

## التحليل الإحصائي للإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة لمدينة سبها ومدى تأثيرهما على إنتاجية الواح الكهروضوئية

علي عبدالرحيم<sup>1</sup>

<sup>1</sup> الهندسة الميكانيكية، المعهد العالي للتقنيات الهندسية، سبها، ليبيا

البريد الإلكتروني: aliabdralrheem621985@gmail.com

### Statistical analysis of solar radiation and temperatures in the city of Sabha and determining their impact on the productivity of photovoltaic panels

<sup>1</sup>ALI ABDALRAHEEM

<sup>1</sup>Mechanical Engineering, Higher Institute of Engineering Technologies, Sabha, Libya

Received: 30-09-2025; Revised: 10-10-2025; Accepted: 31-10-2025; Published: 25-11-2025

#### الملخص:

تعد الطاقة الشمسية أحد أهم حلول الطاقة المتتجدد لمواجهة تزايد الطلب على الطاقة والمخاوف البيئية. ولتقييم إمكانات هذه الطاقة في ليبيا، أجريت دراسة إحصائية ومحاكاة لبيانات لمدينة سبها التي تقع في جنوب ليبيا، تم استخدام برنامج (SPSS) لتحليل البيانات الإحصائية الخاصة بالإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة والرطوبة النسبية. كما تم استخدام برنامج (SAM) لمحاكاة أداء الواح كهروضوئي بقدرة 500 واط، وذلك لتقييم الإنتاجية السنوية من الطاقة. حيث أظهر التحليل الإحصائي على وجود علاقة طردية قوية بين الإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة، حيث كان معامل ارتباط  $R = 0.87$ . وكانت نتائج المحاكاة بواسطة برنامج (SAM) جيدة حيث كانت الإنتاجية لوح كهروضوئي بقدرة 500 واط حوالي 914 kWh سنويًا.

**الكلمات المفتاحية:** التحليل الإحصائي، الإشعاع الشمسي، النظام الكهروضوئي الشمسي.

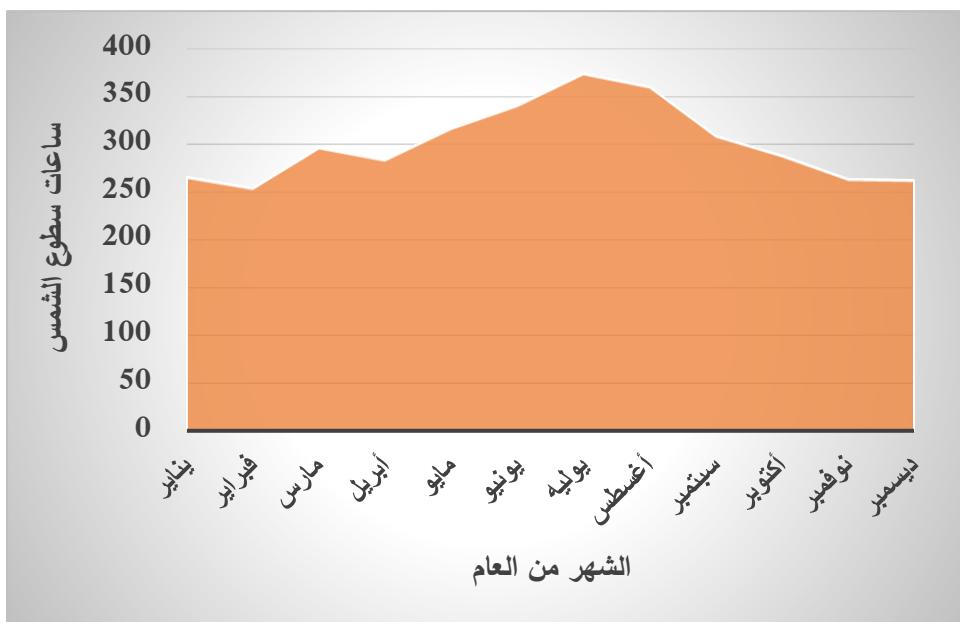
#### Abstract:

Solar energy is one of the most important renewable energy solutions to meet growing energy demand and environmental concerns. To assess the potential of this energy in Libya, a statistical study and data simulation were conducted for the city of Sabha, located in southern Libya. SPSS software was used to analyze statistical data on solar radiation, temperature, and relative humidity. The SAM program was also used to simulate the performance of a 500-watt photovoltaic panel to assess annual energy productivity. The statistical analysis showed a strong positive correlation between solar radiation and temperature, with a correlation coefficient of  $R = 0.87$ . The results of the simulation using the SAM program were good, with the productivity of a 500-watt photovoltaic panel being approximately 914 kWh per year.

**Keywords:** Statistical analysis; solar radiation; solar photovoltaic system.

## المقدمة:

الطاقة هي المفتاح الرئيسي للنمو الاقتصادي والاجتماعي لأي بلد، وتزداد أهميتها مع التطورات التكنولوجية والصناعية في العالم. أكثر الموارد استخداماً لتوليد الطاقة الكهربائية هي الوقود الأحفوري، لكن الدراسات أظهرت أن هذه الموارد لها العديد من الآثار السلبية مثل الاحتباس الحراري والتلوث البيئي [1]. وبالتالي، فإن الطاقة المتجدددة والنظيفة مثل تلك التي يتم الحصول عليها باستخدام الخلايا الشمسية ضرورية لحفظ جودة حياة الإنسان وكذلك البيئة [2]. وتظهر الدراسة الدقيقة للاقتصاد العالمي أهمية الطاقة الشمسية (المترتبة مباشرة بالإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة) للنمو الاقتصادي [3]. ويطلب تصميم وحجم وأداء أي مشروع للطاقة الشمسية، مثل الأنظمة الكهروضوئية المستقلة والمجمعات المسطحة وسعة تخزين نظام التركيبات الشمسية، معرفة دقيقة بالإشعاع الشمسي المتاح في موقع التركيب [4]. وحيث تتمتع ليبيا ب معدلات عالية من شدة الإشعاع الشمسي، حيث تصل إلى جولي 7.5 كيلو وات / ساعة / متر مربع كما تتراوح ساعات سطوع الشمس بين (3000-3200) ساعة سنوياً، مما يشكل فرصة مثالية للاستفادة منه في توليد الطاقة [5].



شكل 1 متوسط ساعات سطوع الشمس لمدينة سبها لفترة (2000-2010)[6].

ويوضح الشكل 1 متوسط ساعات سطوع الشمس في مدينة سبها لسنوات سابقة من (2000-2010). وفي هذه الورقة، سنجري دراسة تحليلية للبيانات الجوية لمدينة سبها وهذه البيانات عبارة عن الإشعاع الشمسي الكلي والمبادر وال منتشر ودرجة الحرارة والرطوبة النسبية وسرعة الرياح. أولاً التحليل الإحصائي

للإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة باستخدام برنامج SPSS). وتانيا محاكاة هذه البيانات باستخدامها في برنامج SAM) لمعرفة تأثيرها على كفاءة وانتاجية لوح شمسي سعته 500 وات.

### الدراسات السابقة:

تناولت دراسة في نيجيريا تحليلًا إحصائيًّا لبيانات مناخية لثلاثة مواقع في نيجيريا (مايدوغوري، مينا، بورت هار كورت) لتقييم جدواها لتطوير أنظمة الطاقة الكهروضوئية . واعتمد التحليل الإحصائي على عدة مؤشرات إحصائية من ضمنها الارتباط والانحدار وتم إجراء معاملات الارتباط (Correlation) بين الإشعاع الشمسي كمتغير تابع ودرجة الحرارة والرطوبة النسبية وساعات سطوع الشمس كمتغيرات مستقلة . وخلصت الدراسة إحصائيًّا إلى وجود علاقة خطية قوية ومهمة (موجبة مع درجة الحرارة، وسلبية مع الرطوبة) بين الإشعاع الشمسي والمتغيرات المناخية في جميع الموقع [1].

وفي السودان بهدف تقييم أداء الخلايا الشمسية وتأثير ظروف التشغيل، وتحديداً الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة، على معلمات الخرج الرئيسية مثل الطاقة والكفاءة. وقد اعتمدت الدراسة على قياسات تجريبية في مدينة الخرطوم في الفترة ما بين فبراير وأبريل، حيث تم استخدام خلية شمسية أحادية البلورة. أشارت النتائج بوضوح إلى أن أداء الخلية الشمسية ينخفض مع ارتفاع درجة الحرارة، وأن كلًا من الكفاءة وخرج الطاقة يعتمدان على درجة حرارة التشغيل. وتوصل الباحثون إلى أن الحد الأقصى للطاقة يقل مع زيادة درجة حرارة الخلية الشمسية، مما يؤدي إلى انخفاض الكفاءة. وأوصت الدراسة بضرورة تصميم وهندسة الخلايا الشمسية بناءً على درجات الحرارة البيئية للموقع لضمان أفضل أداء [7].

كما أظهرت دراسة عملية في مدينة دهوك، العراق، تأثير الرطوبة، ودرجة الحرارة والإشعاع الشمسي الكلي على كفاءة اللوح الكهروضوئي متعدد البلورة وكانت أبرز النتائج :

- تأثير درجة الحرارة: وجود علاقة طردية قوية بين درجة حرارة اللوح ونسبة الفقد في الكفاءة، حيث تنخفض الكفاءة بمقدار 0.4695% لكل درجة حرارة تزيد عن 25° م.
- تأثير الإشعاع الشمسي: وجود علاقة خطية طردية قوية بين الإشعاع الشمسي وأقصى قدرة منتجة من اللوح .
- تأثير الرطوبة: لوحظ أن الرطوبة النسبية تؤدي إلى تشتت الإشعاع، مما يساهم في انخفاض الإشعاع الشمسي في بعض الأوقات[8].

وأيضاً أجريت دراسة في مدينة باليمبانج، إندونيسيا. هذا الموقع الجغرافي ذو أهمية قصوى حيث أنه يقع ضمن المناطق الاستوائية، التي تتميز بارتفاع مستويات الإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة المحيطة على مدار العام. هدفت الدراسة إلى تحليل أداء وكفاءة ثلاثة أنواع رئيسية من الألواح الكهروضوئية في ظل

ظروف بيئية متغيرة، مع التركيز على تأثير ارتفاع الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة المحيطة على ناتج الطاقة وكانت النتائج الرئيسية للدراسة :

- أعلى كفاءة: حققت ألواح أحادية البلورة أعلى كفاءة إجمالية بلغت 27.70% تحت الإشعاع العالي، لكنها الأقل استقراراً حرارياً .
- الأكثر حساسية للحرارة: أظهرت ألواح متعددة البلورات أعلى معامل فقدان للكفاءة نتيجة ارتفاع درجة الحرارة (0.40%) لكل درجة مئوية .
- الأكثر استقراراً حرارياً: كانت ألواح الأغشية الرقيقة الأقل كفاءة بشكل عام (10.26%) ولكنها الأفضل من حيث الاستقرار الحراري وتحمل الظروف القاسية (0.25%) فقدان لكل درجة مئوية .
- الخلاصة: هناك مفاضلة في الأداء؛ حيث تتفوق ألواح أحادية البلورة في الكفاءة القصوى، بينما تتفوق ألواح الأغشية الرقيقة في الاستقرار والمرونة تحت تقلبات الحرارة في المناطق الاستوائية[9].

وتكتسب الدراسة الحالية أهميتها ومنهجيتها من الدراسات السابقة التي تناولت تقييم أداء الخلايا الكهروضوئية تحت تأثير الظروف المناخية المتغيرة. فالدراسات التي أجريت في نيجيريا والسودان والعراق وإندونيسيا جميعها أكدت على أهمية تحديد العلاقة بين الإشعاع الشمسي، ودرجة الحرارة، والرطوبة كمتغيرات مستقلة، وأداء اللوح الكهروضوئي (كالكفاءة وخرج الطاقة) كمتغيرات تابعة. لذلك، ستقوم الدراسة الحالية بتطبيق التحليل الإحصائي لدراسة العلاقة بين الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة في مدينة سبها لمعرفة الارتباط والانحدار بين الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة باستخدام برنامج SPSS Statistical Package for the Social Sciences وبسبب وجود معوقات حالت دون إجراء الدراسة التجريبية المباشرة تم اختيار برنامج المحاكاة وهو برنامج System Model Advisor (SAM) وبسبب اختيارة (لأنه معتمد، موثوق، ومبني على نماذج رياضية مثبتة).

#### البيانات والمنهجية:

#### منطقة الدراسة:

منطقة سبها تقع في جنوب غرب ليبيا وتتميز بمناخها الصحراوي الجاف، وتتأثر بشكل كبير بالعديد من العوامل الجغرافية والمناخية التي تحدد كمية الإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة. وفيما يلي يوضح الجدول رقم 1 تفاصيل الإحداثيات الجغرافية لمدينة سبها.

### جدول 1 التفاصيل الجغرافية لمدينة سبها.

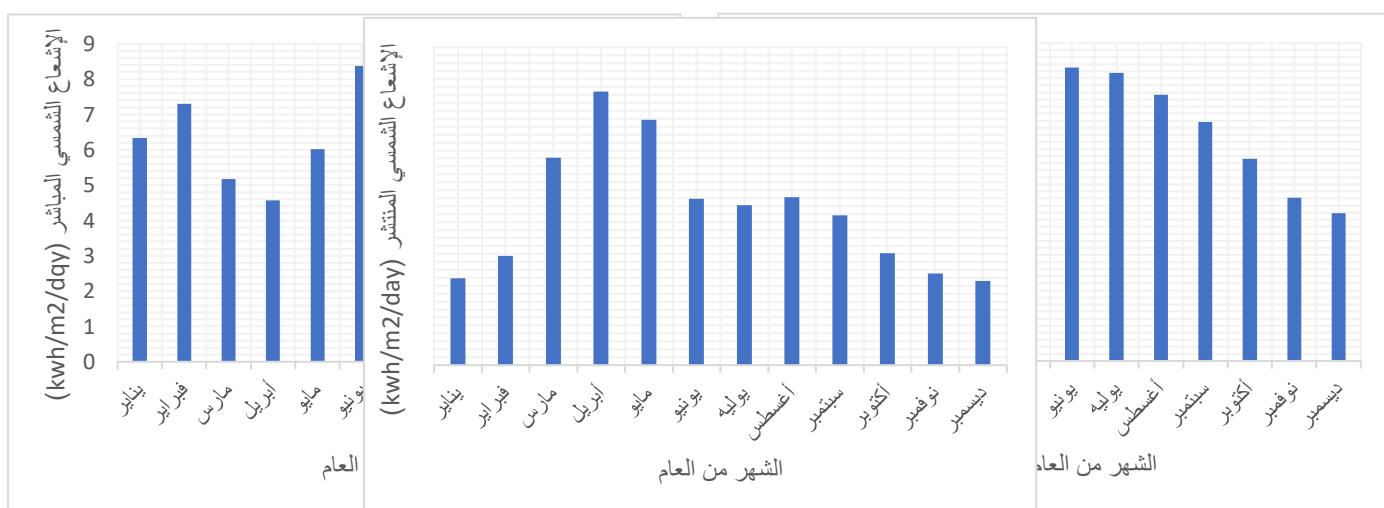
الموقع	خط العرض	خط الطول	الارتفاع عن سطح البحر (م)
سبها	27°02'00	14°26'00 شرقاً	432

بيانات:

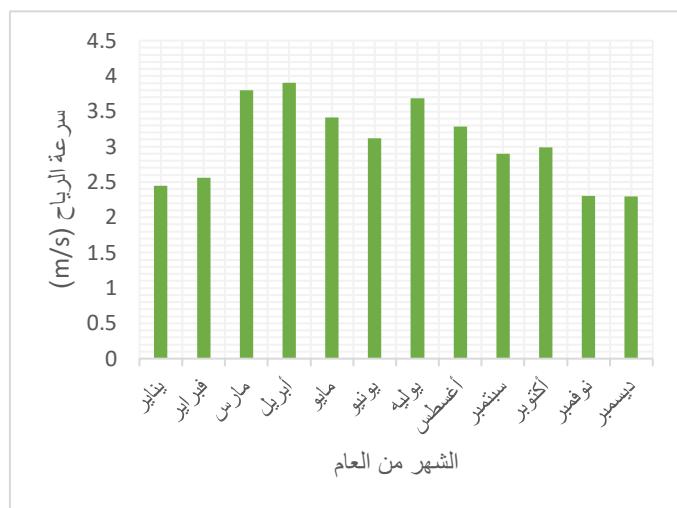
تعد البيانات الجوية أساساً حيوياً لأي دراسة إحصائية تهدف إلى فهم وتحليل الظواهر المناخية والطقس. تعكس هذه البيانات الظروف البيئية في منطقة معينة، وتتوفر معلومات أساسية لدراسة أنماط المناخ،

شكل 3 المتوسط الشهري للإشعاع الشمسي المباشر لمدينة سبها.

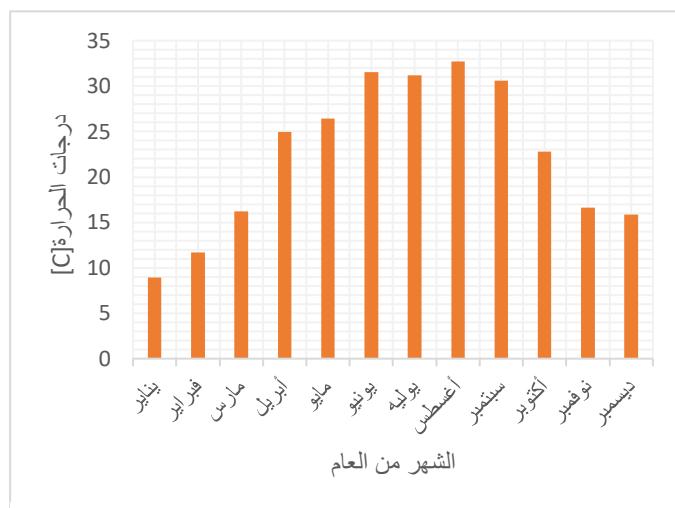
شكل 2 المتوسط الشهري للإشعاع الشمسي الكلي لمدينة سبها.



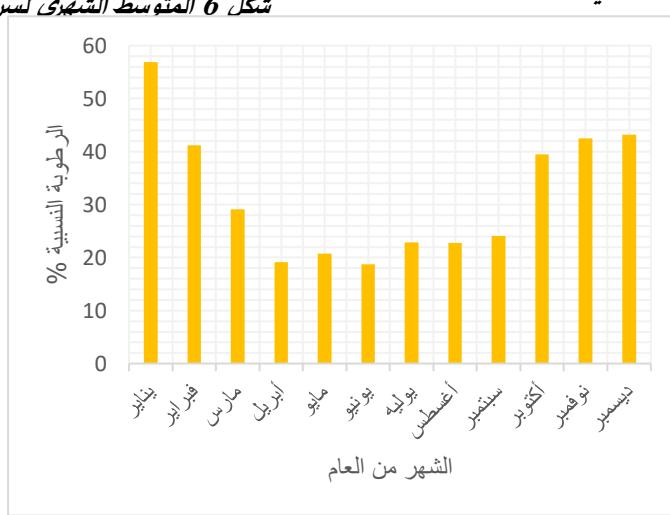
شكل 4 المتوسط الشهري للإشعاع المنتشر لمدينة سبها.



شكل 6 المتوسط الشهري لسرعة الرياح لمدينة سبها.



شكل 5 المتوسط الشهري لدرجات الحرارة في مدينة سبها.



شكل 7 المتوسط الشهري لرطوبة النسبية لمدينة سبها.

التغيرات الموسمية، والتباينات الجوية. وبالاستاد إلى دراستنا، سيتم استخدام البيانات الجوية التالية لتحليلها احصائيا في منطقة الدراسة. والبيانات المستخدمة في هذه الدراسة هي متوسط الإشعاع الشمسي الكلي والإشعاع الشمسي المباشر والمتشتت ودرجة الحرارة المحيطة وسرعة الرياح والرطوبة النسبية وتم جمعها من موقع NASA [10] كما هو موضح في الأشكال التالية 2 و 3 و 4 و 5 و 6 و 7.

### المنهجية:

كانت المنهجية المستخدمة في هذه الدراسة تتكون من جزئين، حيث كان الجزء الأول هو التحليل الإحصائي باستخدام برنامج (SPSS). اوتمن استخدام المقاييس الإحصائية لمعرفة أقل وأعلى ومتوسط القيم للبيانات المستخدمة في هذه الدراسة بالإضافة إلى الانحراف المعياري والارتباط والانحدار. وتم استخدام معامل الارتباط ( $R$ ) لمعرفة إذا كانت هناك علاقة بين الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة.

أما الجزء الثاني من الدراسة كانت عبارة عن محاكاة للوح كهروضوئي تبلغ سعته 500 وات باستخدام برنامج (SAM) لمعرفة كفاءة وانتاجية اللوح الكهروضوئي من الكهرباء استناداً إلى بيانات المستخدمة في التحليل الإحصائي.

ويركز البرنامج على تحليل الأداء بناءً على بيانات الموقع وظروف الطقس مثل (خط العرض-خط الطول-ارتفاع عن سطح البحر).

وتعتبر المدخلات في هذا الجزء من البرنامج ترکز بشكل رئيسي على تحديد الموقع وظروف الطقس اللازمة لمحاكاة وهذه البيانات تحدد المكان الذي ستتم فيه محاكاة أداء اللوح، وهي ضرورية لحساب زوايا الشمس والإشعاع الشمسي.

ويعتبر ملف بيانات الطقس هو أهم مدخل لتحديد أداء الألواح، حيث يحتوي على بيانات ساعة بساعة على مدار عام كامل لظروف الطقس في الموقع المحدد.

يحتوي هذا الملف على معلومات أساسية مثل:

- الإشعاع الشمسي: يشمل الإشعاع الأفقي الكلي والإشعاع المباشر والإشعاع المنشر.
- درجة حرارة الهواء المحيط.
- سرعة الرياح.

ولكن الهدف من البرنامج (المخرجات النهائية)

هذه هي نتائج محاكاة الأداء الفعلي للألواح الكهروضوئية:

- الإنتاج السنوي للطاقة: إجمالي كمية الكهرباء بوحدة (kWh) التي يتوقع أن ينتجهما اللوح الكهروضوئي خلال عام.
- تحليل الخسائر: تحديد مقدار الطاقة المفقودة بسبب عوامل مختلفة مثل:
  - درجة الحرارة: الانخفاض في الكفاءة بسبب ارتفاع حرارة الألواح.

- عامل القدرة: نسبة الطاقة الفعلية المنتجة إلى الحد الأقصى للطاقة التي يمكن إنتاجها.
- معدل الاداء لكل عام.

وإذا اعتربنا أن اللوح الكهروضوئي مثبت بشكل افقي أي ان زاوية الميل له تساوي صفر. وفيما يلي جدول رقم 2 يوضح بيانات اللوح الكهروضوئي المستخدمة في الدراسة

**جدول 2 الموصفات الكهربائية للوح الكهروضوئي.**

watt 500	قدرة اللوح الشمسي
V 45.5	جهد التشغيل المثالي
A 11	تيار التشغيل المثالي
V 54.3	جهد الدائرة المفتوحة
A 11.5	دائرة تيار القصر
% 21.93	كفاءة اللوح الشمسي
m <sup>2</sup> 2.280	مساحة اللوح الشمسي

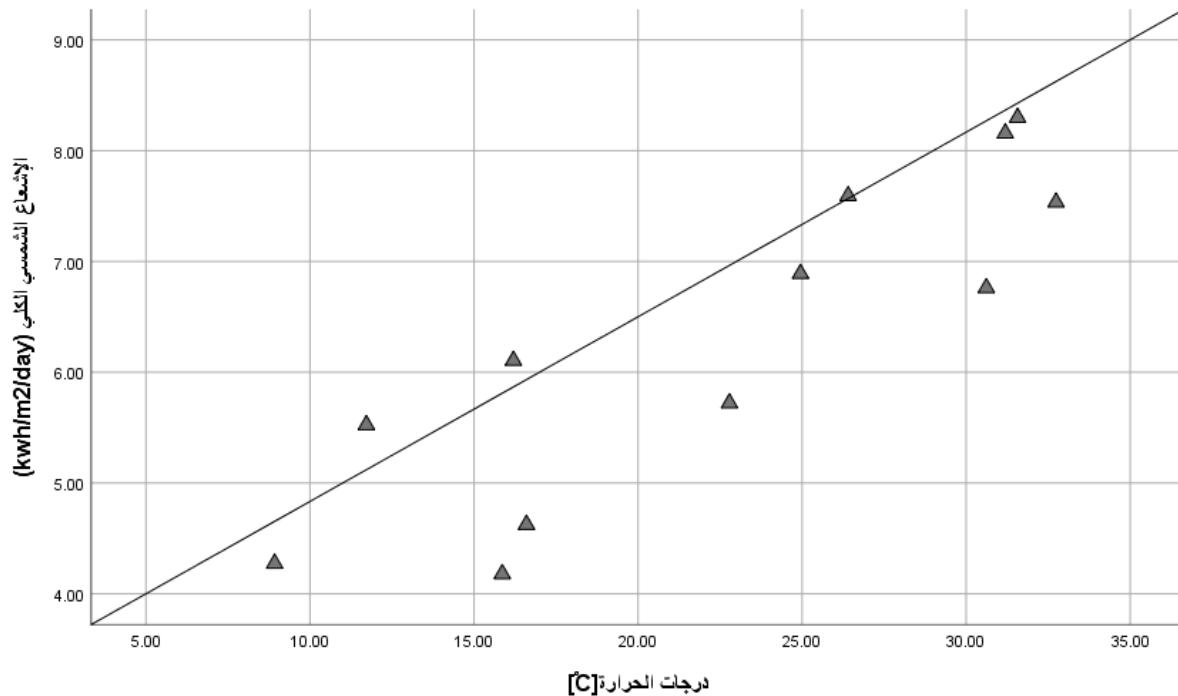
#### النتائج والمناقشة:

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي لبيانات الإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة كما هو موضح في الجدول رقم 3 ، متوسط وأعلى وأقل قيمة، والانحراف المعياري، لفهم أنماط الإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة في مدينة سبها .

**جدول 3 وصف عام لبيانات الخاصة بمدينة سبها.**

التحليل الإحصائي	الإشعاع الشمسي	درجات الحرارة
أقل قيمة	4.18	8.92
أعلى قيمة	8.30	32.74
متوسط الحسابي للقيم	6.31	22.46
الانحراف المعياري	1.46	8.37

ويتمثل متوسط البيانات القيمة المركزية للبيانات، في سياق هذه الدراسة، يظهر متوسط الإشعاع الشمسي السنوي واليومي أن مدينة سبها تمتاز بكمية كبيرة من الطاقة الشمسية المتاحة. أما بالنسبة لأعلى وأقل قيمة للبيانات سواء للإشعاع الشمسي أو درجات الحرارة تمثل ذروة أو أدنى قيمة للبيانات وتشير إلى أعلى أو أقل إشعاع شمسي ودرجة حرارة تم تسجيلها خلال فترة الدراسة. ويساعد تحديد هذه القيم في فهم المدى الكامل للظروف المناخية التي يمكن أن تتعرض لها المنطقة. وبالنسبة للانحراف المعياري كانت قيمته منخفضة بالنسبة للإشعاع الشمسي ويشير ذلك ان البيانات قريبة من المتوسط، مما يعني أن الظروف المناخية مستقرة نسبياً. أما الانحراف المعياري لدرجات الحرارة كانت قيمته أعلى من القيمة التي كانت للإشعاع الشمسي وهذا يشير الى تقلبات بين درجات الحرارة بين فترات مختلفة. وقد أظهر التحليل الإحصائي بواسطة استخدام خاصية الارتباط وجود علاقة طردية قوية بين الإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة في مدينة سبها. كلما زادت كمية الإشعاع الشمسي الوائلة الى سطح الأرض، ارتفعت درجات الحرارة بشكل ملحوظ. وكما يمكن أيضاً توضيح نتائج الانحدار كما هو موضح في الشكل 8 لتسهيل فهم العلاقة بين الإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة في مدينة سبها.



شكل 8 خط الانحدار والعلاقة بين الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة لمدينة سبها.

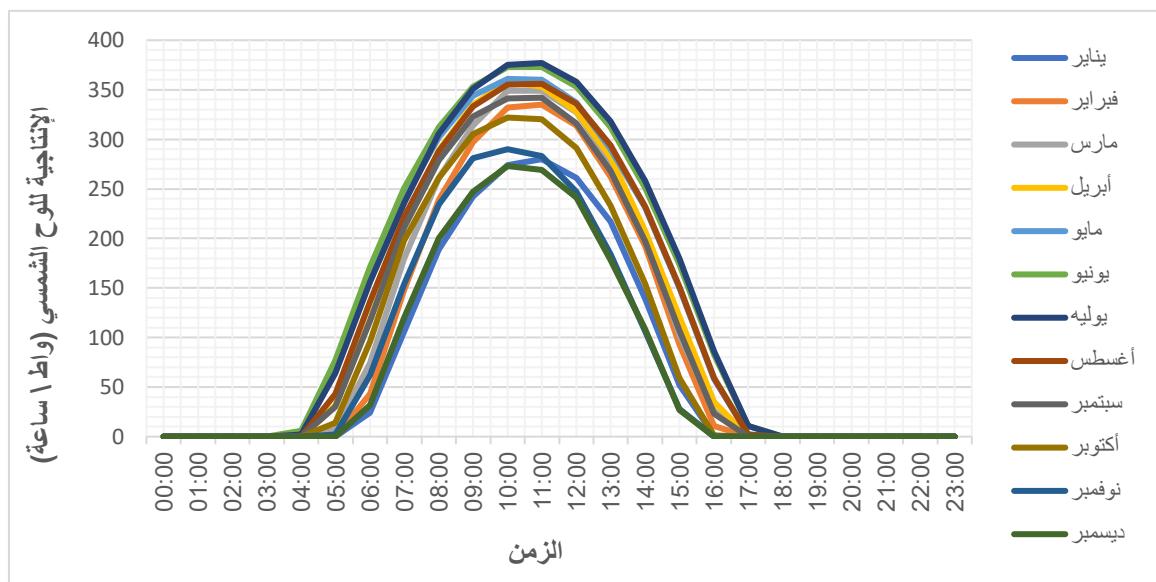
حيث تظهر هذه النتائج نموذجاً رياضياً يصف كيف تؤثر درجات الحرارة على الإشعاع الشمسي. حيث كان المتغير التابع هو الإشعاع الشمسي (Y)، والمتغير المستقل درجات الحرارة (X). ويوضح الجدول رقم 4 التالي قيمة معامل الارتباط والنماذج الرياضي للانحدار.

#### جدول 4 نموذج الانحدار والمؤشرات الإحصائية للاشعاع الشمسي ودرجات الحرارة لمدينة سبها.

النماذج	معامل الارتباط (R)	معامل المعياري لتقدير
$y = 0.1667 x + 2.856$	0.87	0.7392

بالنسبة لنتائج المحاكاة للوح الكهروضوئي من حيث قدرته على انتاج الكهرباء حيث يبين الشكل 9 بأنه تصل الإنتاجية إلى أعلى مستوياتها خلال أشهر الصيف والربيع، بحيث أعلى ذروة تسجلها أشهر يونيو ويوليو، حيث تقترب القيمة القصوى من 375 واط. وتحدث الذروة يومياً تقريباً بين الساعة 10:00 صباحاً و 14:00 ظهراً (2:00 مساءً).

وتقل الإنتاجية بشكل ملحوظ خلال أشهر الشتاء حيث تكون أقل ذروة تسجلها أشهر ديسمبر ونوفمبر، حيث لا تتجاوز القيمة القصوى 300 واط. تبدأ الإنتاجية في الظهور متأخراً وتخفي مبكراً في أشهر الشتاء مقارنة بأشهر الصيف (مثل ديسمبر ويناير).



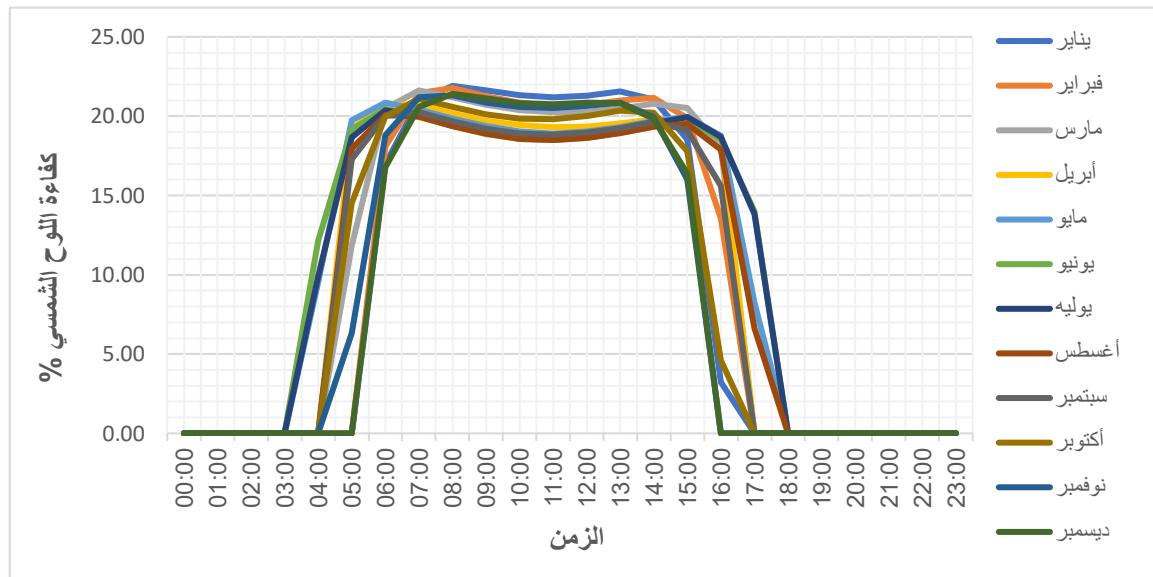
شكل 9 الإنتاج الساعي اليومي لكل شهر من لوح شمسي قدرته 500 واط في مدينة سبها.

ومن حيث المقارنة تتراوح إنتاجية أشهر الخريف والربيع (مثل مارس، أبريل، سبتمبر، وأكتوبر) في نطاق متوسط بين ذروة الصيف وقابع الشتاء. يوضح الرسم البياني السابق بوضوح أن الفرق في الإنتاجية بين يونيو (الأعلى) وديسمبر (الأدنى) يصل إلى حوالي 100 واط في أوقات الذروة. وبشكل عام، يوضح الرسم البياني دورية سنوية واضحة للإنتاجية، حيث ترتفع بشكل كبير في الصيف وتختفي في الشتاء.

ويوضح الشكل 10 الكفاءة الساعية للوح الشمسي يومياً لكل شهر وفي أشهر الشتاء والربيع (كفاءة أعلى) وتنسجل أعلى قيمة الكفاءة في أشهر يناير، فبراير، نوفمبر، وديسمبر (تصل إلى 21%) في يناير.

السبب يعزى هذا الارتفاع إلى انخفاض متوسط درجات الحرارة السنوية في هذه الأشهر ، مما يُبقي اللواح باردة ويعزز كفاءتها.

وتعتبر أشهر الصيف (كفاءة أقل) حيث تُسجل أقل قيم الكفاءة في أشهر يونيو، يوليو، وأغسطس في ساعات الذروة (تنخفض إلى حوالي 18.5%) على الرغم من أن هذه الأشهر تنتج أكبر قدر من الطاقة الإجمالية (لأن الشمس تستطيع لوقت أطول وبقوة أكبر)، إلا أن الارتفاع الكبير في درجة حرارة اللوح يؤدي إلى انخفاض الكفاءة مقارنةً بالمعايير المثالية للوح.



شكل 10 الكفاءة الساعية اليومية لكل شهر للوح شمسي قدرته 500 واط حسب طقس مدينة سوها.

ويوضح الجدول رقم 5 الإجمالي السنوي لنتائج المحاكاة للوح الكهروضوئي قدرته 500 واط

جدول 5 نتائج المحاكاة بواسطة برنامج (SAM)

الحجم	مخرجات المحاكاة
914 kwh	إنتاجية الطاقة للوح الكهروضوئية بسعة 500 واط سنويا
1928 kwh/kw	إنتاج الطاقة من النظام الشمسي لكل 1 كيلو وات سنويا
% 20.9	معامل القدرة لكل عام
0.79	معدل الأداء لكل عام

الجدول السابق يلخص أربعة مقاييس أداء رئيسية لنظام الطاقة الشمسية:

إنتاجية الطاقة للوح الكهروضوئية بسعة 500 واط سنوياً

وكانت القيمة: 914 كيلوواط ساعة وهذا هو إجمالي الطاقة الكهربائية التي يتوقع أن يُنتجها لوح كهروضوئي واحد قدرته الاسمية 500 واط على مدار عام كامل في الموقع المحدد. هذه القيمة هي المؤشر الأساسي لكمية الطاقة التي يمكن جمعها سنويًا من هذا اللوح الشمسي.

إنتاج الطاقة من النظام الشمسي لكل 1 كيلو واط سنويًّا 1928 كيلوواط ساعة / كيلوواط

وهذا المقياس، المعروف باسم الإنتاجية الخاصة، هو مؤشر قياسي دولي. يمثل كمية الطاقة (بالكيلوواط ساعة) التي يولدها النظام الشمسي لكل كيلوواط (1000 واط) من قدرته الاسمية المثبتة.

الأهمية: يساعد هذا الرقم في مقارنة أداء الأنظمة الشمسية في موقع مختلف أو باستخدام مكونات مختلفة، بغض النظر عن الحجم الكلي للنظام. يشير الرقم  $1928 \text{ kWh/kW}$  إلى أداء ممتاز جدًا للموقع، حيث أن القيمة العالمية المتوسطة تتراوح غالباً بين  $1200 \text{ kWh/kW}$  إلى  $1600 \text{ kWh/kW}$ .

معامل القدرة لكل عام القيمة: 20.9 %

معامل القدرة هو نسبة الطاقة الفعلية التي أنتجها النظام خلال عام، إلى الحد الأقصى للطاقة التي كان يمكن أن ينتجها لو عمل بكامل طاقته الاسمية 24 ساعة في اليوم، 365 يومًا في السنة.

معامل القدرة = الطاقة الفعلية المنتجة سنويًّا / القدرة الاسمية × 8760 ساعة .

النسبة 20.9% تعني أن النظام يعمل بكفاءة تعادل عمله بـ 20.9% من قدرته القصوى بشكل مستمر طوال العام. هذه نسبة جيدة ومقبولة لأن الأنظمة الكهروضوئية لا تعمل إلا خلال ساعات النهار وفي ظروف مثالية نادراً ما تتحقق.

معدل الأداء لكل عام كانت قيمته (79%)

معدل الأداء هو أحد أهم المقاييس لتقييم جودة وكفاءة النظام الشمسي المثبت.

الخاتمة:

تُشير البيانات التي تم تجميعها من موقع ناسا إلى أن مدينة سبها في ليبيا تتمتع بوفرة عالية من الإشعاع الشمسي، مما يجعلها موقعاً مثالياً لتطبيق مشاريع الطاقة الشمسية.

ومن ناحية التحليل الإحصائي تم تحديد القيم القصوى والدنيا والمتوسطة والانحراف المعياري للإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة، لأنها توفر وصفاً كمياً شاملًا للبيانات. أظهر معامل الارتباط ( $R$ ) وجود علاقة طردية قوية بين الإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة، حيث بلغت قيمة معامل الارتباط 0.87. تُشير هذه القيمة إلى أن زيادة الإشعاع الشمسي تزامن مع ارتفاع في درجات الحرارة. يمكن التبعي بقيم الإشعاع الشمسي باستخدام تحليل الانحدار، استناداً إلى النموذج الرياضي الموضح في الجدول 4.

وتشير نتائج محاكاة الأداء باستخدام برنامج (SAM) إلى أن الألواح الكهروضوئية تعد خياراً ممتازاً لتوليد الكهرباء في مدينة سبها. ويُظهر الإنتاج السنوي للوح قدرته 500 واط (914 kWh) والإنتاج للنظام الكهروضوئي لكل كيلو واط (1928 kWh/kW).

معاً الـأخذ في الاعتبار تأثير درجة الحرارة المعيق للكفاءة على الرغم من أن ذروة الإنتاج الإجمالي للطاقة تحدث في أشهر الصيف (يونيو ويوليو) بسبب ارتفاع الإشعاع، إلا أن هذه الفترة تشهد أيضاً أدنى كفاءة تشغيلية للوح تتحفظ إلى حوالي (18.5%)، وذلك بسبب الارتفاع الحاد في درجة حرارة اللوح. بالمقابل، ترتفع كفاءة اللوح في أشهر الشتاء لتصل إلى حوالي 21% بفضل انخفاض درجات الحرارة المحيطة.

#### التوصيات:

العمل على تطوير قواعد بيانات مناخية محلية الاعتماد على بيانات الأقمار الصناعية (مثل NASA) أمر جيد، لكن يُوصى بإنشاء محطات رصد جوي أرضية دقيقة وموثوقة في محيط سبها لتوفير بيانات ساعة بساعة، لزيادة دقة نماذج المحاكاة والتحليل الإحصائي في المستقبل.

اعطاء الأولوية لمشاريع الطاقة الشمسية واسعة النطاق يجب على الجهات التخطيطية والتمويلية في ليبيا إعطاء الأولوية القصوى لتطوير محطات طاقة كهروضوئية واسعة النطاق في منطقة سبها والمناطق الجنوبية المشابهة، نظراً لارتفاع الإنتاجية الخاصة للموقع التي بلغت kWh/kW 1928 سنوياً.

اعتماد تقنيات الإدارة الحرارية: يجب على المصممين الهندسيين إدراج حلول للتبريد للألواح الشمسية للحد من انخفاض كفاءة الألواح الذي يحدث في ذروة الصيف. اختيار الألواح المناسبة للمناخ الصحراوي يُوصى بإجراء دراسات جدوى مفصلة لاختيار أنواع الألواح ذات معامل درجة الحرارة المنخفض، والتي تظهر أداءً أفضل في البيئات شديدة الحرارة مقارنة بالأنواع القياسية.

#### المصادر:

- [1] H. T. Abdulkarim, C. L. Sansom, K. Patchigolla, and P. King, “Statistical and economic analysis of solar radiation and climatic data for the development of solar PV system in Nigeria,” *Energy Reports*, vol. 6, pp. 309–316, 2020, doi: 10.1016/j.ejegyr.2019.08.061.
- [2] H. O. Nnabuenyi, L. N. Okoli, F. C. Nwosu, and G. Ibe, “Estimation of Global Solar Radiation Using Sunshine and Temperature Based Models for Oko Town in Anambra State, Nigeria,” *Am. J. Renew. Sustain. Energy*, vol. 3, no. 2, pp. 8–14, 2017.
- [3] M. A. Okono, E. P. Agbo, B. J. Ekah, U. J. Ekah, E. B. Ettah, and C.

- O. Edet, "Statistical Analysis and Distribution of Global Solar Radiation and Temperature over Southern Nigeria," *J. Niger. Soc. Phys. Sci.*, vol. 4, no. 3, pp. 1–14, 2022, doi: 10.46481/jnsp.2022.588.
- [4] T. R. Ayodele and A. S. O. Ogunjuyigbe, "Prediction of monthly average global solar radiation based on statistical distribution of clearness index," *Energy*, vol. 90, pp. 1733–1742, 2015, doi: 10.1016/j.energy.2015.06.137.
- [5] S. Conference, S. Development, and S.-A. Regions, "The fifth Scientific Conference of Environment and Sustainable Development in the Arid and Semi- Arid Regions ( I C E S D ) –," pp. 8–23, 2018.
- [6] "Meteorological station, Sebha International Airport, unpublished data, Sebha (2000–2010)."
- [7] Wail Hessen ALawad ALHessen, Abdelnabe Ali Elamin Ali, and Mohammed Habib Ahmed El\_kanzi, "The Effect of Solar Radiation and Temperature on Solar Cell Performance in Khartoum state," *J. Fac. Sci. Technol.*, no. 7, pp. 45–55, 2021, doi: 10.52981/jfst.vi7.952.
- [8] فاتن خالد عبدالباقي, خضر رشيد عبدالرحمن, "تأثير الرطوبة، درجة الحرارة والإشعاع الشمسي الكلي [8] على كفاءة اللوح الكهروشمسي متعدد البلورة في مدينة دهوك-دراسة في المناخ التطبيقي 551–572, 2022.
- [9] A. Sofijan, M. Kholi, W. Adipradana, and B. O. Siregar, "Evaluation the Effect of Radiation and Temperature on the Efficiency of Various Types of PV Panels Monocrystalline , Polycrystalline , and Thin Film," vol. 1, no. 1, pp. 38–53, 2025, doi: 10.37934/sej.9.1.3853.
- [10] "Data Access Viewer." Accessed: Feb. 28, 2023. [Online]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>