ترموالکتریک را می‌توان به ۹ بخش متقارن تقسیم بندی کرد، هر مقطع نیز دارای پروفیل دمایی یکسانی هستند. بنابراین با داشتن توزیع دما در هر ماژول ترموالکتریک، توزیع دما در کل مبدل حرارتی قابل محاسبه است. سپس انتقال گرما در یک ماژول ترموالکتریک که منجر به مدلسازی سیستم ژنراتور ترموالکتریک می‌شود بررسی شد. نتایج نشان داد که این ژنراتور قابلیت تولید در حدود ٤۲/٥ وات توان الکتریکی دارد و همچنین این ژنراتور با محیط زیست سازگار است و در مکان‌هایی که دسترسی به برق محدود است، قابلیت استفاده دارد. هزینهٔ تعمیر و نگهداری چنین ژنراتورهایی بسیار کم است و نیز ژنراتورهای ترموالکتریک بدون سروصدا کارکرده و قطعات دواری دارند که باعث افزایش عمر مفید این ژنراتورها می‌شود [۱۸].

باتوجه به مصرف روزافزون انرژی، و روبه‌پایان بودن سوخت‌های فسیلی محققین در پی استفاده از روش‌های برداشت انرژی و استفاده از انرژی‌های پاک و پایان ناپذیر در جهت تأمین توان ادوات الکترونیکی هستند. در مطالعات اخیر نیز به استفاده از مواد زیستی در ساخت قطعات برداشت‌کننده انرژی، به عنوان روشی طبیعی و سازگار با محیط زیست اشاره شده است. طبق مطالعات انجام شده بیشتر تحقیقات در زمینه برداشت انرژی در صنعت مهندسی انجام گرفته و درصد کمی از این تحقیقات مربوط به صنعت کشاورزی می‌باشد. بنابراین این ضرورت احساس می‌شود که بوسیله هوشمندسازی کامل صنعت کشاورزی و استفاده از روش برداشت انرژی در بیوسیستم، منجر به تأمین توان دائمی باتری و افزایش محصولات شویم.

۲ - مواد و روش

۲-۱- روش پیزوالکتریک

اثر پیزوالکتریک[1] توانایی تبدیل نیروهای مکانیکی به الکتریسیته در برخی کریستال‌ها و سرامیک ها اعم از دی‌الکتریک و نیمه هادی است. اولین بار در سال ۱۸۸۰ توسط برادران کوری، پیر[2] و ژاکوز[3] در آزمایشگاه کانی شناسی در دانشگاه سوربن پاریس کشف شد. این لغت از کلمه یونانی پیزن[4] اقتباس شده که به معنی فشردن یا تحت‌فشار قراردادن است. سیستم‌های میکروالکترومکانیکی پیزوالکتریک به دلیل داشتن تأثیرات مساعد کوپل الکتریکی- مکانیکی به عنوان فناوری جذابی برای برداشت مقادیر کوچک انرژی از ارتعاشات محیط، کاربردهای زیادی دارند. در این سیستم‌ها ارتعاشات مکانیکی برداشت شده به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. این روش برداشت انرژی نسبت به روش‌های دیگر از مزایایی چون تراکم توان بالا، سهولت کاربرد و قابلیت ساخت مواد

[1] - Piezoelectric
[2] - Pierre Curie
[3] - Jacques Curie
[4] - Piezein

پیزوالکتریک جهت برداشت انرژی ارتعاشی در مقیاس‌های مختلف میکرو، ماکرو و نانو برخوردار است [۱۹]. از مزایای دیگر سنسورهای پیزوالکتریک میتوان به طراحی محکم، اندازه کوچک سنسور، غیرحساس بدون این سنسورها به میدان مغناطیسی و ضدآب و روغن بودن آنها اشاره کرد. این سنسورها دارای معایبی ازجمله: داشتن حساسیت کم در فرکانس پایین می‌باشند [۸].

۲-۱-۱- مکانیزم اثر پیزوالکتریک

از ۳۲ گروه نقطه‌ای کریستالی، ۲۰ گروه، خاصیت پیزوالکتریسته از خود بروز می‌دهند. در یک کریستال پیزوالکتریک بارهای الکتریکی مثبت و منفی جدا هستند، اما بطور متقارن توزیع شده‌اند؛ به طوری که کریستال در مجموع از نظر الکتریکی خنثی است. هر کدام از این جایگاه‌ها تشکیل یک دوقطبی الکتریکی می‌دهد و دوقطبی-های نزدیک همدیگر تمایل دارند در نواحی‌ای که "ویز[1] " نامیده می‌شود، هم راستا شوند. این نواحی در ماده معمولاً به طور تصادفی جهت‌گیری می‌شوند. هنگامی که یک تنش مکانیکی به کریستال پیزوالکتریک اعمال شود، تقارن موجود از بین می‌رود و عدم تقارن باری، ولتاژی درماده تولید می‌کند. از این رو اثر پیزوالکتریک بستگی به ساختار شبکه دارد[۱۹]. وقتی ماده‌ی پیزوالکتریکی تحت تأثیر نیروی مکانیکی به صورت فشاری یا کششی قرار گیرد، مقداری بار الکتریکی در سطح آن ظاهر می‌شود. این بار الکتریکی که در اثر نامتقارن بودن سلول یک واحد کریستال وجود دارد، به تولید میدان الکتریکی و پتانسیل الکتریکی منجر می‌شود. به این اثر پیزوالکتریک مستقیم گویند. حال اگر در پی اعمال میدان الکتریکی تغییرات مکانیکی در ساختار سرامیک رخ دهد، این پدیده را اثر پیزوالکتریک معکوس می‌گویند. در بیشتر مولدهای پیزوالکتریک از برخی انواع تیتانات زیرکونات سرب به دلیل دارابودن ضریب‌پیزوالکتریک و ثابت دی‌الکتریک بزرگ استفاده می‌شود. ماده دیگر، نیترید آلومینیوم است که به دلیل ضریب پیزوالکتریک و ثابت دی الکتریک کوچکتر کمتر بکار می‌رود [۱۸،۱٤]. طبق مطالعات انجام گرفته مواد پیزوالکتریک در چهار زمینه شامل: ژنراتورها، سنسورها، عملگرها و مبدل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند [۸].

۲-۲- روش ترموالکتریک

ترموالکتریسته از منابع انرژی تجدیدپذیر با قابلیت تبدیل اختلاف دما به انرژی الکتریکی و بالعکس، اولین بار در اوایل قرن نوزدهم توسط دانشمند آلمانی توماس-سیبک تمامی کشف شد. از جمله مواد ترموالکتریک نیمه رسانای مشهور می‌توان به ترکیبات شیمیایی بیسموت تلوراید، آنتیموان تلوراید و تلورایدسرب اشاره کرد. این مواد به مواد ترموالکتریک(TEG[2]) معروف هستند.

ترموالکتریک‌ها را می‌توان به دو دسته کلی ترموالکتریک‌های گرمایشی- سرمایشی و ترموالکتریک‌های ژنراتور تقسیم‌بندی کرد. در ترموالکتریک های گرمایشی- سرمایشی بنا به اثر پلتیر ایجاد اختلاف پتانسیل الکتریکی در دو سر یک سیم نیمه هادی باعث ایجاد اختلاف دما در دو سر آن خواهد شد. از طرف دیگر در ترموالکتریک‌های

[1] - Weiss

[2] - ThermoElectric Generator

ژنراتور بر اساس اثر سیبک وجود اختلاف دما در دو سر نیمه هادی باعث ایجاد اختلاف پتانسیل درآن می‌شود. از مزایای مولدهای ترموالکتریک میتوان به قابلیت تولید برق به‌طور مداوم در صورت وجود حرارت، سادگی نصب و راه‌اندازی اشاره نمود [۱۱].

۲-۲-۱- مکانیزم‌های انتقال انرژی در مواد ترموالکتریک

به طورکلی یک المان ترموالکتریک شامل حداقل یک جفت پایه نوع nوP است که به وسیله ورقه‌های مسی به صورت سری به هم متصل شده‌اند. در نیمه رسانای نوع n، الکترون‌ها و در نوع P، حفره‌ها حامل‌های انرژی هستندکه می‌توانند آزادانه در ماده حرکت کنند. در حضورگرادیان دما این حامل‌ها از ناحیه گرم به سرد انتشارمی‌یابند و این انتشار تا زمانی ادامه می‌یابد که با دافعه الکتریکی به تعادل برسد. چگونگی تولید ولتاژ در یک ژنراتور ترموالکتریک به این صورت است که در اثر گرم شدن سطح بالایی، چگالی الکترون‌ها و حفره‌ها به ترتیب در نیمه هادی‌های نوع nوPکم میشود. به این معنا که به سمت صفحه پایینی که خنک‌تراست حرکت می‌کنند. با تجمع این دوبارکه علامت مخالف هم دارد اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو خروجی صفحه پایینی به‌وجود می‌آید یا به عبارتی دیگر در اثر ایجاد اختلاف درجه حرارت بین دوسطح، ولتاژ خروجی بدست می‌آید.

پدیده سیبک

پدیده سیبک[1]: سیبک، فیزیکدان آلمانی اثر ترموالکتریک را کشف و مشاهده کرد، چنان چه دو نیمه هادی غیرمشابه به هم متصل شوند و دماهای متفاوتی به دو سر آنها اعمال شود، ولتاژی در سیستم القا می‌شود ولتاژ القاء شده که تابعی از خواص ماده و اختلاف دمای دو انتها بوده، به ولتاژ سیبک مشهور است.

پدیده پلتیر

پدیده پلتیر[2]: پلتیر، فیزیکدان فرانسوی به پدیده معکوس سیبک پی برد. اومشاهده کرد هنگامی که جریان الکتریکی در ترموالمنت‌ها برقرارشود، حرارت در یک نقطه اتصال، جذب و از نقطه اتصال دیگر دفع می‌شود. جهت شار حرارتی تبادل شده به جهت جریان بستگی دارد. نکته جالب توجه در اینجا این است که چه جریان از خارج اعمال شود و چه از اثر سیبک القاء شده باشد، پدیده پلتیر اتفاق می‌افتد.

پدیده تامسون

پدیده تامسون[3]: تامسون پی برد چنانچه در یک رسانا، جریان الکتریکی از نقطه ای با دمای معین به نقطه دیگر با دمایی متفاوت برقرار شود، جذب یا دفع حرارت در مرزهای ماده و در راستای عمود بر جریان الکتریسیته

[1] - Thomas Johann Seebeck
[2] - Peltier
[3] - Thomson

و حرارتی صورت می‌گیرد. چنان چه جریان الکتریکی و شار حرارتی هم‌جهت باشند، حرارت، دفع و اگر در خلاف‌جهت باشند، حرارت جذب می‌شود.

پدیده ژول

پدیده ژول[1]: اثر ژول یک پدیده ترموالکتریک برگشت‌ناپذیر بوده که بیانگر تولید حرارت داخلی در حضور جریان الکتریکی در رسانا است. بر خلاف پدیده تامسون مستقل از جهت جریان الکتریکی و حتی در عدم-حضور گرادیان‌دما، حرارت ناشی از اثر ژول همواره جذب می‌شود. مقدار حرارت جذب شده ژول بستگی به مقدار جریان و مقاومت الکتریکی ماده دارد [۲۲،۱].

۲-۳- روش الکترومغناطیس

الکترومغناطیس شاخه‌ای از فیزیک است که به مطالعه پدیده‌های الکتریکی و مغناطیسی و ارتباط این دو با هم می‌پردازد. طبق قانون فارادی پدیده القای الکترومغناطیسی عبارتست از تولید نیروی محرکه الکتریکی در یک رسانا که در یک میدان مغناطیسی متغیر با زمان قرار دارد. معادلات ماکسول به افتخار فیزیکدان و ریاضیدان اسکاتلندی جیمز کلارک ماکسول[2] نامگذاری شده‌است، معادلات ماکسول توصیف می‌کنند که چگونه بارها و جریان‌های الکتریکی به عنوان منابع برای میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی عمل می‌کنند . علاوه بر این، توضیح می‌دهند که چگونه یک میدان الکتریکی متغیر با زمان یک میدان مغناطیسی متغیر با زمان تولید می‌کند و بلعکس. نیروی محرکه الکتریکی تولید شده در رسانا مانند یک سیم پیچ در صورت باز بودن مدار، منجر به برقراری جریان الکتریکی می‌شود. جریان تولید شده را جریان القایی می‌نامند. هر عاملی که بتواند خطوط میدان و در نتیجه شار مغناطیسی را تغییر دهد می‌تواند منجر به القاء نیروی محرکه یا به عبارت دیگر جریان الکتریکی شود. اساس کار مبدل الکترومغناطیس[3] بر پایه قانون فارادی[4] الکترومغناطیس استوار است. از جابه‌جایی آهنربا در سیم‌پیچ، جریان القا شده و در نتیجه انرژی الکتریکی تولید می‌شود [۵،۳].

۲-٤- روش تریبوالکتریک

پدیده تریبوالکتریک[5] به‌وجود آمدن بارالکتریکی بر اثر تماس می‌باشد که در آن یک ماده پس از تماس و یا سایش با ماده دیگر از نظر الکتریکی باردار می‌شود. نانوژنراتورهای تریبوالکتریک اولین بار توسط آقای ژون‌لین-ونگ در سال ۲۰۱۲ به منظور تبدیل انرژی مکانیکی به الکتریسیته در ابعاد کوچک، با بهره‌گیری‌از پیوند پدیده تریبوالکتریک و القای الکترواستاتیکی ابداع شدند. به طور کلی پس از تماس دو ماده متفاوت با یکدیگر، یک باند شیمیایی بین بعضی از قسمت های دو سطح تشکیل می‌شود، که چسبندگی نام دارد. پس از آن بارها از یک ماده به ماده دیگر می‌روند تا پتانسیل الکتروشیمیایی آن‌ها برابرگردد. بارهای انتقال یافته می‌توانند الکترون، یون و یا

---

[1] - Joule
[2] - James Clerk Maxwell
[3] - Electromagnetic
[4] - Faradays law
[5] - Triboelectric

مولکول ها باشند. وقتی دو سطح از هم فاصله می‌گیرند، بعضی از اتم‌های پیوند یافته، تمایل دارند که الکترون‌های اضافی را نگه دارند، در حالی که بعضی دیگر از اتم‌ها تمایل به از دست دادن این الکترون‌ها دارند، که به این ترتیب ممکن است بارهای تریبوالکتریک را در سطح به وجود آورند [۱۶].

۲-۵- روش پیروالکتریک

روش جدیدی است که در آن، گرمای اتلافی مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. با گرم وسرد شدن متناوب ماده‌ی پیروالکتریک[1]، انرژی الکتریکی تولید می‌شود. برخلاف ژنراتور ترموالکتریک،گرادیان‌های دمایی متغیر بازمان، اساس‌کار این مواد است. بنابراین این دو روش کاربردهای متفاوتی دارند. پیروالکتریسیته خاصیت مواد سرامیکی‌است، در سیستم تولید توان‌پیروالکتریکی، با گرم شدن ماده‌پیروالکتریک، بارالکتریکی‌در سطح ماده‌ایجاد می‌شود که‌در یک منبع‌الکتریکی ذخیره می‌شود. این منبع می‌تواند انرژی مورد نیاز وسایل الکترومکانیکی را تأمین کند. در این مواد، تغییر دمای اندک موقعیت اتم‌ها را در ساختار کریستالی تغییر می‌دهد به بیان دیگر آرایش‌دوقطبی های(پلاریزاسیون) ماده تغییر میکند. تغییر پلاریزاسیون یک ولتاژ در ماده ایجاد می‌کند. کاربرد اصلی این‌خاصیت در حسگردمایی مادون قرمزاست. مزایای مبدل پیروالکتریک به دو دسته‌تقسیم می‌شوند. دسته ی اول، برخلاف ژنراتور ترموالکتریکی نیاز به منبع دما بالا ندارد. ثانیا به علت دمای کاری پایین و نداشتن بخش متحرک، پتانسیل بالایی در سیستم تولید توان دارد [۲۶،۲] .

۲-۶- فتوولتائیک

در این فناوری پرتوهای خورشیدی توسط سلول های کوچکی از نیمه رساناهای فتوولتائیک[2] به الکتریسته تبدیل می‌شود. سلول-های فتوولتائیک به دو شکل صفحه تخت و متمرکز کننده ساخته می‌شوند. سلول‌های صفحه تخت همان سلول‌های خورشیدی می‌باشند که نورخورشید را مستقیما به الکتریسیته تبدیل می‌کنند.ولی سلول‌های متمرکزکننده ابتدا تشعشات خورشید را از مسیر مستقیم، بازتاب و منحرف کرده و در سطح کوچکتری متمرکز می‌کند. ماژول‌های فتوولتائیک انرژی‌خورشیدی را بدون آلودگی و سروصدا و نوسانان به الکتریسیته تبدیل می‌کنند. انرژی خورشیدی چگالی انرژی کمی دارد و بنابرا ین ، ماژول‌های فتوولتائیک باید سطح زیادی داشته باشند تا بتوانند انرژی کمی تولید کنند [۱۷،۹].

در میان روش‌های ذکر شده، از مهم‌ترین مزایای مواد پیزوالکتریک به سهولت کاربرد این روش می‌توان اشاره نمود، و به ترتیب روش فتوولتائیک و سپس روش‌های ترموالکتریک و الکترومغناطیس بیشترین ولتاژ خروجی را در مقایسه با سایر روش‌ها ایجاد می‌کنند.

[1] - Pyroelectric
[2] - Photovoltaic

۳-نتیجه‌گیری

افزایش جمعیت و نیاز به تولید هوشمند در صنعت کشاورزی، باعث افزایش استفاده از سنسورها در بیوسیستم گردیده است. به منظور کاهش نیاز به منابع سوخت‌های فسیلی، برداشت انرژی با ولتاژ پایین از منابع انرژی تلف شده در صنعت رو به افزایش است. همانطورکه قبلا اشاره شد برداشت انرژی به معنای برداشت و ذخیره سازی انرژی‌های بسیار اندک از یک منبع خارجی برای تأمین توان موردنیاز یک وسیله با ولتاژ مصرفی پایین است. هدف از برداشت انرژی، استفاده از انرژی‌هایی است که به راحتی ودر محیط اطراف تلف می‌شوند. مکانیزم تولید توان در هرکدام از روش های نامبرده به صورت ذیل است.

روش پیزوالکتریک، توانایی تبدیل انرژی مکانیکی به الکتریسیته در برخی از سرامیک‌ها است. ترموالکتریک قادر به تبدیل اختلاف دما به انرژی الکتریکی و بالعکس است. پدیده تریبوالکتریک نیزکه شامل به وجود آمدن بارالکتریکی براثر تماس دو ماده متفاوت بایکدیگر است. تولید توان الکتریکی در روش الکترومغناطیس برپایه قانون فارادی بوده و از جابه‌جایی آهنربا در سیم‌پیچ، جریان القاء شده وبارالکتریکی حاصل می گردد. پیروالکتریک به عنوان روشی جدیدی است که در آن گرمای اتلافی مستقیما به انرژی الکتریکی تبدیل میشود. و درنهایت روش فتوولتائیک شامل تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریسیته می‌باشد. بطور کلی استفاده از این سیستم‌ها جهت عدم بکارگیری باتری در ادوات الکترونیکی مورد نیاز می‌باشد تا مشکلاتی از قبیل وزن زیاد، عمر محدود باتری‌ها، مشکلات تعویض آنها و عدم امکان استفاده از باتری ها درسنسورهای بی‌سیم در جاهای غیرقابل دسترس مثل بدنه پلها، بر روی حیوانات رفع شود. بنابراین برداشت انرژی برای تأمین توان باتری‌ها در بیوسیستم موضوعی جدید و فناورانه می‌باشد که می تواند در مزارع هوشمند کشاورزی بکارگرفته شود.

٤-منابع

۱. **ابوعلی شمشیری، م و عسگری، م.، ۱۳۹۷. مدلسازی غیرخطی کوپلینگ ترموالکتریک و مطالعه تجربی و عددی عملکرد سامانه ژنراتور های ترموالکتریک. ماهنامه علمی پژوهشی مهندسی مکانیک مدرس.۱۹(۳):۵۳۸-۵۲۷.**

۲. **احمدی، ن.، ۱۳۹۲. برداشت هایبریدی انرژی از مواد پیروالکتریک و مگنتوکالریک براساس سیکل های ترمودینامیکی. دانشگاه رازی.**

۳. **آذری کام، ف.، همایون صدر، م.، ۱۳۹۵. سیستم برداشت انرژی از ارتعاشات محیط به کمک مواد پیزوالکتریک. شانزدهمین کنفرانس بین المللی انجمن هوا و فضای ایران، تهران.**

۴. **اصغرزاده، م.، جهانی، ک.، کیانپور، آ.، صادقی،م.، ۱۳۹۳. بررسی برداشت انرژی از ارتعاشات تیر ذوزنقه ای با یک لایه پیزوالکتریک با استفاده از روش پارامتر های توزیع شده. مجله مهندسی مکانیک مدرس.١٤(١٥): ٩٦-١٠٢.**

۵ . پاشایی، ن.، ۱۳۹۹. مطالعه آزمایشگاهی برداشت انرژی از اسلاشینگ سیالات و کاربرد آن در دستگاه صفحه تراش. کارشناسی ارشد. دانشگاه مراغه.
۶ . حسینی، ز.، حبیبی، م.، سلیمانی، ح.، گورتانی، ب.، ۱۳۹٤. طراحی مدار های برداشت کننده انرژی ولتاژ پایین به منظور یکسوسازی ولتاژ ذخیره شده توسط نوسان پیزوالکتریک. اولین کنفرانس پیشرفت های نوین در حزه انرژی، ساوه، موسسه آموزش عالی انرژی غیردولتی-غیر انتفاعی.
۷ . رمضانی، ن و سرافرازی، ع.، ۱۳۹۷. اینترنت اشیاء در کشاورزی. چاپ اول، کرج: نشرآموزش کشاورزی.
۸ . سعادت‌فر، م وکشاورزگرامی، م.۱٤۰۰. مروری بر مواد پیزوالکتریک و کاربرد آن در صنعت و زندگی روزمره. پنجمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی مکانیک، مواد و متالوژی، قم، دانشگاه دولتی قم.
۹ . شمس، م.، خاوری، ف.، محمودی، م.، نوری، ج.۱۳۹۲. مروری بر فناوری‌های تولید برق از انرژی خورشیدی و مقایسه آماری بزرگترین نیروگاه‌های خورشیدی جهان. توسعه تکنولوژی صنعتی. (۲۱): ۲۲- ۱.
۱۰ . شهبازی، ر.، کوراند، ش.، حسن بیگی، ر.، ۱۳۹۸. پتانسیل سنجی و استفاده از توربین باد محور افقی کوچک جهت تأمین برق بخشی از نیاز گلخانه در منطقه فیروزکوه. انرژی های تجدید پذیرو نو، تهران، دانشگاه تهران.
۱۱ . طلابری، ک و قره تپیان، گ. ۱۳۹۲. به کارگیری تکنولوژی ژنراتورهای ترموالکتریک(TEG) در تبدیل حرارت به برق و تزریق توان اکتیو و راکتیو به صورت مستقل در (DG). سومین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
۱۲ . عباسی، ی.، ۱۳۹۸. طراحی و ساخت برداشت کننده انرژی از جوشش فروسیالات. کارشناسی ارشد. دانشگاه مراغه.
۱۳ . علوی اندراجمی، خ.، ۱۲۸۷. بررسی جفت شدگی امواج الکترومغناطیسی و الاستیک در نیمه هادی های پیزوالکتریک. دکتری. دانشگاه شهید بهشتی.
۱۴ . علی دادیانی، ب.، حسینی، ک.، خواجوی، ر.، ۱۳۹۷. بررسی امکانپذیری برداشت و ذخیره انرژی زمین لرزه. در : همایش ملی پژوهش های نوین در علوم و فناوری، دانشگاه فردوسی مشهد.
۱۵ . فخار، م.، مهنام، آ.، ادریسی، م.، ۱۳۹۲. برداشت انرژی از راه رفتن جهت تأمین انرژی از یک سیستم الکترونیکی با استفاده از مبدل پیزوالکتریک. پژوهش در علوم توانبخشی. ۹ (٦):٦۹۳-۷۰٤.
۱۶ . کشوری، آ.، ۱۳۹۵. ساخت و تحلیل نانوژنراتور تریبوالکتریک. کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس.
۱۷ . کیانی، پ و عابدینی، ح.،۱۳۹۵. کاربرد انرژی خورشیدی و ارائه سیستم‌های PV و فتوولتائیک. پنجمین کنفرانس بین المللی پژوهش در علوم تکنولوژی. ۵: ۲٤۰-۲۲۹.
۱۸ مصطفوی، ع .، محمودی، م.، ۱۳۹۹. طراحی یک نمونه صنعتی بیسیم ژنراتور ترموالکتریک بر روی دودکش یک ایستگاه تقلیل فشار گاز. نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت انرژی،۱۰ (۱): ۸۲-۹۱.

۱۹ . مفتونی، ن وکمالی، ش.، ۱۳۹٦. پدیده پیزوالکتریک، برداشت انرژی و معروفی ماژول مربوطه در نرم افزار کامسول مالتی فیزیکس. مجله علمی ترویجی انجمن مهندسان مکانیک ایران. ۲٦ (۱۱۵):۷۳-۸۷.

20 . Akhigbe, B.I., Munir, K., Akinade, o., Akanbi, L,. Oyedele, L.O., 2021. IOT technologies for livestock management: A review of resent status, opportunities, and future trends. In: big data and cognitive computing. 5(1): 26 februry:MDPI.

21 .Chilibon, I., 2016. Piezoelectric structures and low power generation devices. Sensors and transducers, 205(10): 16-24.

22 . Gary, N and Rito, G,. 2017. Energy harvesting in IOT devices: A survey. In: International conference on Intelligent sustainable. 1-8 Dec, Palladam:IEEE.

23 . Halachmi, I., GuarinoT M., Bewley, J., Pastell, M., 2018. Smart animal agriculture: application of real-time sensors to improve animal well-being and production. Annual Review of Animal Biosciences, 7:403-425.

24 . Petsaykourokis, I., Tybrandt,K., Crispin, X., Ohkubo,I., Satoh,N., Mori. T.,2018. Thermoelectric materials and applications for energy harvesting power generation. Science and technology of advanced materials :836-862.

25 . Sandip, M., Sumanta,k.k., Juhyun,L., Avnish, K.M, Bhanu, Bkh., kim,j,. 2017. Bio-waste onion skin as on innovative nature-driven piezoelectric marerial with high energy conversion efficiency. Nano Energy, 42: 282-293.

26 . Sultana, A., Alam, m., Middy, T., Mandal, D., 2018. A pyroelectric generator as a self-powered temperature sensor for sustainable thermal energy harvesting from waste heat and human body heat. Applied energy. 221:299-307.

27 . Sumata,K.K., Sandip,M., Sarbaranjan, P., Anirban,M., Suman, K.,Khatua,BH.,2018.A new insight towards eggshell membrane as high energy conversion efficient bio-piezoelectric energy harvester. Materials today Energy. 9:114-125.

28 . Woias,P., Schule, F., Baumke,E., mehne, p., Kroener.M., 2014. Thermal energy harvesting from wildlife. In: 14th International conference on micro and nanotechnology for power generation and energy conversion applications, Hyogo, 18-21 november.

29 . Xle, X.D, Wang, Q., Wu, N., 2013. Potential of a piezoelectric energy harvester from sea waves. Journal of sound and vibration. 333(5): 1421-1429.

A review of different ways for energy harvesting in order to providing power for electric tools with low-voltage.

Zahra Jafari, Faroogh Sharifian*, Rasool Maroofiazar

1- MSc Student, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Urmia University, Urmia, Iran

2- Assistant professor,Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Urmia University, Urmia, Iran

3- Assistant professor, Department of Mechanical Engineering, Maragheh University, Maragheh, Iran

Abstract

Nowadays the use of the internet of things system in agriculture causes an extreme progress in harvesting input. Smart agriculture was developed by using wireless sensor network technology. During the studies, researchers have found that by using different ways in energy harvesting, we can provide electrical power that we need for some sensors with about a few millivolt energy consumptions for use in agriculture. In general energy, harvesting refers to extracting and saving trivial energies from external sources and providing necessary energy for a device with low electrical power. There are different ways of energy harvesting. These ways include Piezoelectric, Thermoelectric, Electromagnetic, Triboelectric, Pyroelectric, Photovoltaic, Electrostatic and other ways. So fundamental objective in energy harvesting is direct changing of environment energy to electrical energy and using of the battery should be avoided in electrical devices with low-voltage consumption.

Key words: Internet of things, Smart agriculture, battery, Thermoelectric, Piezoelectric, Triboelectric, Pyroelectric

***Corresponding author:**

Email: f.sharifian@urmia.ac.ir