Al-Yemenia University Journal
مجلة الجامعة اليمنية

تحديد الإمكانيات العملية للطاقة الكهروضوئية في الجمهورية اليمنية مقارنة إلى بقية دول العالم

أستاذ دكتور/ عبدالله محمد محمد يايه

الدكتور/ عادل محمد طه الوشلي

ملخص الدراسة:

تم تقييم إمكانات الطاقة الشمسية النظرية والعملية والاقتصادية، وإجراء مقارنة عالية المستوى، بين الجمهورية اليمنية مع 209 دولة بالعالم؛ بالاعتماد على بيانات الأقمار الصناعية لمورد الطاقة الشمسية، وكذلك مخرجات إمكانات القدرة الكهروضوئية المحسوبة بواسطة شركة سولار جيس. البيانات متوفرة على شكل مجموعات من طبقات البيانات المتسقة عالية الدقة بموقع (أطلس العالم للطاقة الشمسية) إن نتائج تصنيف مراتب الإمكانات الكهروضوئية النظرية GHI (kWh/ m2) بينت أن الجمهورية اليمنية احتلت المرتبة الأولى عالمياً لقيم كل من المتوسط والربع الأول والوسيط، وحصلت على المرتبتين الثانية والثالثة عالمياً، لقيم كل من الربع الثالث ولنسبة 90% على التوالي، وعلى المرتبة الخامسة لقيم كل من أعلى قيمة ونسبة 10% من الإمكانات النظرية GHI. إن نتائج تصنيف مراتب الإمكانات الكهروضوئية العملية PVOUT (kWh/ kWp) توضح أن الجمهورية اليمنية حصلت على المرتبة الثالثة عالميا لقيمة الوسيط، وعلى المرتبة الخامسة مرتين لقيمتي المتوسط واقل قيمة من الإمكانات PVOUT، وعلى المرتبة السادسة مرتين لقيم كل من نسبة 90% والربع الثالث. كما حصلت على المراتب 7 و9 و19 عالمياً على التوالي لقيم كل من الربع الأول وأعلى قيمة، ونسبة 10% من الإمكانات العملية PVOUT. أن نتائج تصنيف مراتب الاختلافات الموسمية

ISSN: 2664-5831(print), 2664-584X(online)

للإمكانات العملية PVOUT (kWh/ kWp) الشهرية تبين أن الجمهورية اليمنية احتلت المرتبة الثانية خمس مرات بالنسبة لمتوسط الإمكانات العملية PVOUT لأشهر: فبراير، مارس، أكتوبر، نوفمبر، ديسمبر. كما حصلت على المرتبتين الثالثة والسادسة بالنسبة لمتوسط PVOUT لأشهر: يناير وأبريل على التوالي. في حين حصلت على المراتب: 33، 42، 89، 96، و124 بالنسبة للمتوسط PVOUT على التوالي لأشهر: مايو، سبتمبر، يونيو، أغسطس، يوليو. إن نتائج تقييم المؤشرات الاجتماعية والاقتصادية المتعلقة بالطاقة الكهروضوئية، تبين أن الجمهورية اليمنية احتلت المرتبتين 12 و106 عالمياً بالنسبة لمتوسط مؤشرات الإمكانات الاقتصادية الكهروضوئية ($/ kWh) وموسمية الكهروضوئية (kWh/ kWp) على التوالي. في حين حصلت الجمهورية اليمنية على المراتب 13 من بين (135 دولة) و58 من (189) و112 (من 188) و146 (من 198) و123 (من 137) بالنسبة لمتوسط مؤشرات كل من المساحة المكافئة للكهروضوئية (%) قدرة الكهروضوئية المركبة المتراكمة (MW)) القدرة الكهروضوئية المركبة المتراكمة (w/ Capita)) الوصول إلى الكهرباء (%) واستهلاك القدرة الكهربائية (kWh/ Capita) على التوالي. إن نتائج توزيع الإمكانات الكهروضوئية العملية PVOUT على مستوى العالم تبين أن الفرق بين الدولتين ذات أعلى متوسط (ناميبيا) وذات أدنى متوسط (إيرلندا) يكون أعلى بقليل من 2. كما تبين أن 93% من سكان العالم يعيشون بدول ذات متوسط يومي للإمكانات العملية يتراوح بين 3-5 kWh/ kWp، الذي ينقسم إلى ثلاث فئات من الإمكانات العملية بالعالم. فئة دول أعلى الترتيب، تضم 70 دولة يعيشون فيها 20% من سكان العالم، ومتوسط الإمكانات PVOUT فيها يتجاوز 4.5 kWh/ kWp. هذه الفئة تتضمن دول الشرق الأوسط وشمال إفريقيا وجنوب الصحراء الكبرى، مع دول كل من أفغانستان، الأرجنتين، إستراليا، تشيلي، إيران، المكسيك، منغوليا، باكستان، بيرو، ودول المحيط الهادي وجزر المحيط الأطلسي. فئة دول أدنى الترتيب، تضم 30 دولة يعيشون فيها 9% من سكان العالم، ومتوسط الإمكانات العملية PVOUT فيها أقل من 3.5 kWh/ kWp. هذه الفئة تتضمن الدول الأوربية (ماعدا جنوب أوروبا) والأكوادور واليابان. فئة دول منتصف الترتيب، تضم 105 دولة يعيشون فيها 71% من سكان العالم، ونطاق متوسط الإمكانات العملية PVOUT فيها يقع بين 3.5-4.5 kWh/ kWp. هذه الفئة تضم خمس دول من الدول الست الأكثر اكتظاظًا بالسكان بالعالم (الصين والهند وأمريكا وإندونيسيا والبرازيل) و100 دولة اخرى (كندا، باقي أمريكا اللاتينية، جنوب أوروبا، دول خليج غينيا، ودول سط وجنوب-شرق آسيا)

المطلب الأول

الإطار المنهجي للورقة

مقدمة:

مصـــادر الطاقة في العالم: إما غير متجددة مثل طاقة الوقود الأحفوري، أو متجددة مثل طاقة الشـــمس والرياح. أن إحصـائيات وكالة الطاقة الدولية (WEO، 2020) تبين أن، احتياطيات النفط المؤكدة بالعالم حوالي 1702 بليون برميل (أي ما يعادل حوالي 10300 إكســاجول(1 إكســا = 10^{18}) منها 3 بلايين برميل بالجمهورية اليمنية. احتياطيات الغاز الطبيعي المؤكدة بالعالم حوالي 229 تريليون م^3 (أي حوالي 8900 إكســـاجول) منها حوالي 0.27 تريليون م^3 بالجمهورية اليمنية أن قدرة الطاقة المتجددة بالعالم حوالي 2537 جيجاوات (47% طاقة مائية و25% رياح و23% شـــمســـية) منها 0.253 جيجا واط بالجمهورية اليمنية (أي 253 ميجا واط طاقة شـمسـية فقط) وكما بلغت لإنتاجية السـنوية حوالي 741 جيجا واط/ ســاعة (مقارنة مع قدرة 1 ميجا واط وإنتاجية 2 جيجاوات ســاعة في عام 2010) أن كمية الطاقة الشـمسـية السـنوية التي تصـل إلى سـطح الأرض تبلغ حوالي مليار مليار كيلو واط/ سـاعة (4 ملايين إكسـاجول) وعند اسـتخدام كفاءة التحويل الفعلية الحالية التي تتراوح بين 15–20% (في المعمل حاليا 24–27%) فإن إمكانات الطاقة التي يمكن إنتاجها سـنويًا باسـتخدام 0.01% من مسـاحة الأرض تتراوح بين 60–80 إكســاجول. خلال الفترة 2010–2018، فإن المتوســط العالمي لتكلفة الكهرباء من محطات الطاقة الكهروضــوئية ذات نطاق شــبكة كهرباء كبيرة قد انخفض بنســبة 77٪ من 0.37 إلى 0.085 دولار أمريكي/ كيلو واط_ ســاعة على التوالي. في حين تشــير نتائج التوقعات للفترة 2030–2050 إلى أنها ســتنخفض من 0.08 إلى 0.02 دولار أمريكي/ كيلو واط_ ســاعة على التوالي. وفي المناطق ذات الإشـعاع الشـمسـي الممتاز ومنها الجمهورية اليمنية، من المتوقع أن التكلفة عام 2050 في حدود 0.014– 0.05 دولار أمريكي/ كيلو واط ســـاعة. في الجمهورية اليمنية كانت محطات توليد الكهرباء تعمل بالوقود الثقيل حتى 2005م بعد ذلك دخلت المحطات العاملة بالغاز، وشـكلت حوالي ثلث الطاقة الكلية المركبة، التي لم تزد على 2000 ميجا واط قبل عام 2011م الشـبكة العمومية كانت أحد أول ضـحايا الحرب والعدوان على اليمن؛ وذلك بسـبب اسـتهداف البنى التحتية وشـحة توفير الوقود، الذي أدى إلى انقطاع الكهرباء العمومية عن غالبية الســكان، ما جعل الســكان يتجهون نحو الطاقة

ISSN: 2664-5831(print), 2664-584X(online)

الكهروضوئية اللامركزية. في الفترة 2014–2016 تضاعفت قدرة الكهروضوئية حوالي 50 ضعفا، إذ توفر الكهرباء– ولو جزئيا لما يزيد على نسبة 50% من البيوت، عن طريق منظومة الكهروضوئية بمتوسط قدرة 150 واط/ للأسرة، والتي غطت حوالي 75% من البيوت في المناطق الحضرية، وحولي 50% من البيوت في الريف. هذا جعل الطاقة الكهروضوئية المصدر الرئيسي للكهرباء في 13 محافظة من أصل 22 محافظة. ورغم هذا، فهناك عوائق حدت من انتشار الطاقة الشمسية منذ 2017، مثل: غياب التأهيل ورقابة الجودة ومعايير الصناعة والتوزيع، بالإضافة إلى ضعف كل من التنافس بين الموردين، الثقة بأمداد الكهروضوئية، العمر الحقيقي للمنظومة، بالإضافة إلى التكاليف المرتفعة جداً للأنظمة الكهروضوئية. كل ذلك أدى إلى تباطؤ وتوقف انتشار الطاقة الشمسية. وبدلا من ذلك، عادت مولدات الديزل التجارية الكبيرة إلى التواجد، صانعة تطورا أكثر كلفة مادية، وعائقا طويل المدى ضد أي تخطيط اقتصادي مستقبلي، لتمكين الطاقة الشمسية النظيفة والمتجددة. هذا البحث يهدف للإجابة على بعض التساؤلات، التي غالبًا ما يطرحها صانعو السياسات والمستثمرون – على حد سواء – في الجمهورية اليمنية مثل: 1– هل إمكانات الطاقة الكهروضوئية تكون جيدة بما يكفي للاستفادة منها، مقارنة مع دول أخرى بالعالم؟2– وكم يكون مقياس تلك الإمكانات؟

كما إن نتائج البحث ستوفر تقييمًا حول التالي:

أولا: الإمكانات الكهروضوئية النظرية والعملية للمستويات المختلفة، في الجمهورية اليمنية.

ثانياً: توفير مقارنات عالية المستوى، وتصنيف مراتب الإمكانات في (209) دول من ضمنها اليمن.

ثالثاً: يهدف البحث إلى زيادة الوعي، وتحفيز الاهتمام بالاستثمار وإثراء النقاش العام.

رابعاً: البحث سيكون ذا صلة بكل من: صانعي السياسات، ومطوري المشاريع والقطاعات المالية والأكاديمية، ووسائط الإعلام ومحترفي الاتصال، فضلاً عن المجتمعات والأفراد.

مواد وطرائق العمل:

في الآونة الأخيرة، تم حساب البيانات العالمية التي تمثل مورد الطاقة الشمسية والمخرجات للإمكانات القدرة الكهروضوئية لكل دولة في العالم بواسطة شركة سولار جيس (https:/ / solargis.com) كما بالأشكال (2، 3، 5، 6) والتي يتم إصدارها في شكل مجموعات من طبقات البيانات المتسقة عالية الدقة، عبر موقع أطلس العالمي للطاقة الشمسية، وهي أداة قائمة على الويب (https:/ / globalsolaratlas.info/) بتكليف وتمويل من برنامج (مبادرة) المساعدة في إدارة قطاع الطاقة ESMAP (https:/ / esmap.org)

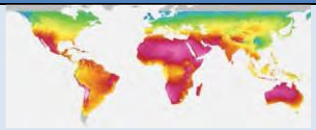
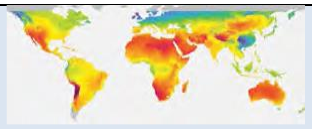
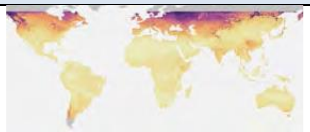
وهو صندوق استئماني متعدد المانحين يديره البنك الدولي، في إطار مبادرة عالمية على خرائط موارد الطاقة المتجددة. بناءً على هذه البيانات، التي سوف يتم استخدامها لإجراء مقارنات عالية المستوى بين الجمهورية اليمنية مع 209 دولة، من حيث إمكانات الطاقة الشمسية النظرية والعملية والاقتصادية. إمكانات الطاقة الكهروضوئية العالمية حسب الدولة، البيانات الجدولية (XLSX) وطبقات (GIS) البيانات النقطية (GeoTIFF) والتي تكون متاحة للتنزيل من الموقع:

https:/ / globalsolaratlas.info/ global-pv-potential-study

يمكن تنزيل خرائط موارد الطاقة الشـمسـية وبيانات نظم المعلومات الجغرافية، لأكثر من (200: مئتي) دولة ومنطقة https:/ / solargis.com/ maps-and-gis-data/ download

إن إمكانات الطاقة الكهروضوئية تم حسابها وإصدارها في 2016، وتم تحديثها بشكل أكبر في 2019. حساب طبقة البيانات الدقيقة يتطلب بيانات إدخال منسقة، وخوارزميات دقيقة، وبنية تحتية حاسوبية قوية، ومعرفة متعددة التخصصات. إلى جانب الإعدادات التقنية لنظام الكهروضوئية والجغرافيا المحلية، هناك عاملان بالمدخلات هما الأكثر تأثيرًا، الأول: مورد الطاقة الشـمسـية، والثاني: درجة حرارة الهواء. إن خصائص المصادر الرئيسية لطبقات البيانات العالمية الأساسية، موضحة بالجدول (1) التي تكون ضرورية لغرض التقييم الإحصائي لإمكانات الطاقة الشمسية في الدول. في حين أن خصائص المصادر الثانوية لطبقات البيانات العالمية المساعدة موضحة بالجدول (2) التي تكون مطلوبة لتحديد المساحات غير المناسبة، بالنسبة لتقييم إمكانات الطاقة الكهروضوئية العملية.

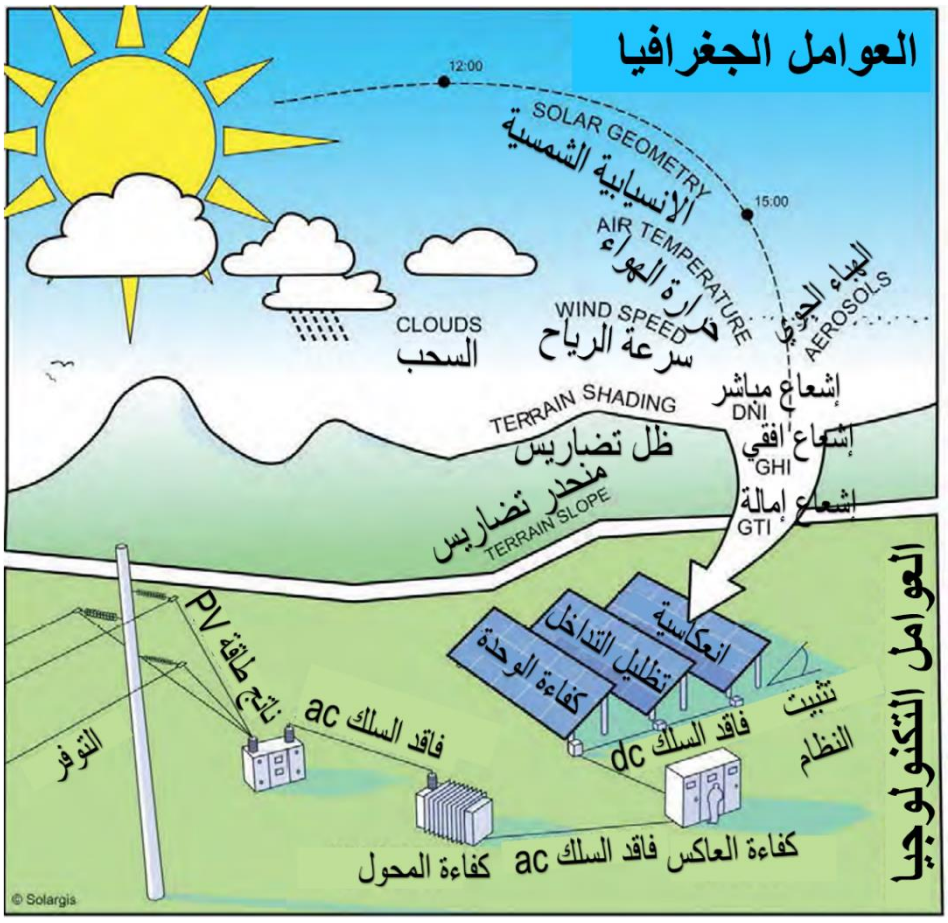
الجدول (1) يبين طبقات البيانات العالمية الأساسية التي تم تطبيقها في هذا البحث

بند	العرض الأولي	الاسم	المصدر	الدقة المكانية
1		الإشعاع الأفقي العالمي (GHI)	Solargis.com سولار جيس	30 قوس-ثانية (بيكسل)
2		درجة حرارة الهواء عند 2 متر (TEMP)	سولار جيس، ECMWF، وناسا	(تقريباً، 1 كيلومتر)
3		إمكانية الطاقة الكهروضوئية (PVOUT)	سولار جيس	
4		مؤشر التباين الموسمي (SEASONALITY)	سولار جيس	
5		التكلفة الموازنة للكهرباء (LCOE)	سولار جيس والمدخلات من IRENA	
6		الحدود الإدارية (حدود الدولة)	وحدة رسم الخرائط، GSDPM، البنك الدولي، 2016.	طبقة مضلع متجه

(أ) طبقات البيانات الأساسية

إن موارد الطاقة الشمسية يتم تحديدها؛ من خلال مجموعة طبقات البيانات الجغرافية والتقنية، المحسوبة بواسطة نموذج سولار جيس الموضح بالشكل (1) بناءً على صور الأقمار الصناعية وبيانات الغلاف الجوي. النموذج يستخدم بيانات خمسة أقمار صناعية ثابتة بالنسبة إلى الأرض؛ وذلك لحساب تأثير التوهين من السحب والمتغيرات الإضافية للغلاف الجوي (مثل الهباء الجوي، تلوث الغلاف الجوي، وبخار الماء) المورد الشمسي لصناعة الطاقة الشمسية يتم تمثيله بعاملين أساسيين: الأول الإشعاع الأفقي العالمي (GHI) والثاني درجة حرارة الهواء الجوي (TEMP) إن الإشعاع الأفقي GHI الموضح بالبند-1 بالجدول (1) يُشير إلى إشعاع الموجة القصيرة المستلم على سطح أفقي، وهو أهم عامل لحساب إنتاجية

الطاقة الشمسية، ولتقييم أداء الوحدات الكهروضوئية المسطحة المنتشرة على نطاق واسع حاليًا؛ لذلك سيتم تحليل GHI فيما يتعلق بإمكانات الطاقة الكهروضوئية. بينما الإشعاع الطبيعي المباشر (DNI) يُشير إلى إشعاع الموجة القصيرة الشمسي، المستلم على سطح بالوضع الطبيعي إلى الشمس، ويكون العامل الأكثر أهمية لتقييم تركيز الطاقة الشمسية (الواح التسخين الحراري) ولحساب الإشعاع الأفقي العالمي المستلم بواسطة الوحدات الكهروضوئية المائلة (بزاوية مثلى) ومتتبعة (متعقبة) للشمس.



الشكل (1) يبين مخطط حساب سولار جيس لإمكانيات الطاقة الكهروضوئية

إن بيانات GHI و DNI يتم استخدامهما لحساب الإشعاع ذي الإمالة المثلى العالمي GTI_{OPTA} المستلم بواسطة سطح الوحدات الكهروضوئية. النموذج الشمسي يحسب أولاً الإشعاع الشمسي المنتشر (DIF) وثانياً الإشعاع الإمالة المثلى GTI_{OPTA} الذي يتم تلقيه على مستوى الوحدات الكهروضوئية. السلاسل الزمنية التاريخية لبيانات الإشعاع الشمسي يتم تجميعها كمتوسطات شهرية وسنوية، والتي تكون متوفرة

ISSN: 2664-5831(print), 2664-584X(online)

ومتاحة لكل سطح الأرض بين خطي عرض 60 درجة شمالاً و45 درجة جنوباً، وتغطي أكثر من 99٪ من سكان العالم. أن درجة حرارة الهواء الجوي الموضحة في البند-2 بالجدول (1) تعد ثاني أهم عامل طبيعي يؤثر على إنتاج الطاقة الكهروضوئية، ويتم حسابها من خلال المعالجة اللاحقة للبيانات من المركز الأوروبي لتنبؤات الطقس متوسطة المدى (ECMWF) و ERA-5 إعادة تحليل مجموعة بيانات الإرصادية، ونموذج التضاريس الرقمية عالي الدقة، المشتق من مصادر متعددة بواسطة سولار جيس.

إمكانات الطاقة الكهروضوئية:

إن بيانات الإدخال الأساسي تكون طبقة بيانات نقطية (شبكة خطوط مسح) عالمية تمثل المتوسط طويل الأجل لإمكانات الكهروضوئية، والمحسوب بواسطة منهج أو مخطط سولار جيس الموضح بالشكل (1) عند حساب الإمكانات الكهروضوئية يتم الأخذ في الاعتبار التالي:

- محطة الطاقة الكهروضوئية، مكونة من هياكل قائمة بذاتها بوحدات كهروضوئية بلورية أحادية الوجه، مثبتة بإمالة لإنتاج اقصى طاقة سنوية، مع استخدام محولات عالية الكفاءة.
- الحساب يعتمد على الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الهواء والتضاريس لمحاكاة تحويل وخسائر الطاقة في الوحدات الكهروضوئية، والمكونات الأخرى لمحطة الكهروضوئية. يوجد هنالك خسارة 3.5% بسبب الأوساخ والتلوث، وخسارة 7.5% ناتجة عن التأثير التراكمي للخسائر الأخرى (تظليل التداخل "بين الصفوف" وعدم التطابق والعواكس والكابلات والمحولات) علما بأن توفر محطة الطاقة يتم اعتباره 100%.
- البيانات الأساسية المستخدمة بخطوات زمنية مدتها 10 أو 15 أو 30 دقيقة، اعتمادًا على منطقة القمر الصناعي، والبيانات المجمعة تمثل متوسطات شهرية وسنوية طويلة الأجل، لمجاميع إمكانات الكهروضوئية اليومية، والمحسوبة للفترة من 1994، 1999، أو 2007 (اعتمادًا على منطقة القمر الصناعي) إلى 2018 بدقة مكانية (بيكسل) تبلغ 30 قوسًا بالثانية (تقريباً، 1 كيلومتر)
- عدم اليقين النموذجي لإدخال بيانات الإشعاع الشمسي يقدر بـ 4% إلى 8%، وما يصل إلى 10% في المناطق ذات الجغرافيا المعقدة.
- أن تباين إنتاجية الطاقة الشمسية السنوية غالبًا ما يكون القيمة الأكثر دلالة لتقييم المشروع، إلا أن توزيعها الموسمي (مؤشر الموسمية PV_{SEASON}) يكون مهما جدًّا أيضًا، ويتم حسابه كنسبة بين أعلى وأدنى متوسط لقيم إمكانات الطاقة الشمسية الشهرية في متوسط عام.

(ب) طبقات البيانات المساعدة

العديد من طبقات البيانات المساعدة والمبينة بالجدول (2) يتم استخدامها لإنشاء المناطق المستبعدة من تقييم إمكانات الطاقة الكهروضوئية العملية؛ وذلك لتحديد المناطق التي فيها إنشاء المحطة الكهروضوئية الكبيرة يكون مقيداً ماديًا/ تقنيًا، أو حيثما يوجد قيود تنظيمية قد يتم تطبيقها. إن مجموعة البيانات الأساسية المستخدمة لتحليل وتحديد مناطق إمكانات الطاقة الكهروضوئية العملية تكون PV_{OUT}، عند ثلاثة مستويات، وهي على النحو التالي:

المستوى 0، فيه يُفترض أن كل دولة يمكنها أن تصل إلى إمكاناتها الكهروضوئية العملية الكاملة، دون عوائق أو قيود تقنية. بعد ذلك، استنادًا إلى مفهوم اتخاذ القرار متعدد المعايير (MCDM) والبيانات المساعدة، يمكن الأخذ بالاعتبار تصنيفين المستوى 1، والمستوى 2، والموضحة بالجدول (2)

المستوى 1– الذي فيه يتم تحديد (مناطق الاستبعاد) إذ تطوير المحطة الكهروضوئية بحجم كبير، يكون غير عملي بسبب قيود استخدام الأراضي المادية أو التقنية. مناطق الاستبعاد تشتمل المساحات التي تتوفر فيها المعايير المبينة الجدول (2) من البند–1 إلى البند–6 والتي تتضمن التضاريس المعقدة (البند1– الارتفاع، البند2– الانحدار) المناطق داخل المدن (البند3– كثافة المساحة المبنية) المناطق غير المأهولة (البند4– التجمعات السكانية) الغابات الكثيفة (البند5– كثافة الغطاء النباتي) المسطحات المائية الكبيرة (البند6– المسطحات المائية)

المستوى 2– الذي يتم فيه تحديد واستبعاد المناطق غير المناسبة؛ بسبب القيود التنظيمية على استخدام الأراضي، تلك القيود قد يتم فرضها من قبل السلطات الوطنية. إذ يتم الأخذ في الاعتبار معيارين، مبينين في الجدول (2) من البند7 إلى البند8 يتضمنان الأراضي الزراعية (البند7– الغطاء الأرضي) والمناطق المحمية (البند8– المناطق المحمية)

الإمكانات الاقتصادية للطاقة الكهروضوئية:

مؤشر الإمكانات الاقتصادية الكهروضوئية، الذي يُعبر عنها من خلال تكلفة التعرفة الموازنة المعيارية للطاقة الكهربائية (LCOE) الذي يبين مقدار تكلفة إنتاج وحدة من الطاقة. بصرف النظر عن قيمة PV_{OUT} يتم الأخذ بالاعتبار: تكلفة كل من تقنية الكهروضوئية، والنفقات الرأسمالية الإجمالية، وتكاليف التشغيل، ومعدل الاندثار لعمر محطة كهروضوئية نموذجية. المقياس يتيح مقارنة الطاقة الشمسية، مع تقنيات توليد الطاقة الأخرى. إن التقدير المقدم، يوضح الإمكانات الاقتصادية للطاقة الشمسية من وجهة نظر عالمية،

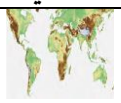
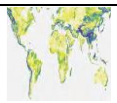
إذ الدولة تعمل باعتبارها أصغر وحدة. يمكننا حساب القيمة الإرشادية (LCOE) للطاقة الكهروضوئية، في نقطة مرجعية جغرافية معينة مطلوبة.

الإمكانات الاجتماعية–الاقتصادية للكهروضوئية

إن تصنيف مراتب الإمكانات الاجتماعية الاقتصادية للكهروضوئية لعدد 209 دول في العالم – من ضمنها الجمهورية اليمنية – بالنسبة للإمكانات الكهروضوئية، يكون من خلال ثلاثة أنواع من المؤشرات لكل دولة التي تم إعدادها في ملف اكسل (solargis_pvpotential_countryranking_2020) وتنزيله من الموقع globalsolaratlas.info، والمؤشرات تتضمن التالي:

أولا: المؤشرات الأساسية، التي تتضمن سبعة متوسطات طويلة الأجل لكل من: تعداد السكان، المساحة الكلية، المساحة المُقيمة، مساحة المستوى 1، التنمية البشرية، والتطور الإنساني والناتج المحلي الإجمالي.

الجدول (2) يبين طبقات البيانات العالمية المساعدة التي تم تطبيقها في هذا البحث

بند	العرض الأولي	الاسم	مصدر البيانات	الدقة المكانية*	مناطق الاستبعاد مستوى1، 2.
1		ارتفاع التضاريس	مصادر بيانات مدمجة، سولار جيس. viewfinderpanoramas.org	3 قوس–ثانية (تقريباً، 90 متر)	مستوى 1، مساحات داخل نقطة الشاشة (بيكسل) والتي فيها إما مدى الارتفاع يتجاوز 300 متر أو الانحراف المعياري يكون أعلى من 60 مترًا.
2		انحدار التضاريس	مشتق من ارتفاع تضاريس لسولار جيس.		
3		كثافة المساحة المبنية	GHS BUILT–UP, EC JRC (Pesaresi, et al., 2015)	1 كيلومتر	مستوى 1، كثافة عمرانية فوق 50٪، ذات عمران قائم أو وجود طلب للعمران، والمحاطة كالمتنزهات.
4		التجمعات السكانية	GHS S–MOD, EC JRC (Pesaresi, et al., 2016)	1 كيلومتر	مستوى 1، تبعد أكثر 25 كم عن تجمع سكاني، بحد أدنى 50 نسمة/ كم2، لنقص البنية والعاملة واستهلاك.
5		كثافة الغطاء النباتي	MOD44B، إصدار 6، حقول نمو نباتات مستمر (Dimiceli, et al., 2015)	250 متر	مستوى 1، الغابة بكثافة غطاء نباتي يبلغ 50٪ وأكثر، يمنع تكوين محطات الكهروضوئية الكبيرة.
6		المسطحات المائية	مسطحات مائية عالمية، مصدر: EC, JRC/ Google et al., 2016) (Pekel,	1 قوس–ثانية (تقريباً، 30 متر)	مستوى 1، أي مياه سطحية دائمة، باستثناء 1 كم متاخمة للساحل،

					يمكن تطوير الكهروضوئية العائمة.
7		الغطاء الأرضي	الغطاء الأرضي CCI، © v2.0.7 مبادر تغيير المناخ ESA. الغطاء النباتي مع قيادة(2017) UCLouvain	10 قوس-ثانية (تقريباً، 330 متر)	مستوى 2، أراضي زراعية مُعرَّفة " زراعية مطرية، مروية، أو غمرتها المياه" في مجموعة بيانات الغطاء الأرضي، إصدار 2.0.7 (الفئات ترميز من 10 إلى 20)
8		المناطق المحمية	قاعدة بيانات عالمية لمناطق محمية. (UNEP-WCMC, 2016)	طبقة مضلع متجه	مستوى 2، المناطق المحمية بأي حالة، والموصوفة بنظام التصنيفات في الاتحاد الدولي لحفظ الطبيعة.

ثانياً: مؤشرات الإمكانات للطاقة الكهروضوئية، التي تتضمن خمسة متوسطات طويلة الأجل لكل من الإمكانات النظرية والعملية والاقتصادية والموسمية للكهروضوئية، بالإضافة إلى المساحة المكافئة للكهروضوئية.

ثالثاً: مؤشرات قطاع الطاقة، التي تتضمن ستة متوسطات طويلة الأجل لكل من القدرة المتراكمة للكهروضوئية المركبة وكذلك نصيب الفرد، الوصول إلى الكهرباء، استهلاك القدرة الكهربائية. أن تصنيف مراتب الإمكانات الكهروضوئية يتم من خلال التالي:

- الترتيب والمقارنة وفقًا لإمكاناتها الكهروضوئية النظرية والعملية
- بيان الاختلاف أو التباين المكاني والموسمي في إمكانات الطاقة الكهروضوئية
- الاقتراب من تقدير الإمكانات الكهروضوئية الاقتصادية بناءً على مفهوم LCOE
- عرض الإمكانات الكهروضوئية، في سياق المؤشرات الاجتماعية والاقتصادية ذات الصلة، بتطوير الطاقة الكهروضوئية.

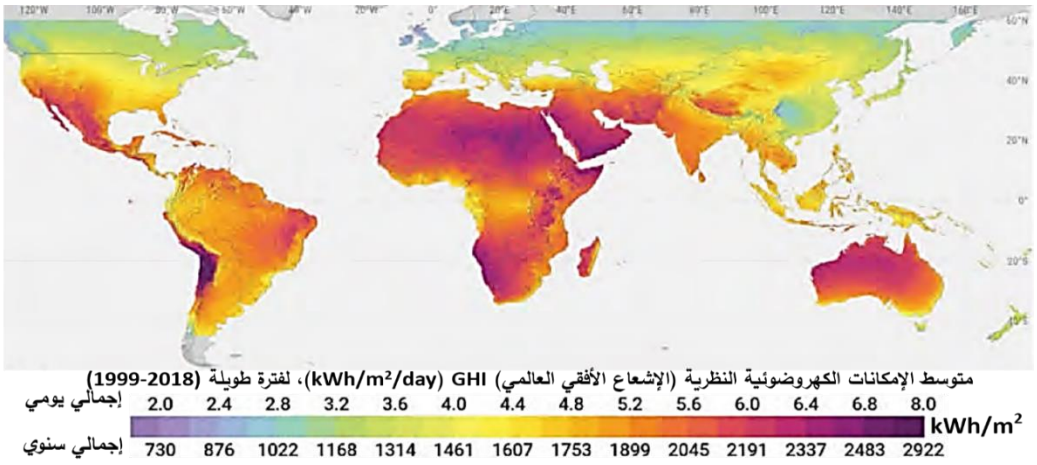
النتائج والمناقشة

(1)الإمكانات الكهروضوئية النظرية

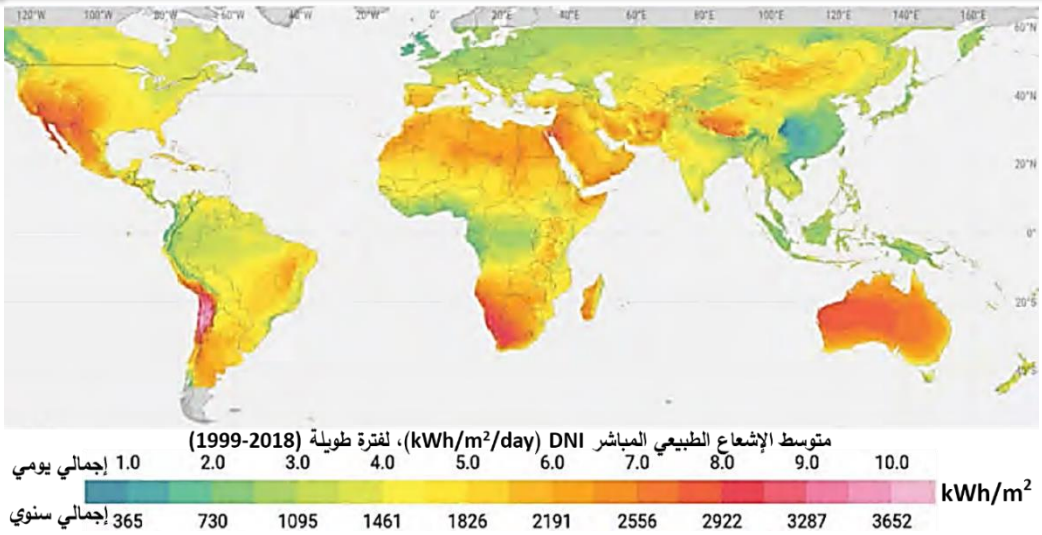
إن الخرائط توضح متوسط الإمكانات النظرية للطاقة الكهروضوئية طويل الأجل، التي تتميز بتوزيع موارد الطاقة الشمسية، وهما الإشعاع الأفقي الشامل (الإمكانات الكهروضوئية النظرية GHI) والإشعاع الطبيعي المباشر (DNI) إن الإمكانات الكهروضوئية النظرية يتم تقييمها من خلال تقدير الإشعاع الأفقي الشامل العالمي GHI لأي دولة بالعالم عامةً، والموضح بالشكل (2) أن تقييم الإشعاع الأفقي يكون

المتغير الأكثر صلة للأنظمة الكهروضوئية المركبة بشكل ثابت. الأداء الكهربائي لأي تصميم طاقة كهروضوئية يتم تحديده أيضًا من خلال توافر الإشعاع الطبيعي المباشر DNI؛ لذا تم تقديم توزيع DNI الجغرافي لأي دولة عامةً أيضًا، والموضح بالشكل (3) أن النمط العالمي للإمكانات النظرية يتم تحديده بواسطة خطوط العرض، وحدوث السحب، وارتفاع التضاريس والتظليل، وتركيز الهباء في الغلاف الجوي، ومحتوى الرطوبة في الغلاف الجوي. درجة حرارة الهواء تعد ثاني أهم عامل جغرافي، من العوامل التي تؤثر على كفاءة التحويل الكهروضوئي. وإنتاج الطاقة يتغيّر أيضًا خلال السنة؛ بسبب العوامل المناخية والجغرافية.

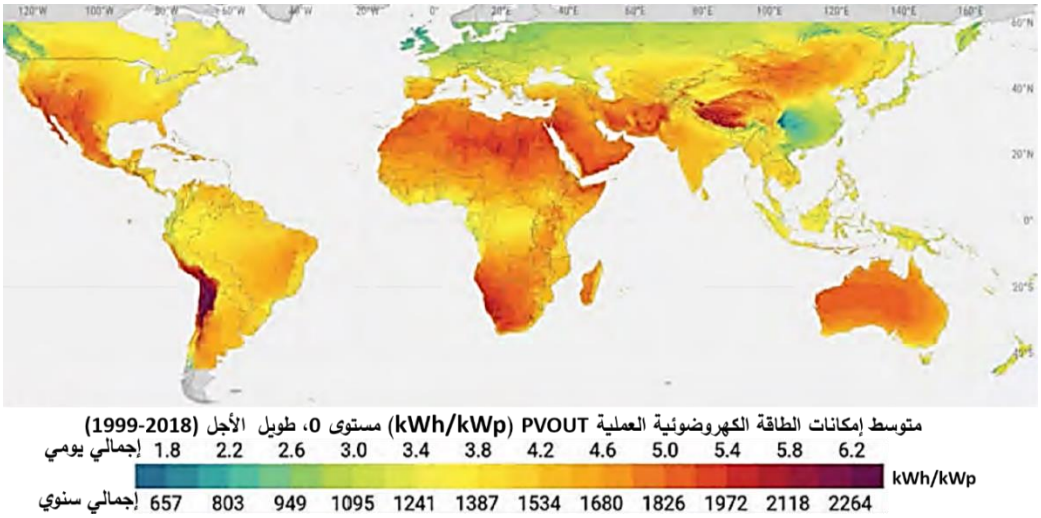
علاوة على ذلك، فإن الاستخدام العملي لمحطات الطاقة الشمسية يكون محدوداً؛ بسبب قيود استخدام الأراضي المادية والتنظيمية المختلفة. إن تقييم إمكانات الكهروضوئية العملية يوفر قيمة مضافة أعلى؛ من خلال تضمين كل هذه العوامل الإضافية. عموماً يتضح من الشكل (2) أن أعلى الإمكانات النظرية تظهر بالمناطق المدارية وشبه الاستوائية القاحلة (شمال وجنوب إفريقيا، والشرق الأوسط وشبه الجزيرة العربية، وإستراليا، والمكسيك، وأجزاء من البرازيل والولايات المتحدة، ومناطق البحر الكاريبي والأبيض المتوسط)



الشكل (2) يبين إمكانات الكهروضوئية النظرية (الإشعاع الأفقي) كمتوسط طويل الأجل بالعالم



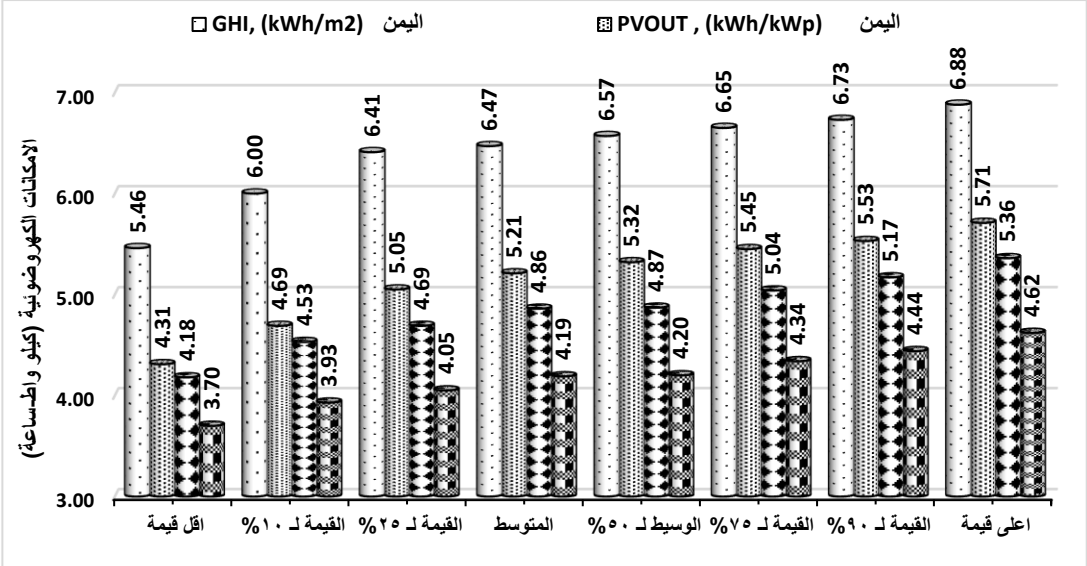
الشكل (3) يبين الإشعاع الطبيعي المباشر، كمتوسط الملخصات اليومية/ السنوية طويل الأجل بالعالم



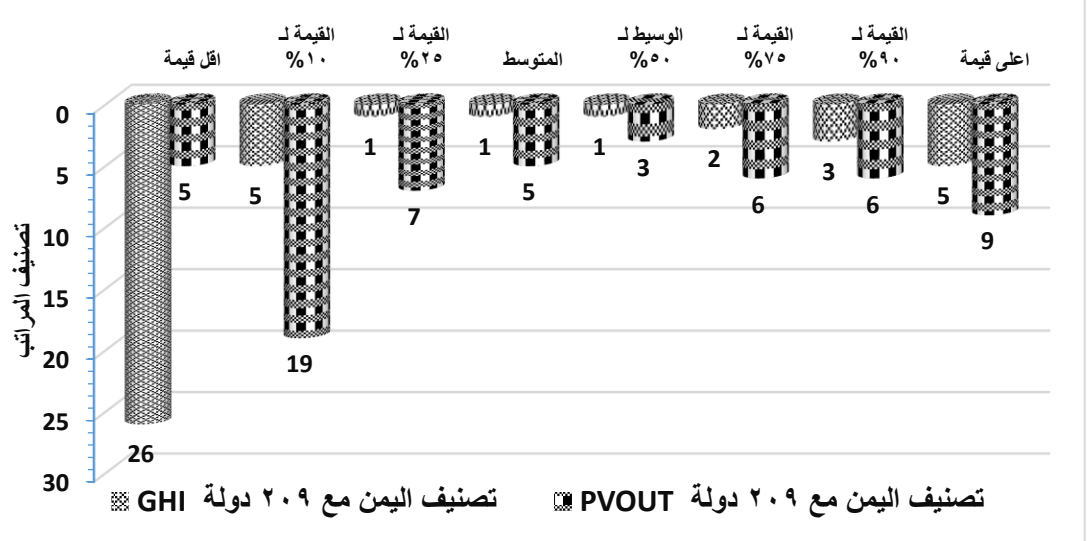
الشكل (6) يبين توزيع متوسط الإمكانات الكهروضوئية العملية على المدى الطويل (المستوى 0)

الإمكانات النظرية غالبًا ما يتم تضخيمها بواسطة الارتفاع العالي؛ بسبب الغلاف الجوي الرقيق والأكثر شفافية، خاصة بمنطقة الأنديز، ويكون أيضًا بشرق إفريقيا ومنطقة الهيمالايا وأماكن أخرى. الحزام الاستوائي لديه إمكانات أقل بسبب الحدوث المتكرر للغيوم. اعتيادي انخفاض الإمكانات النظرية، كلما ابتعدنا عن خط الاستواء بسبب انخفاض زاوية الشمس، كما تنخفض بالهند وأجزاء من الصين ذات تركيز أعلى من الهباء الجوي. المورد الشمسي (GHI وDNI) لأي موقع يتم تعديلها من قبل التضاريس والغيوم والتلوث الجوي والغبار وبعض العوامل الجغرافية الأخرى.

ISSN: 2664-5831(print), 2664-584X(online)



الشكل (4) يبين المؤشرات الإحصائية للإمكانات النظرية GHIوالعملية PVOUT باليمن مقارنة بالعالم



الشكل (5) يبين تصنيف اليمن عالميا في الإمكانات الكهروضوئية النظرية GHI والعملية PV_{OUT}

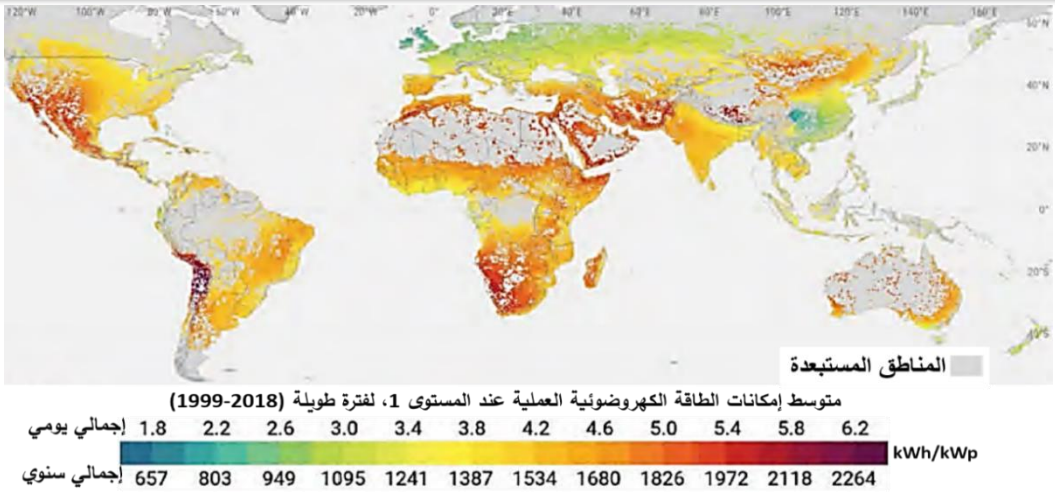
الإمكانات الكهروضوئية النظرية في الجمهورية اليمنية

أن البيانات التي في الجدول (3) وبالشكلين (4) و (5) تبين نتيجة مقارنة قيم المقاييس الإحصائية للإمكانات الكهروضوئية النظرية GHI كيلو واط_ ساعة/ م^2/ يوم، طويلة الأجل لعدد 209 دولة منها الجمهورية اليمنية، التي حصلت على المرتبة الأولى عالمياً بالنسبة للإمكانات النظرية عند المقاييس الإحصائية، لقيم كل من المتوسط، والربع الأول (25%) والوسيط (50%) من الإمكانات GHI والتي كانت على الترتيب 6.47، 6.41، 6.57 kWh/ m^2، مقارنة مع المتوسط العالمي الذي كان 4.86، 4.69، و4.87 kWh/ m^2 على التوالي. كما حصلت الجمهورية اليمنية على المرتبتين الثانية والثالثة عالمياً، بالنسبة للإمكانات النظرية عند المقاييس الإحصائية لقيم كل من الربع الثالث (75%) ونسبة 90% من الإمكانات GHI والتي كانتا على الترتيب 6.65 و6.73 kWh/ m^2، مقارنة مع المتوسط العالمي الذي كان 5.04 و5.17 kWh/ m^2 على التوالي. في حين حصلت الجمهورية اليمنية على المرتبة الخامسة عالمياً بالنسبة للإمكانات النظرية (GHI) عند المقاييس الإحصائية لقيم كل من أعلى قيمة (99.5%) ونسبة 10% من الإمكانات GHI والتي كانتا على الترتيب 6.88 و6.00 kWh/ m^2، مقارنة مع المتوسط العالمي الذي كان 5.36 و4.53 kWh/ m^2 على التوالي. بينما حصلت الجمهورية اليمنية على المرتبة 26 عالمياً بالنسبة للإمكانات الكهروضوئية النظرية (GHI) عند قيمة المقياس الإحصائي أقل قيمة (0.5%) من الإمكانات GHI والتي كانت 5.46 kWh/ m^2، مقارنة مع المتوسط العالمي الذي كان 4.18 kWh/ m^2.

(2)الإمكانات الكهروضوئية العملية (PV_{OUT})

إلى اليوم لا توجد تقنية كهروضوئية يمكنها استغلال الإمكانات النظرية الكاملة لمورد الطاقة الشمسية. وأما ناتج الإمكانات PV_{OUT} فيتم تحديده بواسطة عدة عوامل موضحة بالشكل (1) إن توزيع الإمكانات العملية PV_{OUT} بالعالم عند المستوى 0 بدون قيود على تطوير وتشغيل الطاقة الكهروضوئية كما بالشكل (6) في حين يوضح الشكل (7) خريطة توزيع الإمكانات الكهروضوئية العملية PV_{OUT} بالعالم عند المستوى 1، وتحديد المناطق المستبعدة عن تطوير الطاقة الكهروضوئية لوجود قيود طبيعية أو تقنية.

ISSN: 2664-5831(print), 2664-584X(online)



الشكل (7) يبين توزيع متوسط الإمكانات الكهروضوئية العملية على المدى الطويل (المستوى 1)

الجدول (3) يبين قيم المقاييس للإمكانات الكهروضوئية وتصنيف المراتب في 209 دولة مع اليمن.

توزيع المؤشرات الإحصائية للإمكانات	الإمكانات النظرية (GHI) كيلو واط_ ساعة / م²/ يوم، طويلة الأجل			الإمكانات العملية (PV_{OUT}) مستوى1، كيلو واط_ ساعة/ كيلو واط_ ذروة/ يوم، طويلة الأجل		
	الدولة	التصنيف	القيمة	الدولة	التصنيف	القيمة
أقل قيمة لنسبة 0.5% من الإمكانات الكهروضوئية	ناميبيا	1	5.88	ناميبيا	1	5.02
	الجمهورية اليمنية	26	5.46	الجمهورية اليمنية	5	4.31
	المملكة المتحدة	209	2.10	المملكة المتحدة	209	2.05
	المتوسط العالمي		4.18	المتوسط العالمي		3.70
القيمة لنسبة 10% من الإمكانات الكهروضوئية	ناميبيا	1	6.17	ناميبيا	1	5.12
	الجمهورية اليمنية	5	6.00	الجمهورية اليمنية	19	4.69
	المملكة المتحدة	209	2.31	المملكة المتحدة	209	2.34
	المتوسط العالمي		4.53	المتوسط العالمي		3.93
القيمة لنسبة 25% من الإمكانات الكهروضوئية	الجمهورية اليمنية	1	6.41	ناميبيا	1	5.26
	المملكة المتحدة	209	2.41	الجمهورية اليمنية	7	5.05
				إيرلندا	209	2.45
	المتوسط العالمي		4.69	المتوسط العالمي		4.05
المتوسط للإمكانات الكهروضوئية	الجمهورية اليمنية	1	6.47	ناميبيا	1	5.38
	إيرلندا	209	2.53	الجمهورية اليمنية	5	5.21
				إيرلندا	209	2.51
	المتوسط العالمي		4.86	المتوسط العالمي		4.19

القيمة لنسبة 50% من الإمكانات الكهروضوئية (الوسيط)	الجمهورية اليمنية	1	6.57	تشيلي	1	5.78
	إيرلندا	209	2.53	الجمهورية اليمنية	3	5.32
				إيرلندا	209	2.51
	المتوسط العالمي		4.87	المتوسط العالمي		4.20
القيمة لنسبة 75% من الإمكانات الكهروضوئية	تشيلي	1	7.07	تشيلي	1	6.07
	الجمهورية اليمنية	2	6.65	الجمهورية اليمنية	6	5.45
	إيرلندا	209	2.58	إيرلندا	209	2.57
	المتوسط العالمي		5.04	المتوسط العالمي		4.34
القيمة لنسبة 90% من الإمكانات الكهروضوئية	تشيلي	1	7.25	تشيلي	1	6.28
	الجمهورية اليمنية	3	6.73	الجمهورية اليمنية	6	5.53
	إيرلندا	209	2.66	إيرلندا	209	2.65
	المتوسط العالمي		5.17	المتوسط العالمي		4.44
أعلى قيمة لنسبة 99.5% من الإمكانات الكهروضوئية	تشيلي	1	7.41	تشيلي	1	6.53
	الجمهورية اليمنية	5	6.88	الجمهورية اليمنية	9	5.71
	المملكة المتحدة	209	2.79	إيرلندا	209	2.82
	المتوسط العالمي		5.36	المتوسط العالمي		4.62

إن توزيع إمكانات إنتاج القدرة الكهروضوئية العملية في العالم الموضح بالشكل (6) يبين وجود نمطين بارزين للتوزيع. النمط الأول، و أعلى إمكانات كهروضوئية – تمت ملاحظتها – هي في منطقة الأنديز (شمال غرب الأرجنتين وبوليفيا وشمال تشيلي وجنوب بيرو) بأمريكا الجنوبية عموماً. وبمنطقة الأنديز كانت الإمكانات الكهروضوئية أعلى بنسبة 15–20% مقارنة بالمناطق المناخية المماثلة مثل شبه الجزيرة العربية أو شمال إفريقيا؛ وهذا نتيجة استمرار ظروف السماء الصافية، الهواء النظيف، درجة الحرارة المنخفضة، والارتفاعات العالية، والتي تتسبب بجعل الغلاف الجوي أرق (أنحف) مقارنة بمناطق الارتفاعات المنخفضة.

النمط الثاني: إن أقل إمكانات كهروضوئية – تمت ملاحظتها – في مقاطعتي تشونغتشينغ وسيتشوان بالصين، والتي تقع حول خط عرض 30 درجة شمالاً، إذ من غير المتوقع انخفاض المورد الشمسي وإمكانات الكهروضوئية، الذي يحدث نتيجة التركيز العالي للهباء بالجو، المنتقل من المناطق المحيطة جبال الهيمالايا والتبت الجليدية، الذي يترافق مع التلوث الناجم عن النشاط البشري. كما إن التهوية الضعيفة للحوض الناجمة عن حاجز السلاسل الجبلية المغلق، الذي يؤدي لتكوين ضباب شديد معظم

ISSN: 2664-5831(print), 2664-584X(online)

العام. وبمقارنتها مع مناطق خطوط العرض المماثلة، فإن إمكانات الكهروضـــوئية في شـــمال الهند وكاليفورنيا أعلى 200%، وفي الشـرق الأوسـط وشـمال إفريقيا أعلى 250%. كما تبين النتائج أن نطاق الإمكانات العملية على مســـتوى العالم ليس واســـعًا، لان توزيع درجة حرارة الهواء غالبًا ما يتعارض مع توزيع الإمكانات الكهروضوئية. بالتالي المناطق ذات متوسط الإشعاع الأقل قد تستفيد من درجات الحرارة الباردة أو اعتدال على مدار العام. وبالعكس، فان درجات الحرارة المرتفعة قد تعيق إنتاج الكهروضـــوئية في بعض المناطق الصـحراوية أو السـاحلية ذات الموارد الشـمسـية العالية؛ لذا فإن الفرق في الإمكانات العملية بين الدولتين الأعلى متوسـط (ناميبيا) والأدنى متوسـط (إيرلندا) يكون أعلى بقليل عن 2 kWh/ kWp. كما إن حوالي 90% من سـكان العالم يعيشـون بدول ذات متوسـط إمكانات PV_{OUT} يتراوح بين 5-3 kWh/ kWp.

يمكن توزيع الإمكانات الكهروضوئية العملية – لدول العالم – إلى ثلاث فئات، على النحو التالي:

أولا: فئة دول أعلى الترتيب: وتضـــم 70 دولة التي يعيش فيها حوالي 20% من ســـكان العالم، وتتميز بظروف ممتازة للطاقة الكهروضـوئية، إذ الإمكانات العملية اليومية تتجاوز 4.5 kWh/ kWp. هذه الفئة تهيمن عليها دول الشـرق الأوسـط وشـمال إفريقيا وجنوب الصـحراء الكبرى، مع دول كل من أفغانسـتان، الأرجنتين، إسـتراليا، تشـيلي، إيران، المكسـيك، منغوليا، باكسـتان، بيرو، والعديد من أمم جزر المحيط الهادي والأطلسي.

ثانيا: فئة دول منتصـــف الترتيب، تضـــم (105 دول) يعيش فيها حوالي 71% من ســـكان العالم، حيث نطاق متوسـط الإمكانات PV_{OUT} يقع بين 3.5 و4.5 kWh/ kWp. هذه الفئة تتضـمن خمس دول من الدول الست الأكثر اكتظاظًا بالسكان بالعالم (الصين والهند والولايات المتحدة وإندونيسيا والبرازيل) و100 دولة اخرى منها: كندا، باقي أمريكا اللاتينية، جنوب أوروبا، الدول الأفريقية بخليج غينيا، وســـط وجنوب شرق أسيا..

ثالثا: فئة دول أدنى الترتيب، تضـم 30 دولة يعيش فيها حوالي 9% من سـكان العالم. هذه الفئة سـجلت متوسـطا للإمكانات العملية PV_{OUT} أقل من 3.5 kWh/ kWp، تهيمن عليها الدول الأوربية (ماعد دول جنوب أوروبا) وأيضا الإكوادور واليابان. حتى بدول هذه الفئة ذات الموارد الشمسية الأقل، فإن الإمكانات ليست أقل (بشكل كبير) مقارنة بفئة دول الموارد الأفضل.

الإمكانات الكهروضوئية العملية في الجمهورية اليمنية.

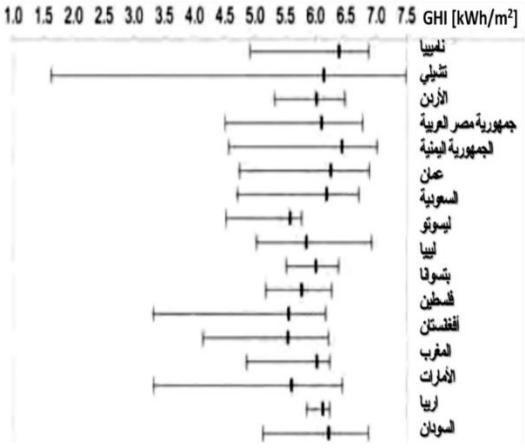
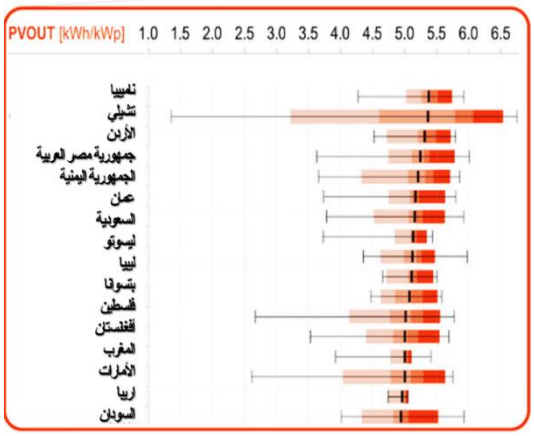
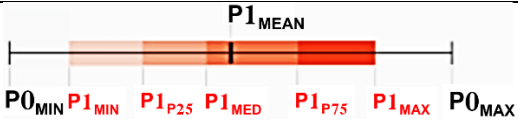
إن البيانات التي في الجدول (3) والشكلين (4) و(5) تبين نتيجة مقارنة قيم المقاييس الإحصائية للإمكانات الكهروضوئية العملية PV_{OUT} (كيلو واط ساعة/ كيلو واط_ ذروة/ يوم) kWh/ kWp بالمستوى 1، طويلة الأجل لعدد 209 دولة منها الجمهورية اليمنية، التي حصلت على المرتبة الثالثة عالمياً بالنسبة للإمكانات العملية عند المقياس الإحصائي الوسيط (50%) من الإمكانات التي كانت 5.32 kWh/ kWp، مقارنة مع المتوسط العالمي لمقياس الوسيط الذي كان 4.20 kWh/ kWp. بينما حصلت الجمهورية اليمنية على المرتبة الخامسة عالمياً (مرتين) بالنسبة للإمكانات العملية عند المقياسين الإحصائيين: المتوسط واقل قيمة من الإمكانات التي كانتا على الترتيب 5.21 و4.31 kWh/ kWp، مقارنة مع المتوسط العالمي للمقياسين الذي كان 3.70، 4.19 kWh/ kWp على التوالي. كما حصلت الجمهورية اليمنية على المرتبة (السادسة) عالمياً (مرتين) بالنسبة للإمكانات العملية عند المقياسين الإحصائيين لقيم نسبة 90% والربع الثالث (75%) من الإمكانات العملية والمرتان كانتا على الترتيب 5.53 و5.45 kWh/ kWp، مقارنة مع المتوسط العالمي للمقياسين الذي كان 4.44 و4.34 kWh/ kWp على التوالي. في حين حصلت الجمهورية اليمنية على المرتبات: السابعة، والتاسعة، والتاسعة عشرة عالمياً بالنسبة للإمكانات عند المقاييس الإحصائية، لقيم كل من الربع الأول (25%) وأعلى قيمة (99.5%) ونسبة 10% من الإمكانات العملية والتي كانت على الترتيب 5.05، 5.71، 4.69 kWh/ kWp، مقارنة مع المتوسط العالمي لتلك المقاييس الذي كان 4.05، 4.62، و3.93 kWh/ kWp على التوالي.

مقارنة الإمكانات الكهروضوئية العملية (PV_{OUT}) مع الإمكانات الكهروضوئية النظرية (GHI)

إن البيانات بالشكل (8) توضح تصنيف المراتب لدول العالم ذات المراتب الأعلى، بحسب متوسط الإمكانات الكهروضوئية للدولة، استنادًا إلى الإمكانات العملية PV_{OUT} بالمستوى (1) والشريط متدرج الألوان الذي يرمز إلى كل من الحد الأدنى (0.5 النسبة المئوية) والربع الأول (25 النسبة المئوية) والوسيط (50 النسبة المئوية) والربع الثالث (75 النسبة المئوية) والحد الأقصى (99.5 النسبة المئوية) بالنسبة للإمكانات العملية بالمستوى 1. بينما الخطوط بمحور الشريط تُظهر نطاق الإمكانات PV_{OUT} في المستوى 0. مع ذلك، فإن الترتيب أيضًا يمكن أن يستند إلى مقاييس أخرى غير المتوسط، والتي قد تؤدي

ISSN: 2664-5831(print), 2664-584X(online)

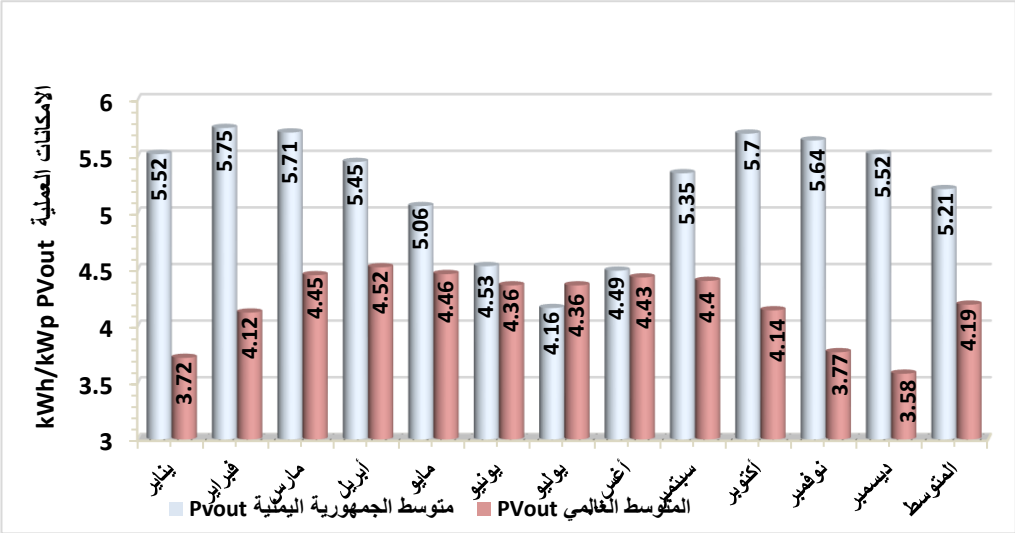
إلى حدوث تغير طفيف. على سبيل المثال: صانعو السياسات أو مطورو المشاريع، يفضلون تحديد مواقع محطات الكهروضوئية في المناطق ذات الإنتاجية الأعلى من قيمة متوسط الطاقة PV_{OUT}.

إحصائيات الدول حول إمكانات الطاقة الشمسية النظري (GHI):	إحصائيات الدول ذات أعلى إمكانات الطاقة الكهروضوئية العملية (PV_{OUT}):
	
	
GHI_{MEAN} = قيمة متوسطة GHI_{MIN} = أدنى قيمة GHI_{MAX} = أقصى قيمة	$P0_{MIN}$ = المستوى 0: أدنى قيمة. $P0_{MAX}$ = المستوى 0: القيمة القصوى. $P1_{MIN}$ = المستوى 1: قيمة 0.5 المئوية، $P1_{MAX}$ = المستوى 1: قيمة 99.5 المئوية $P1_{P25}$ = المستوى 1: قيمة 25 المئوية $P1_{MED}$ = المستوى 1: القيمة المئوية 50 (الوسيط) $P1_{MEAN}$ = المستوى 1: متوسط القيمة؛ للمناطق تم ترتيب بناءً على هذه القيمة $P1_{P75}$ = المستوى 1: قيمة النسبة المئوية 75

الشكل (8) يوضح تصنيف المراتب الأولى لـ 16 دولة بالعالم استنادًا إلى المقاييس الإحصائية لإمكانات القدرة الكهروضوئية العملية بالعالم

لهذا فإن الترتيب بواسطة قيمة الربع الثالث (75%) من إمكانات PV_{OUT} أو حتى قيمة النسبة المئوية 90 من إمكانات PV_{OUT} يمكن أن يعطي ترتيبًا أكثر ملاءمة للدول. لغرض مقارنة الإمكانات العملية مع النظرية، تم عرض الإمكانات النظرية GHI (الإشعاع الأفقي) في النصف الأيمن من الشكل (8) إن العلاقة بين المتغيرين PV_{OUT} و GHI تكون أقل وضوحًا وتناسبًا من المتوقع؛ إذ الترتيب على أساس الإمكانات PV_{OUT} قد يختلف كثيراً عن الترتيب على أساس الإمكانات GHI. أفضل مثال لذلك الجمهورية

اليمنية: رغم أنها تحتل المرتبة الأولى عالمياً بالإمكانات النظرية بمتوسط 6.47 kWh/ m^2، فإنها تحتل المرتبة الخامسة عالمياً بالإمكانات العملية بمتوسط 5.217 kWh/ kWp. في حين تحتل ناميبيا المرتبة الأولى عالميا بالإمكانات PV_{OUT} بمتوسط 5.38 kWh/ kWp، رغم أنها تحتل المرتبة الثانية بالإمكانات GHI بمتوسط 6.40 kWh/ m^2. السبب هو توزيع حرارة الهواء باليمن، إذ متوسط حرارة الهواء أعلى من الحرارة المعيارية للخلايا الكهروضوئية (20 $م^0$) بمقدار 5.8 درجة مئوية.



الشكل (9) يبين متوسط الإمكانات العملية الشهرية بالمستوى 1 في اليمن مقارنة بالمتوسط العالمي

موسمية الإمكانات الكهروضوئية العملية

إن البيانات التي في الجدول (4) والشكل (9) تبين نتيجة مقارنة متوسط الاختلافات الموسمية للإمكانات العملية لكل شهر بالسنة، طويلة الأجل kWh/ kWp، بالمستوى(1) لعدد 209 دول منها الجمهورية اليمنية، التي حصلت على المرتبة الثانية عالمياً خمس **مرات بالنسبة** للمتوسط الشهري للإمكانات PV_{OUT} لأشهر: فبراير، مارس، أكتوبر، نوفمبر، ديسمبر بمتوسط على الترتيب بلغ 5.75، 5.71، 5.70، 5.64، و5.52 kWh/ kWp، مقارنة بالمتوسط العالمي لتلك الأشهر الذي كان 4.12، 4.45، 4.14، 3.77، و3.58 kWh/ kWp على التوالي. كما حصلت الجمهورية اليمنية على المرتبة الثالثة والسادسة عالمياً بالنسبة للمتوسط الشهري للإمكانات PV_{OUT} في يناير وأبريل بمتوسط 5.52 و5.45 kWh/ kWp على التوالي مقارنة بالمتوسط العالمي للشهرين الذي كان 3.72 و4.52 kWh/ kWp على التوالي.

ISSN: 2664-5831(print), 2664-584X(online)

الجدول (4) يبين تصنيف مراتب الموسمية بواسطة متوسط PV_{OUT} في مستوى1 بالعالم

الشهر	الدولة	التصنيف	قيمة المتوسط (kWh/ kWp/ day)	المتوسط الشهري العالمي
يناير	تشيلي	1	6.03	3.72
	الجمهورية اليمنية	3	5.52	
	النرويج	209	0.75	
فبراير	تشيلي	1	5.96	4.12
	الجمهورية اليمنية	2	5.75	
	الدنمارك	209	1.69	
مارس	تشيلي	1	5.85	4.45
	الجمهورية اليمنية	2	5.71	
	إيرلندا	209	2.60	
أبريل	الأردن	1	5.60	4.52
	الجمهورية اليمنية	6	5.45	
	هونج كونج	209	2.82	
مايو	الأردن	1	5.70	4.46
	الجمهورية اليمنية	33	5.06	
	نيوزلندا	209	2.84	
يونيو	لبنان	1	5.98	4.36
	الجمهورية اليمنية	89	4.53	
	نيوزلندا	209	2.52	
يوليو	لبنان	1	5.97	4.36
	الجمهورية اليمنية	124	4.16	
	نيوزلندا	209	2.76	
أغسطس	الأردن	1	5.91	4.43
	الجمهورية اليمنية	96	4.49	
	Lao Republic	209	3.04	
سبتمبر	أفغانستان	1	5.90	4.40
	الجمهورية اليمنية	42	5.35	
	إيرلندا	209	2.69	
أكتوبر	تشيلي	1	5.85	4.14
	الجمهورية اليمنية	2	5.70	
	إستونيا	209	1.78	
نوفمبر	تشيلي	1	6.08	3.77
	الجمهورية اليمنية	2	5.64	
	إستونيا	209	0.69	
ديسمبر	تشيلي	1	6.04	3.58
	الجمهورية اليمنية	2	5.52	
	إستونيا	209	0.44	

متوسط سنوي	ناميبيا	1	5.38	4.19
	الجمهورية اليمنية	5	5.21	
	إيرلندا	209	2.51	

في حين أن الجمهورية اليمنية حصلت على المرتبة 33، 42، 89، 96، و124 عالمياً بالنسبة للمتوسط الشهري للإمكانات العملية PV_{OUT} لأشهر: مايو، سبتمبر، يونيو، أغسطس، يوليو بمتوسط بلغ 5.06، 5.35، 4.53، 4.49، و4.16 kWh/ kWp على الترتيب، مقارنة بالمتوسط العالمي لتلك الأشهر الذي كان 4.46، 4.40، 4.36، 4.43، و4.36 kWh/ kWp على التوالي.

(3)المؤشرات الاجتماعية والاقتصادية والكهروضوئية

أن البيانات التي بالجدول (5) تبين تصنيف مراتب الدول (ذات المركز الأول، ومركز الجمهورية اليمنية، وذات المركز الأخير، والمتوسط العالمي) بحسب المؤشرات الاجتماعية والاقتصادية والكهروضوئية.

الجدول (5) يبين تصنيف مراتب الدول بحسب المؤشرات الاجتماعية والاقتصادية والكهروضوئية

رقم	المؤشر	الدولة	التصنيف	القراءة	المتوسط العالمي
1	مؤشر التنمية البشرية 2017 (%)	النرويج	1	0.95	0.71
		الجمهورية اليمنية	175	0.45	
		النيجر	185	0.35	
2	الإمكانات الاقتصادية الكهروضوئية LCOE، دولار/ كيلو واط_ ساعة، 2018	تشيلي	1	0.07	0.10
		الجمهورية اليمنية	12	0.08	
		روسيا الاتحادية	209	0.23	
3	مؤشر موسمية الكهروضوئية مستوى 1، طويل الأجل	هايتي	1	1.15	2.03
		الجمهورية اليمنية	106	1.41	
		النرويج	209	14.97	
4	المساحة المكافئة للكهروضوئية (نسبة % من المساحة الكلية)	الكونغو	1	0.001	1.18
		الجمهورية اليمنية	13	0.005	
		سنغافورا	135	35.19	
5	قدرة الكهروضوئية المركبة المتراكمة (ميجا واط_ ذروة، (2018	الصين	1	817501	2350.6 (14 دولة = 0)
		الجمهورية اليمنية	58	150	
		São Tomé	189	0.2	
6		المانيا	1	553.9	41.7

ISSN: 2664-5831(print), 2664-584X(online)

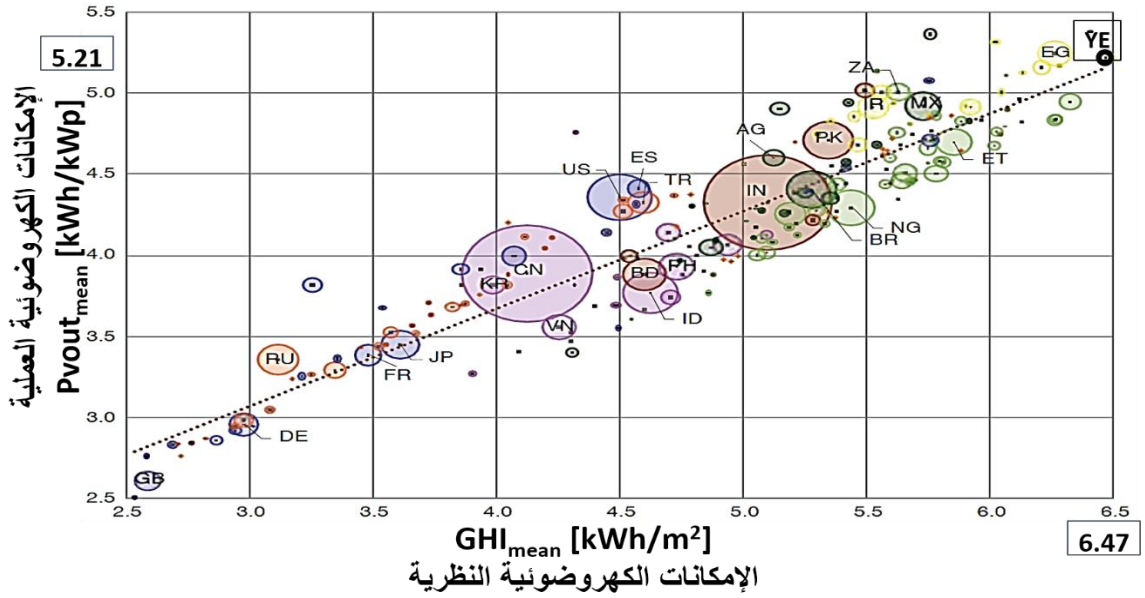
	القدرة الكهروضوئية المركبة المتراكمة (واط/ فرد، 2018)	الجمهورية اليمنية	112	5.3	(16 دولة = 0)
		جمهورية إفريقيا الوسطى	188	0.1	
7	الوصول إلى الكهرباء 2016 (نسبة % من السكان)	المانيا	1	100	76.2
		الجمهورية اليمنية	146	57.7	
		جمهورية إفريقيا الوسطى	198	0.4	
8	استهلاك القدرة الكهربائية (كيلو واط_ ساعة/ فرد، 2014)	النرويج	1	23000	3828.7
		الجمهورية اليمنية	123	220	
		هايتي	137	39	

هناك فرصة فريدة للطاقة الشمسية الكهروضوئية لتوفير خدمات كهرباء ميسورة التكلفة وموثوقة ومستدامة لجزء كبير من البشرية؛ إذ هناك حاجة ماسة إلى الفرص الاقتصادية ونوعية الحياة المحسنة. إن مقارنة إمكانات الطاقة الكهروضوئية بمزيد من المؤشرات الاجتماعية والاقتصادية، توفر رؤى جديدة. على سبيل المثال، عدد كبير من الدول ذات المؤشر المنخفض للتنمية البشرية والحصول على الكهرباء، يكون لديها إمكانات عملية عالية جدًا، تكون غير مستغلة إلى الآن. وهذا يتضح من خلال مؤشر القدرة الكهروضوئية المركبة حاليًا. كما تم اختيار نمط (مخطط الفقاعات) لتوضح البيانات؛ إذ متوسط إمكانات الكهروضوئية العملية في المستوى 1 (PV_{OUT}) يكون بالمحور الصادي، ومتوسط المؤشر المحدد للمقارنة يكون بالمحور السيني، مع اعتبار أن عدد سكان الدولة (يمثل حجم الفقاعة) وبذلك يمكن دمج أربع ميزات في كل مخطط، ما يوفر قاعدة لمناقشة وتفسير بعض الظواهر البارزة في نتائج البحث، الذي يتضمن نظرة فاحصة على وضع أي دولة في سياق بقية الدول، بالنسبة لمؤشرات اجتماعية واقتصادية وكهروضوئية. الفقاعة التي تمثل الجمهورية اليمنية بالرسم البياني تظهر كدائرة محيطها أسود سميك، ومكتوب أعلاها YE داخل مستطيل. إن مقارنة الإمكانات الكهروضوئية العملية– مقابل مجموعة من المؤشرات الاجتماعية والاقتصادية والكهربائية الأخرى الموضحة بالأشكال (10، 12، 18–14) – تظهر إمكانات توليد الطاقة الشمسية، في سياق التنمية الاقتصادية والبشرية والاجتماعية.

1– مؤشر الإمكانات الكهروضوئية النظرية

أن البيانات التي بالشكل (10) توضح الإمكانات العملية PV_{OUT} بمستوى 1 مقابل الإمكانات النظرية (GHI) إذ يتم عرض وجهة نظر بديلة بالنسبة لقيم GHI_{Mean} الواردة بالشكل (8) يتضح من الشكل

(10) أما الإمكانات النظرية التي يمثلها GHI، فلا تكون متناسبة تمامًا مع إمكانات العملية التي يمثلها PV_{OUT}.



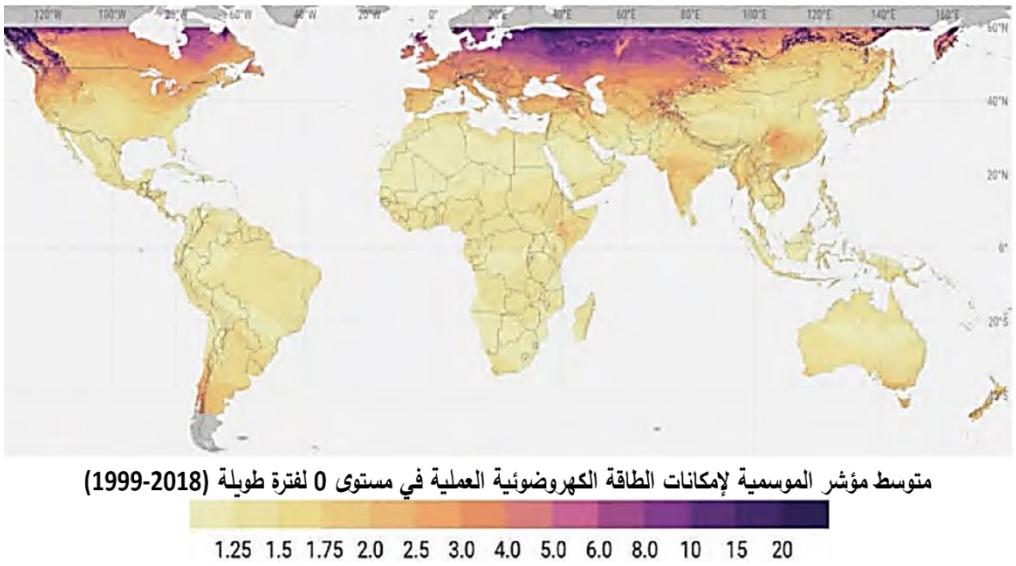
الشكل (10) يبين إمكانات الكهروضوئية العملية مستوى 1 مقارنة بإمكانات الكهروضوئية النظرية

السبب هو حرارة الهواء، التي تؤثر على أداء محطات الكهروضوئية. عند نفس قيم الإمكانات النظرية، فإن توليد الطاقة الكهروضوئية المحدد يكون أعلى في المناطق ذات حرارة الهواء الأكثر برودة، وأقل في المناطق ذات حرارة الهواء المرتفعة. وأفضل مثال لذلك الجمهورية اليمنية، كما يتضح من الشكل (10) رغم أنها تحتل المرتبة الأولى عالمياً بالإمكانات (النظرية) بمتوسط 6.47 kWh/ m^2 (المبين في الجزء العلوي الأيمن من الشكل) فإنها تحتل المرتبة الخامسة عالمياً بالإمكانات (العملية) بمتوسط 5.217 kWh/ kWp (المبين في الجزء العلوي الأيسر من الشكل) السبب هو: أن متوسط حرارة الهواء أعلى من درجة الحرارة المعيارية للخلايا الكهروضوئية. كما إن إندونيسيا وتركيا تكون قيمتا متوسط الإمكانات GHI فيهما متقاربتين بمتوسط 4.75 و4.66 kWh/ m^2 على التوالي، فإن قيم متوسط الإمكانات PV_{OUT} بتركيا أعلى 15% مقارنة بإندونيسيا (4.32 و3.77 kWh/ kWp، على التوالي) وكذلك الحال بين نيجيريا وباكستان، تنزانيا وجنوب إفريقيا، كينيا والمكسيك، إريتريا ومصر حيث تتمتع كلتا الدولتين بإمكانات نظرية متشابهة، لكن في الإمكانات العملية تتفوق إحداهما على الأخرى.

ISSN: 2664-5831(print), 2664-584X(online)

2- مؤشر موسمية الإمكانات الكهروضوئية العملية

إن خريطة توزيع مؤشر الموسمية للإمكانات الكهروضوئية العملية للمستوى 0 الموضحة بالشكل (11) تكمّل تقييم الإمكانات العملية؛ لأنها تصف تقلب إمكانات إنتاج القدرة الكهروضوئية على مدار العام.



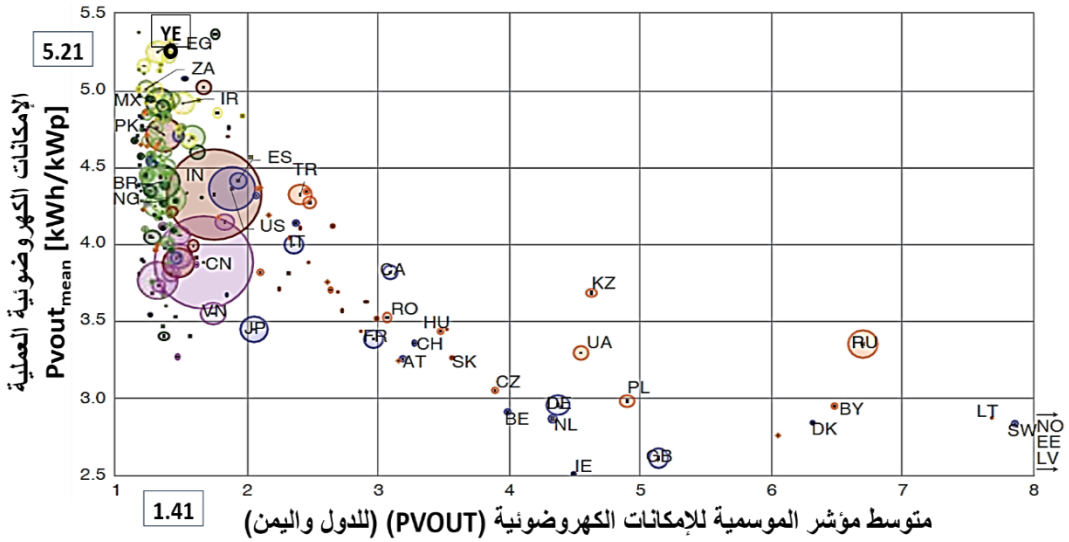
الشكل (11) يبين متوسط مؤشر الموسمية للإمكانات العملية (المستوى 0) على المدى الطويل.

إن قيمة مؤشر الموسمية القريب من 1 تشير لعدم وجود أي تأثير موسمي بتوليد الكهروضوئية، بينما القيم الأعلى تشير لحدوث مواسم إنتاج طاقة أقل وأعلى خلال عام. مثال ذلك: مؤشر الموسمية بجنوب إفريقيا يصل إلى 1.2، وهو يمثل إنتاجًا مستقرًا للغاية للكهرباء طول العام. بينما في الهند، يتجاوز 1.6، ما يدل على وجود مواسم رئيسية وثانوية للإنتاج. في ألمانيا، المؤشر يبلغ 4.4، أي أن توليد الكهرباء لأدنى شهر بالشتاء، يكون أقل من ربع توليد الكهرباء مقارنة بشهر الصيف الأفضل أداءً. في الواقع، فإن تحقيق التكامل بين مصادر الطاقة المتجددة وغير المتجددة الأخرى، قد يلعب دورًا مهمًا في مزيج الطاقة، خاصة في الدول المتأثرة بالموسمية الكهروضوئية مثل: الهند وفيتنام وبعض دول إفريقيا، التي فيها المحطات الكهرومائية، التي لا تتوفر فيها المياه إلا فقط خلال موسم الأمطار، الذي تكون فيه الظروف المناخية ملبدة بالغيوم، ما يؤدي إلى تقليل توليد الكهرباء الكهروضوئية أيضا. ومع ذلك، فإن التأثير المعاكس يحدث خلال موسم الجفاف، وهذا يشير إلى أن التقنيات يمكن أن يكمل بعضها بعضا بشكل جيد. يوضح الشكل (12) الإمكانات العملية PV_{OUT} بالمستوى 1 مقابل مؤشر موسمية الكهروضوئية.

(المحور السيني لوغاريتمي) وهو يبين أن 85% من سكان العالم يعيشون في 150 دولة ذات متوسط مؤشر للموسمية أقل من 2.0 ومتوسط الإمكانات الكهروضوئية تتجاوز 3.5 kWp/ kWh. كما يتضح من الشكل أن 50% من سكان العالم يعيشون بدول ذات مؤشر للموسمية حوالي 1.5 أو أقل. كما يبين أن 80% من سكان العالم يعيشون بدول تضم على الأقل بعض مناطق ذات تأثير موسمي ضئيل (حتى 1.3)

مؤشر موسمية الإمكانات الكهروضوئية العملية بالجمهورية اليمنية

إن البيانات التي بالجدول (5) تبين نتيجة مقارنة متوسط مؤشر موسمية الإمكانات الكهروضوئية العملية (الذي يتراوح 1.15–14.97) بالمستوى 1 طويل الأجل لعدد (209) دول منها الجمهورية اليمنية، التي حصلت على المرتبة 106 عالميا بالنسبة لمؤشر الموسمية بمتوسط بلغ 1.41 (ويتراوح بين 1.26–1.67) مقارنة بالمتوسط العالمي لمؤشر الموسمية الذي كان حوالي 2.03. كما يتضح من الشكل (12) – في الجزء العلوي الأيسر من الشكل – موقع الجمهورية اليمنية الممتاز، حيث المؤشر بلغ 1.41.



الشكل (12) يبين القيم المطلقة لإمكانات الكهروضوئية، العملية مقارنة إلى مؤشر موسمية الكهروضوئية

3– مؤشر المساحة المكافئة للكهروضوئية

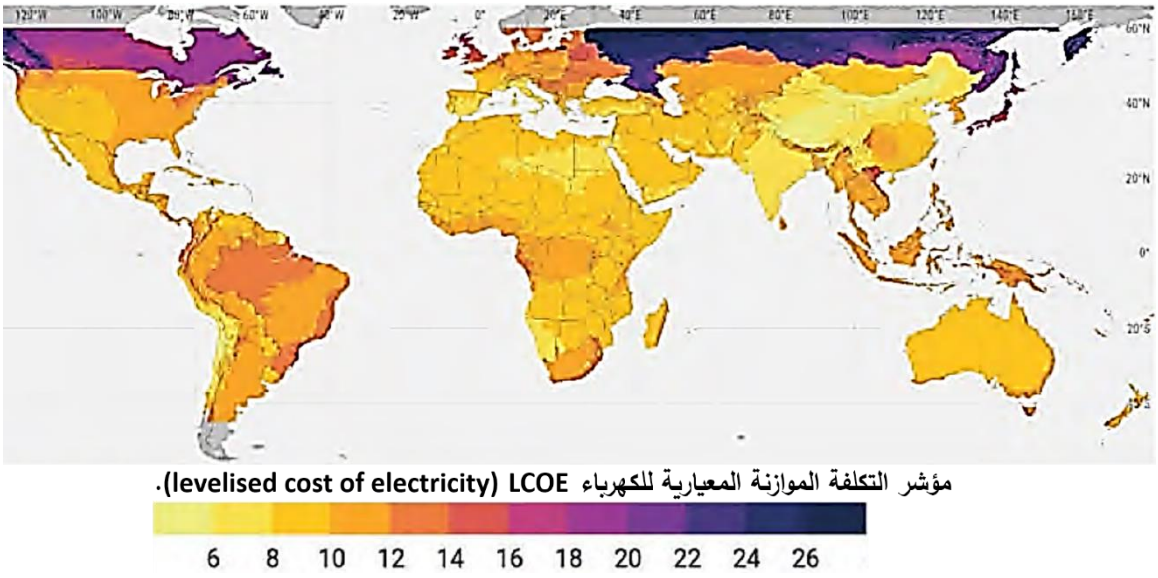
إن توافر البيانات التفصيلية لإمكانات PV_{OUT} يتيح إمكان تقدير المساحة المطلوبة لتغطية إنتاج الكهرباء المستهدف سنوياً بالدولة. ومع ذلك، فإن هذه النسبة قد تختلف من دولة إلى أخرى. في الدول ذات استهلاك الكهرباء المرتفع، وانخفاض إنتاج الكهروضوئية، مثل دولة سنغافورا ستحتاج نسبة أعلى من مساحتها.

مؤشر المساحة المكافئة للكهروضوئية بالجمهورية اليمنية

إن البيانات بالجدول (5) تبين نتيجة مقارنة متوسط مؤشر (الذي يتراوح 0.001–35.19%) نسبة المساحة المكافئة للكهروضوئية (نسبة % من المساحة الكلية) بالمستوى 1، طويل الأجل، لعدد 135 دولة منها الجمهورية اليمنية، التي حصلت على المرتبة 13 عالميا بالنسبة لمؤشر نسبة المساحة المكافئة للكهروضوئية بمتوسط بلغ 0.005%، لأن استهلاك اليمن من الكهرباء منخفض وارتفاع إنتاجية الكهروضوئية، مقارنة بالمتوسط العالمي للمؤشر الذي بلغ 1.18%.

4- **مؤشر الإمكانات الاقتصادية للكهروضوئية**

الإمكانات الاقتصادية للكهروضوئية، تصف مقدار تكلفة إنتاج وحدة طاقة، مقارنة بمصادر توليد الطاقة الأخرى. إن النفقات الرأسمالية تلعب دورًا مهمًا في توزيع المؤشر LCOE بالعالم. في 2018، قيمة المؤشر LCOE الموضحة بالشكل (13) تراوحت عالميًا بين 6–26 سنت $/ كيلو واط_ ساعة، كما إن 75% من الدول التي تم تقييمها كانت أقل من 12 سنت $/ كيلو واط_ ساعة. المؤشر يتراوح بين 6–14 سنت $/ كيلو واط_ ساعة في معظم الدول، مما يجعل الكهروضوئية قادرة على المنافسة مع الطاقة التقليدية.



الشكل (13) يبين متوسط مؤشر LCOE التكلفة الموازنة للكهرباء (سنت $/ كيلو واط_ ساعة، 2018)

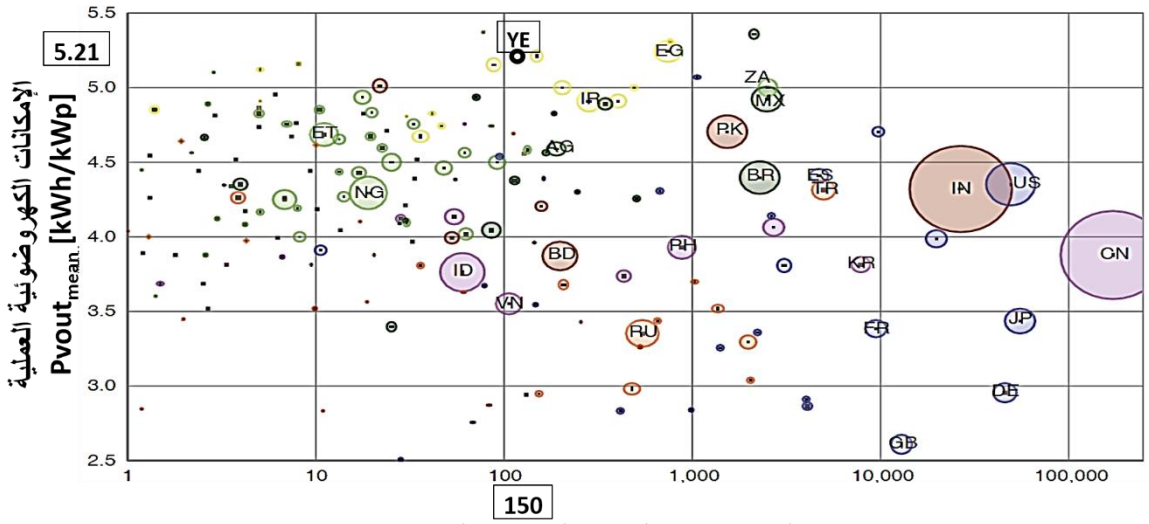
مؤشر الإمكانات الاقتصادية للكهروضوئية بالجمهورية اليمنية

إن البيانات التي بالجدول (5) تبين نتيجة مقارنة متوسطات مؤشر LCOE للإمكانات الاقتصادية للكهروضوئية (الذي يتراوح 0.07–0.23 $/ kWh، 2018) لعدد 209 دولة منها الجمهورية اليمنية،

التي حصلت على المرتبة 12 عالميا بالنسبة لمؤشر تكلفة LCOE للإمكانات الاقتصادية للكهروضوئية بمتوسط بلغ حوالي 0.08 kWh /$، مقارنة مع المتوسط العالمي للمؤشر الذي بلغ حوالي 0.10 /$ .kWh

5- مؤشر القدرة الكهروضوئية المركبة المتراكمة

إن مقارنة الإمكانات الكهروضوئية العملية مقابل القدرة الكهروضوئية المركبة المتراكمة موضحة بالشكل (14) الذي يبين في الجهة اليمنى من الرسم البياني أن المراكز الأربعة الأولى لمتوسط القدرة الكهروضوئية المركبة المتراكمة حصلت عليها كل من الصين (175018 ميجا واط) اليابان (55500 ميجا واط) الولايات المتحدة (49692 ميجا واط) ثم ألمانيا (45930 ميجا واط) على التوالي. يتضح – من الموقع المنخفض للجمهورية اليمنية في الجزء العلوي الأيسر من الشكل (14) – أن القدرة الكهروضوئية المركبة المتراكمة متواضعة جداً: حوالي 150 ميجا واط.



الشكل (14) يبين إمكانات القدرة الكهروضوئية العملية مقابل القدرة الكهروضوئية المركبة في 2018

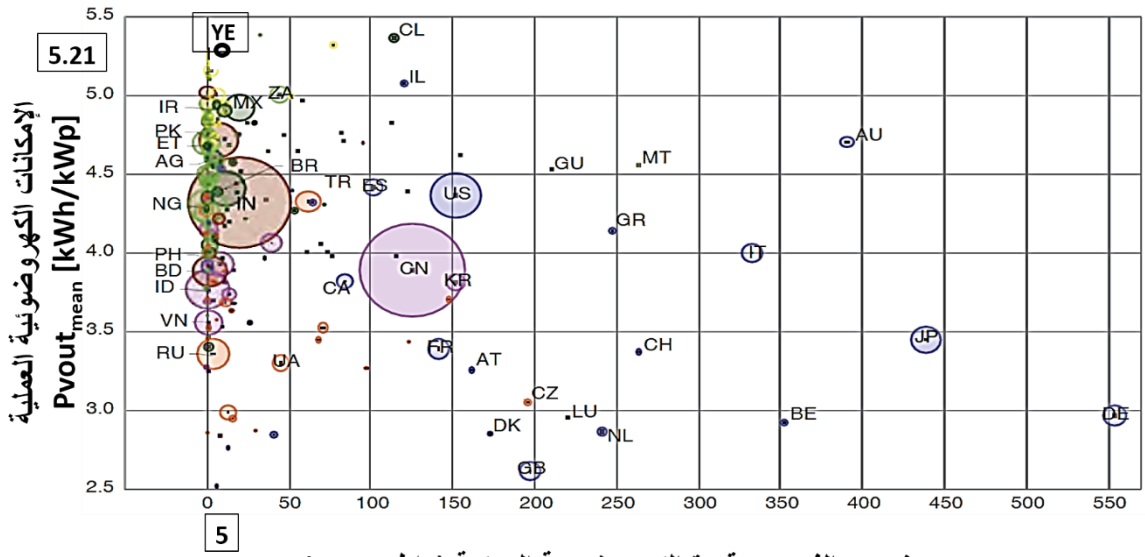
مؤشر القدرة الكهروضوئية المركبة المتراكمة بالجمهورية اليمنية

إن البيانات التي بالجدول (5) تبين نتيجة مقارنة متوسطات مؤشر القدرة الكهروضوئية المركبة (الذي يتراوح 0.2–175018 ميجا واط_ ذروة) المتراكمة حتى عام 2018، لعدد 189 دولة منها الجمهورية اليمنية، التي حصلت على المرتبة 58 عالميا بالنسبة لمؤشر القدرة الكهروضوئية المركبة المتراكمة بمتوسط بلغ 150 ميجا واط_ ذروة مقارنة مع المتوسط العالمي للمؤشر الذي بلغ حوالي 2350.6 ميجا واط_ ذروة.

ISSN: 2664-5831(print), 2664-584X(online)

6- مؤشر القدرة الكهروضوئية المركبة المتراكمة للفرد

إن مؤشر الإمكانات الكهروضوئية العملية – مقابل مؤشر قدرة الكهروضوئية المركبة المتراكمة للفرد – يكون موضحاً بالشكل (15) الذي يبين – في الجهة اليمنى من الرسم البياني – أن المراكز الثلاثة الأولى لمتوسط القدرة الكهروضوئية المركبة المتراكمة للفرد، حصلت عليها كل من ألمانيا (554 واط/ فرد) واليابان (438 واط/ فرد) وإستراليا (390 واط/ فرد) في الوقت نفسه، تلك الدول تمثل مستويات مختلفة جدًا للإمكانات الكهروضوئية، والتي تكون منخفضة ومتوسطة وعالية على التوالي. وأنه في 28 دولة تم تجاوز حاجز 100 واط_ ذروة/ للفرد. بالمقابل، فإن 120 دولة كان لديها طاقة شمسية مركبة أقل من 10 واط/ للفرد، كما إن نصفهم كان لديهم الحد الأدنى من القدرات الكهروضوئية المركبة (أقل من 1 واط لكل فرد) أو لا يوجد لديهم قدرة مركبة. هذا يشمل العديد من الدول ذات الإمكانات الكهروضوئية العالية، بما فيها كل الدول الأفريقية تقريبًا (ماعدا جنوب إفريقيا) بالإضافة إلى بنغلاديش وإندونيسيا. كما يتضح – من موقع الجمهورية اليمنية، في الجزء العلوي الأيسر من الشكل (15) – أن نصيب الفرد من القدرة الكهروضوئية المركبة منخفض جدا: حوالي 5 واط/ للفرد.



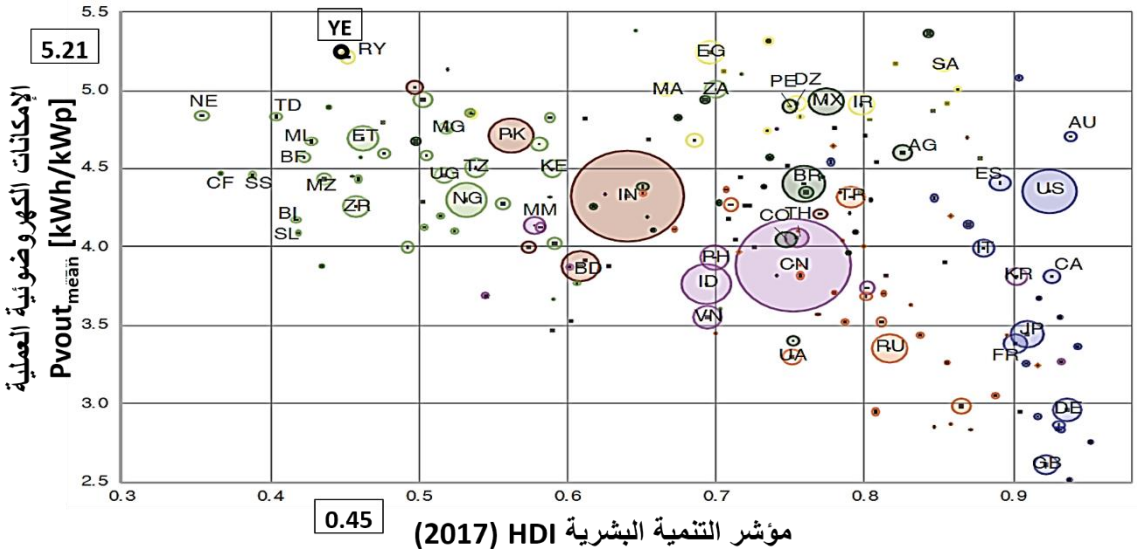
الشكل (15) يبين إمكانات العملية مقارنة بالسعة الكهروضوئية المركبة للشخص في 2018.

مؤشر القدرة الكهروضوئية المركبة المتراكمة للفرد بالجمهورية اليمنية

أن البيانات التي بالجدول (5) تبين نتيجة مقارنة متوسطات مؤشر القدرة الكهروضوئية المركبة (يتراوح 0.1–553.9 واط/ للفرد) المتراكمة حتى 2018، لعدد 188 دولة منها الجمهورية اليمنية، التي حصلت على المرتبة 112 عالميا بالنسبة لمؤشر القدرة الكهروضوئية المركبة المتراكمة بمتوسط بلغ 5.3 واط/ للفرد مقارنة بالمتوسط العالمي للمؤشر الذي بلغ 41.7 واط/ للفرد.

7– مؤشر التنمية البشرية

إن مؤشر الإمكانات الكهروضوئية العملية – مقابل مؤشر التنمية البشرية (HDI) – موضح بالشكل (16) الذي يبين تقريبًا أن كل الدول ذات التصنيف المنخفض لمؤشر التنمية البشرية (HDI) لديها إمكانات طاقة كهروضوئية بارزة. كما يبين الشكل، أن معظم الدول الأفريقية جنوب الصحراء – تليها دول من إقليم جنوب آسيا – كلها تتميز بانخفاض مؤشر التنمية البشرية وارتفاع إمكانات الطاقة الكهروضوئية (الربع العلوي الأيسر من الرسم البياني الشكل 16) على النقيض من ذلك، فإن العديد من الدول ذات مؤشر التنمية البشرية المرتفع – وإمكانات الطاقة الكهروضوئية المنخفضة – تدعم بشكل منهجي نمو الطاقة الشمسية المتجددة. كما يتضح – من موقع الجمهورية اليمنية، في الجزء العلوي الأيسر من الشكل (16) – أن متوسط مؤشر التنمية البشرية منخفض: حوالي 0.45.



الشكل (16) يبين إمكانات الطاقة الكهروضوئية العملية مقابل مؤشر التنمية البشرية

إن البيانات التي بالجدول (5) تبين نتيجة مقارنة متوسط مؤشر التنمية البشرية (الذي يتراوح 0.35–0.95) في عام 2017، لعدد 185 دولة منها الجمهورية اليمنية، التي حصلت على المرتبة 175 عالميا

ISSN: 2664-5831(print), 2664-584X(online)

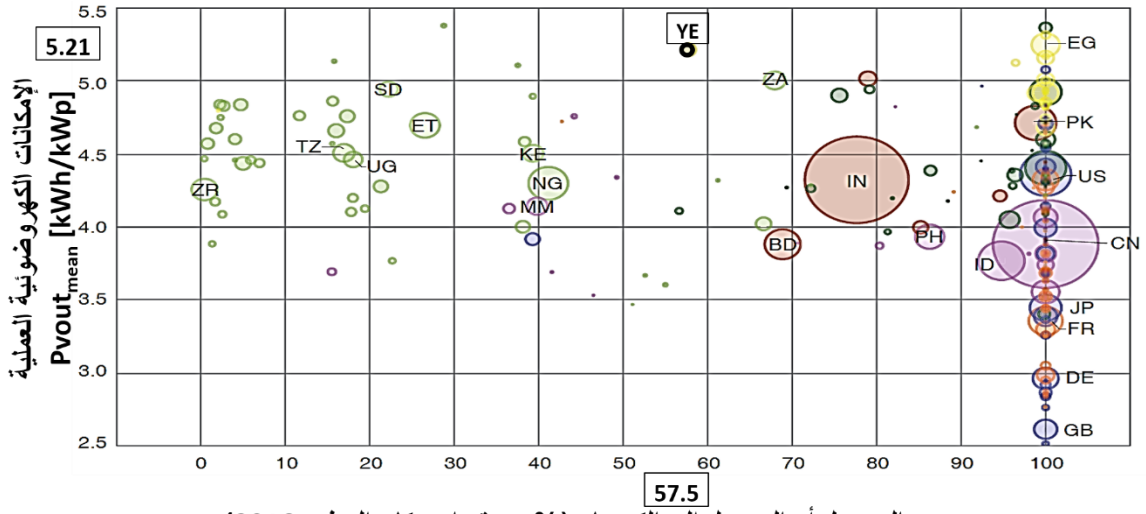
بالنسبة لمؤشر التنمية البشرية بمتوسط بلغ 0.45، مقارنة بالمتوسط العالمي لمؤشر التنمية البشرية الذي بلغ حوالي 0.71.

8- مؤشر الوصول إلى الكهرباء

إن الشكل (17) يوضح علاقة الإمكانات الكهروضوئية العملية مقابل مؤشر الوصول (الحصول على) إلى الكهرباء. مثلما بالشكل (16) فإن الشكل (17) يُظهر نمطًا مشابهًا لتوزيع الدول في الرسم البياني، الذي يوضح حصول سكان الريف على الكهرباء. يوضح الشكل في الجهة اليمنى أن 102 دولة حصلت على مؤشر الوصول بنسبة 100%. في المقابل، يوضح الشكل في الجهة اليسرى أن 48 دولة ذات مؤشر الوصول بنسبة اقل من 50% (منها 17 دولة ذات مؤشر الوصول بنسبة أقل من 7%) معظم الدول التي لديها وصول محدود للكهرباء في المناطق الريفية – ومنها الجمهورية اليمنية – تُظهر أن لديها إمكانات طاقة كهروضوئية عملية تزيد على 4 كيلو واط_ ساعة في اليوم.

مؤشر الوصول إلى الكهرباء بالجمهورية اليمنية

إن البيانات التي بالجدول (5) تبين نتيجة مقارنة متوسطات نسبة مؤشر الوصول إلى الكهرباء (الذي يتراوح 0.4–100%) من السكان في 2016، لعدد 198 دولة منها الجمهورية اليمنية، التي حصلت على المرتبة 146 عالميا بالنسبة لمؤشر نسبة الوصول إلى الكهرباء بمتوسط بلغ 57.7%، مقارنة مع المتوسط العالمي للمؤشر الذي بلغ 76.2%.



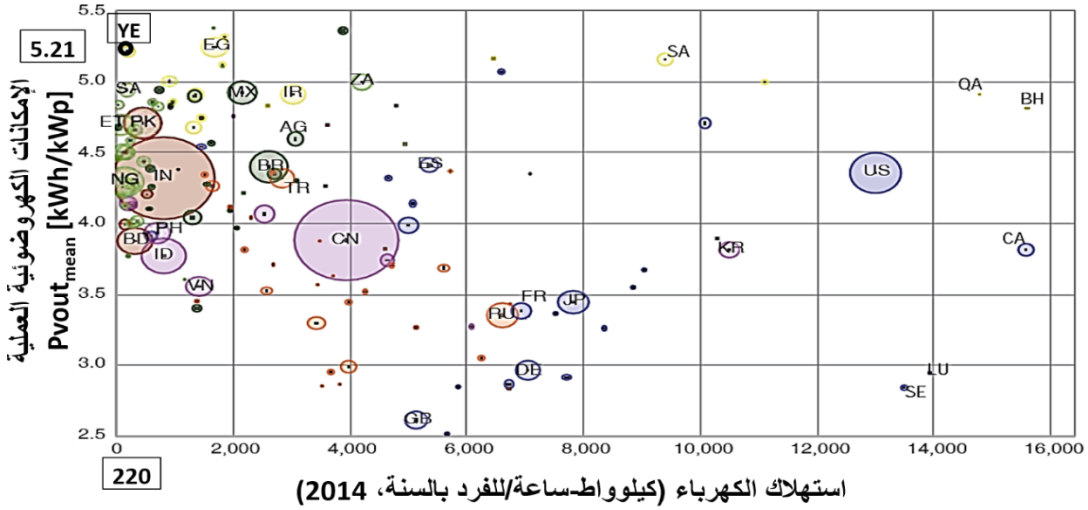
الشكل (17) يبين إمكانات الطاقة الكهروضوئية العملية مقابل حصول سكان الريف على الكهرباء

9- مؤشر استهلاك القدرة الكهربائية

علاقة مؤشر الإمكانات العملية مع مؤشر نصيب الفرد من استهلاك الكهرباء موضحة بالشكل (18) الذي يبين أن نصيب الفرد من الاستهلاك يتباين بشكل كبير في العالم. كما يتضح – في الجهة اليمنى من الرسم البياني – أن حوالي (12 اثنتي عشرة) دولة نصيب الفرد فيها يتجاوز الرقم 10000 كيلو واط_ساعة/ فرد في السنة. وأن المراكز الثلاثة الأولى لمتوسط نصيب الفرد من استهلاك الكهرباء كيلو واط_ ساعة/ فرد عام 2014، حصلت عليها كل من النرويج (23000) والبحرين (19597) والكويت (15591) من ناحية أخرى، فإن حوالي 40% من سكان العالم يعيشون في دول يقل الاستهلاك السنوي عن 1000 كيلو واط_ ساعة للفرد. هناك العديد من العوامل التي تحدد عدم المساواة تلك، لكن ربما يكون العامل الأكثر أهمية، هو الحصول على الكهرباء، أو الوصول إليها. يتضح – من موقع الجمهورية اليمنية، في الجزء العلوي الأيسر من الشكل (18) – أن متوسط مؤشر نصيب الفرد من استهلاك الكهرباء في السنة منخفض جدا: حوالي 220 كيلو واط_ ساعة/ للفرد.

مؤشر استهلاك القدرة الكهربائية بالجمهورية اليمنية

إن البيانات التي بالجدول (5) تبين نتيجة مقارنة متوسطات استهلاك القدرة الكهربائية للفرد بالسنة (الذي يتراوح 39–23000 كيلو واط_ ساعة/ للفرد بالسنة، 2014) لعدد 137 دولة منها الجمهورية اليمنية، التي حصلت على المرتبة 123 عالميا بالنسبة لمؤشر استهلاك القدرة الكهربائية للفرد بالسنة، بمتوسط بلغ حوالي 220 كيلو واط_ ساعة/ للفرد مقارنة مع المتوسط العالمي لمؤشر استهلاك القدرة الكهربائية للفرد بالسنة الذي بلغ حوالي 3829 كيلو واط_ ساعة/ للفرد.



الشكل (18) يبين إمكانات الطاقة الكهروضوئية العملية مقابل استهلاك الطاقة الكهربائية

ISSN: 2664-5831(print), 2664-584X(online)

LITERATURE: المصادر

(1) ESMAP. 2020. Global Photovoltaic Power Potential by Country. Washington, DC: World Bank.

(2) The World Bank Group (2020) Global Solar Atlas. ttps:/ / globalsolaratlas.info/

(3) IRENA 2019: Renewable power generation cost report 2018. https:/ / www.irena.org/ publications/ 2019/ May/ Renewable-power-generation-costs-in-2018

(4) Levelized Cost of Energy and Levelized Cost of Storage 2018. https:/ / www.lazard.com/ perspective/ levelized-cost-of-energy-and-levelized-cost-of-storage-2018/

(5) The World Bank Group (2019) Indicators. https:/ / data.worldbank.org/ indicator

(6) Renewable Capacity Statistics 2019. IRENA (March 2019)

(7) https:/ / www.irena.org/ publications/ 2019/ Mar/ Renewable-Capacity-Statistics-2019

APPLIED DATA SETS

(1) PV power potential © 2019 Solargis.

(2) Global horizontal irradiation © 2019 Solargis.

(3) Direct normal irradiation © 2019 Solargis.

(4) Air temperature © 2019 ECMWF, NASA, and Solargis.

(5) Administrative boundaries © 2019 Cartography Unit, GSDPM, World Bank Group.