حصاد الطاقة البشرية أثناء الممارسة الرياضية

(الانعكاسات الاقتصادية لتسخير الطاقة البشرية من الرياضة)

أ.د/ محمد إبراهيم المليجي
أستاذ علوم الحركة – كلية التربية الرياضية
جامعة الزقازيق - مصر

الحقيقة التي لا جدال فيها.. أن الطاقة ضرورية جداً في جميع مجالات الوجود الإنساني، فالطاقة التي يتم تعريفها ببساطة على أنها"القدرة على القيام بالعمل"، تعتبر أساسية لكل عنصر من عناصر الحياة على الأرض في كل أرجاء المعمورة، حيث أدت الأنشطة البشرية على الأرض في شكل أبحاث وتجارب وحوادث، عبر القرون، إلى اكتشاف وتصنيف القوى التي هي مشتقة من الطاقة، إلى أشكال مختلفة، مثل: القوى الكهربائية والميكانيكية والكيميائية وما إلى ذلك، فالطاقة هي لبنة البناء، التي تتشكل عليها القوى، ووفقًا لنظرية الكم للمادة، تتبع جميع العناصر من تكتل من عدة جسيمات فردية لكل منها كمية معينة من الطاقة تخضع لكتلتها وتنقاد لقدرتها.

ومن هذا المنطلق.. نجد أن العالم الآن يعمل على التحرك نحو مستقبل أكثر استدامة وأكثر أماناً من خلال البحث عن مصادر جديدة لإنتاج الطاقة بطريقة نظيفة وآمنة، حيث تتطلع الحكومات والشركات والأفراد إلى زيادة المعروض من الطاقة النظيفة لتحل محل استغلال الوقود الأحفوري، مما يساعد على تقليل مستويات انبعاثات الغازات السامة والملوثة للبيئة، وبالإضافة إلى ذلك، تعمل الحكومات على تطوير الاقتصادات الدائرية، وهذا يفتح الباب لتقييم ما إذا كانت الطاقة المحصودة من البشر يمكن أن تكون حلاً لمعالجة ظاهرة الاحتباس الحراري، وتحفيز الاقتصادات، وتقليل الطلب على الطاقة من الوقود الأحفوري من الفحم والغاز الطبيعي والنفط وغيرها.

وقد أدت الحاجة المتزايدة لإنتاج الطاقة بطرق غير تقليدية إلى قيام الباحثين بالبحث عن مصادر طاقة رخيصة وآمنة بيئياً، وقد أدى هذا إلى تزايد الاهتمام بحصاد الطاقة **(EH)**، وهو العلم الذي يحاول التقاط الطاقة التي توفرها الرياح أو المطر أو غيرها من الاهتزازات الطبيعية أو الاهتزازات الحركية البشرية لتحويلها إلى شكل مختلف أكثر فائدة من الطاقة. **(R. Williams; A. Rostami,** ((٢٠١٦,(٢٦))

وقد عانت الشركات الخاصة والعامة من ارتفاع تكاليف التشغيل والانبعاثات الملوثة التي لا يمكن السيطرة عليها، ومع ذلك، فقد تغير هذا خلال العشرين عامًا الماضية، حيث أدرك الناس أن الوقود الأحفوري ليس متاحًا بشكل دائم ويسبب ضررًا كبيرًا للبيئة، وأدت هذه العوامل إلى نمو هائل في مصادر الطاقة المتجددة.. وعلى عكس الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، ينتج جسم الإنسان الطاقة باستمرار، بغض النظر عن الموسم أو الوقت من اليوم، فبمجرد كونك على قيد الحياة، فإن الطاقة البشرية متاحة دائمًا، حتى الأشخاص الذين يعيشون نمط حياة خامل يوَلدون الطاقة باستمرار من خلال الطاقة الحركية، والحرارية، حيث أن أي نشاط مثل صعود درجات السلم أو الذهاب للحديقة أو الوقوف في مدرج لشرح محاضرة نظرية أو عملية للطلاب، أو حتى مجرد تناول طعامك على السفرة ينتج الطاقة.**((Anthony, S., 2011,(1)**

ومن منظور معين.. يمكن النظر إلى إنتاج الطاقة على أنها عملية استهلاكية ضرورية لحياة الأفراد، وأن هذه الطاقة التي يستخلصها هؤلاء الأفراد من البيئة، يعيدوا طرحها مرة أخرى في البيئة، على هيئة حركة، أو على هيئة إنتاج مهمة عمل ما أو نشاط رياضي معين، حيث تطرح الرياضة سلسلة من المشاكل المتعلقة بإعادة استخدام الطاقة.. وفي الواقع، يحتاج الأشخاص الذين يمارسون الرياضة إلى إطعام أنفسهم أكثر من الأشخاص غير المهتمين بالرياضة، فالاستهلاك المفرط الضروري للرياضة يتم امتصاصه من البيئة بأشكال مختلفة، من خلال تربية الماشية (للحصول على اللحوم) وزراعة المحاصيل (للحصول على الكربوهيدرات) وهو ما يعني استهلاك متزايد للتربة والأسمدة، وما إلى ذلك، هذا من ناحية.. ومن ناحية أخرى فإن التمارين الرياضية داخل الصالات الرياضية ومراكز اللياقة البدنية المنتشرة في ربوع الوطن تولد احتياجات إضافية من الطاقة لتشغيل المعدات والأجهزة الرياضية.. وقد أدت زيادة الوعي بتوازن إنتاج واستهلاك الطاقة إلى إحياء الفكرة البيئية المتمثلة في إعادة استخدام الطاقة البشرية.. من هنا، جاءت فكرة إعادة تدوير الحركة البشرية لإنتاج الطاقة وتخزينها كلما كان ذلك ممكنًا..

وباستثناء العصور القديمة، عندما كانت الطاقة البشرية والحيوانية هي الأساس لجميع الأنشطة البشرية، مثل النقل والبناء وغيرها، ومع ظهور الثورة الصناعية، انخفضت الحاجة إلى العمل البدني البشري تدريجيا، وحتى الأنشطة اليدوية الصغيرة، مثل الحياكة والنجارة والحدادة، تم الاستغناء عنها واستبدالها بالآلات الحديثة، والتي تم الاستغناء عنها هي الأخرى واستبدالها جزئيًا بالذكاء

الاصطناعي.. ولكن إلى أي مدى وإلى متى يمكن لجسم الإنسان أن يبقى دون حركة واستهلاك للطاقة..؟

ومع ظهور الجيل التالي للثورة الصناعية وإدراكهم لأهمية الحركة؛ بدأت المصانع والشركات بتوفير النشاط البدني للعمال لجعلهم يتحركون بعد العمل؛ وكان هذا هو السبب وراء ولادة العديد الرياضات واللعبات والتي ما تزال موجودة حتى اليوم (مثل الهوكي والاسكواش وكرة القدم).. كما توفر العديد من الشركات أيضًا لعمالها عضوية مجانية في صالات الألعاب الرياضية واللياقة للسماح لهم بحرق الطاقة غير المستخدمة، وبالتالي، فإن معضلة الطاقة هي قضية نموذجية في العصر الحديث، فمن ناحية، هناك الآن حافز متزايد لتوفير الطاقة وإعادة استخدامها للحفاظ على البيئة؛ ومن ناحية أخرى، هناك حاجة لتحريك الطاقة وتبديدها عن طريق الحركة وممارسة الرياضة لتكون بصحة جيدة، ناهيك عن الفوائد النفسية المرتبطة بالصحة العائدة من المنفعة الاجتماعية لإنتاج الطاقة وتحويل الطاقة المهدرة إلى فائدة للجميع، حيث يعد هذا حافزًا قويًا لجمع الطاقة البشرية.

وعلى هذا النحو، يحتوي جسم الإنسان على كميات هائلة من الطاقة، حيث أثبتت الدراسات، أن سكان العالم يحرقون كل يوم في المتوسط أكثر من ١٥ تريليون سعرة حرارية، أكثرها أثناء ممارسة الأنشطة الرياضية، حيث أن كمية الطاقة هذه كافية لتلبية الطلب على الكهرباء للاستخدام النهائي في مصر وبعض البلدان العربية لمدة عام ونصف، ومع ذلك، لا يتم تخزين هذه الطاقة بل نفقدها خلال أنشطتنا اليومية، مما يمثل خسائر اقتصادية وبيئية كبيرة من الطاقة.

وحصاد الطاقة **Energy harvesting (EH)** المعروف أيضًا باسم جمع الطاقة **energy scavenging** أو الطاقة المحيطة **ambient power** هي العملية التي يتم من خلالها استخلاص الطاقة من مصادر خارجية (مثل الطاقة الشمسية، والطاقة الحرارية، وطاقة الرياح، وتدرجات الملوحة، والطاقة الحركية التي يتم تخزينها للاستخدام بواسطة أجهزة لاسلكية صغيرة مستقلة، مثل تلك المستخدمة في الإلكترونيات القابلة للارتداء **wearable electronics**، مثل التليفونات المحمولة (الموبايلات) والساعات الإلكترونية، وأجهزة مراقبة الحالة **condition monitoring** التي يرتديها اللاعبين أثناء التدريب والمباريات، وشبكات الاستشعار اللاسلكية، وغيرها. **(Panayanthatta, et al., 2021,(22))**

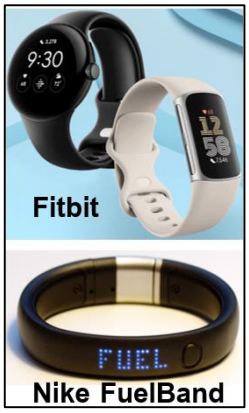
لقد اجتذبت أجهزة حصاد الطاقة التي تحول الطاقة المحيطة إلى طاقة كهربائية الكثير من الاهتمام في كل القطاعات الحيوية بالدولة، حيث تقوم بعض الأنظمة بتحويل الحركة البشرية الرياضية،

إلى كهرباء تستخدمها أجهزة استشعار مراقبة الحالة البدنية والوظيفية للاعبين أثناء المباريات والتدريب، حيث تستخدم لتتبع الحركات الرياضية الوظيفية باستخدام أجهزة استشعار يمكن ارتداؤها لتحقيق أقصى قدر من الأداء الفائق من جهة، وتقليل احتمالية الإصابة من جهةٍ أخرى، حيث يمكن لأنظمة المراقبة القابلة للارتداء **Wearable monitoring systems** توفير بيانات فسيولوجية وبيوميكانيكية مستمرة، وبالتالي السماح بتطوير خطط علاج دقيقة وبرامج تدريب خاصة باللاعبين للتقليل من حدة الإصابات وتخفيفها.. هذه الأجهزة التي يمكن ارتداؤها هي عبارة عن مجموعة أجهزة استشعار غير مثقلة بالأسلاك تعمل للكشف المستمر وغير الجراحي عن الإشارات والتحليلات الحيوية لرصد صحة الإنسان وأداءه. **(Dhruv R. Seshadri, et al., 2019,(6))**

يوجد تطبيق آخر في مجال الإلكترونيات القابلة للارتداء **wearable electronics**، حيث يمكن لأجهزة حصاد الطاقة تشغيل أو إعادة شحن الهواتف المحمولة وأجهزة الكمبيوتر المحمولة ومعدات الاتصالات اللاسلكية، بالإضافة إلى ذلك، فإن من أحدث التقنيات لتوليد الطاقة الكهربائية من موجات الاهتزاز هو استخدام المعززات المساعدة، حيث تندرج هذه الطريقة ضمن فئة حصاد طاقة الاهتزاز القائم على النظم الكهرو ضغطية، عوضاً عن جلب الطاقة من البطاريات الليثيوم والأنواع الأخرى من البطاريات، حيث يمكن استخدام الطاقة الكهربائية المجمعة مباشرة لتشغيل أجهزة الاستشعار اللاسلكية وكاميرات المراقبة، والأجهزة الأخرى المتعلقة بالإنترنت. **(Ravanbod, and Salama, 2023,(25))**

والطاقة الحركية هي نوع من الطاقة التي يملكها الجسم بسبب حركته، وهي تُساوي الشغل اللازم لتسريع جسم ما من حالة السكون إلى سرعة مُعيَّنة، سواء كانت سرعة مستقيمة أو زاوية.. وبعد الحصول على هذه الطاقة إثر تسارع الجسم، لا تتغيّر الطاقة الحركية للجسم، ويظل محتفظًا بها، طالما لا يوجد احتكاك يوقفه طبقا لقانون حفظ الطاقة، ولتوقيف الجسم المتحرك وتوصيله إلى حالة السكون من جديد يتطلب بذل شغل من جديد مُساوٍ للشغل الأول لعمل عملية الفرملة. **(Guler U, et al., 2017,(10))**

ويمكن للطاقة داخل جسم الإنسان أن تتحول من صورة لأخرى، فمثلاً.. لو نظرنا إلى راكب الدراجة الهوائية، سنجد أن الطاقة الكيميائية، المتولدة عن حرق المواد الغذائية التي حصل عليه بالأكل في جسمه، قد تحولت إلى طاقة حركة، لأنه يبذل شغلاً حركياً بعجلته، ولكن الطاقة الكيميائية لم



تتحول بكاملها –في هذا المثال– إلى طاقة حركة، إذ أن جزءً منها تحول إلى طاقة حرارية في جسمه، حيث يستطيع الجسم أن يحتفظ بهذه الحرارة أيضاً.

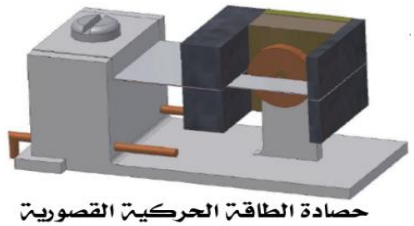
كما تعتبر طاقة الحركة مثيرة للاهتمام بشكل خاص كمصدر للطاقة لأنها تتمتع بكثافة طاقة تصل إلى ٢٠٠ ميكرو واط/سم^{٢} وهي متاحة عند الحاجة إليها عند التعب، حيث تبلغ متوسط استهلاك الطاقة لشخص واحد (الطاقة التي يستخدمها الجسم) هو ١,٠٧ × ١٠٧ جول في اليوم، أي ما يعادل ٨٠٠ بطارية **AA** (٢٥٠٠ ملي أمبير)، والتي تزن حوالي ٢٠ كجم، ويمكن إنتاج هذه الكمية من الطاقة من ٠,٢ كجم فقط من دهون الجسم. **(McArdle, et al., 2001,(20))**

كما يمكن لمتسابقي الدراجات من رياضيي المستويات العالية أثناء التبديل بأطرافهم السفلى أن ينتجوا طاقة تعادل من ٦٠٠–٧٠٠ واط عند الأداء لمدة دقيقة واحدة، وهي كمية الطاقة اللازمة لتحميص قطعة خبز، حيث يمكن لهذه الطاقة أن تبلغ ذروتها لبضع ثوان عند ٢٥٠٠ واط خلال سباق السرعة، بينما خلال منافسة تستمر لمدة ساعة واحدة على الأقل، يمكن لراكب الدراجة المحترف أن ينتج طاقة تعادل ٤٠٠ واط، بينما يمكن لراكب الدراجة الهاوي أن ينتج حوالي ٢٠٠ واط **(Davies; Sandstrom,1989,(5))**.. وبطبيعة الحال، فإن القوة التي يمكن أن تنتجها الأطراف العلوية أقل بكثير وتساوي ٣٠ واط لتحريك الذراع لمدة ٣٠ دقيقة لدى كبار الرياضيين.. ويمكن لرافعي الأثقال تحقيق طاقة تتراوح بين ٢١٤٠ واط في فئة الـ ٥٦ كجم إلى ٦٦٢٩ واط في فئة الـ ١١٠ كجم في أجزاء من الثانية في مسابقة النطر، بالنظر إلى كمية العضل المستخدمة في كلتا الرفعتين. **(Soriano, M.P., et al., 2023,(30))**

ومن هنا، فإننا يمكننا أن ندرك أن النشاط البدني يتضمن حركات يمكن اعتبارها مصادر للطاقة الحركية، والتي من المتوقع أن تكون مهمة أثناء الأنشطة الرياضية، ويمكن للعديد من محولات الطاقة تحويل هذه الطاقة إلى طاقة كهربائية، تُستخدم المولدات الكهرو ضغطية **Piezoelectric generators** على نطاق واسع.. وقد أجرى الباحثون (**Maria Gorlatova, et al.,** ٢٠١٥,(١٨)) في جامعة كولومبيا أول دراسة شاملة حول حصاد الطاقة الحركية – حصاد الطاقة "المجانية" – من الأنشطة البشرية الشائعة، مثل المشي، والجري، والصعود والنزول، ومن المثير للدهشة، باستثناء أولئك الذين يعيشون أنماط حياة أكثر استقرارًا ورفاهية، أننا جميعًا نتحرك بما يكفي

بحيث يمكن لمجمّعات الطاقة الحركية المعدلة – مثل **Fitbit**[١] أو **Nike–FuelBand** أن تمدنا بطاقة كهربية تساعد في الحفاظ على اتصال شبكة لاسلكية مع الأجهزة الأخرى، مثل الكمبيوتر المحمول أو الموبايل، دون الحاجة إلى بطارية.

ومن المتوقع أن يلعب حصاد الطاقة دورًا مهمًا للغاية في مستقبل الكومبيوترات المحمولة والإنترنت، حيث تكون المصادر المباشرة للطاقة – مثل البطاريات أو الطاقة الشمسية – مرهقة للغاية ومكلفة وغير آمنة.. وقد اقترح الباحثون في جامعة كولومبيا جهازا صغيرا لحصد الطاقة الحركية، وأسموها (حصادة الطاقة الحركية القصورية **Inertial kinetic energy harvester**) وهي عبارة عن صندوق صغير به ثقل متصل بزنبرك، عندما يتحرك الزنبرك، يتم تحويل الطاقة الميكانيكية الناتجة من الحركة إلى طاقة كهربائية، عادةً عن طريق استخدام النظم الكهرو ضغطية **Piezoelectric System** أو **MEMS**[٢] (الأنظمة الكهرو ميكانيكية الدقيقة)، إذا تحرك الزنبرك بقوة أكبر، أو ارتد ذهابًا وإيابًا بسرعة، يتم إنتاج المزيد من الطاقة.



حصادة الطاقة الحركية القصورية
Inertial kinetic energy harvester

ويمكنك أن تتخيل، أن بعض الحركات البشرية تنتج طاقة يمكن حصادها أكثر من غيرها، كالحركات المتكررة يساراً ويمينا، لأعلى ولأسفل، للخلف وللأمام.. وهكذا، وقد اكتشف الباحثون أن مجرد كتابة موضوع بقلم رصاص مثلاً أو مجرد فتح درج المكتب ينتج طاقة قابلة للحصد (من ١٠ – ٣٠ ميكروواط)، وينتج المشي لفترة قصيرة (من ١٠٠ – ٢٠٠ ميكروواط)، كما وجد الباحثون أن هز الجسم عمدًا يولد أكثر من ٣٠٠٠ ميكروواط أي حوالي (٣ مللي واط).

وقد قام الباحثون بوضع ثلاث حاصدات للطاقة في ثلاثة أماكن مختلفة من الجسم، حيث قاموا بتثبيت إحداها في جيب القميص، وتم تثبيت الثانية في حزام الخصر، أما الثالثة فقد تم تثبيتها في جيب البنطالون، ثم قاموا بتدوين كمية الطاقة التي ينتجها الإنسان أثناء ممارسة حياته اليومية، كالاسترخاء والمشي والجري وركوب الدراجات، وقد وجدوا أن الحركة الدورية القوية للمشي والجري تنتج الكثير من الطاقة، كما سلط الباحثون الضوء على بعض الاكتشافات الأخرى المثيرة للاهتمام

---

١) **Nike FuelBand and Fitbit** : هي أجهزة جديد تحتوي على مستشعر حركة ثلاثي الأبعاد تتتبع بدقة السعرات الحرارية المحروقة، والخطوات المقطوعة، والمسافة المقطوعة، وجودة النوم، ومعدل ضربات القلب ومعدلات اللياقة البدنية.. وغيرها.

٢) **MEMS** (النظام الكهروميكانيكي الصغير) الدقيقة وهي عبارة عن آلة مصغرة تحتوي على مكونات ميكانيكية وإلكترونية، يمكن أن يتراوح البعد المادي للأنظمة الكهروميكانيكية الدقيقة من عدة مليمترات إلى أقل من ميكرومتر واحد، وهو بُعد أصغر بعدة مرات من عرض شعرة الإنسان.

وغير المتوقعة: حيث وجدوا أن نزول السلالم يؤدي إلى توليد طاقة أكبر من الصعود، وذلك بسبب حركات الأطراف بشكل أسرع وأكبر؛ كما تنتج تمارين الضغط والجلوس طاقة أقل من المشي العادي؛ وأن آلات حصد الطاقة **MEMS** تنتج كميات مماثلة من الطاقة، حيث أن مُجمع الطاقة الموجود في جيب القميص يُنتج طاقة تعادل ما يُنتجه مُجمع الطاقة الموجود في جيب البنطلون، ومن الغريب أن الأشخاص طوال القامة ينتجون حوالي ٢٠% من الطاقة القابلة للحصاد أكثر من الأشخاص قصار القامة، كما لعب وزن المشارك دورًا مؤثراً في كمية الطاقة الحركية المحصودة.

بشكل عام، توفر ورقة "ماريا جورلاتوفا وزملائها **Maria Gorlatova, et al., 2015**" بحثًا لا يقدر بثمن لإنشاء أجهزة تجميع الطاقة واستغلالها بكفاءة عالية، حيث أنتج كل مشارك في الدراسة طاقة كافية لتدفق البيانات اللاسلكية بشكل مستمر وبدون انقطاع إلى أي جهاز قريب – عبر البلوتوث، كما أظهروا أيضًا أن بعض الأشياء البسيطة، مثل التعامل مع الأدراج والكتب والأبواب، قد تكون قادرة على جمع طاقة كافية لشحن أجهزتنا لاسلكيًا وربطها بأجهزة الإنترنت.. الخطوة الأولى، والتي أنا متأكد من أن بعض الشركات تعمل عليها بالفعل، هي جلب تجميع الطاقة الحركية إلى أجهزة مثل **Nike FuelBand** أو **Fitbit**، حيث من المحتمل أن يؤدي الاستخدام البسيط إلى إنتاج طاقة كافية لإبقاء هذه الأجهزة مشحونة.

وبالنظر إلى المستقبل، ومع التقدم في مجال تجميع الطاقة الحركية، وربما بالتنسيق مع حصاد طاقة الترددات اللاسلكية، فإن تشغيل برامج الإنترنت بدون بطارية يبدو أمراً ممكنًا بشكل كبير.

- حصد الطاقة الحرارية من الجسم أثناء المنافسات والممارسات الرياضية:

القانون الأول للديناميكا الحرارية ينص ببساطة على أن"الطاقة لا تفنى ولا تستحدث من عدم ولكن تتحول من شكل إلى آخر"، وبالتالي، فإن عمليات توليد الطاقة ومصادر الطاقة تنطوي على تحويل الطاقة من شكل إلى آخر، بدلاً من خلق الطاقة من لا شيء **(H. C. Van Ness,** ((١١)**,**١٩٨٣.. ويعد التمثيل الغذائي أحد الأمثلة على القانون الأول للديناميكا الحرارية الذي يعمل في جسم الإنسان: تحويل الطعام إلى طاقة، والتي يستخدمها الجسم بعد ذلك لأداء الأنشطة اليومية.. وعلى نفس المنوال والتكيف مع القانون الأول للديناميكا الحرارية، يمكن تحويل حرارة جسم الإنسان إلى طاقة مفيدة.

يتم إيصال الطاقة إلى الجسم من خلال الأطعمة التي نتناولها والسوائل التي نشربها، حيث تحتوي الأطعمة على الكثير من الطاقة الكيميائية المخزنة؛ عندما تأكل، يقوم جسمك بتكسير هذه

الأطعمة إلى مكونات أصغر ويمتصها لاستخدامها كوقود، حيث تأتي الطاقة من العناصر الغذائية الرئيسية الثلاثة وهي الكربوهيدرات والبروتين والدهون، وتعتبر الكربوهيدرات أهم مصدر للطاقة، حيث أنه في الحالات التي يتم فيها استنفاد الكربوهيدرات، يمكن للجسم استخدام البروتين والدهون للحصول على الطاقة.. وعلى هذا، فإن التمثيل الغذائي الخاص بالإنسان هو التفاعلات الكيميائية في خلايا الجسم التي تحول هذا الطعام إلى طاقة.

ومعظم الطاقة التي يحتاجها الجسم تكون في حالة الراحة، والمعروفة باسم عملية التمثيل الغذائي القاعدي **Basal Metabolism**، وهو يعني الحد الأدنى من الطاقة التي يحتاجها الجسم للحفاظ على وظائفه الحيوية مثل التنفس والدورة الدموية ووظائف الأعضاء، ويُعرف معدل استخدام الطاقة لمثل هذه الوظائف باسم معدل الأيض الأساسي **Basal Metabolic Rate (BMR)** ويختلف بناءً على الوراثة والجنس والعمر والطول والوزن، حيث ينخفض معدل الأيض الأساسي الخاص بك مع تقدمك في السن بسبب انخفاض كتلة العضلات.

ولكي تتم عملية التمثيل الغذائي الأمثل للطاقة، فقد يتطلب الأمر الحصول على العناصر الغذائية الكافية من الطعام، وإلا فإن التمثيل الغذائي للطاقة لدينا سيكون ضعيفًا ونشعر بالتعب والبطء، حيث أن جميع الأطعمة تمنحك الطاقة اللازمة، كما أن بعض الأطعمة على وجه الخصوص تساعد على زيادة مستويات الطاقة لديك، مثل الموز (مصدر ممتاز للكربوهيدرات والبوتاسيوم وفيتامين ب ٦)، والأسماك الدهنية مثل السلمون أو التونة (مصدر جيد للبروتين والأحماض الدهنية وفيتامين ب)، كذلك الأرز البني (مصدر الألياف والفيتامينات والمعادن)، والبيض (مصدر البروتين)... وهكذا، حيث يتم تمثيل هذه الأطعمة داخل الخلايا في سلسلة بيوكيميائية طويلة ومعقدة لتكوين (أدينوسين ثلاثي الفوسفات) الكيميائي **Adenosine Triphosphate (ATP)** الذي تستخدمه الخلية للحصول على الطاقة للعديد من العمليات الخلوية مثل انقباض العضلات وانقسام الخلايا، حيث تتطلب هذه العملية الأكسجين وتسمى التنفس الهوائي.

على هذا النحو.. ينتج الإنسان العادي في حالة الراحة حوالي ١٠٠ واط من الطاقة، كما يمكن للإنسان على مدى بضع دقائق أن ينتج بشكل مريح من ٣٠٠-٤٠٠ واط؛ وفي حالة القيام ببعض الأنشطة القصيرة مثل الركض السريع، يمكن لبعض البشر إنتاج أكثر من ٢٠٠٠ واط **(O. C. Ozcanli, 2010,(21))**، الجزء الأكبر من هذه الطاقة مطلوب للقيام بمهام رئيسية مهمة، مثل ضخ الدم للقلب والنشاط العصبي العضلي داخل الجسم، ولكن يتم إهدار الكثير منها، بشكل أساسي

كحرارة ((T. Starner, 1996,(31)، حيث يمكن جمع كل هذه الطاقة المهدرة تقريبًا وتحويلها إلى كهرباء، حيث يمكن لهذه العملية أن تزيد أو تحل محل الاعتماد على البطاريات تمامًا.

لقد ظلت فكرة تحويل حرارة جسم الإنسان إلى كهرباء عملية مستمرة للعلماء منذ سنوات، ففي دولة السويد، على سبيل المثال، تستخدم محطة قطارات ستوكهولم المركزية **Stockholm Central Station** محولات حرارية لتحويل حرارة جسم الركاب إلى ماء ساخن، ثم يتم نقلها بعد ذلك عبر الأنابيب إلى مبنى المكاتب المجاور: وهو النهج الذي يمكن تكراره بسهولة في مراكز التسوق ومحلات السوبر ماركت في جميع أنحاء العالم، يحاول الباحثون إيجاد طرق لتشغيل الأجهزة الصغيرة، مثل الهواتف المحمولة وأجهزة الكمبيوتر المحمولة، عندما لا تكون هناك مصادر طاقة تقليدية ويمكن الوصول إليها.

ويعد تجميع طاقة الجسم هو البديل الأساسي للبطاريات لتعزيز وظائف الأجهزة المحمولة، وقد كان موضوعًا للعديد من الأبحاث العلمية الحديثة، حيث يتم إطلاق كمية كبيرة من الطاقة البشرية على شكل حركة وحرارة، لذلك، فإن تقنيات حصاد حرارة الجسم باستخدام الأجهزة الكهرو حرارية، أو حصاد الحركة باستخدام الأجهزة الكهرو ضغطية والكهرومغناطيسية (والتي سبق الحديث عنها) كانت أساسية للعديد من التحقيقات.

ويحتوي جسم الإنسان على كمية كبيرة من الطاقة، حيث أن متوسط رواسب الدهون **Fat deposits** في الجسم لدى الشخص البالغ يخزن طاقة بقدر ما تخزنه بطارية وزنها طن واحد، وقد تم حساب أن سعة الطاقة الشهرية لشخص يسير ٧٥٠٠ خطوة في اليوم تعادل بطارية بسعة ٠,٤٠ مللي أمبير في الساعة أي حوالي ١,٢ فولت ((Mahapatra, 2021,(17)، كما يمكن للشخص العادي أن يولد طاقة مماثلة لألواح شمسية مساحتها متر مربع واحد في يوم مشمس، و ١٠ أمتار مربعة من الألواح الشمسية في يوم ملبد بالغيوم، كما يمكن لرياضي قوي مثل منافس مسابقات القوة الأمريكي روبرت أوبريست **Robert Obrest**، أن يتناول ما بين خمسة عشر إلى عشرين ألف سعرة حرارية يوميًا، مما تجعله يستطيع إنتاج كمية كبيرة من الطاقة.

تبلغ الكفاءة الميكانيكية للجسم حوالي ١٥-٣٠% فقط، ويتم إطلاق معظم الطاقة التي يوفرها الطعام على شكل حرارة، حيث يمكن أن تكون حرارة الجسم مصدرًا للطاقة المستمرة نظرًا لأن درجة حرارة الجسم الأساسية يتم الحفاظ عليها عند ٣٧ درجة مئوية من خلال عمليات التمثيل الغذائي، حيث قام كل من"ريمر وشابيرو **Riemer; and Shapiro, 2011,(27)**" بحساب أن جسم الإنسان

بأكمله يمكنه تبديد من ٦٠–١٨٠ واط، اعتمادًا على نوع النشاط الذي يؤديه، حيث تم اقتراح الأجهزة الكهرو حرارية لحصد هذه الطاقة، وقد تم حساب أنه إذا كان لهذا الجهاز كفاءة تحويل تبلغ ~١%، فإن الطاقة الناتجة ستكون في نطاق ~٠,٦–١,٨ واط، وهو ما يكفي لتوفير الطاقة للعديد من أجهزة الاستشعار القابلة للارتداء، حيث يتم توليد هذه الطاقة من مصادر كثيفة الطاقة (الدهون). **(Homayounfar; Andrew, 2020,(13))**

ومع ذلك، فإن هذا يتطلب تغطية الجسم بالكامل بالمولدات الحرارية **thermoelectric generators (TEG)**، وهو أمر غير عملي، حيث يعد تحقيق كفاءة بنسبة ١% أمرًا صعبًا أيضًا بسبب القيود العملية التي تفرضها ظروف القدرة على ارتداء وحمل هذه المولدات، ولذلك من العملي أكثر تغطية جزء صغير فقط من الجسم باستخدام المولدات الحرارية القابلة للارتداء، وزيادة كفاءتها، وتقليل طاقة التحميل لها، ولذلك، هناك حاجة إلى تصميم دقيق لمولدات حرارية قابلة للارتداء تراعي العوامل السابقة.. علاوة على ذلك، يعد ارتباط حجم المولدات الحرارية، براحة الجسم من العوامل الحاسمة التي يجب معالجتها عند تصميمها.

لقد وصل السوق العالمي للمولدات الكهربائية الحرارية **(TEGs)**، المخصصة لتطوير مقاييس ذاتية التشغيل، إلى ٥٤٧,٧ مليون دولار بحلول نهاية عام ٢٠٢٠م، كما يعد التقدم في المنسوجات الذكية المدمجة بالمولدات الحرارية، مع إنتاج متوقع بقيمة ٩,٣ مليار دولار أمريكي بحلول عام ٢٠٢٤م، محركًا لسوق المولدات الكهربائية الحرارية القابل للارتداء **Wearable thermoelectric generators.**

- حصاد الطاقة الحركية ومستقبل البحث العلمي في علوم الرياضة:

تقدم الشركات العالمية لأجهزة الاستقبال القابلة للارتداء **wearable sensors** حلولاً جديدة لمراقبة مختلف المؤشرات لدى الرياضيين، حيث أصبحت أجهزة الاستقبال المصنوعة على هيئة إكسسوارات وأساور معدنية أكثر شيوعًا وانتشاراً الآن، حيث وصل سوق الأجهزة القابلة للارتداء العالمي إلى ٣٤ مليار دولار في عام ٢٠٢٠م، وفي عام ٢٠٢١م فقط، تم تسليم ٢٤٠,١ مليون وحدة من الأجهزة القابلة للارتداء في جميع أنحاء العالم، مما يؤدي إلى معدل نمو سنوي مركب يبلغ ١٨,٢%.. وفي أمريكا الشمالية وحدها، يظهر أكبر عدد من كبار السن في العقد الحالي إلى جانب ازدهار سوق الرياضة مع نمو متوقع بنسبة ١٣,٢٧% بين عامي ٢٠١٧م (٦٩,٣ مليار دولار) و٢٠٢١م (٧٨,٥ مليار دولار)، وقد عملت بعض فرق البحث في بعض الجامعات الأمريكية على أجهزة استشعار

مغزولة في القماش. ((Sayem, et al., 2020; Scataglini, et al,2020,(28)).. إن تطوير هذه الأجهزة لا يسهل قياس العديد من المؤشرات الرياضية المطلوبة فحسب، بل يسمح أيضًا بإجراء تجارب طويلة المدى على الرياضيين في مختلف الرياضات، مثل الدراسات المتعلقة بمجال تقييم الإصابات الرياضية وغيرها، ومع ذلك، تواجه هذه الأجهزة المدمجة بعض الصعوبات لكي تعمل بكفاءة عالية، على سبيل المثال، أنها تحتاج إلى مصدر طاقة للعمل، حيث تعتمد معظم هذه الأجهزة بشكل أساسي الآن على البطاريات الكهروكيميائية، لأنها تعمل بشكل جيد، حيث تتمتع بعض أنواع البطاريات المبتكرة، مثل بطاريات الليثيوم أيون **lithium–ion** المشهور، بخصائص مفيدة للغاية، حيث يمكن أن يصل عمر هذا النوع من البطاريات إلى بضع ساعات، وعلى الرغم من كفاءة هذا النوع في تخزين الطاقة، إلا أنه يعاني من بعض السلبيات، حيث يمكن أن يصل وقت الشحن إلى بضع ساعات، كما يمكن أن تؤثر البطارية على فعالية الأجهزة وقدرتها على متابعة المؤشرات بشكل مستمر، حيث أنه من الضروري استخراج البطارية وإعادة شحنها في معظم الأحيان، هذا بالإضافة إلى وجود معادن ثقيلة وانبعاثات سامة تعمل على تلوث البيئة، علاوة على ذلك فإن عمر البطارية ليس بلا نهاية.((Durmus, et al., 2020,(7))

والبديل هو استخدام أجهزة الاستشعار ذاتية التشغيل **self–powered sensors**، حيث يمكن استخدام المولدات الكهرو احتكاكية **triboelectric generators** للكشف عن الحركة، ويشبه هذا النوع من الأنظمة المولدات القابلة للارتداء **wearable generators**، حيث تقوم بتحويل مصادر الطاقة المتوفرة في جسم الإنسان إلى طاقة كهربائية ((Proto, A.; et al., 2017,(24)) .. ومن ضمن هذه المحاولات ما قام به الباحث "ماتسوناجا وزملائه **"Matsunaga, et al.,** (١٩),٢٠٢٠ حيث قاموا بتصميم مولدات كهربائية احتكاكية، تعتمد على أغشية رقيقة جداً من أنابيب الكربون النانوية **carbon nanotube films**.. وقد دارت مناقشات واسعة حول مصادر الطاقة الطبيعية المستخلصة من الممارسات الرياضية للبشر، حيث تم ابتكار أنظمة متعددة من أجل حصاد هذه الطاقة من حركات الإنسان وممارسته للرياضة، ومن بين مصادر الطاقة المختلفة التي تم الاهتمام بها، الطاقة الحرارية، وطاقة الترددات اللاسلكية، والطاقة الشمسية، والطاقة الحركية، وبالتالي، يمكن أن يكون تجميع الطاقة أيضًا حلاً مناسبًا لأجهزة استشعار الطاقة القابلة للارتداء؛ فمثلاً، يمكن للمولدات الكهروحرارية المستخلصة من حرارة الجسم إنتاج ما يصل إلى ١٥٣ ميكروواط، وهو ما يكفي لتشغيل

عدد قليل من الأجهزة، مثل أجهزة مراقبة تسارع حركات الجسم أثناء الممارسات الرياضية، أو أجهزة مراقبة درجة حرارة الجسم. (**Yuan, J., et al., 2019,(33)**)

تعتمد مولدات الطاقة الحركية بشكل كبير على حركة الإنسان، حيث يمكن تقسيمها إلى نوعين: المولدات الكهرو ضغطية **piezoelectric generators (PEGs)**، والمولدات الكهرو احتكاكية **triboelectric generators (TEGs)**، حيث يمكن أن تصل كثافة طاقة الخرج إلى ٧٥,٥٢ ميكرو واط وفقًا للتصميم، يمكن أيضًا أن تكون المولدات الكهرو ضغطية والمولدات الكهرو احتكاكية ثقيلة بعض الشيء، علاوة على ذلك، تعتمد معظم المولدات الكهرو ضغطية على مواد **PZT** (وهي أملاح الرصاص والزركونات والتيتانات)، وهي مواد سامة وملوثة، ومع ذلك، توجد وجهات نظر جديدة حول المواد الكهرو ضغطية الخالية من الرصاص، مثل ما توصل إليه "بولين فيترانت وآخرون **Poulin,V., et al.,2015,(23)**"في تصميم المولدات النانوية الكهرو ضغطية المعتمدة على أسلاك **ZnO** (أكسيد الزنك)، حيث يتمتع هذا النوع من الأسلاك بمزايا فريدة، تتعلق بطاقة ربط عالية الإكسيتون (٦٠ ميجا فولت).

ويمكن تقسيم التحديات المتعلقة بالمجال الرياضي إلى تقييم الأداء وقياسات الرياضيين، حيث يتم استخدام أجهزة استشعار مختلفة ومتعددة، وقد يتطلب تشغيل هذه الأجهزة المختلفة اللازمة كميات كبيرة من الطاقة، ومع ذلك، فإن الرياضيين يستهلكون كميات كبيرة من الطاقة أثناء تدريبهم أو أثناء المنافسات، والتي ترتبط بالجهد المبذول والإجراءات التي يتم تنفيذها.(**Walker, et al.,** ٢٠١٦,(٣٢))

ويؤدي نشاط الجسم الرياضي إنتاج الكثير من الطاقة الحركية، ومع ذلك، وعلى حد علمنا، لا توجد تقريبًا أي دراسات تبحث بدقة في مصادر الطاقة الحركية في جسم الإنسان للتطبيقات الرياضية، حيث تعتمد مصادر الطاقة على الحركات الرياضية التي يتم تنفيذها، ويمكن أن تتمركز هذه المصادر في أي مكان في جسم الإنسان، فعلى سبيل المثال: طورت الباحثة "كيم وزملائها **Kim, et al.,** (١٥),٢٠٢٠ آلة حصاد الطاقة الكهرو ضغطية المندمجة مع القماش، والتي تعمل تحت الانحناء والضغط، حيث أن تعدد استخدامات محولات الطاقة الكهرو ضغطية **piezoelectric energy generators (PEGs)** وقابليتها للتوسع يسمحان بتنظيمها في تشكيلات مختلفة، لحصد الطاقة من المصادر الحركية، مما يجعل من هذه المحولات **(PEGs)** أن تكون مرشحة بقوة لتكون بديلاً جيدًا لحصد الطاقة الحركية من الجسم بطريقة نظيفة وآمنة، للتغلب على الاستخدام المفرط للبطاريات

الملوثة للبيئة وغير الآمنة على صحة الإنسان، حيث قدم كل من "يوتشي ليو، وآخرون **Yuchi Liu, et al, 2021**" مسحاً شاملاً حول التقنيات المختلفة لاستخلاص الطاقة من جسم الإنسان، وأظهروا أن محولات الطاقة الكهرو ضغطية تعتبر محولات آمنة وواعدة للغاية.

وتوجد العديد من التصميمات والتقنيات الخاصة بالحصّادات الكهرو ضغطية في الأدبيات والمراجع المختلفة **(Elahi, H.et al., 2018,(8))**، **(Khalifa, S. et al., 2018,(14))**، ولها العديد من المزايا، مثل سهولة الاستخدام والتنفيذ، حيث يمكن أيضًا استخدام محولات الطاقة الكهرو ضغطية **PEGs** للتعرف على النشاط الحركي للإنسان، وهذه الأجهزة تعمل بالطاقة الذاتية، وتصميم عملها شائع جدًا؛ وبالتالي، لديهم الكثير من التطبيقات، علاوة على ذلك، يعتمد تشغيل المولد على الاهتزازات.

إن تصغير هذه الأجهزة يجعل من الصعب للغاية تصميمها لتحقيق الاستجابة المثلى لجسم الإنسان (أقصى إنتاج للطاقة)، بالإضافة إلى ذلك، يعد الضبط الكهربائي لدائرة حصاد الطاقة، جانبًا مهمًا لزيادة تدفق الطاقة إلى الحد الأقصى؛ حيث قام "برينيس وآخرون **Brenes, et al., ٢٠١٩,(٣)**" بتقديم مراجعة حول التنفيذ الفعال لتتبع الحد الأقصى لنقاط الطاقة، حيث تعمل حركة الإنسان بشكل رئيسي بتردد منخفض، وهي في الأساس حركات غير دورية، ومن الضروري تكييف محول الطاقة مع نغمة هذه الترددات وتكون متوافقة مع سرعتها..

وقد قدم الباحث"داميان هوارو وزملائه **Damien Hoareau, et al., 2023,(4)**" أحدث دراسة حول مصادر الطاقة الحركية المتوفرة في جسم الإنسان أثناء الأنشطة الرياضية، وهي نهج عددي يعتمد على مقاييس التسارع للحصّادات الكابولية الكهرو ضغطية، من أجل تحديد الموضع الأمثل للأوتاد الكابولية على جسم الشخص الرياضي، باستخدام نموذج عددي وبيانات تسارع تجريبية من الحركات الرياضية، حيث تم سرد الافتراضات البحثية للدراسة، وأدوات البحث المستخدمة، والتي يمكن أن تساعد لاحقًا في إجراء دراسات أخرى مماثلة في ظل ظروف التطبيق المطلوبة في هذه الدراسة، حيث تم تحديد الوضع والاتجاه الأمثل للأوتاد الكابولية الكهرو ضغطية الحاصدة للطاقة الحركية على مختلف مناطق جسم الرياضي، وقد أظهرت النتائج أنه في التطبيق الحالي للدراسة، كان المحور الطبيعي على سطح اليد اليمنى هو الموضع الأمثل، حيث تم تحديد وصلات الأطراف مثل القدمين واليدين والذراعين على أنها مصادر أفضل للطاقة، وقد كانت الطاقة المتوقعة من موضع القدم تمثل حوالي ٥٠% من الطاقة المتوقعة من موضع اليد اليمنى، وبشكلٍ عام، فإن الطاقة المتوقعة من

مواقع الذراع العلوية والساق كانت أقل من ٢٠% من الطاقة المتوقعة من موقع اليد اليمنى، كما أظهرت النتائج أن بيانات التسارع المستخلصة من الرياضي لها أثر كبير في تشغيل آلة الحصاد المبتكرة، وبالتالي، فإن ما لا يقل عن ٨٠% من الطاقة المتوقعة يرجع إلى بيانات التسارع المستخلصة من الرياضي، بمعنى أكثر وضوحاً أنه كلما زاد معدل سرعة الرياضي كلما زادت كمية الحصاد للطاقة الحركية المستخلصة من الحصّادات الكابولية الكهرو ضغطية المستخدمة في هذه الدراسة.

ويمكن أن تركز الدراسات المستقبلية على التحليل التجريبي لمصادر الطاقة الحركية من مختلف الرياضات، ومقارنة جدوى حصاد الطاقة الحركية من الرياضات المختلفة، هذا على الرغم من أن الطرق التجريبية صعبة ومرهقة للغاية، لأنها تتطلب أدوات عالية الدقة، وقياسات حركية بيوميكانيكية وفسيولوجية وبيوكيميائية معقدة أثناء الأداءات الرياضية الفائقة، بالإضافة لاستخدام وحدات قياس القصور الذاتي **inertia Measurements Units (IMUs)**.

- إمكانيات وقيود تسخير الطاقة الحركية البشرية من الرياضة:

هناك القليل جدًا من الأبحاث الأكاديمية حول حصاد الطاقة البشرية وتحويلها لطاقة كهربائية، ومعظم هذه الأبحاث لا تقوم بتحليل الأثر الاقتصادي والاجتماعي والبيئي لهذه العملية الهامة؛ ومع ذلك، قامت جامعة كاليفورنيا **University of California** بدراسة تحليلية استكشافية حول جدوى تسخير القوة البشرية للطاقة البديلة في مرافق اللياقة البدنية **fitness facilities**، ولا سيما مرفق الرياضة الترفيهية **(RSF) Recreational Sports Facility** في جامعة كاليفورنيا، وقد وجدت المجموعة البحثية أن استهلاك الطاقة السنوي لعدد ٢٢ جهازاً للسير المتحرك (تريدميل) داخل مرفق الرياضة الترفيهية بالجامعة كانت حوالي ١٧٠ ألف كيلووات ساعة، وهو ما يمثل حوالي ١٢٪ من استهلاك الطاقة الكلي للمرفق، وبناءً على ذلك، ركز الفريق البحثي على تسخير الطاقة من ٢٨ جهازا رياضياً **elliptical machines** داخل صالة الرياضة الترفيهية بالجامعة، عن طريق استبدال آلية المقاومة المدمجة داخل تلك الأجهزة بمحول تيار مستمر/تيار متردد صغير، وتحويل التيار المباشر للمستفيد إلى تيار متناوب قابل للاستخدام للشبكة الكهربائية؛ بلغ متوسط الطاقة البشرية ١٠٠ واط في ساعة، مع كفاءة نظام التحويل بنسبة ٨٥٪، وتشير التقديرات إلى أنه يمكن تسخير ٧٨٠٠ كيلووات في الساعة سنويًا، كما طور الباحثون تحليل

التكلفة والعائد، بناءً على استهلاك الطاقة في المنشأة، وجدوا أن الطاقة المستغلة تصل إلى ٠,٧% من إجمالي الطاقة التي تستهلكها صالة الرياضة الترفيهية بالجامعة ، على افتراض أن تكاليف الكهرباء في المنشأة، تتراوح بين ٠,٠٨٥ دولار إلى ٠,١٠٥ دولار لكل كيلووات في الساعة، وعلى هذا النحو، ستبلغ وفورات الطاقة حوالي ١٠٠٠ دولار سنويًا، وسيغطي التركيب تكاليفه ماليًا في حوالي ٢٠ عامًا، بافتراض أن تكاليف التركيب تبلغ ٢٠٠٠٠ دولار، كما سيصل التخفيض المتوقع لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون من هذا المشروع في مرفق الرياضة الترفيهية بالجامعة إلى ٣,٧ طن متري.

علاوة على ذلك، اكتشف الباحثون أيضًا قيودًا على تسخير الطاقة البشرية من الحركة، فمن الناحية المالية، لا يبدو تركيب آلات تحويل الطاقة داخل أجهزة الممارسة في صالات اللياقة البدنية أمراً قابلاً للتطبيق، حيث لا يعرف الناس الفوائد الاجتماعية والاقتصادية والبيئية التي تخلقها المرافق الترفيهية من خلال تسخير الطاقة البشرية، كذلك هناك قلق بشأن مستوى تعليم الناس فيما يتعلق باستهلاك الطاقة، يعتقد معظم الناس أن الدراجات الهوائية الثابتة **stationary bicycles** تستخدم الطاقة من شبكة الكهرباء العمومية، لكن في الواقع، الدراجات الثابتة تعمل بالطاقة الذاتية، بالإضافة إلى ذلك، لا يعرف الناس بيانات استهلاك الطاقة للأجهزة الأخرى؛ ولذلك، إن تثقيف الأعضاء حول حصاد الطاقة البشرية يمكن أن يؤدي إلى إقبال متزايد من الأعضاء على ممارسة الرياضة والتمرينات البدنية..**(Haji, Lau, & Agogino, 2010,(12))**

ويستمر البحث العلمي في مجال حصاد الطاقة البشرية في النمو والتوسع بوتيرة سريعة مع الحاجة إلى مصادر الطاقة النظيفة في جميع أنحاء العالم.. وبشكل عام، لا تزال هناك فجوة في الدراسات الكمية لتوضيح أثر تسخير الطاقة الحركية البشرية من الرياضة، وعلى هذا النحو، فإنه من المهم فهم ودراسة النقاط التالية:

≈خلق وعي اجتماعي وتثقيفي بين الممارسين وطبقات المجتمع المحلي بفوائد تسخير الطاقة من خلال الحركة البشرية ومن الممارسة الرياضية.

≈التعريف بمقدار الطاقة التي يمكن أن ينتجها البشر من خلال عرض المقاييس الكمية للطاقة المحصودة من الممارسات الرياضية.

≈بحث وحساب الفوائد التي يمثلها حصاد الطاقة الحركية البشرية الرياضية للبيئة، وتحديداً للحد من انبعاثات الغازات الدفيئة **Greenhouse gases**[٣].

٣) الغازات الدفيئة **Greenhouse gases** هي الغازات التي لها خاصية امتصاص الأشعة تحت الحمراء، أي أنها تمتص الطاقة الحرارية الكلية، حيث إن هذه الأشعة تنبعث من سطح الأرض ثم يتم إعادتها مرة أخرى إلى السطح، وهو ما يؤدي إلى الاحتباس الحراري، ويعتبر غاز ثاني أكسيد الكربون، والميثان، وبخار الماء من أهم الغازات الدفيئة.

≈الانعكاسات الاقتصادية الشاملة لتسخير الطاقة الحركية البشرية الرياضية من جسم الإنسان.

≈العائد الاستثماري الضخم على الاستثمار الذي سيخلفه إنتاج الطاقة المحتمل من جسم الإنسان.

- الانعكاسات الاقتصادية لتسخير الطاقة الحركية من الرياضة:

وفي دراسة قام بها الباحث "جييرمو استرادا **Guillermo Estrada 2020,(9)**" في مركز اللياقة البدنية بجامعة كالجاري الكندية **University of Calgary** لتقييم المنفعة الاقتصادية لجامعة كالجاري، وتأثيرها على الطاقة وخفض انبعاثات الغازات الدفيئة مع الأخذ في الاعتبار عدد الأشخاص الذين زاروا مركز اللياقة البدنية خلال عام ٢٠١٩م واستخدموا ٨٣ آلة رياضية من معدات مركز اللياقة البدنية بالجامعة، حيث حضر ما مجموعه ٤٤٣,٤٥٨ ألف شخصًا إلى مركز اللياقة البدنية، حيث مارس كل زائر التمارين لمدة ساعة واحدة بطرق مختلفة (أي استخدام سلالم الدرج، والمجدفين، والدراجة، واليوجا، ورفع الأثقال، والجري)، ومن هذا العدد من الرياضيين، من غير المؤكد معرفة النشاط والسعرات الحرارية التي يحرقها كل عضو، ومع ذلك، وبالنظر إلى أن الرياضيين يحرقون من ١٠٠ إلى ٩٠٠ سعرة حرارية في الساعة، اعتمادًا على التمرين وكثافة التمرين، فقد افترضت أنه من بين ٤٤٣٤٥٨ رياضيًا، حرق كل ٢٠٪ من الزوار ١٠٠ و٣٠٠ و٥٠٠ و٧٠٠ و٩٠٠ سعرة حرارية، على التوالي؛ مما يؤدي إلى حرق متوسط ٥٠٠ سعرة حرارية لكل رياضي خلال ساعة واحدة، حيث يعادل هذا الرقم ١٣٩ واطًا في الساعة، مما يعني أن مركز اللياقة البدنية بجامعة كالجاري كان سينتج ٦١,٦٤١ كيلووات في الساعة من الكهرباء في عام ٢٠١٩م، وهو ما يمثل توفيرًا قدره ٤,١٣٦ دولارًا، ومن المثير للاهتمام أن تسخير الطاقة البشرية من مركز اللياقة البدنية كان من شأنه أن يقلل ٤٣,٥ طن متري من ثاني أكسيد الكربون، أي ما يعادل ٤٩٠٠ جالون من البنزين المستهلك.

كما يجب أن يوضع أيضاً في الاعتبار عدد الأشخاص الذين استخدموا الدراجات الهوائية الخاصة بمنطقة ركوب الدراجات **Peloton Cycling** بجامعة كالجاري خلال عام ٢٠١٩م أيضاً، ففي المجمل، كان هناك ٤,٧٠٧ رياضيًا مسجلين، استخدم كل منهم الدراجة الهوائية الخاصة بالجامعة لمدة ساعة واحدة، من بين هؤلاء الرياضيين، يمثل حوالي ٢٠% منهم من محترفي ركوب الدراجات الذين يمكنهم إنتاج متوسط ٢٠٠ واط في الساعة، ومن بين الـ ٨٠% المتبقية، يوجد حوالي ٥% من البالغين الذين لا يمارسون الرياضة ويصل متوسط طاقتهم إلى ١٣٠ واط/ساعة، وحوالي ٢٥% من الرياضيين المتحمسين الذين يبلغ متوسط إنتاجهم حوالي ١٨٠ واط/ساعة، و٥٠% من عشاق اللياقة

البدنية الذين يبلغ متوسطهم ١٦٠ واط/ساعة. بشكل عام، تؤدي هذه الأرقام إلى متوسط مرجح قدره ١٧٢ واط في الساعة.

بالنظر إلى الأرقام المذكورة أعلاه، كانت جامعة كالجاري قد أنتجت ٨٠٧ كيلووات في الساعة من الكهرباء خلال عام ٢٠١٩م، وهو ما يمثل وفورات سنوية قدرها ٥٥ دولارًا، وفيما يتعلق بالأثر البيئي، فإن جامعة كالجاري كانت ستخفض فقط ٠,٦ طن متري من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.. بشكل عام، تتمتع جامعة كالجاري بمجال كبير للتحسين بالنظر إلى ساعات عمل مركز اللياقة البدنية والعدد الكبير من الدراجات الهوائية والتي عددها كان (٣٧) دراجة.

في الأساس، تمثل دراسة "جييرمو استرادا **Guillermo Estrada 2020,(9)**" دليلاً أوليًا على حصاد الطاقة البشرية أثناء الراحة، وأثناء ممارسة الرياضة، بالإضافة إلى ذلك، فإنه يقدم صورة كبيرة لكيفية تشغيل الأجهزة المنزلية والإلكترونيات بالطاقة الحركية البشرية، مما يمثل وفورات اقتصادية عن طريق خفض الطلب على الطاقة، مع خلق بصمة كربونية إيجابية بسبب إنتاج الطاقة النظيفة، علاوة على ذلك، تشير النتائج التي توصل إليها "استرادا" إلى أن هناك حاجة لتكنولوجيا يمكنها حصاد الطاقة الحركية البشرية طوال اليوم (٢٤ ساعة في اليوم)، وبتكلفة منخفضة، أيضًا، لتحسين العائدات وتقليل الاستهلاكات، كما يمكن استثمار معدات التدريب داخل صالات الرياضة إلى زيادة معدلات كفاءة تحويل الطاقة، كما يمكن استثمار البشر إلى زيادة إنتاج الطاقة من الممارسة الرياضية، ويتعين على شركات المرافق استثمار هذه العوامل في زيادة معدلات الكهرباء، مما قد يساعد في الحصول على وفورات اقتصادية أفضل وأكثر جاذبية، وأخيرا، تساهم دراسة "جييرمو استرادا" في خلق عالم أكثر خضرة، مع الحوافز الاقتصادية من خلال إيجاد مصادر جديدة للطاقة النظيفة، وهي في هذه الحالة الطاقة البشرية من خلال الممارسات الرياضية داخل الصالات والقاعات والملاعب الرياضية.

ونظرًا للوقت والموارد المحددة، توجد بعض القيود في دراسة "استرادا" مما تشكل اقتراحات للبحث المستقبلي، سواء في مجال علوم الرياضة أو في مجال إنتاج الطاقة لمهندسي الكهرباء، فمثلاً: تعتبر النتائج الموضحة في دراسة "استرادا" أن كل الطاقة البشرية (١٠٠٪) يتم تخزينها واستخدامها ككهرباء، ولا توجد اليوم تكنولوجيا قادرة على حصد وتخزين كل الطاقة الحركية البشرية؛ ومع ذلك، تعمل الشركات على إيجاد هذه التكنولوجيا الجديدة.

بالإضافة إلى ذلك، فإن البيانات التي تم جمعها من منطقة ركوب الدراجات **Peloton Cycling**، ومركز اللياقة البدنية **Fitness Centre** بجامعة كالجاري هي تقدير تقريبي لعدد

الأشخاص الذين حضروا إلى هذه المؤسسات، ويجب العثور على العدد الدقيق للزوار، والأهم من ذلك أن النتائج تشير إلى تقدير لإجمالي الطاقة التي يمكن تسخيرها من قبل هذه المؤسسات، حيث أن الطاقة (واط/ساعة) التي يولدها كل رياضي هي أحد افتراضات الباحث، فإذا أراد الباحثون معرفة العدد الدقيق للواط أو السعرات الحرارية المحروقة لكل زائر، فيجب إجراء دراسة ميدانية مع كل عضو بنفسه.

كما أن العدد الحقيقي للساعات أو الدقائق التي يستخدم فيها كل زائر الجهاز هو أيضًا تقديري من قبل الباحث "استرادا"، حيث افترض أن الجميع مارسوا الرياضة لمدة ساعة واحدة فقط، ويجب أن تجد الدراسات المستقبلية كيفية قياس العدد الدقيق للساعات والسعرات الحرارية/الواط وعدد الزوار لكل مؤسسة خلال العام.

والأهم من ذلك، أن الدراسة المستقبلية تحتاج إلى إنشاء تقييم دورة حياة **life cycle assessment (LCA)** للآلات (أي المعدات الفنية الرياضية) المستخدمة لتسخير الطاقة البشرية، وفي نفس السياق، من المهم البحث في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التي ينتجها الإنسان (أي الطعام) لتخزين الطاقة في جسمه (السعرات الحرارية)، وبهذا، يمكن مقارنة الانبعاثات الناتجة عن البشر والانبعاثات الناتجة عن الآلات مع انخفاض انبعاثات الغازات الدفيئة الناتجة عن تسخير الطاقة عبر جسم الإنسان.

وأخيرًا، لا ينبغي للأبحاث المستقبلية أن تقوم فقط بتقييم التحليل الاقتصادي لجدوى آلات إنتاج الكهرباء التقليدية، بل سيكون من المثير للاهتمام أن نرى كيف تبدو المقاييس الاقتصادية عند النظر فقط في التكلفة الإضافية لشراء آلات تجميع وحصد الطاقة داخل مراكز اللياقة البدنية والأندية الصحية المنتشرة في جميع ربوع البلاد (مقارنة بالطرق التقليدية)، ومن المحتمل أن يكون هذا التحليل أكثر جاذبية، حيث يُظهر عائداً استثمارياً واقتصادياً أعلى بكثير، ومن جهة أخرى، فمن المنظور البيئي، سيكون من المثير للاهتمام معرفة ما يمكن أن توفره آلات حصد الطاقة من البشر.

يمكن أن يؤدي حصاد الطاقة البشرية إلى إحداث تأثير مثمر ونظيف ومستدام في صناعة الطاقة، كما إن كيفية تقدير وحساب الوفورات الاقتصادية والبيئية وتوليد الطاقة بشكل أفضل للنهوض بمستقبل مستدام يتطلب دراسة وتحديثات مستمرة من التقنيات المختلفة وأسعار الطاقة.

والجدول التالي المأخوذ من دراسة "جييرمو استرادا" هو مقارنة اقتصادية بين إنتاج الطاقة من المصادر التقليدية وإنتاجها من المصادر البشرية أثناء الراحة وأثناء الممارسة الرياضية بشكل عام،

حيث تتفوق مصادر إنتاج الطاقة البشرية من الممارسة الرياضية في إنتاج الطاقة النظيفة، وذلك لشخص واحد فقط من الذين يمارسون الرياضة بانتظام سواء داخل الصالات أو في الملاعب المفتوحة.

للشخص الواحد		في الساعة	في السنة
للشخص الواحد		١	١
إنتاج كهرباء لشخص واحد (ميجا/واط/ساعة)		٠,٠٠٤١٧	٣٦,٥
في حالة الراحة	واط لكل شخص @ ٢٠٠٠ سعرة حرارية أو ١٠٠ واط.. (كيلو/واط/ساعة)	٠,٠٠٤١٧	٣٦,٥
	الدخل/الوفورات في مجال الكهرباء لشخص واحد.. بالدولار	٠,٠	٢,٤
	خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون لشخص واحد (الأطنان المترية)	٠,٠	٠,٠٣
أثناء ممارسة الرياضة	ساعة واحدة من التمارين الرياضية @ ١٤٠واط/ساعة (ميجا/واط/ساعة)	٠,١٤٠	١,٢٢٦,٤
	الدخل/الوفورات في مجال الكهرباء لشخص واحد.. بالدولار	٠,٠١	٨١
	خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون لشخص واحد (الأطنان المترية)	٠,٠	٠,٩
الإجمالي	إجمالي إنتاج الكهرباء (ميجا/واط/ساعة)	٠,١٤٤	١,٢٦٢,٩
	إجمالي دخل/وفورات الكهرباء (بالآلاف).. دولار	٠,٠١	٨٤
	إجمالي التخفيض في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (الأطنان المترية)	٠,٠	٠,٩

كما يبين الجدول التالي المأخوذ من دراسة "جييرمو استرادا" مقارنة اقتصادية بين إنتاج الطاقة من المصادر التقليدية وإنتاجها من المصادر البشرية أثناء الراحة وأثناء الممارسة الرياضية بشكل عام، حيث تتفوق مصادر إنتاج الطاقة البشرية من الممارسة الرياضية في إنتاج الطاقة النظيفة، وذلك لعدد (١,٣٠٠,٠٠٠) من سكان كلاجاري.

في كالاجاري		في الساعة	في السنة
عدد سكان كلاجاري (بالآلاف)		١,٣٠٠,٠٠٠	١,٣٠٠,٠٠٠
إنتاج كهرباء كلاجاري (ميجا/واط/ساعة)		٥,٤١٦,٧٠	٤٧,٤٥٠,٠٠٠
في حالة الراحة	واط لكل شخص @ ٢٠٠٠ سعرة حرارية أو ١٠٠ واط.. (كيلو/واط/ساعة)	٠,٠٠٤١٧	٣٦,٥
	الدخل/الوفورات في مجال الكهرباء في كلاجاري (بالآلاف).. دولار	٣٥٩	٣,١٤٥,٧٠٦
	خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في كلاجاري (الأطنان المترية)	٣,٨	٣٣,٥٥٠
أثناء ممارسة الرياضة	ساعة واحدة من التمارين الرياضية @ ١٤٠واط/ساعة (ميجا/واط/ساعة)	١٨٢,٠٠٠	١,٥٩٤,٣٢٠,٠٠٠
	الدخل/الوفورات في مجال الكهرباء في كلاجاري (بالآلاف).. دولار	١٢,٠٦٦	١٠٥,٦٩٥,٧١٠
	خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في كلاجاري (الأطنان المترية)	١٢٩	١,١٢٧,٢٤٨,٠
الإجمالي	إجمالي إنتاج الكهرباء (ميجا/واط/ساعة)	١٨٧,٤١٦,٧٠	١,٦٤١,٧٧٠,٠٠٠
	إجمالي دخل/وفورات الكهرباء (بالآلاف).. دولار	١٢,٤٢٥	١٠٨,٨٤١,٤١٦
	إجمالي التخفيض في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (الأطنان المترية)	١٣٢,٨٠	١,١٣٠,٧٩٨

كما يبين الجدول التالي المأخوذ من دراسة "جييرمو استرادا" أيضاً مقارنة اقتصادية بين إنتاج الطاقة من المصادر التقليدية وإنتاجها من المصادر البشرية أثناء الراحة وأثناء الممارسة الرياضية بشكل عام، حيث تتفوق مصادر إنتاج الطاقة البشرية من الممارسة الرياضية في إنتاج الطاقة النظيفة، وذلك لعدد محدود من سكان العالم (٧,٨٠٠,٠٠٠) من الذين يمارسون الرياضة بانتظام سواء داخل الصالات أو في الملاعب المفتوحة.

في العالم		في الساعة	في السنة
عدد سكان العالم الممارسين للرياضة بانتظام (بالآلاف)		٧,٨٠٠,٠٠٠	٧٨٠٠٠٠٠
الإنتاج العالمي من الكهرباء (ميجا/واط/ساعة)		٣٢,٥٠٠	٢٨٤,٧٠٠,٠٠٠
في حالة الراحة	واط لكل شخص @ ٢٠٠٠ سعرة حرارية أو ١٠٠ واط.. (كيلو/واط/ساعة)	٠,٠٠٤١٧	٣٦,٥
	الدخل/الوفورات في مجال الكهرباء في العالم (بالآلاف).. دولار	٢,١٥٥	١٨,٨٧٤,٢٣٤
	الخفض العالمي لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون (الأطنان المترية)	٢٢,٩٧٩,٠	٢٠١,٢٩٤,٢٨٨
أثناء ممارسة الرياضة	ساعة واحدة من التمارين الرياضية @ ١٤٠واط/ساعة (ميجا/واط/ساعة)	١,٠٩٢,٠٠٠	٩,٥٦٥,٩٢٠,٠٠٠
	الدخل/الوفورات في مجال الكهرباء في العالم (بالآلاف).. دولار	٧٢,٣٩٤	٦٣٤,١٧٤,٢٦١
	الخفض العالمي لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون (الأطنان المترية)	٧٧٢,٠٨٨,٠	٦,٧٦٣,٤٨٨,٠٧٧
الإجمالي	إجمالي إنتاج الكهرباء (ميجا/واط/ساعة)	١,١٢٤,٥٠٠	٩,٨٥٠,٦٢٠,٠٠٠
	إجمالي دخل/وفورات الكهرباء (بالآلاف).. دولار	٧٤,٥٤٩	٦٥٣,٠٤٨,٤٩٥
	إجمالي التخفيض في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (الأطنان المترية)	٧٩٥,٠٦٧	٦,٩٦٤,٧٨٢,٣٦٥

***حيث يتم حساب الدخل/التوفير باستخدام معدل كهرباء قدره ٠,٠٦٦ دولار لكل كيلووات في الساعة.**

وبشكل عام، تظهر النتائج أن تسخير الطاقة البشرية من الحركة يمكن أن يغير سوق الكهرباء، مما يخلق دخلاً إضافيًا للإنسان، إن إجمالي إنتاج الطاقة من سكان العالم هائل ويمكن أن يؤدي ذلك إلى تغيير في حياة الناس، ربما مع ممارسة البشر المزيد من التمارين الرياضية لتوفير المال، مما يقلل من تكاليف الكهرباء، وأخيرًا، يؤدي هذا إلى بصمة كربونية إيجابية مدفوعة بانخفاض انبعاثات الغازات الدفيئة في جميع أنحاء العالم.

المذهل في الموضوع أن ممارسة الرياضة بهذا المفهوم الاستثماري في إنتاج الطاقة، يمكن أن يؤدي إلى تلك العوامل الإيجابية التالية:

١) انخفاض أسعار التجزئة للمعدات الرياضية الفنية، بالنظر إلى المردود الاقتصادي الذي سيأتي من ورائها.

٢) زيادة عدد الأشخاص الذين سيحضرون إلى مراكز اللياقة البدنية لممارسة الرياضة من أجل الحصول على المال.

٣) سيحتاج الناس المزيد من الوقت لممارسة الرياضة (عدد أكبر من الساعات).

٤) زيادة عدد الواط/ساعة لكل حاضر.

٥) ارتفاع أسعار الكهرباء القادمة من توليد الطاقة النظيفة.

- **الخلاصة Conclusion:**

في نهاية هذا المقال يمكننا أن نتبني الاستخلاصات والتوصيات التي توصل إليها الباحث أنطونيو سيشيل **Antonio Cicchell, 2023,(2)** " حول إنتاج الطاقة البشرية وحصاد الطاقة، والتي يمكن اعتبارها نقاط هامة تحدد مستقبل تسخير الطاقة من البشر أثناء ممارسة الرياضة:

≈في حالات محددة، كما هو الحال في الرياضة، هناك إنتاج طوعي للطاقة التي عادة ما يتم فقدانها، ومن الممكن أن يساعد التطور الهائل في تصميم المرافق الرياضية والأدوات الرياضية في حصاد بعض هذه الطاقة المفقودة، وذلك باستخدام العديد من التقنيات المختلفة والمتاحة.. وتعتبر الرياضة في كثير الأحيان نشاطاً إنسانياً مبدد للطاقة، حيث يستلزم ممارستها زيادة كبيرة في استهلاك الغذاء، ومن ثم فإن تطوير أدوات حصاد الطاقة يمكن أن يكون مفيدًا ليس فقط من منظور صحي أو اقتصادي، بل أيضًا للبيئة، ويمكن أن يساعد في استدامة استخدام الطاقة..

≈إن تصميم المباني والمرافق الذكية (المرافق الرياضية) القادرة على حصد الطاقة (على سبيل المثال، تزايد اشتراك الجماهير في الأندية الصحية وصالات اللياقة البدنية، وكذلك الحرارة الناتجة عن حضور الجمهور لحدث رياضي) يمكن أن يقلل بشكل كبير من الطلب على الطاقة وتبديدها، ليكون بمثابة عامل قوي في تحسين البيئة.

≈تمثل دورة إنتاج واستهلاك الطاقة **(consumption/production)** معضلة العصر الحديث: فمن ناحية، هناك حاجة إلى توفير الطاقة وإعادة استخدامها؛ ومن ناحية أخرى، هناك حاجة لتبديد الطاقة لتكون بصحة جيدة.. إن حصاد الطاقة البشرية يمكن أن يجمع بين هذين الحاجتين.

≈يعد تطوير الأجهزة المقاومة للضغط وتحسين كفاءتها نقطة أساسية في تطوير تكنولوجيا تجميع الطاقة بالإضافة إلى طرق تخزين الطاقة.

≈إن التطور السريع لتقنيات إعادة استخدام وتخزين الطاقة التي ينتجها الإنسان يعني أنه من الممكن الآن اعتمادها بتكلفة ميسورة في العديد من البيئات.

≈وأخيرا، لابد من النظر في الفوائد النفسية لإنتاج الطاقة من خلال الحركة، وخاصة فيما يتعلق بمكافأة الاستخدام المفيد اجتماعيا للطاقة.

≈إن فكرة حصاد الطاقة البشرية ليست جديدة، ولكن التكنولوجيا المطلوبة وصلت الآن إلى مرحلة متقدمة، حيث أصبح من الممكن والملائم اقتصاديًا تطوير آلات الحصاد.

≈يسمح مستوى الاستعداد التكنولوجي الآن بتطوير أنظمة مفيدة تجاريًا لتجميع الطاقة البشرية استنادًا إلى أجهزة مختلفة (الكهرضغطية بشكل أساسي) وتخزين هذه الطاقة في المكثفات المناسبة.

- المراجع References:

١) *Anthony, S. (2011, July 11). Extreme Tech: **Kinetic energy harvesting: Everyday human activity could power the internet of thing.** Retrieved April 28, 2020, from https://www.extremetech.com/extreme/161079-kinetic-energy-harvesting-everydayhuman-activity-could-power-the-internet-of-things.*

٢) *Antonio Cicchell,(2023). **Human Power Production and Energy Harvesting**, Encyclopedia 2023, 3(2), 698-704.*

٣) *Brenes, A.; Morel, A.; Juillard, J.; Lefeuvre, E.; Badel, A. (2020). **Maximum power point of piezoelectric energy harvesters: A review of optimality condition for electrical tuning**. Smart Mater. Struct. 2020,29, 033001*

٤) *Damien Hoareau, Gurvan Jodin, Abdo-Rahmane Anas Laaraibi, Jacques Prioux, and Florence Razan, (2023). **Available Kinetic Energy Sources on the Human Body during Sports Activities: A Numerical Approach Based on Accelerometers for Cantilevered Piezoelectric Harvesters**. March 2023, Energies 16(6):2695.*

٥) *Davies, C.T.; Sandstrom, E.R. (1989). **Maximal mechanical power output and capacity of cyclists and young adults.** Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol. 1989, 58, 838–844.*

٦) *Dhruv R. Seshadri, Ryan T. Li, James E. Voos, James R. Rowbottom, Celeste M. Alfes, Christian A. Zorman, and Colin K. Drummond, (2019). **Wearable sensors for monitoring the internal and external workload of the athlete,** NPJ Digit Med. 2019; 2: 71.*

٧) *Durmus, Y.E.; Zhang, H.; Baakes, F.; Desmaizieres, G.; Hayun, H.; Yang, L.; Kolek, M.; Küpers, V.; Janek, J.; Mandler, D.; et al. (2020) **"Side by Side Battery Technologies with Lithium-Ion Based Batteries.** Adv. Energy Mater. 2020, 10, 2000089.*

٨) *Elahi, H.; Eugeni, M.; Gaudenzi, P. (2018). **A review on mechanisms for piezoelectric-based energy harvesters.** Energies 2018, 11, 1850.*

٩) *Estrada, G. (2020). **Harvesting Human Energy** (Unpublished master's project). University of Calgary, Calgary, Alberta, CANADA.*

١٠) *Guler U, Sendi M.S.E, Ghovanloo, M, (2017). **dual-mode passive rectifier for wide-range input power flow**, IEEE 60th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), Aug. 2017.*

١١) *H. C. Van Ness, (1983). **Understanding Thermodynamics** (Dover Books on Physics), Mineola, New York, USA.*

١٢) *Haji, M., Lau, K., & Agogino, A. (2010**). Human power for alternative energy in fitness facilities: A case study.** University of California, Berkeley, CALIFORNIA.*

١٣) *Homayounfar, S.Z.; Andrew, T.L. (2020). **Wearable Sensors for Monitoring Human Motion: A Review on Mechanisms, Materials, and Challenges.** SLAS Technol. 2020, 25, 9–24.*

١٤) *Khalifa, S.; Lan, G.; Hassan, M.; Seneviratne, A.; Das, S.K. (2018). **HARKE: Human Activity Recognition from Kinetic Energy Harvesting Data in Wearable Devices**. IEEE Trans. Mob. Comput. 2018, 17, 1353–1368.*

١٥) *Kim, J.; Byun, S.; Lee, S.; Ryu, J.; Cho, S.; Oh, C.; Kim, H.; No, K.; Ryu, S.; Lee, Y.M.; et al. (2020). **Cost-effective and strongly integrated fabric-based wearable piezoelectric energy harvester**. Nano Energy 2020,75, 104992.*

١٦) *Liu, Y.; Khanbareh, H.; Halim, M.A.; Feeney, A.; Zhang, X.; Heidari, H.; Ghannam, R. (2021).* ***Piezoelectric energy harvesting for self-powered wearable upper limb applications****. Nano Sel. 2021, 2, 1459–1479.*

١٧) *Mahapatra, S.D.; Mohapatra, P.C.; Aria, A.I.; Christie, G.; Mishra, Y.K.; Hofmann, S.; Thakur, V.K. (2021).* ***Piezoelectric Materials for Energy Harvesting and Sensing Applications: Roadmap for Future Smart Materials.*** *Adv. Sci. 2021, 8, e2100864.*

١٨) *Maria Gorlatova; John Sarik; Guy Grebla; Mina Cong; Ioannis Kymissis; Gil Zussman, (2015).* ***Movers and Shakers: Kinetic Energy Harvesting for the Internet of Things****, IEEE Journal on Selected Areas in Communications (Volume: 33, Issue: 8, August 2015).*

١٩) *Matsunaga, M.; Hirotani, J.; Kishimoto, S.; Ohno, Y. (2020).* ***High-output, transparent, stretchable triboelectric nanogenerator based oncarbon nanotube thin film toward wearable energy harvesters****. Nano Energy 2020,67, 104297.*

٢٠) *McArdle, W.D.; Katch, F.I.; Katch, V.L. (2001).* ***Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance****, 5th ed.; Lippincott, Williams & Wilkins: New York, NY, USA, 2001.*

٢١) *O. C. Ozcanli, (2010).* ***"Turning Body Heat Into Electricity,"*** *Forbes Books, 18 Broad St, Charleston, SC 29401, South Carolina, USA, Jun 8th.*

٢٢) *Panayanthatta, Namanu; Clementi, Giacomo; Ouhabaz, Merieme; Costanza, Mario; Margueron, Samuel; Bartasyte, Ausrine; Basrour, Skandar; Bano, Edwige; Montes, Laurent; Dehollain, Catherine; La Rosa, Roberto (January 2021****). "A Self-Powered and Battery-Free Vibrational Energy to Time Converter for Wireless Vibration Monitoring"****. Sensors. 21 (22): 7503P.*

٢٣) *Poulin-Vittrant, G.; Oshman, C.; Opoku, C.; Dahiya, A.; Camara, N.; Alquier, D.; Hue, L.-P.T.H.; Lethiecq, M. (2015).* ***Fabrication and Characterization of ZnO Nanowire-based Piezoelectric Nanogenerators for Low Frequency Mechanical Energy Harvesting.*** *Phys. Procedia 2015,70, 909–913.*

٢٤) *Proto, A.; Penhaker, M.; Conforto, S.; Schmid, M. (2017).* ***Nanogenerators for Human Body Energy Harvesting.*** *Trends Biotechnol. 2017,35, 610–624.*

٢٥) *Ravanbod, Mohammad; Ebrahimi-Nejad, Salman (2023).* ***"Perforated Auxetic Honeycomb Booster with Reentrant Chirality: A New Design for High-Efficiency Piezoelectric Energy Harvesting".*** *Mechanics of Advanced Materials and Structures: 1–16.*

٢٦) *Renee Williams, Ali Bakhshandeh Rostami, (2016).* ***Energy Harvesting, technology methods and applications,*** *Published by Nova Science Publishers, Inc. † New York.*

٢٧) *Riemer, R.; Shapiro, A. (2011).* ***Biomechanical energy harvesting from human motion:theory, state of the art, design guidelines and future directions.*** *J. Neuroeng. Rehabil. 2011, 8, 22.*

٢٨) *Sayem, A.S.M.; Teay, S.H.; Shahariar, H.; Fink, P.L.; Albarbar, A. (2020).* ***Review on Smart Electro-Clothing Systems*** *(SeCSs). Sensors, 2020,20, 587.*

٢٩) *Scataglini, S.; Moorhead, A.P.; Feletti, F. A, (2020).* ***Systematic Review of Smart Clothing in Sports: Possible Applications to Extreme Sports. Muscle Ligaments Tendons*** *J. 2020,10, 333.*

٣٠) Soriano, M.A.; Kipp, K.; Lake, J.P.; Suchomel, T.J.; Marín, P.J.; Sainz De Baranda, M.P.; Comfort, P. (2023). ***Mechanical power production assessment during weightlifting exercises***. *A systematic review. Sport. Biomech. 2023, 22, 633–659.*

٣١) *T. Starner, (1996).* ***"Human-Powered Wearable Computing,"*** *IBM Systems Journal (Volume: 35, Issue: 3.4,) Pp. 618 – 629.*

٣٢) *Walker, E.J.; McAinch, A.J.; Sweeting, A.; Aughey, R.J. (2016)****. Inertial sensors to estimate the energy expenditure of team-sport athletes.*** *J. Sci. Med. Sport 2016, 19, 177–181.*

٣٣) *Yuan, J.; Zhu, R. (2019).* ***Self-Powered Wearable Multi-Sensing Bracelet with Flexible Thermoelectric Power Generator.*** *In Proceedings of the 2019 20th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems & Eurosensors XXXIII (TRANSDUCERS & EUROSENSORS XXXIII), Berlin, Germany, 23–27 June 2019; pp. 1431–1434.*

حصاد الطاقة البشرية أثناء الممارسة الرياضية
(الانعكاسات الاقتصادية لتسخير الطاقة البشرية من الرياضة)
أ.د/ محمد إبراهيم المليجي
أستاذ علوم الحركة – كلية التربية الرياضية
جامعة الزقازيق - مصر