الطاقة الكهروضغطية كبديل مستدام لطاقة المنتجات الصغيرة

Piezoelectricity as a Sustainable alternative to the Energy of Small Products

د/ أحمد محمد زايد أحمد

- مدرس بقسم التصميم الصناعي، كلية الفنون التطبيقية، جامعة دمياط، مصر، ahmedzayed@du.edu.eg afterdesign1@gmail.com

شروق محمد فوزي هربد

معيد بقسم التصميم الصناعي - كلية الفنون التطبيقية – جامعة دمياط، مصر، shorokherbd@gmail.com

ملخص البحث: Abstract

يعتبر استخدام الطاقات الجديدة والمتجددة أحد أهم أساليب استدامة المنتجات نظرا لقدرتها على امداد المنتجات بمصادر مستمرة للطاقة، وعدم تأثيرها سلبا على البيئة، وإضافة خصائص جديدة للمنتجات كخفة الوزن، أو السرعة، أو الدقة، أو الشكل الجمالي، والقدرة على الاستخدام في المناطق غير المأهولة. كما تعتبر الطاقة الكهروضغطية أحد أهم الطاقات الجديدة والمتجددة التي يمكن أن تساهم في تحقيق الاستدامة نظراً لاعتمادها على المواد الطبيعية، ونتيجة لذلك فقد بدأ الاهتمام العالمي بتوظيفها، وخاصة فيما يتعلق بتوليد الطاقة من خلال حركة الساق أو عن طريق التنفس أو ضغط الدم، وحرارة الجسم، وحركة الأصابع، والأطراف إضافة الي بناء أنظمة حصاد الطاقة...الخ، وتكمن مشكلة البحث الحالي، في استهلاك المنتجات الصغيرة للعديد من مصادر الطاقة التقليدية خلال دورة حياتها، مما يتسبب بالإضرار بالبيئة نتيجة تصنيع هذه المصادر وتحولها الي مخلفات ضارة يجب معالجتها بعد انتهاء عمرها الافتراضي، كما ان مصادر الطاقة التقليدية تزيد من حجم المنتجات الصغيرة نسبياً. وقد توصل البحث الي مجموعة من المنتجات التي تعمل من خلال الطاقة الكهروضغطية التي تتميز بدقتها وسرعة استجابتها مما يساعد في تقليل حجمها وتكلفتها وزيادة كفاءتها وعمرها الافتراضي، ويساهم في تحقيق الاستدامة من خلال استبدال مصادر الطاقة التقليدية بمصدر بيئي طبيعي مصنوع من مادة الكوارتز.

كلمات دالة: Keywords

الطاقات الجديدة والمتجددة New and Renewable Energies، الطاقة الكهروضغطية piezoelectricity، حصاد الطاقة Energy harvesting، الاستدامة Sustainability، طاقة المنتجات الصغيرة energy of small products

Paper received October 22, 2023, Accepted November 27, 2023, Published on line January 1, 2024

المقدمة: Introduction

تتمتع المواد بأهمية كبري في فنون التصميم، فمن خلالها يتم صياغة الشكل الخارجي الذي يعتمد بدرجة كبيرة على المادة وطريقة صياغتها، ولا يقتصر التصميم على قيمة الشكل فقط وانما الوظيفة التي يؤديها ذلك الشكل، وهنا تبرز العلاقة المتوازنة بين المادة والشكل والوظيفة، فلابد لهذه الاركان الثلاثة ان تكتمل بصورة متوازنة لكي يحقق التصميم غرضه الحقيقي، ولا يمكن ان ينتج المصمم عملا ناجحا، وإن لم تكن المادة التي يستخدمها من النوع المناسب، ويتلائم مع طبيعة التصميم. وقد أدت الثورة الهائلة في المجال الصناعي الي اكتشاف خامات ومواد جديدة أكثر جودة، واقل كلفة وأجمل مظهراً، وتهدف هذه المواد الجديدة إلى تلبية الاحتياجات المتزايدة في الاستخدامات.

(عبدالرزاق وحسن، 2022)

وقد اكتسبت المواد الذكية شعبية خلال العقود الثلاثة الماضية. ونظرا لما أظهرته المواد الكهروضغطية من خصائص أساسية للاستخدامات الهندسية، مثل المستشعرات والمشغلات الصناعية. فقد اصبحت تعمل كأساس لسوق عالمي بمليارات الدولارات وهي ضرورية للعديد من التطبيقات والمنتجات التي تستفيد من هذه الظاهرة. (Shivali, 2022) ويركز البحث الحالي على الجوانب الأساسية للكهرباء الانضغاطية وتطبيقاتها في مختلف المجالات. وتوفير المعلومات الاساسية للمصممين ودارسي التصميم ممن يرغبون في الحصول على معلومات عن الكهرباء الانضغاطية التي يتم استخدامها كمصدر أخضر للطاقة مما يساهم في بناء منتجات مستدامة.

كما أدى الارتفاع السريع في استهلاك الطاقة إلى زيادة الاعتماد على الوقود الأحفوري، مما ساهم في زيادة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون كل عام. وتمثلت أهم الحلول في الانتقال من موارد الطاقة القائمة على الوقود الأحفوري إلى موارد الطاقة المتجددة والمستدامة. وبمرور الوقت فقد تم استبدال الوقود الأحفوري في بعض القطاعات والأنظمة بالطاقة الشمسية وطاقة الرياح وطاقة الكتلة الحيوية وغيرها. كما تم اكتشاف "الكهرباء الانضغاطية" وهي أحد هذه المصادر التي ظهرت في الآونة الأخيرة، (United Nations, 2023) ويتم ذلك من خلال استخدام بلورات مكونة من مواد كهروضغطية لها خصائص معينة وتظهر الكهرباء الانضغاطية بواسطة مواد كهروضغطية.

مشكلة البحث: Statement of the Problem

تستهلك المنتجات الصغيرة للعديد من مصادر الطاقة التقليدية خلال دورة حياتها، مما ينتج عنه كمية هائلة من المخلفات نتيجة انتاج هذه المصادر أو عدم القدرة على معالجتها أو التخلص منها. وتعتبر المواد الكهروضغطية أحد أهم مصادر الطاقة الجديدة والمتجددة التي يمكن الاستعانة بها كمصدر طاقة بديل للمنتجات الصغيرة التي تتطلب قدر ضئيل من الطاقة، مما قد يساهم في تقليل الطلب على أنظمة الطاقة التقليدية غير المستدامة.

أهمية البحث: Research Significance

تكمن أهمية البحث في تحقيق الاستدامة في استخدام مصادر الطاقة للأجهزة الصغيرة من خلال توظيف الطاقات الجديدة والمتجددة، وبخاصة الطاقة الكهروضغطية، مما يسهم في تقليل حجم الأجهزة وتكلفتها ويساهم في زيادة عمرها الافتراضي.

أهداف البحث: Research Objectives

يهدف البحث إلى بيان كيفية استبدال مصادر الطاقة التقليدية للمنتجات الصغيرة ببدائل مستدامة، من خلال تصميم وتطوير بعض المنتجات النماذج التي تعمل من خلال مصادر الطاقة الكهروضغطية التي تتكون من مواد طبيعية كالكوارتز.

منهج البحث: Research Methodology

اتخذ البحث المنهج الوصفي التحليلي/ التجريبي.

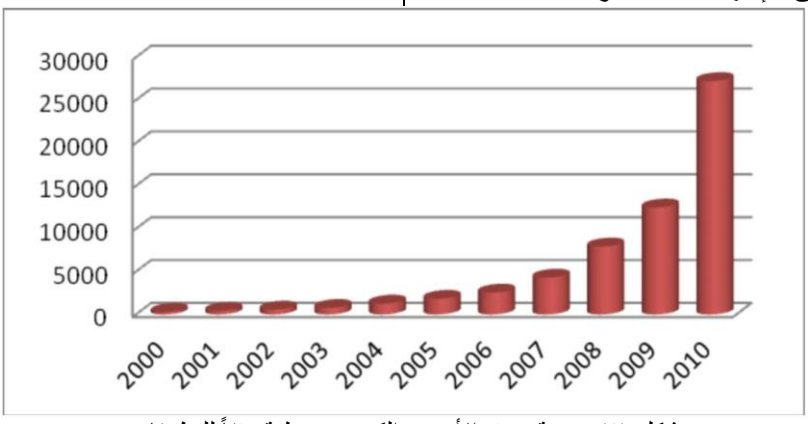
فروض البحث: Hypothesis of Study

إذا أمكن استبدال مصادر الطاقة التقليدية داخل الأجهزة الصغيرة، بمصادر طاقة جديدة ومستدامة مثل الطاقة الكهروضغطية ذات الدقة العالية والاستجابة السريعة والحجم الصغير، فإن ذلك سيساهم في تصغير حجم المنتجات، وتقليل تكلفتها، وزيادة كفاءتها، وعمرها

الافتراضي وتحول المنتجات إلى منتجات مستدامة.

الإطار النظري: Theoretical Framework

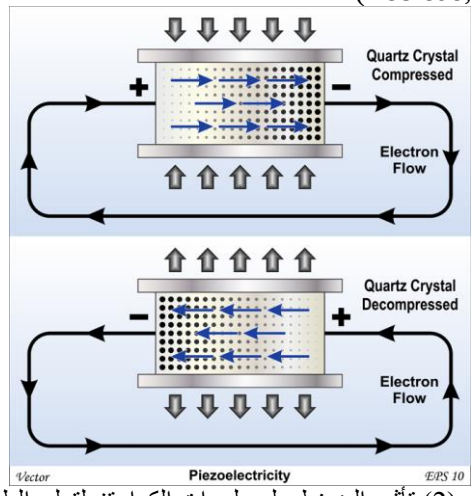
وتعتبر المواد الكهروضغطية واحدة من المواد الذكية الأكثر استخدامًا على نطاق واسع، حيث يمكنها توليد نشاط كهربائي electrical activity استجابة للتشوهات الدقيقة minute deformations، وذلك من خلال تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية عند تطبيق الإجهاد stress أو الانفعال strain والعكس بالعكس. ونظرًا لعرض نطاقها الواسع، والاستجابة الميكانيكية الكهربائية السريعة، ومتطلبات الطاقة المنخفضة نسبيًا، وقوى التوليد العالية فقد زادت نسبة استخدامها وتوظيفها داخل المجالات المختلفة. ويبين شكل (1) نسبة استخدام المواد الكهروضغطية وتطبيقاتها وحصتها في الاسواق (٪) خلال عام 2000 -2010م.



شكل (1) حصة سوق الأجهزة الكهروضغطية وفقاً للتطبيقات

وقد نشأت كلمة piezoelectric من الكلمة اليونانية piezein، وتعني الضغط. وذلك نظرا للضغط على البلورات لصنع تيار كهربائي، وتوجد الكهرباء الانضغاطية Piezoelectricity في الكثير من الأجهزة الإلكترونية اليومية، من ساعات الكوارتز إلى مكبرات الصوت والميكروفونات. وتعد الطاقة الكهروضغطية عملية استخدام البلورات لتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية أو العكس.

ويتم تعريف البلورات العادية من خلال بنيتها المنظمة والمتكررة للذرات التي يتم تثبيتها معًا بواسطة روابط، مما يعرف بخلية الوحدة unit cell. ونظراً لاحتواء معظم البلورات، مثل الحديد، على خلية وحدة متماثلة، فإن ذلك يجعلها عديمة الفائدة للأغراض الكهروضغطية. كما توجد بعض البلورات التي يتم تجميعها معًا كمواد كهروضغطية. وتتميز بنية هذه البلورات بعدم التماثل، والتوازن المحايد كهربائيًا electrically neutral balance. وعند تطبيق الضغط الميكانيكي على تلك البلورات الكهروضغطية، فإن بنيتها تتشوه، وتدفع الذرات، ويتم توصيل التيار الكهربائي. وفي حالة تطبيق تيار كهربائي عليها، فإنها تتوسع وتتقلص، وتحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية كما في شكل (2). (Robledo, 2023)



شكل (2) تأثير الضغط على بلورات الكوارتز لتوليد الطاقة الكهربائية والميكانيكية

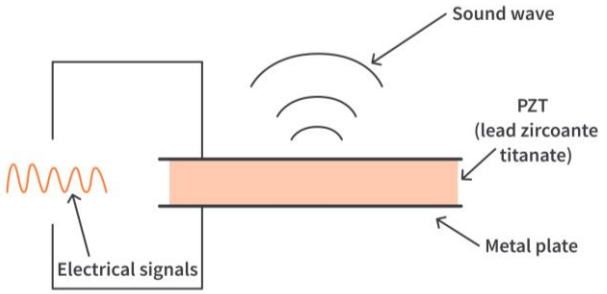
1- تاريخ واكتشاف الكهرباء الانضغاطية:

وقد تم اكتشاف الطاقة الكهروضغطية على يد بيير & Pierre وجاك كوري Jacques Curie لأول مرة في عام 1880م، (Curie, 1880)وذلك من خلال عملهما وخبرتهما في الكهرباء الحرارية pyroelectricity (توليد الكهرباء بواسطة التسخين) على بلورات مختلفة وعلاقة ذلك بالتركيب البلوري، حيث توقعا أن يكون للضغط تأثير في توليد كهرباء. وبالفعل، فقد تمكنا من إثبات ذلك على بلورة الكوارتز والتورمالين والتوباذ والسكر والملح، ووجدا إن بلورة الكوارتز والملح تظهرا الخواص الكهربية بالضغط أكثر من غيرهم، مما يعني أن تطبيق الضغط الميكانيكي على بعض البلورات مثل الكوارتز يطلق شحنة كهربائية، وقد أطلقوا على هذا التأثير اسم التأثير الكهروضغطي.
(APC International piezo, 2023)

وقد استمر هذا الاكتشاف محل دهشة العلماء والباحثين لعشرات الأعوام في محاولة لفهم هذه الظاهرة وعلاقتها بالتركيب البلوري للمادة. وفي عام 1910 نشر العالم Woldemar Voigt's كتابه عن فيزياء البلورات وقدم خلاله وصفاً لعشرون بلورة طبيعية لها القدرة على إنتاج الكهرباء وتمكن من حساب ثابت الكهرباء الانضغاطية بواسطة التحليل الرياضي tensor analysis.

وقد شهدت السنوات الثلاثين التالية، اقتصار تجارب الكهرباء الانضغاطية إلى حد كبير على التجارب المعملية. وخلال الحرب العالمية الأولى، تم استخدام الكهرباء الانضغاطية للتطبيقات العملية في السونار الذي تم تطويره في فرنسا عام 1917م بواسطة العالم Paul Langevin وزملاؤه، وكان اول استخدام لبلورات الكهرباء الإنضغاطية هو مجس يعمل بالأمواج فوق الصوتية في الغواصات الحربية. ويعمل السونار Sonar عن طريق توصيل جهد بجهاز إرسال كهروضغطي. فيما يعرف بالتأثير الكهروضغطي العكسي شكل (3)، والذي يحول الطاقة الكهربائية إلى موجات صوتية ميكانيكية. وتنتقل الموجات الصوتية عبر الماء حتى تصطدم بجسم ما، ثم تعود إلى جهاز استقبال المصدر. حيث يستخدم هذا المتلقي التأثير الكهروضغطي المباشر لتحويل الموجات الصوتية إلى جهد كهربائي، ويتم معالجته بجهاز معالجة الإشارة. ومن خلال حساب الوقت بين زمن مغادرة الإشارة وعودتها، يمكن حساب مسافة الجسم تحت الماء.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



شكل (3) مبدأ التأثير الكهروضغطي العكسي في السونار
(Maestre, 2022)

ونتيجة لنجاح السونار، فقد اكتسبت الكهرباء الانضغاطية أهمية بالغة، وساهمت الحرب العالمية الثانية في تقدم التكنولوجيا بشكل أكبر حيث عمل باحثون من الولايات المتحدة وروسيا واليابان على صنع مواد كهروضغطية جديدة تسمى الكهرباء الحديدية Ferroelectric التي تتميز بقدرتها العالية لتوليد الكهرباء من البلورات الطبيعية. وقد أدى هذا البحث إلى استخدام مادتين من صنع الإنسان جنبًا إلى جنب مع بلورة الكوارتز الطبيعية وهما تيتانات الباريوم barium titanate، وتيتانات الزركونات الرصاصية lead zirconate titanate. (Robledo, 2023)

وقد حرصت شركات الولايات المتحدة الداعمة لأبحاث الكهرباء الإنضغاطية على سرية الأبحاث للاستفادة من براءات الاختراعات بشكل منفرد. وتم اكتشاف مواد ذات خواص كهرباء انضغاطية أفضل من بلورات الكوارتز، ولكن عندما طرحت هذه المواد في السوق الأمريكية لم يُكتب لها النجاح المتوقع لان تسويق هذه المواد يعتمد على التطبيقات العملية التي يمكن توظيفها خلالها. وبدون تطبيقات جديدة لن يكون هناك رواجا لهذه المواد. وعلي العكس مما قامت به الشركات الامريكية، فقد شاركت الشركات اليابانية الداعمة لأبحاث الكهرباء الإنضغاطية معلوماتها التي توصلت إليها مع المؤسسات الصناعية، فكانت النتيجة التطوير المتلازم بين اداء المواد الجديدة والتطبيقات الصناعية لها. فتطورت العديد من المنتجات الحديثة والجديدة مثل مرشحات الراديو والتلفزيون piezoceramic filters والأجراس piezo buzzers وترانسديوسر transducers المستخدمة في التطبيقات الكترونية، ومولدات الشرارة الكهربية المستخدمة في ولاعات السجائر. هذا بالإضافة إلى مجسات خاصة لشركات السيارات لتنبيه السائق إذا ما اقتربت سيارته من عائق في الطريق ليعيد مساره.

وقد تطورت الظاهرة خلال القرن الماضي، وتميزت بعض الفترات بالتقدم السريع والاخرى بالتطور البطيء وأحيانًا فترات من عدم التطور. وكلما أوشك المجال على التوقف ظهرت اكتشافات أو تأثيرات كهروضغطية جديدة أو مواد كهروضغطية جديدة، مما ساهم في فتح مجالات جديدة لتطبيق الكهرباء الانضغاطية. وتتمتع الكهرباء الانضغاطية حاليًا بانتعاش كبير في كل من البحوث الأساسية والتطبيقات الفنية. (Sekhar, 2021)

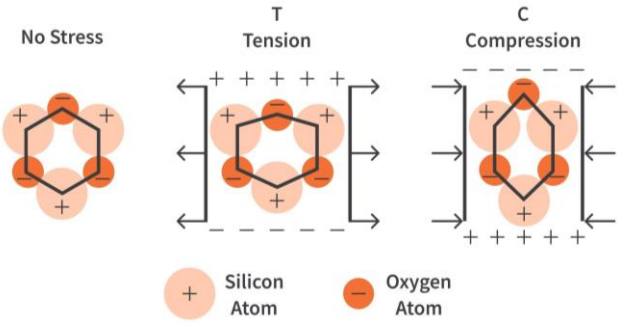
2- ماهية التأثير والنظرية الكهروضغطية:

يعرف التأثير الكهروضغطي بعملية نقل الطاقة الكهربائية والميكانيكية في مادة ما. كما يوصف بأنه الاقتران الخطي بين حالة الإجهاد للمادة واستقطابها الكهربائي. ويتميز هذا التأثير بقابليته للانعكاس؛ كما يمكن أن يتطور الاستقطاب نتيجة الإجهاد المطبق، أو حدوث إجهاد نتيجة لمجال كهربائي مطبق. وتُعرف هذه التأثيرات بالتأثيرات الكهروضغطية المباشرة وغير المباشرة.

ويوجد التأثير الكهروضغطي على نطاق واسع في الطبيعة والعديد من المواد الاصطناعية. وتتميز المواد الكهروضغطية بقدرتها على تحويل الإجهاد الميكانيكي وطاقة الاهتزاز إلى طاقة كهربائية. وتتيح هذه الخاصية فرصًا لتنفيذ الطاقة المتجددة والمستدامة من خلال تجميع الطاقة والاستشعار الذكي المستدام ذاتيًا self-sustained smart sensing.

وتنتج الطاقة عن التشوه أو التحول غير المتماثل asymmetric shift للأيونات أو الشحنات في المواد الكهربائية الانضغاطية، مما يؤدي إلى تغيير في الاستقطاب الكهربائي electric polarization، وبالتالي يتم توليد الكهرباء. وتعتمد كمية الطاقة الناتجة على مقدار القوة المطبقة على المادة والتي تكون طَرقًا، أو ضغطًا، أو نقرًا، أو أي قوة أخرى تؤثر على المادة، ولكنها لا تكسرها. وتساهم هذه القوة في تغيير توازن شحنات المادة. فعلى سبيل المثال، عندما يتأثر توازن شحن البلورة بنسبة 10 %، فإنها تولد الكهرباء من خلال اصدار المادة لشحنة سالبة على وجه واحد، وشحنة موجبة على الوجه المقابل.

وتؤدي البلورات دوراً رئيساً في إظهار التأثير الكهروضغطي، حيث ان البلورة هي أي مادة صلبة تحتوي على ذرات أو جزيئات مرتبة بطريقة منظمة بناءً على تكرار نفس وحدة البناء الذرية الأساسية basic atomic building block (خلية الوحدة). وفي معظم البلورات (كما هو الحال في المعادن)، تكون خلية الوحدة متناظرة؛ أما في البلورات الكهروضغطية، فهي غير متناظرة. كما انها عادة ما تكون محايدة كهربائيًا. حتى ان لم يكن ترتيب الذرات متماثل، ويؤدي تمديد أو ضغط البلورة الكهروضغطية إلى تشويه البنية، مما يدفع بعض الذرات إلى الاقتراب بعضها البعض أو التباعد. مما يخل بالتوازن الموجب والسالب، ويؤدي ذلك إلى ظهور شحنات كهربائية صافية. ويستمر هذا التأثير من خلال البنية البلورية بأكملها، لذا تظهر الشحنات الموجبة والسالبة الصافية على الوجوه الخارجية المتقابلة للبلورة، ويبين شكل (4) التأثير الكهروضغطي في بلورة الكوارتز. (Maestre, 2022)



شكل (4) التأثير الكهروضغطي في بلورة الكوارتز
(Maestre, 2022)

ويمكن استخدام المواد الكهروضغطية بطريقتين وذلك من خلال تطبيق الطاقة الميكانيكية أو الكهربائية على نفس المادة الكهروضغطية والحصول على النتيجة المعاكسة. ولتطبيق الطاقة الميكانيكية على البلورة لتوليد تأثير كهروضغطي مباشر، يتم القيام بالخطوات الأتية:

1- وضع بلورة كهروضغطية بين لوحين معدنيين. وتكون المادة في هذه المرحلة في توازن تام ولا تنتج اي تيار كهربائي.
2- تطبيق الضغط الميكانيكي على المادة بواسطة الألواح المعدنية، مما يؤدي إلى إخراج الشحنات الكهربائية داخل البلورة من التوازن. وتظهر الشحنات السالبة والموجبة الزائدة على جانبي الوجه البلوري.
3- تجمع الألواح المعدنية هذه الشحنات التي يتم استخدامها لإنتاج جهد، وإرسال تيار كهربائي عبر الدائرة.

كما يمكن القيام بعكس هذه العملية، وذلك بوضع إشارة كهربائية على مادة كهروضغطية كتأثير كهروضغطي عكسي. ويتم ذلك من خلال تطبيق الطاقة الكهربائية على البلورة، والتي تتقلص وتتوسع بنيتها، ومن خلال توسع هيكل البلورة وانكماشها، فإنها تحول الطاقة الكهربائية، وتطلق الطاقة الميكانيكية في شكل موجة صوتية. ويستخدم هذا التأثير الكهروضغطي العكسي في مجموعة متنوعة من التطبيقات، مثل مكبر صوت.

وقد ساهم التأثير الكهروضغطي مع تكنولوجيا النانو في تطور

أنظمة الطاقة الخضراء من خلال ظهور المواد الكهروضغطية النانونية Piezoelectric Nanomaterials. حيث يتم حصاد الطاقة من خلال التأثيرات الميكانيكية للضغط compression، والشد tension، والقص shear، والانحناء bending، والالتواء torsion، والتعب fatigue...الخ. وتتسبب الإلكترونيات الضغطية في تفاعل السلوك الكهروضغطي وسلوك شبه الموصل لتنظيم حواجز الطاقة عند الأسطح الملامسة contact surfaces، والتي بدورها تتحكم في نقل حامل الشحنة carrier transport. وتعمل الطاقة الميكانيكية الحيوية المستمدة من الأجهزة النانوية الكهروضغطية على تشغيل الأجهزة الإلكترونية القابلة للزرع بدون بطاريات. وتُظهر المولدات الكهربائية القائمة على واجهات النانو الكهروضغطية القدرة على التطوير الذاتي للطاقة self-powered development حتى مع النفايات الحيوية bio-waste، مما يزيل قيود شحن البطاريات الحالية. ويمثل إدخال المولدات النانوية تغييرًا عميقًا في اتجاه الحصاد الكهربائي على نطاق صغير micro-scale electric harvesting. ويمكن تحقيق الجيل التالي من التقنيات المحايدة للمناخ climate-neutral technologies من خلال استخدام الطاقة الميكانيكية في كل مكان.(Singh, 2023)

3- تصنيف المواد والأجهزة الكهروضغطية:

3-1 تصنيف المواد الكهروضغطية classification of piezoelectric material:

لقد بدأت التكنولوجيا الكهروضغطية في الانطلاق بعد الحرب العالمية الأولى، وهناك مجموعة متنوعة من المواد الكهروضغطية الطبيعية التي يمكنها توليد تيار كهربائي، كما تم تطوير بعض المواد من صنع الإنسان لمنافسة أداء الكوارتز، وتعتبر بلورة الكوارتز أول مادة كهروضغطية تستخدم في الأجهزة الإلكترونية. وهناك العديد من المواد الكهروضغطية الأخرى الموجودة بشكل طبيعي مثل سكر القصب cane sugar، وملح روشيل Rochelle salt، وتوباز topaz، والتورمالين tourmaline، والعظام bone.

ويعتبر استخدام سلالة المواد الكهروضغطية في حصاد الطاقة energy harvesting، أمرًا مهمًا للغاية لأنه يؤثر على أداء وكفاءة الطاقة. ويمكن تصنيف المواد الكهروضغطية بشكل أساسي إلى أربع فئات رئيسية وهي البلورة الأحادية Single crystal مثل (ملح روشيل Rochelle salt، نيوبات الليثيوم Lithium niobate، بلورة الكوارتز Quartz crystal)، السيراميك Ceramics (تيتانات الباريوم Barium titanate، تيتانات الرصاص Lead zirconate titanate، KNbO3)، البوليمرات PVDF، PLA) والبوليمرات المشتركة Co- Polymers، السليلوز Cellulose والمشتقات derivates) ومركبات البوليمر Cellulose- Polymer Composites (PVDF-ZnO، Polyamides-PZT BaTiO3). ومن بين كل هذه البلورات، تُستخدم PZT (تيتانات الرصاص الزركوني Lead zirconate titanate) على نطاق واسع في أجهزة الاستشعار والمحولات الكهروضغطية نظرًا لخواصها الكهروضغطية الأفضل. وفيما يلي شكل (5) الذي يبين أنواع المواد الكهروضغطية وتصنيفها

شكل (5) أنواع المواد الكهروضغطية وتصنيفها

ومن خلال الاستعانة بالمواد الكهروضغطية المختلفة، فقد ظهرت الألياف الكهروضغطية متعددة المواد multi-material piezoelectric fibre، وقد تم انتاجها في البداية عن طريق الإنتاج متعدد العمليات حيث تم استخدام بوليمر مشترك من PVDF و P(VDF-TrFE) والبولي كربونات، مما زاد من تكلفة انتاج الألياف وعدم القدرة على توسيع نطاق الإنتاج.(Egusa, 2010) وبتطوير عمليات الإنتاج تم إنتاج أول ألياف كهروضغطية مرنة بنجاح من خلال عملية مستمرة على جهاز بثق ذوبان مخصص customized melt extruder. وتعتبر هذه العملية فعالة من حيث التكلفة نظرًا لأن استقطاب الألياف fibre polarization يتم أثناء إنتاجها، مما يسهل معه توسيع نطاق العملية للإنتاج.

وقد ساهمت هذه الألياف في دمج الخلايا الكهروضغطية في العديد من الأنظمة والمنتجات نظراً لمرونتها وتطور قدراتها ودمجها داخل هياكل المنتجات، مما يعني قدرتها على نقل الطاقة لكافة جوانب المنتج، أو استخدامها كمجسات/حساسات داخل هياكل المنتجات، مما يساهم في تطوير المنتجات وزيادة دورة حياتها وعمرها الافتراضي لتتحول الي منتجات مستدامة.

3-2 تصنيف الأجهزة الكهروضغطية:

تستخدم المواد الكهروضغطية في صناعة أربعة أجهزة أساسية تتمثل في المولدات Generators، وأجهزة الاستشعار sensors، والمحركات actuators، والمحولات transducer، وتختلف فيما بينها اعتمادًا على نوع التأثير الفيزيائي المستخدم. ويتم توظيف هذه المنتجات لأداء العديد من الوظائف الأساسية، كما يتم تصنيفها بناءً على التأثير الذي تظهره. وفيما يلي عرض لأهم التأثيرات الناتجة من هذه المواد.

3-2-1 التأثير الكهربائي الانضغاطي المباشر direct piezoelectric effect

هو التأثير الذي يتم فيه تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية. ويستخدم هذا التأثير في المولدات وأجهزة الاستشعار. ويستخدم ذلك كمقياس لإشارة شحن أو جهد بين سطحين من المادة. وتستخدم هذه

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

التقنية في عمل المستشعرات Sensors مثل مقياس التسارع Accelerometer، ومستشعر الضغط / القوة pressure/force sensor، إضافة الى استخدامها في المولدات Generators مثل مولدات حصاد الطاقة Energy harvesting، وأجهزة الإشعال ignitors.

2-2-3 التأثير الكهربائي الانضغاطي العكسي inverse piezoelectric effect

هو العملية الذي يتم فيها تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية. مما ينتج عنه ظهور تأثير كهروضغطي معكوس inverse piezoelectric effect للمحرك. وتستخدم هذه التقنية في عمل المحركات مثل المحركات الفوق صوتية Ultrasonic motors.

3-2-3 التأثير المزدوج:

يتم فيه استخدام كل من التأثيرات المباشرة والتأثيرات الكهروضغطية العكسية ويظهر في بعض المحولات transducers، ومثال على ذلك محولات الطاقة التي تستخدم في أجهزة السونار بالموجات فوق الصوتية Ultrasonic sonar devices.

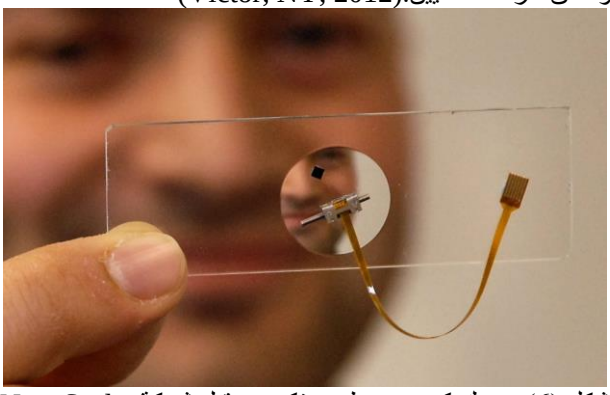
4- مجالات استخدام الخلايا الكهروضغطية:

تستخدم المواد الكهروضغطية على نطاق واسع في مختلف التطبيقات الإلكترونية مثل محولات الطاقة transducers، وأجهزة الاستشعار sensors والمحركات actuators. كما تستخدم في مجال التطبيقات الطبية الحيوية biomedical applications، كما تسمح المواد الكهروضغطية بتوصيل محفز كهربائي electrical stimulus للخلايا لتعزيز تكوين الأنسجة دون الحاجة إلى مصدر طاقة خارجي.(Rajabi, Jaffe, & Arinzeh, 2015) وهناك العديد من الأبحاث التي تركز على كيفية توليد الكهرباء الانضغاطية في الأنسجة البيولوجية، والاستجابة البيولوجية للتحفيز الكهربائي، والمواد الكهربائية الانضغاطية التي يمكن استخدامها لتجديد الأنسجة. كما تستخدم المواد الكهروضغطية في مجموعة واسعة من مجالات الحياة اليومية التي تحتوي على طاقة ميكانيكية، حيث تُفقد كمية كبيرة من هذه الطاقة في شكل حرارة أو طاقة حركية. وقد أظهرت الاستفادة من تقنيات حصاد الطاقة المفقودة باستخدام المواد الكهروضغطية نجاحًا كبيرًا. ويستخدم هذا النوع من التكنولوجيا في بعض البلدان المتقدمة. كما تستخدم في العديد من التطبيقات في المجالات الطبية، الدفاعية، والصناعية وغيرها. وتتميز الأجهزة التي تستخدم مواد كهروضغطية بكفاءة عالية وعمر افتراضي أطول.

ويمكن للمواد الكهروضغطية تحويل الطاقة الكهربائية والميكانيكية مباشرة، مما يجعلها جذابة للتطبيقات مثل أجهزة الاستشعار sensors، والمشغلات actuators، وأجهزة تجميع الطاقة energy harvesting (EH). وغالبًا ما ترتبط بمواد السيراميك Ceramic، كما ان هناك العديد من البوليمرات التي أظهرت تأثيراً كهروضغطي. وتتميز هذه البوليمرات الكهروضغطية بالمرونة flexibility، وسهولة المعالجة ease of processing، والتوافق الحيوي biocompatibility، مما يعنى أفضليتها في تطبيقات معينة، وذلك على الرغم من معاملاتها الكهروضغطية المنخفضة. (Smith & Kar-Narayan, 2022)

وهناك عدد من عائلات البوليمر التي تقدم تأثيرات كهروضغطية. مثل البوليمر الكهروضغطي المعروف (بولي فلوريد فينيلدين poly vinylidene fluoride)، كما تشير الأبحاث الى ظهور السلوك الكهروضغطي في العديد من البوليمرات الاخرى مثل البولي يوريا polyureas،(Fukada, 1998) والبولي أميد polyamides، (Mathur, 1984) والبتيدات polypeptides، (Kholkin, 2010) والبوليستر polyester.(Fukada E. , 1992) وفيما يلي سيتم القاء الضوء على أهم تطبيقات المواد الكهروضغطية في المجالات المختلفة. (Shivali, 2022)

وقد تم استخدام الخلايا الكهروضغطية في تطبيقات متنوعة بسبب وقت الاستجابة القصير والدقة العالية (Hunstig, 2017) ويعتبر المحرك الصغير الكهروضغطي ودائرة القيادة المصغرة، أحد الأمثلة على تمكين أنظمة الحركة الصغيرة التي تعمل مباشرة من خلال طاقة البطارية 3 فولت، وقد حصلت شركة New Scale Technologies Inc.، على براءة اختراع أمريكية لمحركها الكهروضغطي المصغر منخفض الجهد، حيث يعمل المحرك -شكل (6)- مباشرة باستخدام جهد بطارية منخفض يصل إلى 2.3 VDC، دون الحاجة إلى دوائر التعزيز boost circuits، ويقلل هذا الاختراع من حجم الانظمة وتكلفة المكونات ويتيح التكامل في مجموعة واسعة من المنتجات التي تعمل بالبطاريات battery-driven products مثل العدسات البصرية optical lenses. كما يتميز المحرك بأنه أصغر بأكثر من خمس مرات من أنظمة المحركات الخطية الكهرومغناطيسية electromagnetic linear motor التجارية ويستخدم طاقة أقل بنسبة 40٪، مع توفير قوة ونطاق حركة تنافسيين.(Victor, NY, 2012)



شكل (6) محرك كهروضغطي مبتكر من قبل شركة New Scale Technologies Inc

ولتحقيق جهد التشغيل المنخفض، فقد تم تطوير دائرة محرك NSD-2101 بالشراكة مع شركة AMS، لعمل خوارزميات التحكم لزيادة كفاءة المحرك على نطاق واسع خلال ظروف التشغيل. وتستخدم هذه المحركات في مجال تصوير المستخدمين consumer imaging، والأمن، والمصادقة البيومترية biometric authentication، والمراقبة surveillance، والأجهزة الطبية medical devices، والأدوات العلمية scientific instruments، والأنظمة اللمسية haptic systems، وتطبيقات تحديد المواقع الدقيقة micro positioning applications،...الخ.

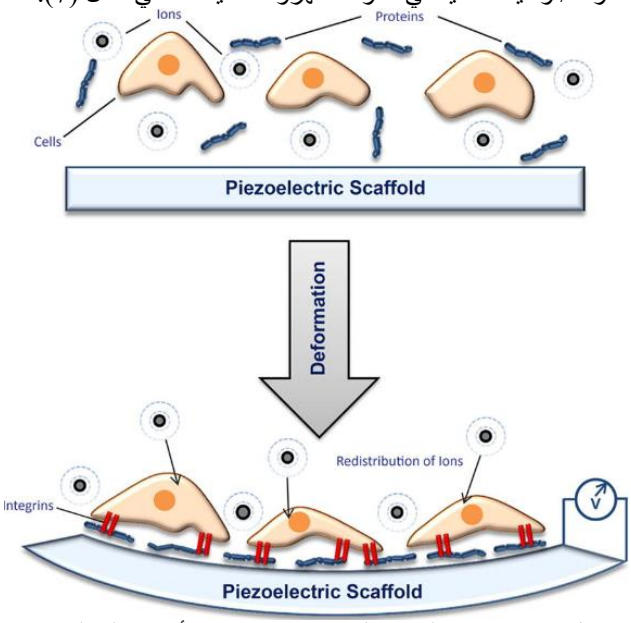
وتستخدم الكهرباء الانضغاطية في العديد من التطبيقات، وقد تم استخدامها مؤخراً في مترو أنفاق طوكيو، حيث يتم الاستفادة من قوة خطى الإنسان لتشغيل الهياكل الكهروضغطية في الأرض. وفيما يلي سيتم القاء الضوء على أهم مجالات استخدام الخلايا الكهروضغطية. (Robledo, 2023)

1-4 المجال الطبي:

لقد لاحظ مارتن Martin (Martin, 1941) -عام 1940م- أول عرض للكهرباء الانضغاطية البيولوجية، عندما اكتشف شحنات كهربائية من حزمة من الصوف مغلفة في الشيلاك shellac أثناء ضغطها بواسطة لوحين من النحاس الأصفر. وقد أثار اكتشاف الكهرباء الانضغاطية والمجالات الكهربائية الداخلية endogenous electric fields وإمكانات الغشاء في الأنسجة البيولوجية التساؤل عما إذا كانت الحقول الكهربائية تلعب دورًا مهمًا في وظيفة الخلية أم لا. مما ساعد على تطوير تقنيات محاكاة الكهرباء البيولوجية لتجديد الأنسجة. وقد أدت النتائج الواعدة للتحفيز الكهربائي على نمو الخلايا وتمايزها ونمو الأنسجة إلى الاهتمام باستخدام السقالات الكهروضغطية piezoelectric scaffolds لإصلاح الأنسجة issue repair.

وتولد المواد الكهروضغطية نشاطًا كهربائيًا عند تشوهها. مما يعنى عدم الحاجة إلى مصدر خارجي لتطبيق التحفيز الكهربائي أو زرع الأقطاب الكهربائية implantation of electrodes. وقد تم استخدام مواد كهروضغطية مختلفة لتطبيقات إصلاح الأنسجة المختلفة، وخاصة في مجال إصلاح العظام، حيث يمكن أن تعزز الشحنات الناتجة عن الإجهاد الميكانيكي في تكوين العظام؛ وفي هندسة الأنسجة العصبية neural tissue engineering، حيث يمكن للنبضات الكهربائية أن تحفز النمو الاتجاهي لمحور الخلية لملء الفجوات في إصابات الأنسجة العصبية. (Rajabi, Jaffe, & Arinzeh, Piezoelectric materials for tissue regeneration: A review, 2015)

وتقوم فكرة عمل هذه التقنية على استخدام الشحنات السطحية المتولدة الناتجة عن مادة كهروضغطية في إعادة توزيع البروتينات والأيونات خارج الخلية. ويمكن للتغييرات في جهد التدفق streaming potential، وتجميع الأنواع الأيونية aggregation of ionic species، وامتصاص البروتينات adsorption of proteins، على سطح المادة أن تسهل التفاعل بين الخلية والمادة. وقد يحدث أيضًا تدفق للأيونات إلى الخلايا والذي يمكن أن يعزز سلوك / وظيفة الخلية في المواد الكهروضغطية كما في شكل (7).



شكل (7) استخدام الخلايا الكهروضغطية في الأنسجة البيولوجية

وتوجد الكهرباء في الأنسجة الحية على شكل طاقة متولدة عن الإجهاد، ومجالات كهربائية داخلية. وقد تم إجراء العديد من الدراسات حول ما إذا كان تقليد هذه المجالات الكهربائية البيولوجية يمكن أن يعزز النمو والإصلاح أم لا، وأسفرت بعض هذه الجهود عن تجارب سريرية أو علاجات طبية معتمدة. حيث أدى غرس المواد الكهروضغطية في الجسم الحي إلى نتائج جيدة في إصلاح إصابات الأعصاب وتكوين العظام والتئام الجروح، والتي ترجع إلى توليد الشحنات نتيجة لحركة الجسم والضغط الفسيولوجي على المادة الكهروضغطية. (Rajabi, Jaffe, & Arinzeh, Piezoelectric materials for tissue regeneration: A review., 2015)

ويجب أن تكون المواد المستخدمة في السقالات الكهروضغطية piezoelectric scaffolds متوافقة حيوياً، وأن تمتلك معاملات كهروضغطية معقولة. وتعتبر تيتانات زركونات الرصاص (PZT) lead zirconate titanate أكثر المواد الكهروضغطية شيوعًا في الإلكترونيات. وقد تم استخدامها لبناء صفعة عصبية تعمل بالطاقة لاسلكيًا wirelessly powered nerve-cuff، حيث تم تشويه سيراميك بيزوسيراميك المزروع بواسطة الموجات فوق الصوتية التي تشع عبر الجلد، وبالتالي تولد نبضات كهربائية يمكن أن تسبب نفضًا عضليًا في الطرف الخلفي.

وقد تم اكتشاف كهروضغطية فلوريد البولي فينيلدين (PVDF) polyvinylidene fluoride بواسطة كاواي (Kawai, 1969) ويعتبر هذا البوليمر بديلاً مرشحًا لـ PZT. ونظرًا لمرونته وعدم سميته، فقد تم استخدام PVDF في مجموعة متنوعة من التطبيقات الطبية الحيوية، من سقالات هندسة الأنسجة إلى الأجهزة ذاتية التشغيل القابلة للزرع.

كما قدم هاوسلر وستاين Hausler and Stein دراسة حول تجميع الطاقة بواسطة المواد الكهروضغطية في بيئة بيولوجية. وقد أشاروا الي أن استخدام فيلم PVDF الكهروضغطي وأحد المحولات يمكن أن يحول الطاقة الميكانيكية الناتجة عن تنفس كلب إلى طاقة كهربائية. وقد تم تصميم نموذج أولي مصغر مع ملامسات كهربائية وميكانيكية صلبة، وتم تثبيت المادة الكهروضغطية على أضلاع الكلب، وتم إنتاج جهد كهربائي يصل إلى 18 فولت من خلال حركات الأضلاع أثناء التنفس التلقائي. إلا أن الطاقة المولدة كانت حوالي 17 ميكرو واط، ولم تكن كافية لتشغيل جهاز إلكتروني. (E. Häsler, 1984) وبعد أكثر من عقد من الدراسة على الحيوانات، درس ستارنر Starner إمكانية استخلاص الطاقة من حركات الجسم باستخدام مواد كهروضغطية. وأشار الي أن جسم الإنسان يمكن أن يكون مصدرا للطاقة الكهربائية القابلة للحصاد والتي يمكن الاستفادة بها في تشغيل أجهزة الكمبيوتر المحمولة mobile computers. وقام بدراسة أجزاء مختلفة من الجسم، مثل المشي وحركة الأطراف العلوية وحركات الأصابع وضغط الدم ...الخ، وقام بتحليل إمكانية الحصول على الطاقة من هذه الأجزاء. وأوضح أن كمية الطاقة المفقودة أثناء المشي تبلغ حوالي 67 واط، ومن خلال تركيب جهاز PZT داخل الحذاء بكفاءة 12.5%، يمكن توليد ما يصل إلى 8.4 واط من الطاقة الكهربائية. كما اقترح إمكانية تخزين الطاقة المحصودة باستخدام مكثف.(Starner, 1996)

كما أظهرت نتائج Shenck توليد الطاقة القابلة للحصاد من محول طاقة بيزو سيراميكي ثنائي الشكل bimorph piezoceramic transducer، ودمجه في ملحق تقويم العظام الجاهز off-the-shelf orthopedic insert، والذي تم دمجه في نعل الحذاء، ويتم إزالة الطاقة المخزنة من هذه الشحنة في ذروتها وتحويلها إلى شكل مفيد باستخدام تقنية التبديل عالية التردد. تم تقييم أنظمة التنظيم المختلفة. وأشارت إحدى النتائج الي أن استخدام مادة كهروضغطية ثنائية يؤدي إلى توليد المزيد من الطاقة. كما أن محول الطاقة ثنائي الشكل كان أكثر فعالية في التطبيق لأنه كان أكثر تكيفًا مع التوزيعات المختلفة لوزن الجسم وسرعة سقوط القدم.
(Shenck, 1999)

2-4 مجال النقل والمواصلات:

ينص القانون العالمي لطاقة الحفظ conservation energy على أنه لا يمكن إنشاء الطاقة أو تدميرها، بل تحويلها من شكل واحد من أشكال الطاقة إلى شكل آخر من أشكال الطاقة، وعادة ما يتم التعامل مع عملية التحويل على أنها نقل للطاقة بحيث يُمكّن الطاقة من البقاء في حالة مختلفة أو التحول إلى نوع آخر عبر المولدات أو محولات الطاقة. وقد عمل Najini, Hiba, and Senthil Arumugam (Najini & Muthukumaraswamy, 2017) على فكرة تسخير الطاقة الحركية المنبعثة من حركة مرور المركبات في شكل اهتزاز بسبب سرعة السفر والإجهاد الناجم عن الجاذبية لإضاءة الشوارع وإشارات المرور والرادارات والمنازل السكنية، لتقليل انبعاثات الاحتباس الحراري عن طريق تقليل متطلبات الطاقة من الشبكة. وقد اعتمدت الطاقة الحركية الناتجة من سطح الطريق على بنية ونوعية المحولات الكهروضغطية المضمنة تحتها، والتي يُعتقد أنها أكثر كفاءة من طاقة الرياح أو الطاقة الشمسية من حيث الجوانب الاقتصادية بناءً على تكلفة الطاقة المستوية (LEC) levelized energy cost.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

ويقوم السائقون بتحويل بطارية الجهد المنخفض low-voltage battery إلى جهد أعلى والتي يمكن استخدامها لتشغيل جهاز كهروضغطي piezo device. وتبدأ عملية التضخيم amplification process بمذبذب oscillator يُخرج موجات جيبية sine waves أصغر. ثم يتم تضخيم هذه الموجات الجيبية بمضخم كهروضغطي piezo amplifier.

وقد تمكن Najini, Hiba, and Senthil Arumugam من بناء نظام تقني قائم على المحاكاة لدعم مفهوم توليد الطاقة من حركة المرور على الطرق باستخدام مواد كهروضغطية. وقد اعتمد تصميم المحاكاة على إضافة كافة متغيرات الحياة التي يمكن قياسها وتؤثر في القيم الواقعية للنتائج، وذلك باستخدام منصة محاكاة الواقعية والتي تُعرف باسم MATLAB-Simulink. وتم بناء هيكل تصميم النظام مع الأخذ في الاعتبار العوامل المتضمنة في مجال علوم المواد لنمذجة مولد الكهرباء الانضغاطية ومجال إلكترونيات الطاقة للوصول الى نتيجة واقعية. ويعتمد النظام على مصدر الطاقة المشتق من الطاقة الحركية المنبعثة من المركبات والتي تنتج بسبب إجهاد المركبات على سطح الطريق ويتم تحويلها الي الطاقة الكهربائية، ومن خلال استخدام نتائج توليد الطاقة القائمة على المحاكاة أمكن تقييم الجدوى الفنية، والتقنية والاقتصادية وتقدير تكلفة التنفيذ ووقت الاسترداد في الحياة الواقعية بدولة (الامارات العربية المتحدة)، وقد أكدت النتائج على فاعلية هذه الأنظمة في توليد طاقة نظيفة باستخدام الخلايا الكهروضغطية والتي يمكن الاستفادة منها في العديد من التطبيقات.

4-3 مجال البناء والمنازل الذكية:

يوجد التأثير الكهروضغطي على نطاق واسع في الطبيعة والعديد من المواد الاصطناعية. وتتميز المواد الكهروضغطية بقدرتها على تحويل الإجهاد الميكانيكي mechanical strain، وطاقة الاهتزاز vibration energy إلى طاقة كهربائية. وتتيح هذه الخاصية فرصًا لتنفيذ الطاقة المتجددة والمستدامة من خلال حصاد الطاقة power harvesting والاستشعار الذكي الذاتي self-sustained smart sensing في المباني. ويعتبر معجون الأسمنت العادي أكثر مواد البناء شيوعًا، الا أنه يفتقر إلى الكهرباء الانضغاطية المرضية وغير فعال في حصاد الطاقة الكهربائية من الاهتزازات المحيطة لنظام البناء. وقد ساهم الطلب المتزايد على الطاقة في قطاع البناء، الناجم عن النمو السكاني وتعزيز خدمات البناء ومستويات الراحة، إلى جانب زيادة الوقت الذي يتم قضاؤه داخل المباني، في زيادة معدلات الاستخدام العام للطاقة (Lombard, Ortiz, & Pout, 2008). وللتقليل إلى أدنى حد من أثر الاحتياجات المتزايدة من الطاقة في قطاع البناء، فقد اكتسب إدماج مصادر الطاقة البديلة أهمية قصوى. (Li & Strezov, 2014)وفيما يلي سيتم التركيز على التطورات في معجون الأسمنت والبلاطات الكهروضغطية كأحد مكونات البناء الأكثر انتشاراً.

4-3-1 معجون الأسمنت:

لقد تم اقتراح العديد من التقنيات وتطبيقها لتحسين القدرة الكهروضغطية للمركب المعتمد على الأسمنت، وذلك من خلال دمج المزيج والفيزياء. حيث ان التطبيق الناجح للمواد الكهربائية الانضغاطية من أجل التنمية المستدامة للمباني لا يعتمد فقط على فهم آلية الخواص الكهروضغطية لمكونات المبنى المختلفة، بل يعتمد أيضًا على أحدث التطورات والتطبيقات في صناعة البناء. لذلك، فقد ظهرت العديد من الجهود البحثية لتطوير مواد بناء جديدة ذات طاقة كهروضغطية عالية وقدرة تخزين عالية للطاقة. وظهرت العديد من التقنيات لاستخدام المواد الكهروضغطية في حصاد الطاقة وأجهزة الاستشعار والمشغلات لأنظمة البناء المختلفة مع الأساليب المتقدمة لتحسين الكهرباء الانضغاطية للأسمنت وتطبيق الكهرباء الانضغاطية للمواد لوظائف البناء المختلفة، ومن المتوقع أن تساهم هذه التقنيات في ظهور أنظمة بناء أكثر تجددًا واستدامة.

4-3-2 البلاطات الكهروضغطية piezoelectric tiles:

لقد تم توظيف طائفة واسعة من مصادر الطاقة المتجددة – خلال العقود الماضية- باعتبارها الحل الأمثل، مثل الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والطاقة الكهرومائية. وقد تزايد الاهتمام باستكشاف مصادر حصاد الطاقة الداخلية indoor energy harvesting sources. نظرا لكونها أحد مصادر الطاقة الداخلية وعنصر هام في تنوع الطاقة وموثوقيتها عندما تكون موارد الطاقة المتعلقة بالطقس ضئيلة. وتوجد داخل المبنى مجموعة من مصادر الطاقة المحيطة القابلة للحصاد، مثل تسخين النفايات waste heating، وتدفق المياه flowing water، والموجات الكهرومغناطيسية electromagnetic waves، والاهتزازات vibration.

وقد حظي حصاد الطاقة القائم على الاهتزاز The vibration-based energy harvesting، والذي يُطلق عليه توليد الطاقة الكهروضغطية piezoelectric energy generation، بأكبر قدر من الاهتمام نظرًا لقدرته على التقاط الطاقة المحيطة، وتحويل طاقة الإجهاد strain energy المطبقة مباشرة إلى طاقة كهربائية قابلة للاستخدام، إضافة الي سهولة دمجها في الأنظمة المختلفة. وتتميز المواد الكهروضغطية بقدرتها على توليد الطاقة من نانو وات إلى نطاق وات، اعتمادًا على المواد الكهروضغطية وتصميم النظام.

وكان الدافع للبحث في هذا المجال هو تخفيض متطلبات الطاقة من المكونات الإلكترونية الصغيرة التي تغذي أجهزة الاستشعار المستخدمة في تطبيقات الرصد السلبي والنشط عن بعد، وتفادي قيود أسلاك الكابلات المعقدة والاستبدال الدوري للبطارية، لذا فقد طور روندي Roundy ورايت Wright مولد كهروضغطي ونموذج تحليلي للتحقق من صحة التصميم. وقد تم استخدام هذا المولد بنجاح لتشغيل جهاز إرسال لاسلكي من مصدر اهتزازي يبلغ 2.5 متر2/ث عند 120 هرتز. كما ثبت أن المولد الكهروضغطي المماثل يعمل بتردد اهتزازي أوسع بكثير من 40 هرتز إلى 1000 هرتز. ولتوسيع التكنولوجيا الكهروضغطية فقد تم تطوير أجهزة تخزين الطاقة النسبية relative energy لتراكم كمية كافية من الطاقة لتشغيل الإلكترونيات.

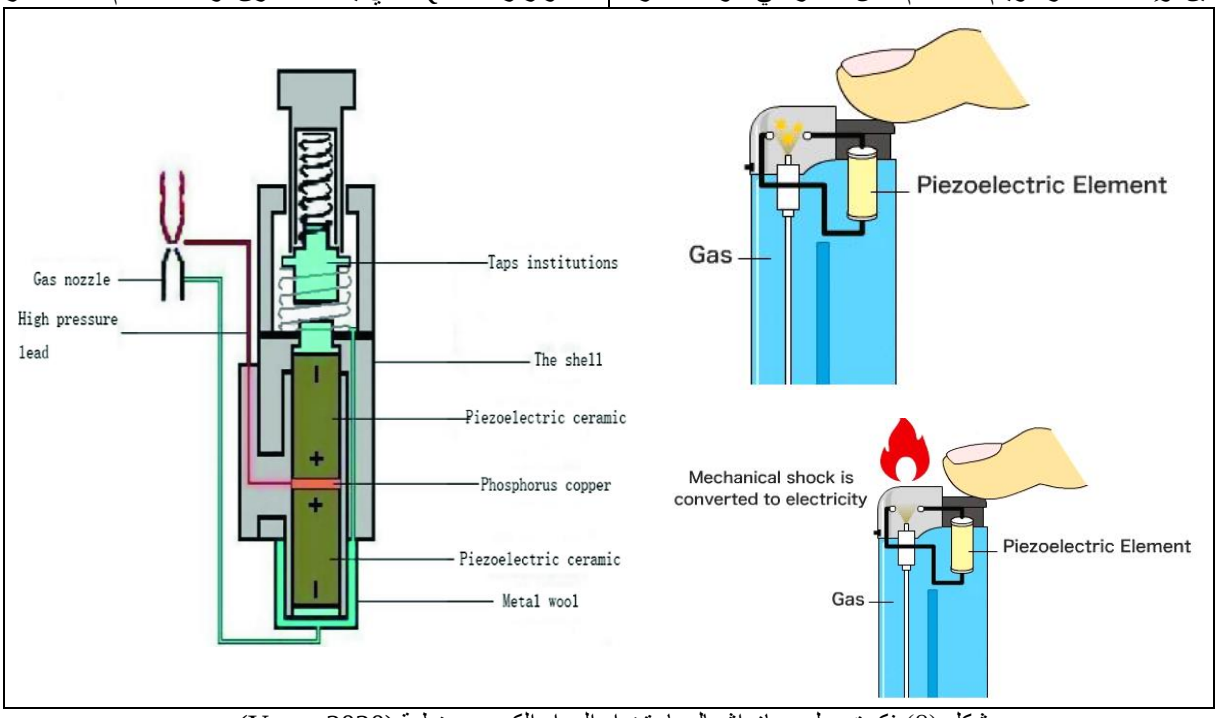
وقد ظهرت عدة محاولات للتطبيق الكلي للتكنولوجيا الكهروضغطية، فقد تم تجربة الطوابق الكهروضغطية منذ بداية عام 2007م في محطتي قطار يابانيتين، طوكيو Tokyo وشيبويا Shibuya. وتم استخدام الكهرباء المولدة من حركة السير على الأقدام لتوفير الكهرباء اللازمة لتشغيل بوابات التذاكر الآلية ونظم العرض الإلكترونية. وفي لندن، فقد استغل ملهى ليلي شهير هذه التكنولوجيا الكهروضغطية في حلبة الرقص لتشغيل أجزاء من أنظمة الإضاءة والصوت في النادي بواسطة بلاط حصاد الطاقة. ومع ذلك، فإن البلاط الكهروضغطي المنتشر على الأرض عادة ما يحصد الطاقة من ضربات التردد المنخفض التي توفرها حركة السير على الأقدام.

4-4 مجال المنتجات البسيطة:

تعتبر المواد الكهروضغطية أحد أهم مصادر الطاقة النظيفة والبسيطة التي يمكن استخدامها داخل المنتجات، دون الحاجة الي وصلات ودوائر الشحن التي تتطلب العديد من العمليات التكنولوجية وتوافر مساحة داخل المنتج، وتتعرض للتلف بصورة مستمرة. وفيما يلي سيتم عرض بعض الأمثلة لتوظيف الطاقة الكهروضغطية للاستفادة القصوى منها كبديل لمصادر الطاقة التقليدية غير المستدامة.

ويعد جهاز إشعال الغاز electric lighter شكل (8) أبسط تطبيق للمواد الكهروضغطية، ويستخدم هذا الجهاز على نطاق واسع في الحياة اليومية. وتعتمد فكرة الاشعال في هذا المنتج على المواد

الكهروضغطية حيث تنتج المادة الكهروضغطية المضمنة في المشعل شرارة كهربائية عندما يتم تطبيق قوة شديدة عليها بمطرقة زنبركية محملة بنابض spring-loaded hammer إلى بلورة كهروضغطية. وينتج عن ذلك تيار كهربائي يعبر فجوة الشرارة لتسخين وإشعال الغاز. ويتم استخدام نفس الأمر في مواقد الغاز الكبيرة والأفران، وعلى الرغم من أن بعض الأجهزة تستخدم أسلاكًا لتوجيه الشرارة إلى مكان معين، إلا أن الكهرباء الانضغاطية لا تتطلب توصيلات كهربائية. مما يزيد من العمر الافتراضي للأجهزة الكهروضغطية وخاصة مع استخدام مواد كهروضغطية صلبة مثل الكوارتز Quarts الذي يتحمل الطرق او الاصطدام لألاف المرات.

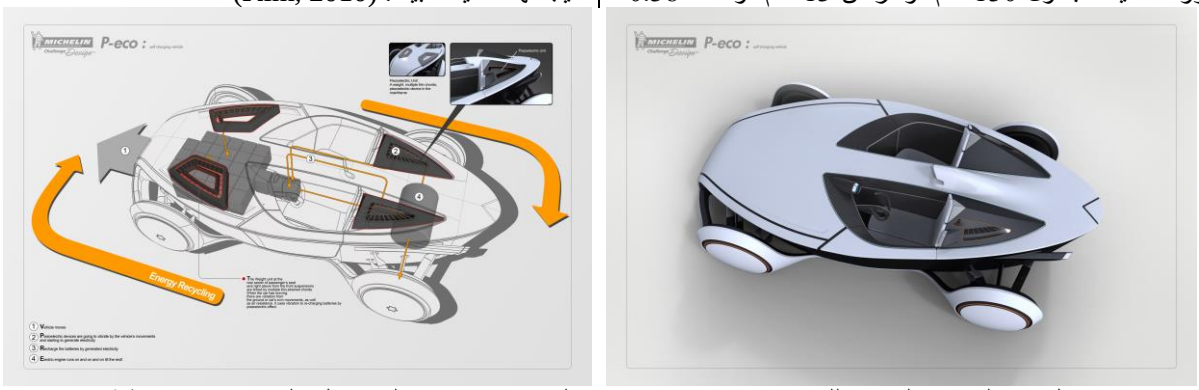


شكل (8) فكرة عمل جهاز اشعال باستخدام المواد الكهروضغطية.(Yuan, 2020)

وتستخدم مكبرات الصوت والأجراس Speakers & buzzers الكهرباء الكهروضغطية لتشغيل الأجهزة مثل المنبهات والأجهزة الميكانيكية الصغيرة، التي تتطلب قدرات صوتية عالية الجودة. وتستفيد هذه الأنظمة من التأثير الكهروضغطي العكسي عن طريق تحويل إشارة الجهد الصوتي audio voltage إلى طاقة ميكانيكية على شكل موجات صوتية sound waves. كما تعتبر البلورات الكهروضغطية الاختيار الأمثل للتطبيقات التي تتطلب دقة عالية، وخاصة في حركة المحركات. وخلال هذه الأنظمة، تتلقى المادة الكهروضغطية إشارة كهربائية يتم تحويلها إلى طاقة ميكانيكية لإجبار لوحة خزفية على التحرك، ويتم ذلك بدقة شديدة.

وقد أجري تشرشل وآخرون، (Churchill, 2003) دراسة للوصول الي مدي قدرة حصاد الطاقة لهيكل مركب من ألياف PZT الكهروضغطية في محاذاة أحادية الاتجاه بقطر 250 ميكرون مدمجة في مصفوفة من الراتينج. وتم التوصل الي أنه يمكن الحصول على 7.5 ميجاوات من الطاقة من مادة مركبة من الألياف الكهروضغطية - بطول 130 ملم، وعرض 13 ملم، وسمك 0.38 ملم - عند تطبيق اهتزاز قدره 180 هرتز.

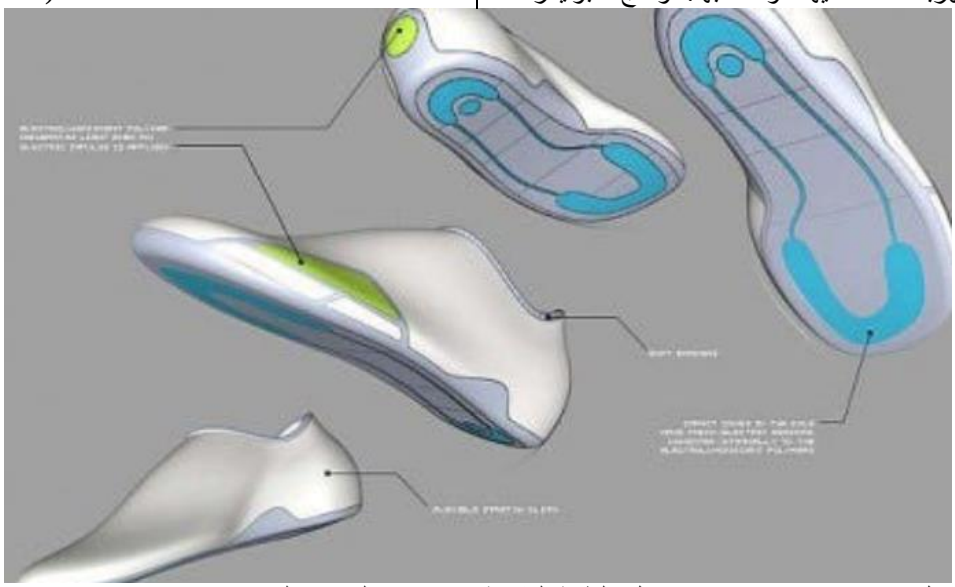
كما طور جرانستورم Granstrom نموذجًا نظريًا لحقيبة ظهر لتجميع الطاقة يمكنها توليد طاقة كهربائية من أفلام PVDF الكهروضغطية المرنة المدمجة في الأشرطة. وتوصل الي أنه يمكن توليد 45.6 ميجاوات من الطاقة من حقيبة ظهر كاملة مزودة بحزامين من الأحزمة الكهروضغطية بكفاءة تزيد عن 13%. (Granstrom, 2007)كما قدم المصمم الصناعي جونغ هون كيم Jung Hoon Kim تصميما مقترحاً لفكرة استخدام الكهرباء الانضغاطية لتشغيل سيارة "P-eco" شكل (9). وتعمل هذه السيارة في الأساس بالكهرباء، ولكنها تحتوي على أربعة أجهزة كهروضغطية في الجزء الأمامي والخلفي من مقعد السائق. وعندما تتحرك السيارة، تبدأ الأوزان المشدودة بأوتار متعددة بالاهتزاز بترددات عالية وتترجم هذه الاهتزازات إلى طاقة كهربائية لشحن بطارية السيارة. مما يزيد عدد الأميال المقطوعة لكل شحنة بطارية. ولا تنتج هذه التقنية انبعاثات ولا تعتمد على الوقود الأحفوري، مما يجعلها صديقة للبيئة. (Kim, 2010)



شكل (9) التصميم المقترح للمصمم Jung Hoon Kim لسيارة "P-eco" التي تعمل بالكهرباء الانضغاطية

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

كما ابتكر المكسيكي ألبرتو فياريال Alberto Villarreal زوجًا من الأحذية BrightWalk شكل (10)، وهو حذاء ذاتي الإضاءة يعمل بالطاقة البشرية ويحتوي على بوليمرات مضيئة كهربائيًا تعمل بمولدات كهروضغطية. ويتم وضع أجهزة كهروضغطية في نعل الحذاء وتولد الكهرباء عند ثنيها أو سحبها. وتنتج البوليمرات المضيئة كهربائيًا الضوء تحت محفز كهربائي وتضيء دون توليد الكثير من الحرارة. ويتميز هذا النظام بخفة الوزن وسهولة دمجه في الأحذية بحيث يتم تحويل الطاقة الناتجة عن الجري أو المشي إلى كهرباء قابلة للاستخدام. ويمكن استخدام هذه التأثيرات للعدائين. (Henderson, 2009)



شكل (10) حذاء ذاتي الإضاءة يعمل بالطاقة البشرية من تصميم المصمم الصناعي Alberto Villarreal

كما تعتبر أنظمة وتقنيات السيارات ثاني أكبر سوق للمنتجات الكهروضغطية، حيث يتم استخدام التقنيات الكهروضغطية في المشغلات actuators، وأجهزة حقن الوقود fuel injectors، وأجهزة الاستشعار sensors، وأنظمة السلامة المختلفة في مختلف صناعات السيارات. كما تستخدم المشغلات الكهروضغطية في تحويل الإشارة الكهربائية إلى حركة ميكانيكية تستخدم لضبط المرايا والعدسات وأجزاء السيارات الأخرى. وتشير الاحصائيات الي أن أجهزة حقن الوقود التي تستخدم التقنية الكهروضغطية أكثر دقة من مكافئها التقليدي. وقد وفرت المزيد من كفاءة الوقود والانبعاثات الضارة. كما يعد جهاز دخول الباب بدون مفتاح، ومستشعر الأكياس الهوائية لحزام الأمان، ومستشعر تدفق الهواء، وأجهزة الإنذار المسموعة، وأجهزة استشعار الطرق، وأجهزة استشعار ضغط الإطارات، من أهم تطبيقات المواد الكهروضغطية.

5-4 أنظمة حصاد الطاقة Energy harvesting Systems:

يشير مصطلح حصاد الطاقة Energy harvesting الي العملية التي يتم فيها اشتقاق الطاقة من مصادر خارجية واستخدامها في تشغيل بعض الآلات مباشرة أو يتم تخزين الطاقة للاستخدام المستقبلي، أو استخراج وتحويل وتخزين الطاقة من البيئة، كما يمكن وصفها أيضًا بأنها استجابة المواد الذكية عندما تتعرض لحافز خارجي مثل الضغط والاهتزازات والحركة ودرجة الحرارة المنبعثة من الرياح والأمطار والأمواج والمد والجزر والضوء وما إلى ذلك. وقد زادت كفاءة الأجهزة في التقاط كميات ضئيلة من الطاقة من البيئة وتحويلها إلى طاقة كهربائية مع تطوير المواد والتقنيات الجديدة، وظهرت العديد من التطبيقات التي تستخدم تقنيات حصاد الطاقة لتوليد الطاقة.(Vatansever, 2012)

ويعتمد حصاد الطاقة بصورة رئيسية على التأثير الكهروضغطي Piezoelectric effect وهو خاصية فريدة تسمح للمواد بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية، وعلى العكس من ذلك، الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية. ويمكن أن تكون محفزات المواد الكهروضغطية هي المشي البشري والرياح والمطر والمد والجزر والأمواج وما إلى ذلك. ويمكن أن يكون هذا التأثير خاصية متأصلة في المادة أو يمكن نقله إلى مادة غير كهروضغطية موجودة. ولكن لا يمكن تحويل كل المواد الي مواد كهروضغطية، فتتميز بهذه الخاصية بعض المواد مثل السيراميك كما تملك البوليمرات القدرة على التحول الي مواد كهروضغطية.

وقد اكتسبت عملية حصاد الطاقة Energy harvesting أهمية تكنولوجية كبيرة نظراً لتقليل متطلبات الطاقة للأجهزة الإلكترونية وزيادة كفاءة أجهزة حصاد الطاقة. وتعد تقنية حصاد طاقة الاهتزاز الضبابي أفضل وسيلة لتشغيل الأجهزة ذات النطاق المتوسط إلى الصغير. ويمكن تصميم المواد والمحولات الكهروضغطية للتعامل مع مجموعة واسعة من ترددات المدخلات والقوى التي تسمح بحصاد الطاقة. وفيما يلي بعض أنظمة حصاد الطاقة التي تستخدم مصادر مختلفة لتوليد الطاقة الكهربائية وكفاءتها:

1- تحويل الطاقة الميكانيكية إلى مولدات الكهرباء (بكفاءة 20-70%)، والأنظمة الكهروضغطية (بكفاءة 0,5-15%)
2- مادة كيميائية إلى كهرباء وذلك من خلال خلايا الوقود fuel cells (بكفاءة 25-35%)، البطاريات الأولية primary batteries، البطاريات القابلة لإعادة الشحن rechargeable batteries.
3- الحرارة/البرودة إلى كهرباء؛ seebeck-elements (بكفاءة 2-5%)
4- الإشعاع الكهرومغناطيسي electromagnetic radiation إلى كهرباء (الأنظمة الكهروضغطية).

ويمكن تصنيف أنظمة حصاد الطاقة من حيث الحجم الي حصاد الطاقة بالشكل الكبير والآخر بالشكل الصغير (شكل 11).

- **حصاد الطاقة بالشكل الكبير:** تكون مصادر الطاقة متجددة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح المد والجزر، والحرارة الجوفية إلخ. يستخدم هذا النوع من حصاد الطاقة لتقليل استخدام مصادر الطاقة التقليدية (حل لنفاذ الطاقة).
- **حصاد بالشكل الصغير:** تكون مصادر الطاقة صغيرة مثل الاهتزازات، الحركة والحرارة وما إلى ذلك. ويستخدم هذا النوع من تجميع الطاقة لتوليد طاقة منخفضة للأجهزة المستهلكة (حلول طاقة منخفضة للغاية)، وهو ما سيتم التركيز عليه خلال البحث.

شكل (11) أنظمة حصاد الطاقة

ولبناء الأنظمة الكهروضغطية أو أنظمة حصاد الطاقة الكبيرة أو صغيرة الطاقة فانه لابد من توافر المكونات الأساسية، وفيما يلي سيتم التركيز على المكونات التي تم استخدامها خلال الجانب التطبيقي للبحث والتي تقع في نطاق أنظمة حصاد الطاقة الصغيرة.

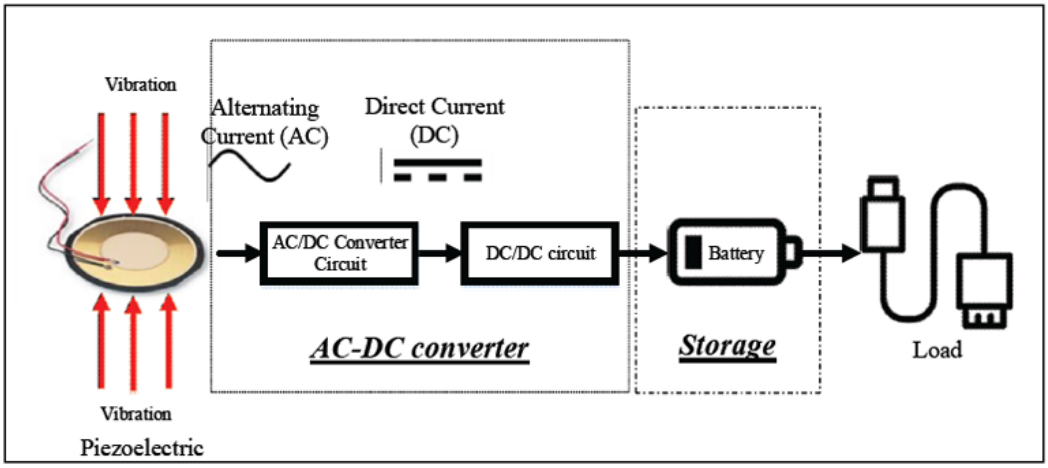
5- المكونات الأساسية لتطبيقات الطاقة الكهروضغطية صغيرة الحجم:

لقد اعتمدت التطبيقات التي تم تنفيذها على استخدام محول الطاقة الكهروضغطية ودوائر تخزين الطاقة التي تتناسب مع الأنظمة الكهروضغطية

5-2 محول الطاقة الكهروضغطية شكل (12): هو جهاز يقوم بتحويل أحد أنواع الطاقة إلى نوع آخر من خلال الاستفادة من الخصائص الكهروضغطية لبلورات معينة أو مواد أخرى. فعندما تتعرض مادة كهروضغطية لضغط أو قوة، فإنها تولد جهدا كهربائيا متناسبا مع حجم القوة، مما يجعل هذا النوع من محولات الطاقة مثاليا كمحول للطاقة الميكانيكية أو القوة الى الجهد الكهربائي.

شكل (12) - محول الطاقة الكهروضغطية.

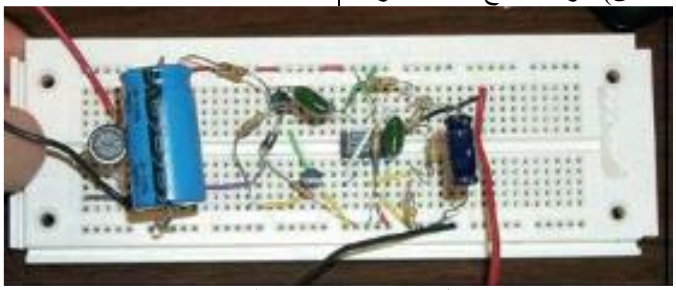
دوائر تخزين الطاقة شكل (13): تعتبر هذه الدوائر المكون أساسي في أنظمة حصاد الطاقة وذلك للحفاظ على الطاقة الناتجة واستخدامها وقت الحاجة إضافة الي مساندة محولات الطاقة الكهروضغطية في حالة عدم قدرة المحول على اصدار القدر الكامل للطاقة المطلوبة لتشغيل الجهاز.



شكل (13) دائرة حصاد الطاقة.(Abidin, 2020)

وتنقسم دوائر تخزين الطاقة الي نوعين أساسيين كما يلي:

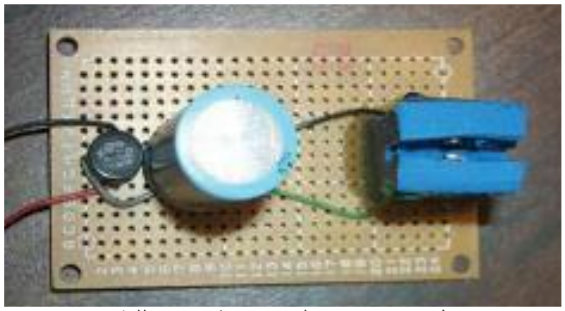
5-2-1 دائرة شحن المكثف شكل (14): تصدر دائرة شحن المكثف الطاقة بصورة فورية، وتتم عملية تخزين الطاقة بعدة مراحل تتمثل في عملية تصحيح للموجة، وتجميعها في المكثف (شحن المكثف)، ثم تفريغ المكثف (توقف عملية الشحن)، ولا تصلح هذه الدائرة للعديد من الأجهزة الالكترونية حيث ان الامداد بالطاقة يتم لفترة محددة، كما يجب إيقاف وتشغيل الدائرة أثناء شحن وتفريغ المكثف، ويمكن التغلب على هذه المشكلة عن طريق تركب مكثفان بحيث يقوم أحدهما بعمية الشحن أثناء قيام الآخر بعملية التفريغ.



شكل (14) دائرة شحن المكثف

5-2-2 دائرة شحن البطارية شكل (15): تحتاج دائرة الشحن ببطاريات الليثيوم الي منظم جهد، مما يزيد من مكونات الدائرة المستخدمة ويجعلها غير مناسبة لبعض الأجهزة الإلكترونية وللتغلب على هذه المشكلة يمكن استخدام بطارية هيدريد المكونة من معدن النيكل والتي تتميز بسرعة الشحن، وتستقبل طاقة عشوائية وبالتالي، فإنها لا تحتاج لمنظم جهد مما يساهم في تبسيط الدائرة.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



شكل (15) دائرة الشحن ببطاريات الليثيوم

ثالثاً: التطبيقات العملية لتحويل المنتجات التقليدية الي منتجات مستدامة باستخدام الطاقة الكهروضغطية:

يعتبر مصدر الطاقة أحد المعايير الحاكمة لمدي استدامة المنتجات، ومن خلال احتواء المنتجات على مصدر طاقة طبيعي ومتجدد، فان ذلك يساهم في الحفاظ على البيئة من خلال تقليل أثر المنتج الضار على البيئة خلال دورة حياته، وتضع الأمم المتحدة ضمن أهدافها للتنمية المستدامة Sustainable Development Goals (SDGs) قيمة عالية للبحوث في مجال الطاقة المستدامة من أجل حل تحديات النمو الاقتصادي العالمي والجودة البيئية. وتعمل الأوساط العلمية على وضع العديد من استراتيجيات المحصلة الصفرية zero-sum strategies التي يمكن أن تتوقع عالما خاليا من التدهور البيئي في المستقبل البعيد. وقد حظي الطلب على هذه الأجهزة ومصادر الطاقة المتجددة بالاهتمام. ويتطلب الحياد المناخي Climate neutrality أنظمة بينية للطاقة الخضراء وتكنولوجيا مستدامة. وتوفر الثورة التكنولوجية أدوات لحل السيناريو المناخي الحالي باستخدام مجموعة متنوعة من استراتيجيات الطاقة المستدامة.

ولتحقيق مبادئ الاستدامة فقد توجه الاهتمام الي إنشاء مصادر طاقة بديلة بدلاً من البطاريات من أجل التشغيل الخالي من الصيانة، والطويل الأمد والمستمر للإلكترونيات الدقيقة وتكنولوجيا المعلومات وأنظمة إنترنت الأشياء. حيث ان البطاريات الكهروكيميائية التقليدية المستخدمة في الأدوات المحمولة كبيرة وثقيلة ومكلفة وذات كثافة طاقة منخفضة ولها عمر قصير. ولهذا فهناك ضرورة حتمية لتطوير حلول الطاقة المستدامة الخالية من البطاريات بسبب محدودية الطاقة، والاستبدال الدوري أو احتياجات إعادة الشحن، وتقييد إمدادات الطاقة الذي يعتبر أحد أكثر العوائق أهمية في المناطق النائية، إضافة الي تكاليف الاستبدال باهظة الثمن، والمساهمة في تلوث البيئة.

وقد أُجريت محاولات بحثية عديدة في هذا المجال لتطوير بدائل متعددة الوسائط للبطاريات القابلة لإعادة الشحن، مثل مصادر الطاقة القابلة للارتداء wearable، وذاتية التشغيل self-powered، ودائمة الحركة ميكانيكيًا mechanically durable، والمستدامة خفيفة الوزن sustainable lightweight أو حصادات الطاقة energy harvesters. ويمكن أن يحل حصاد الطاقة من الضوء والاثارة الميكانيكية mechanical agitation والحرارة معضلة الطاقة. كما يمكن تصنيف تكنولوجيات التنظيف Scavenging technologies إلى أجهزة كهروحرارية thermoelectric devices، والخلايا الكهروضوئية photovoltaics أو الخلايا الشمسية solar cells، ومولدات النانو الكهروضوئية (NGs) piezo/triboelectric nanogenerators. وتستخدم جميع أنظمة حصاد الطاقة تكنولوجيا الطاقة المتجددة لتحل محل الوقود الأحفوري.(Singh, et al., 2023)

كما تستخدم الصناعات الطبية وحصاد الطاقة والإلكترونيات الاستهلاكية أجهزة الأنظمة الكهروميكانيكية الدقيقة (MEMS) microelectromechanical systems. وتعتبر المشغلات actuators، وأجهزة الاستشعار المتذبذبة sensors oscillators هي الأمثلة النموذجية على ذلك، حيث تقوم المشغلات الكهروضغطية بتحويل الإشارات الكهربائية بدقة إلى عمل ميكانيكي. وتستخدم في البصريات والروبوتات الدقيقة وتحديد المواقع بدقة، كما تقيس المستشعرات الكهروضغطية الضغط والتسارع والقوة. وتستخدم في الوسائد الهوائية Airbags والطابعات printers وزراعة الأجهزة الطبية medical implants. كما يتم تحويل الاهتزازات الميكانيكية إلى كهرباء عن طريق حصاد الطاقة الكهروضغطية، لتشغيل أجهزة الاستشعار والهواتف منخفضة الطاقة.

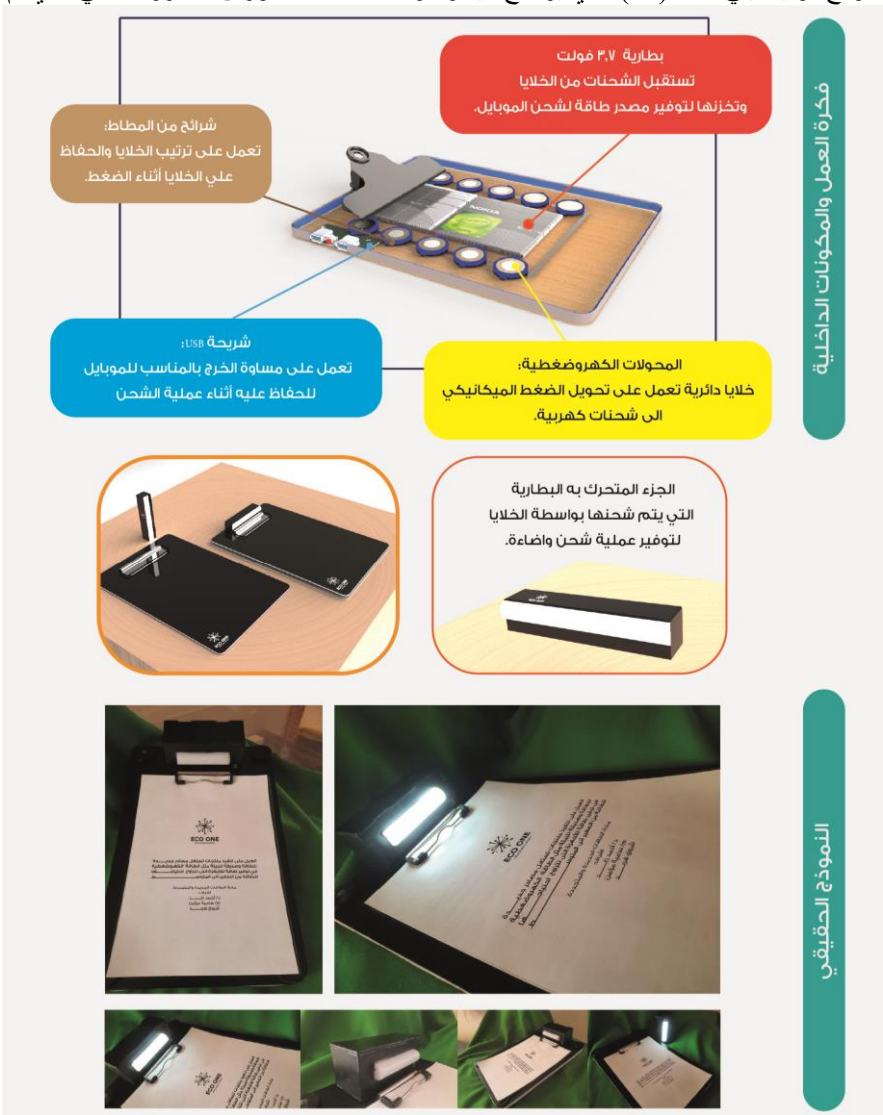
وقد تم اجراء العديد من المحاولات لاستخدام الكهرباء الانضغاطية لحصاد الطاقة energy harvesting. أو إضافة أجهزة كهروضغطية الي الهواتف الذكية يمكن تنشيطها من الحركة البسيطة للجسم لإبقاء هذه الهواتف مشحونة. كما تم تضمين الأنظمة الكهروضغطية أسفل رصيف الطرق السريعة بصورة موسعة، واستخدامها لاستغلال حركة عجلات السيارات المتنقلة، وذلك لإضاءة مصابيح التوقف. ومن خلال دراسة ماهية الطاقة الكهروضغطية، وفكرة عملها، وكيفية توظيفها في التصورات السابقة، أمكن تطوير بعض المنتجات وتحويلها الي منتجات مستدامة من حيث استخدامها لمصادر طاقة نظيفة تعمل بالخلايا الكهروضغطية مع التركيز على توظيف هذه الطاقة في المنتجات التي تتضمن بطبيعتها تواجد قوي حركية أو ميكانيكية يمكن استخدامها بصورة مباشرة أو تخزينها من خلال دائرة حصاد الطاقة لحين الحاجة اليها. وفيما يلي أهم هذه التطبيقات العملية.

1- حامل الأوراق الكهروضغطي:

يعد حامل الأوراق أحد المنتجات التي تتعرض لطاقة ضغط طوال فترة استخدامها، ولهذا فقد تم دراسة وتحليل مكونات الحامل التقليدي شكل (16) لتطوير التصميم من خلال إضافة بعض الخلايا الكهروضغطية.

شكل (16) حامل الأوراق التقليدي

وقد تم تصميم وتنفيذ النموذج، وفيما يلي شكل (17) الذي يوضح ألية وفكرة عمل حامل الأوراق الكهروضغطي الذي تم تنفيذه.



شكل (17) التصميم والنموذج النهائي لحامل الأوراق الكهروضغطي

2- الميزان الكهروضغطي:

يعمل الميزان الرقمي Digital Weight Scale شكل (18) بالاعتماد على البطاريات أو التيار الكهربائي المتردد، ويواجه المستخدم بعض المشاكل التي تتعلق بتشغيل الميزان في حالة انقطاع التيار الكهربائي، أو ضرورة استبدال البطاريات مع الاستعمال المتكرر للميزان.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

شكل (18) الميزان الرقمي التقليدي Digital Weight Scale الذي يعمل بالبطاريات

تتعرض الموازين التقليدية لإضافة الاحمال اليها وازالتها بصورة مستمرة ويتطلب تشغيلها امدادها بمصدر طاقة، وبإضافة الخلايا الكهروضغطية الي تصميم الميزان يمكن امداده بمقدار الطاقة المطلوب للعمل وانارة الشاشة، وقد تم تصميم وتنفيذ النموذج التالي لميزان كهروضغطي يعمل من خلال الخلايا الكهروضغطية التي يمكنها توليد الطاقة عند التعرض لطاقة الضغط أثناء الحركة على سطح الميزان، وقد تم وضع الخلايا الكهروضغطية في أرجل الميزان. وفيما يلي شكل (19) الذي يوضح ألية وفكرة عمل الميزان الكهروضغطي الذي تم تنفيذه.

شكل (19) التصميم والنموذج النهائي للميزان الكهروضغطي

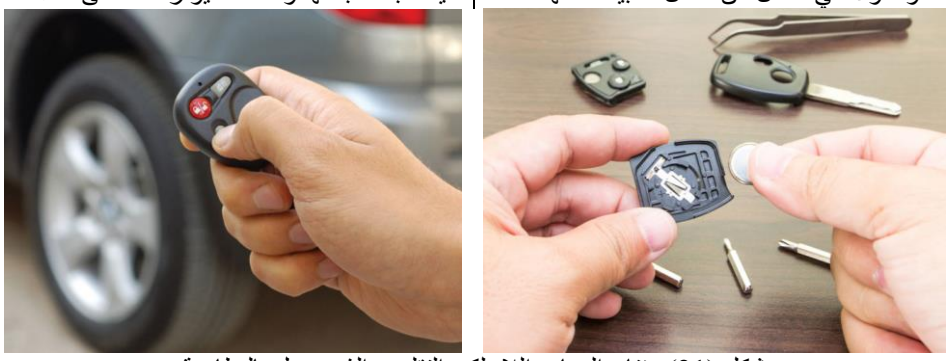
3- المفك الكهروضغطي:

يواجه العديد من المهندسين والفنين صعوبة في استعمال المفكات في الماكن المظلمة، ولهذا فقد ظهرت العديد من المفكات التي تحتوي على مصدر للإضاءة يعمل بالبطاريات الجافة مما يتطلب تغييرها، وتتعرض المفكات الي طاقة ضغط أثناء العمل بها، ولا يتم استغلال هذه الطاقة. ومن خلال استغلال عملية الضغط على المفك أثناء الفك أو الربط، فانه يمكن توليد طاقة يتم استغلالها في الإضاءة، وذلك من خلال توجيه الضغط على الخلايا الكهروضغطية. وفيما يلي شكل (20) الذي يوضح آلية وفكرة عمل المفك الذي تم تنفيذه.

شكل (20) تصميم المفك الكهروضغطي

4- المفتاح اللاسلكي (ريموت) الكهروضغطي للسيارة:

لقد ظهر أول نظام دخول للسيارات بدون مفتاح عام 1982م في الولايات المتحدة من قبل شركة Valeo الفرنسية للتكنولوجيا، ويستخدم النظام موجة راديو للتواصل مع السيارة وفتح أبوابها. وقد تطورت هذه الأنظمة وصولا الي العمل من خلال تطبيقات الهاتف، الا أن العديد من المستخدمين يفضلون توافر مفتاح السيارة الذكي بالإضافة الي تطبيقات الهاتف، وتحتوي العديد من هذه المفاتيح على بطارية صغيرة لتشغيل النظام الكهربائي الداخلي شكل (21)، وعلى الرغم من طول عمرها الافتراضي الا أنها تتعرض للتلف مما يتطلب استبدالها وعادة ما يؤثر ذلك على أداء المفتاح.



شكل (21) مفتاح السيارة اللاسلكي التقليدي الذي يعمل بالبطارية

ومن خلال الاستعانة بالخلايا الكهروضغطية فانه يمكن الاستفادة من عملية الضغط المتكرر على المفتاح في توليد الطاقة اللازمة للتشغيل مما يعني عمل هذا المفتاح مدي الحياة دون الحاجة الي استبدال البطارية. وفيما يلي عرض لمراحل ونتائج تطوير مفتاح السيارة اللاسلكي من خلال استبدال البطارية التقليدية بنظام يعمل بالطاقة الكهروضغطية. وفيما يلي شكل (22) الذي يوضح ألية وفكرة عمل المفتاح اللاسلكي (ريموت) الكهروضغطي للسيارة الذي تم تنفيذه.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

شكل (22) المفتاح اللاسلكي (ريموت) الكهروضغطي للسيارة

وتعتبر النماذج السابقة بمثابة النموذج الأولي الذي يمكن تطويره لتحويل الأجهزة الالكترونية صغيرة الطاقة الي أجهزة تحقق أهم معايير الاستدامة من خلال استخدام أنظمة الطاقة الكهروضغطية المتجددة والمستدامة. ويمكن أن تشمل عمليات التطوير العمل على تصغير حجم الخلايا والوصلات التي تتم لربط الخلايا ببعضها أو الوصلات اللازمة لتخزين الطاقة، مما يزيد من فاعلية هذه الأجهزة، ويساهم في تقليل حجمها، إضافة الي العمل على رفع كفاءة الخلايا الكهروضغطية لزيادة قدرتها على تشغيل عدد أكبر من فئات الأجهزة الالكترونية التي تتطلب قدر أعلي من الطاقة.

ومن خلال ما سبق، فقد تبين تم بيان كيفية تحقيق الاستدامة في تصميم وتنفيذ بعض المنتجات، وذلك من خلال استبدال مصادر الطاقة التقليدية بأخرى مستدامة، بإضافة الخلايا الكهروضغطية اليها كمصدر بديل للطاقة، مما يساهم في الحد من انتاج بطاريات الطاقة الضارة بيئيا، كما يساهم في تقليل حجم المنتجات، وزيادة قدرتها واستجابتها للمؤثرات الخارجية، وزيادة عمرها الافتراضي مما يقلل من كمية النفايات التكنولوجية على المدي البعيد.

النتائج Results

توصل البحث الي مجموعة من النتائج كما يلي:

1- يمكن استغلال المشي البشري والرياح والامطار وطاقة المد والجذر والأمواج وأي قوي طبيعية يمكنها احداث حركة ميكانيكية كمحفز لتوليد المواد الكهروضغطية للطاقة.
2- يمكن استخدام الخلايا الكهروضغطية كمصدر أساسي مستدام لإمداد الأجهزة الصغيرة بالطاقة.
3- يساهم استبدال مصادر طاقة الأجهزة التقليدية بأخرى كهروضغطية في تقليل حجم المنتجات وزيادة كفاءتها وقدرتها على العمل في الأماكن النائية.
4- تستخدم الطاقة الكهروضغطية في المنتجات الدقيقة نظرا لدقتها العالية ووقت استجابتها القصير.
5- تستخدم المواد الكهروضغطية في صناعة أربعة أجهزة أساسية تتمثل في المولدات Generators، وأجهزة الاستشعار sensors، والمحركات actuators، والمحولات transducer.
6- تعتبر المواد الكهروضغطية أحد أهم مصادر الطاقة النظيفة والبسيطة التي يمكن استخدامها داخل المنتجات.

المراجع References

1- النعامي, ل., يوسف, م & ,.عاشور, ب، (2014) يناير 20 .(ماهي الكهرباء الانضغاطية (الكهرضغطية) . Retrieved from www.syr-res.com: https://www.syr-res.com/article/1138.html

2- سكيك, ح. ف ,(2008) .سبتمبر 29 .(كيف تعمل الكهرباء الإنضغاطية . Retrieved from www.hazemsakeek.net: https://www.hazemsakeek.net/piezoelectricity

3- عبد الرازق, ل. ا & ,.حسن, س. م .(2016) .توظيف المواد المرنة في المنتجات الصناعية وعلاقتها بمتغيرات النظم الشكلية .مجلة كلية التربية الأساسية،المجلد 22، العدد (96)، ص 431-458.

4- Abidin, N. A. (2020). The simulation analysis of piezoelectric transducer with multi-array configuration. Journal of Physics, 1432(1), 012-042.

5- APC International piezo. (2023, 7). PIEZOELECTRICITY. Retrieved from www.americanpiezo.com: https://www.americanpiezo.com/knowledge-center/piezo-theory/piezoelectricity.html

6- Churchill, D. L. (2003, July). Strain energy harvesting for wireless sensor networks. In Smart structures and materials 2003: smart electronics, MEMS, BioMEMS, and nanotechnology, 5055, 319-327. Retrieved from http://www.ittc.ku.edu/~callen/energy_harvesting/Churchill2003SPIEpp319-327.pdf

7- Curie, J. &. (1880). Développement, par pression, de l'électricité polaire dans les cristaux hémièdres à faces inclinées.

8- E. Häsler, L. S. (1984). Implantable physiological power supply with PVDF film. Ferroelectrics, 60(1), 277-282.

9- Egusa, S. W. (2010). Multimaterial piezoelectric fibres. Nature materials, 9(8), 643-648.

10- Fukada, E. (1992). Bioelectrets and biopiezoelectricity. IEEE transactions on electrical insulation, 27(4), 813-819.

11- Fukada, E. (1998). New piezoelectric polymers. Japanese journal of applied physics, 37(5S), 2775. doi:10.1143/JJAP.37.2775

12- Granstrom, J. F. (2007). Energy harvesting from a backpack instrumented with piezoelectric shoulder straps. Smart Materials and Structures, 16(5), 1810.

13- Henderson, T. (2009, September 3). Power generating shoes. Retrieved from printedelectronicsworld: https://www.printedelectronicsworld.com/articles/1653/power-generating-shoes

14- Hunstig, M. (2017, February). Piezoelectric Inertia Motors—A Critical Review of History, Concepts, Design, Applications, and Perspectives. Actuators, 6(1), 7.

15- Kawai, H. (1969). The piezoelectricity of poly (vinylidene fluoride). Japanese journal of applied physics, 8(7), 975.

16- Kholkin, A. A. (2010). Strong piezoelectricity in bioinspired peptide nanotubes. ACS nano, 4(2), 610-614.

17- Kim, J. H. (2010). Electrifying! Beautiful, Innovative & Radiant. Retrieved from michelinchallengedesign: https://www.michelinchallengedesign.com/the-challenge-archives/2010-electrifying/2010-showcase-of-selected-entrants/p-eco-by-jung-hoon-kim-south-korea/

18- Li, X., & Strezov, V. (2014). Modelling piezoelectric energy harvesting potential in an educational building. Energy Conversion and Management, 85, 435-442.

19- Lombard, L. P., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. Energy and buildings, 40(3), 394-398.

20- Maestre, S. (2022, Jan 24). What is Piezoelectric Effect? Retrieved from www.circuitbread.com: https://www.circuitbread.com/ee-faq/what-is-piezoelectric-effect

21- Martin, A. J. (1941). Tribo-electricity in wool and hair. Proceedings of the Physical Society, 53(2), 186. doi:10.1088/0959-5309/53/2/310

22- Mathur, S. C. (1984). Piezoelectric properties and ferroelectric hysteresis effects in uniaxially stretched nylon-11 films. Journal of applied physics, 56(9), 2419-2425. doi:https://doi.org/10.1063/1.334294

23- Najini, H., & Muthukumaraswamy, S. A. (2017). Piezoelectric energy generation from vehicle traffic with technoeconomic analysis. Journal of Renewable Energy.

24- Rajabi, A. H., Jaffe, M., & Arinzeh, T. L. (2015). Piezoelectric materials for tissue regeneration: A review. Acta biomaterialia, 24, 12-23. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1742706115300167?casa_token=_BQ3u-ywLt4AAAAA:qSKUBq54dW0qr4ExK2cLuwGXZhkB-nv9e1R5N9KuFyoo6hbYsYK4FhMcdRD8oJL7OgbrC88Uw0r6

25- Rajabi, A. H., Jaffe, M., & Arinzeh, T. L. (2015). Piezoelectric materials for tissue regeneration: A review. Acta biomaterialia, 24, 12-23.

26- Robledo, E. (2023, FEBRUARY 12). How Piezoelectricity Works to Make Crystals Conduct Electric Current. Retrieved from autodesk: https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/piezoelectricity/

27- Sekhar, B. C. (2021). Piezoelectricity and Its Applications. In D. R. Sahu, Multifunctional Ferroelectric Materials. doi:10.5772/intechopen.96154

28- Shenck, N. (1999). A demonstration of useful electric energy generation from piezoceramics in a shoe. Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology.

29- Shivali, M. S. (2022). A BRIEF NOTE ON PRINCIPLE, MECHANISM AND APPLICATIONS OF PIEZOELECTRIC MATERIALS. An Interdisciplinary Journal, 5. Retrieved from chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ggscw.ac.in/Downloads/Article1.pdf

30- Singh, P. K., Kaur, G. A., Shandilya, M., Rana, P., Rai, R., Mishra, Y. K., . . . Tiwari, A. (2023). Trends in Piezoelectric Nanomaterials towards Green Energy Scavenging Nanodevices. Materials Today Sustainability, 100583.

31- Smith, M., & Kar-Narayan, S. (2022). Piezoelectric polymers: Theory, challenges and opportunities. International Materials Reviews, 67(1), 65-88. doi:https://doi.org/10.1080/09506608.2021.1915935

32- Starner, T. (1996). Human-powered wearable

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

computing. IBM systems Journal, 35(3.4), 618-629.

33- United Nations. (2023). Renewable energy – powering a safer future. Retrieved from un.org: https://www.un.org/en/climatechange/raising-ambition/renewable-energy

34- Vatansever, D. S. (2012). Alternative resources for renewable energy: piezoelectric and photovoltaic smart structures. Global Warming-Impacts and Future Perspective, 263.

35- Victor, NY. (2012, Aug 22). New Scale awarded US patent for reduced-voltage linear motor system. Retrieved from new scale technologies: https://www.newscaletech.com/pr-new-scale-awarded-us-patent-reduced-voltage-linear-motor-system/

36- Yuan, F. (2020). Application of Piezoelectric Ceramics in Industrial Products. Frontier Computing: Theory, Technologies and Applications (FC 2019) (pp. 807-813). Singapore: Springer.