



ISSN: 1817-6798 (Print)  
Journal of Tikrit University for Humanities

available online at: [www.jtuh.org/](http://www.jtuh.org/)



**Balsam Shaker Shnaichel**

College of Arts

\* Corresponding author: E-mail :  
[balsam\\_shneshil@aliraqia.edu.iq](mailto:balsam_shneshil@aliraqia.edu.iq)  
07901826496

**Keywords:**

*Solar Energy*  
*Photovoltaic Stations*  
*PVsyst*  
*Al-Anbar*  
*Sustainable Energy Planning*

**ARTICLE INFO**

**Article history:**

Received 1 Mar 2024  
Received in revised form 25 Mar 2024  
Accepted 2 Mar 2024  
Final Proofreading 25 July 2025  
Available online 25 Aug 2025

E-mail [t-jtuh@tu.edu.iq](mailto:t-jtuh@tu.edu.iq)

©THIS IS AN OPEN ACCESS ARTICLE UNDER  
THE CC BY LICENSE

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Journal of Tikrit University for Humanities

## Using PVsyst to Evaluate the Performance of Solar Power Plants in Al-Anbar Governorate: An Applied Vision for Sustainable Energy Planning

### ABSTRACT

This study evaluates the technical performance of photovoltaic (PV) systems in Al-Anbar Governorate, Iraq, using the PVsyst simulation software. Al-Anbar, located within the global solar belt, offers high solar irradiance, extended sunshine duration, and expansive undeveloped lands—yet remains underutilized for solar energy production. The research integrates high-resolution climatic data (1991–2023) from ground stations and NASA POWER to simulate solar output across 14 geographically distributed sites. Key performance metrics, including Performance Ratio (PR), annual energy yield, and system losses, were analyzed under realistic environmental assumptions (e.g., dust, heat, shading). Results indicate PR values between 80%–82%, with annual yields ranging from 1700 to 1850 kWh/kWp, reflecting strong performance under desert conditions. Seasonal and spatial variations showed production peaks between May and August, with higher efficiency at elevated and clearer sites such as Rutba and Nukhayb. The study underscores the importance of altitude, dust frequency, and solar angle in optimizing PV performance. Findings provide a replicable framework for sustainable energy planning in arid regions and support data-driven investment decisions in Iraq's solar sector. The integration of PVsyst modeling with GIS spatial analysis establishes a comprehensive method for site selection and system optimization.

© 2025 JTUH, College of Education for Human Sciences, Tikrit University

DOI: <http://doi.org/10.25130/jtuh.32.8.1.2025.12>

استخدام PVsyst لتقييم أداء محطات الطاقة الشمسية في محافظة الانبار رؤية تطبيقية في التخطيط  
المستدام للطاقة

بلسم شاكر شنيشل / الجامعة العراقية / كلية الآداب

**الخلاصة:**

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الأداء الفني للأنظمة الكهروضوئية في المحافظة غرب العراق باستخدام برنامج المحاكاة PVsyst، إذ تتميز بوقوعها ضمن الحزام الشمسي العالمي، وبارتفاع معدلات الإشعاع

الشمسي وطول ساعات السطوع وتوفر مساحات شاسعة غير مستغلة، ورغم ذلك لا يزال استثمار الطاقة الشمسية فيها محدوداً، واعتمدت الدراسة على بيانات مناخية عالية الدقة للمدة (١٩٩١-٢٠٢٣) من محطات أرضية وبيانات NASA POWER ، لمحاكاة الإنتاج الشمسي في ١٤ موقعاً متوزعاً جغرافياً، وتم تحليل مؤشرات الأداء مثل معامل الأداء (PR) ، والإنتاج السنوي، والخسائر المناخية والتقنية ضمن سيناريوهات واقعية تشمل تأثير الغبار والحرارة والتظليل، وتبين أن معامل الأداء تراوح بين ٨٠%-٨٢%، والإنتاج السنوي بين ١٧٠٠-١٨٥٠ ك.و.س/ك.و.ذ، وهي نتائج جيدة لبيئة صحراوية، كما كشفت الدراسة عن تباين مكاني وزماني في الإنتاج، مع ذروة في أشهر الصيف وأداء أعلى في المواقع المرتفعة والواضحة السماء مثل الرطبة والنخيب، كما وتسلط الضوء على أهمية الارتفاع وتكرار الغبار وزاوية الإشعاع في تحسين كفاءة النظام الشمسي، وتقدم الدراسة إطاراً قابلاً للتطبيق في تخطيط الطاقة المستدامة في البيئات الجافة، ودعم القرارات الاستثمارية المبنية على بيانات دقيقة.

**الكلمات المفتاحية:** الطاقة الشمسية، محطات كهروضوئية، برنامج PVsyst، المحافظة، التخطيط الطاقى المستدام

#### أولاً: المقدمة:

تُعد المحافظة من أكثر المناطق الجغرافية الواعدة لاستغلال الطاقة الشمسية، لما تتمتع به من موقع فلكي ضمن الحزام الشمسي العالمي، وسجل مناخي يتسم بارتفاع معدلات الإشعاع الشمسي السنوي، وساعات سطوع طويلة وسماء غالباً ما تكون خالية من الغيوم، فضلاً عن توفر مساحات شاسعة غير مستغلة ذات خصائص تضاريسية مناسبة وعلى الرغم من هذه المؤهلات المناخية والمكانية، إلا أن مشاريع استثمار الطاقة الشمسية في المحافظة لا تزال محدودة، مما يستدعي تقييماً علمياً دقيقاً لإمكانات إنتاجها الطاقية وتحديد المواقع الأكثر كفاءة وجدوى.

في هذا الإطار توظيف برنامج PVsyst في تقييم محطات الطاقة الشمسية في الأنبار يفتح آفاقاً جديدة لفهم التباين الزمني والمكاني في كفاءة الإنتاج، ويسهم في بناء نموذج متكامل للتخطيط الطاقى المستدام، ومن هنا تتطرق هذه الدراسة لتقديم رؤية تطبيقية مبنية على محاكاة دقيقة لأداء نظم الطاقة الشمسية في المحافظة، تهدف إلى دعم صنّاع القرار والجهات المعنية في اختيار المواقع المثلى، وتخطيط مشاريع الطاقة المتجددة بأسس علمية وتقنية واقعية تستند إلى بيئة المحافظة المناخية والجغرافية.

• **المشكلة:**

هل يمكن استخدام برنامج PVSyst لتقييم كفاءة أداء محطات الطاقة الشمسية في المحافظة، من خلال تحليل العوامل المناخية والمكانية المؤثرة، وتحديد التوزيع الزمني والمكاني للإنتاج، بما يساهم في دعم خطط التخطيط المستدام للطاقة وتعزيز الاستثمار في المناطق ذات الجدوى الفنية والاقتصادية العالية؟

• **الفرضية:**

يمكن استخدام برنامج PVSyst بشكل فعال لتقييم أداء محطات الطاقة الشمسية في المحافظة، من خلال إدخال البيانات المناخية والموقعية وتحليل نتائج الإنتاج، مما يتيح تحديد التباين الزمني والمكاني للكفاءة، ويسهم في توجيه التخطيط الطاقى المستدام نحو المواقع ذات الجدوى الأعلى.

• **أهداف الدراسة :** تهدف هذه الدراسة إلى ما يلي:

• تحليل الأداء الفني لأنظمة الطاقة الشمسية في المحافظة باستخدام برنامج PVSyst ، مع دراسة التباين الزمني والمكاني للإنتاج الشمسي وعوامل مثل الارتفاع والإشعاع والبيئة المناخية.

• تقييم تأثير العوامل البيئية كدرجة الحرارة والغبار والرطوبة على كفاءة الأنظمة الكهروضوئية، لتحديد فترات الذروة والانخفاض في الأداء.

• تقديم رؤية وتوصيات تطبيقية تدعم التخطيط الطاقى المستدام وتوجه الاستثمارات نحو المواقع ذات الجدوى، مع اقتراح سبل لتحسين الكفاءة في البيئات الجافة وشبه الجافة.

• **أهمية الدراسة:** تتبع أهمية هذه الدراسة من الجوانب الآتية:

• أهمية علمية وتطبيقية: تسد الدراسة فجوة معرفية في تقييم كفاءة محطات الطاقة الشمسية بالمناطق الصحراوية باستخدام نماذج متقدمة، وتوفّر بيانات دقيقة تدعم قرارات واقعية.

• دعم التخطيط والسياسات: تعزز الدراسة التخطيط الطاقى المستدام وتخدم السياسات الوطنية من خلال توجيه الاستثمارات وتقليل الهدر، بما يتماشى مع توجهات الحكومة في الطاقة المتجددة.

• أثر بيئي وإمكانية تعميم: تسهم في تقليل الانبعاثات والتحول للطاقة النظيفة، مع إمكانية تطبيق نتائجها في مناطق أخرى ضمن الحزام الشمسي داخل العراق وخارجه.

• **الدراسات السابقة:**

• تشكل الدراسات السابقة أساساً لبناء الإطار النظري، إذ تساعد في تحديد الفجوات البحثية والاستفادة من التراكم العلمي، وقد تنوعت في استخدام برنامج PVSyst بين الجوانب المناخية والاقتصادية والفنية، خاصة في البيئات الجافة المشابهة للأنبار، مما ساعد على تضمين خسائر الغبار والحرارة في نموذج الدراسة الحالي

- Elminir et al. (2006). مصر ، حللوا تأثير تراكم الغبار على الغطاء الشفاف لمجمعات الطاقة الشمسية، وأثبتوا أن الغبار يمكن أن يقلل الإشعاع النافذ بنسبة تصل إلى ١٧%، وتستخدم نتائجهم في كثير من دراسات PVsyst في البيئات الصحراوية.
- Skoplaki & Palyvos (2009) ، قدما مراجعة منهجية للعلاقة بين درجة حرارة الخلايا وكفاءتها الكهربائية، وأكدوا أن ارتفاع حرارة اللوح بنسبة ١ °C قد يؤدي إلى انخفاض الكفاءة بنسبة ٠.٤%، وهي النسبة التي يعتمد عليها PVsyst افتراضًا.
- Charabi & Gastli (2010) سلطنة عمان، أجريا تقييماً لجدوى محطة شمسية مركزية باستخدام PVsyst في منطقة الدقم، وبيّنا تأثير الغبار وارتفاع درجات الحرارة على انخفاض الكفاءة بنسبة تجاوزت ١٠%، الدراسة أكدت أهمية إدخال بيانات دقيقة وميدانية لتعزيز صدقية النمذجة.
- Duffie & Beckman (2013) في كتابهم المرجعي Solar Engineering of Thermal Processes، عرضوا منهجيات دقيقة لحساب معامل الأداء (PR) ، وتقدير تأثير كل من الإشعاع، زاوية الميل، ودرجة الحرارة على إنتاجية النظام الشمسي، هذه المفاهيم تشكل الأساس العلمي الذي اعتمد عليه برنامج PVsyst .
- Sulaiman et al. (2014) ، أجروا دراسة حول أثر الأوساخ والغبار على الكفاءة الفعلية للألواح، واستخدمت نتائجهم في تحديد الخسائر المناخية الافتراضية ضمن بيئات محاكاة مثل العراق والسعودية.
- عبد الله وحسين(2022) ، أجريا دراسة باستخدام تقنيتي AHP و GIS لتحديد المواقع المثلى لمحطات الطاقة الشمسية في غرب العراق، دون استخدام نموذج محاكاة للطاقة المنتجة فعلياً وقد أوصيا بدمج أدوات تحليل الأداء مثل PVsyst لتقدير العوائد الإنتاجية بدقة.
- تُظهر الدراسات السابقة شيوع استخدام برنامج PVsyst عالمياً، لكنه لا يزال محدود الاستخدام في العراق، حيث ركزت أغلب الأبحاث على التحليل الموقعي أو القياسات الحقلية دون نمذجة رقمية شاملة، كما غابت الدراسات التي تدمج التباينين الزمني والمكاني معاً. وتتميز هذه الدراسة بدمجها نمذجة PVsyst مع تحليل مناخي دقيق عبر ١٤ محطة، مستندة إلى بيانات ميدانية وفضائية طويلة الأمد (١٩٩١-٢٠٢٣)، لتقديم رؤية تطبيقية واقعية لتخطيط الطاقة المتجددة.
- منهجية الدراسة.**
- اعتمدت الدراسة على منهج تطبيقي باستخدام برنامج PVsyst لمحاكاة الأداء الواقعي لأنظمة الطاقة الشمسية في بيئة مناخية فعلية، إلى جانب المنهج التحليلي لتفسير تأثير العوامل المناخية على كفاءة الإنتاج، والمنهج المقارن لتحليل الفروقات الزمانية والمكانية بين المواقع، وقد ساهم هذا الدمج المنهجي في تحديد المواقع الأنسب من حيث الجدوى الفنية والبيئية، ودعم اتخاذ قرارات تخطيطية واستثمارية مبنية على أسس علمية دقيقة.

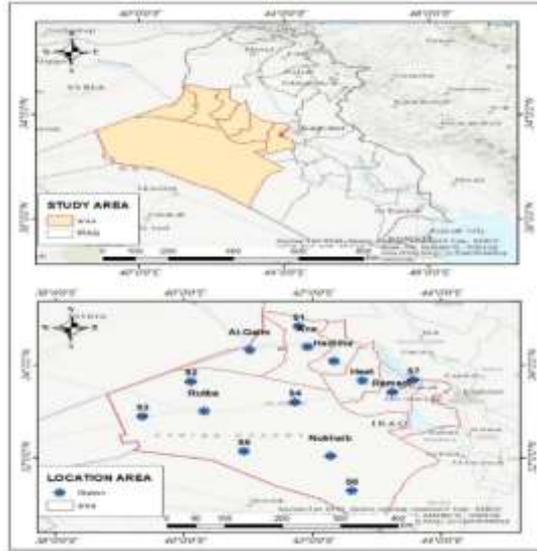
### ثانياً مصادر البيانات والأدوات المستخدمة:

تتوزع مصادر البيانات اذ تم جمع البيانات المناخية الأساسية من محطات الأنواء الجوية العراقية (١٩٩١-٢٠٢٣)، وشملت الإشعاع الشمسي، الحرارة، الرطوبة، الرياح، والعواصف الترابية، كما ان الدعم الفضائي والتحليل التقني من خلال استخدام بيانات NASA POWER لتعزيز التغطية المكانية، واعتمد برنامج PVSyst لإعداد النموذج الشمسي، مستفيداً من الإعدادات القياسية والدراسات السابقة لتقدير خسائر الغبار والحرارة، فضلاً عن الدراسة الميدانية الدقيقة وذلك باستخدام أجهزة GPS لتحديد مواقع المحطات بدقة وضمان توافق البيانات المناخية مع مواقع النمذجة، ما وفر أساساً قوياً لمحاكاة واقعية تعتمد على خصائص الأنبار المناخية.

### ثالثاً: حدود وموقع منطقة الدراسة:

تُعد المحافظة من أكبر المحافظات العراقية مساحةً وأكثرها زنتيمز بخصائصها المناخية والموقع الجغرافي، إذ تقع في الجزء الغربي من العراق، وتحدها من الغرب سوريا والأردن، ومن الجنوب المملكة العربية السعودية، تمتد المحافظة فلكياً بين دائرتي عرض (٣٢.٠° - ٣٥.٠°) شمالاً وخطي طول (٣٩.٠° - ٤٣.٨°) شرقاً، وهو ما يضعها ضمن نطاق الحزام الشمسي العالمي، ويمنحها ميزة إشعاعية عالية تجعلها بيئة واعدة لمشاريع الطاقة المتجددة لا سيما الشمسية.

### شكل (١) موقع المحطات المناخية ومنطقة الدراسة من العراق



المصدر : بالاعتماد على بيانات نظم المعلومات الجغرافية (GIS)

أما إدارياً، فتضم المحافظة عدة أفضية رئيسة، منها الرمادي، الفلوجة، هيت، القائم، الرطبة، عنه، راوة، النخيب، وحديثة، وهي مناطق تتباين في خصائصها الطبوغرافية والمناخية، وتم تحديد الحدود المكانية للدراسة بحيث تشمل جميع أفضية المحافظة، بالاعتماد على بيانات مناخية مستخلصة من (14) محطة أرضية وفضائية موزعة جغرافياً بطريقة تُمثل التباين المكاني لعناصر المناخ، مما يعزز دقة النمذجة الإشعاعية في برنامج PVSyst ، واخذت الدراسة بالحسبان إدخال إحداثيات المحطات

باستخدام نظم تحديد المواقع (GPS) والذي مكن من ربط المخرجات المناخية بمواقعها الحقيقية ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS) .

أما الحدود الزمانية فتمتد من عام 1991 حتى عام ٢٠٢٣، وهي مدة طويلة نسبياً تتيح تحليل الاتجاهات المناخية على المدى البعيد، وتساعد في الوصول إلى متوسطات مستقرة وقابلة للتطبيق في عمليات التخطيط للطاقة، وتم اختيار هذه المدة بناءً على توفر سجلات مناخية معتمدة من الهيئة العامة للأنواء الجوية العراقية، فضلاً عن قواعد بيانات الأقمار الصناعية مثل (NASA POWER)، مما أتاح تغطية زمنية متصلة وموثوقة.

تتمثل الحدود التقنية للدراسة في دقة مدخلات برنامج Pvsyst، خاصة البيانات المناخية والافتراضات الفنية المتعلقة بالخسائر (حرارية ٥%، غبار ٨%، كهربائية ٤%)، والمستندة إلى دراسات سابقة. ورغم أنها تشكل أساساً جيداً للنمذجة، إلا أن غياب المعايير الميدانية الدقيقة قد يحد من دقة التعميم. ومع ذلك، فإن تحديد الحدود المكانية والزمانية والتقنية بدقة يعزز واقعية النتائج ويجعلها قابلة للتطبيق في تخطيط الطاقة المستدامة بالمحافظة.

### ثالثاً: خطوات العمل داخل برنامج Pvsyst

اعتمدت الدراسة في محاكاة الأداء السنوي والشهري لمحطات الطاقة الشمسية في المحافظة على برنامج Pvsyst، الذي يُعد من أكثر الأدوات اعتماداً عالمياً في تقييم النظم الكهروضوئية من حيث الدقة والموثوقية، لاسيما في البيئات الجافة (PVsyst SA, 2023)، وقد تم إدخال البيانات المناخية التفصيلية المستخلصة من المحطات المناخية الأرضية والفضائية، والتي شملت معدلات الإشعاع الشمسي المباشر ودرجات الحرارة السنوية وسرعة الرياح والرطوبة النسبية وتكرار العواصف الترابية، وذلك بهدف تكيف النموذج مع خصائص البيئة الصحراوية للمحافظة (NASA, 2023)، والهيئة العامة للأنواء الجوية، ٢٠٢٣).

يعتمد البرنامج على سلسلة من المعادلات الحسابية الجدول (١) التي تحاكي الواقع البيئي والفني، وتُراعي تأثير الخسائر الناتجة عن الظروف المناخية مثل الغبار وتراكم الأتربة، وكذلك تأثير الحرارة المرتفعة والرطوبة على كفاءة الألواح الشمسية (Skoplaki & Palyvos, 2009; Sulaiman et al., 2014) ويُمكن تلخيص المعادلة الأساسية التي يستخدمها البرنامج لحساب الإنتاج السنوي للطاقة (E) كما يلي:

$$E = G_{eff} \times P_{nom} \times PR$$

جدول (١) تفسير الرموز في المعادلة

| الرمز            | المعنى   | التفسير العلمي   |
|------------------|--|--|
| E                | الإنتاج السنوي للطاقة (kWh/year)                               | كمية الكهرباء الناتجة من النظام خلال سنة كاملة.  |
| G <sub>eff</sub> | الإشعاع الشمسي الفعال على سطح اللوح (kWh/m <sup>2</sup> /year) | هو الإشعاع الذي يصيب اللوح بعد احتساب زاوية الميل والاتجاه وفقدان التظليل، ويُعرف بـ <b>Irradiance on the Plane of Array (POA)</b> . |
| P <sub>nom</sub> | القدرة الاسمية للنظام (kWp)                                    | هي القدرة القصوى للنظام تحت الظروف القياسية (STC: 1000 W/m <sup>2</sup> ، C°٢٥ ، AM1.5).   |
| PR               | معامل الأداء (Performance Ratio)                               | يمثل كفاءة النظام الفعلية ويشمل الخسائر الناتجة عن الحرارة، الغبار، التظليل، الفاقد الكهربائي، وغيرها.                               |

المصدر: بالاعتماد على برنامج PVSyst ومحاكاة الأداء الشمسي

ويُعد **PR** أحد أهم المؤشرات في تقييم كفاءة الأنظمة الشمسية، ويُحسب **PR** وفق الظروف المناخية كالآتي:

$$PR = \frac{E_{actual}}{G_{eff} \times P_{nom}}$$

حيث:

- E<sub>actual</sub> : الإنتاج الحقيقي المقاس (kWh)
- G<sub>eff</sub>: الإشعاع على مستوى اللوح (kWh/m<sup>2</sup>)
- P<sub>nom</sub>: القدرة الاسمية للنظام

والجدول (2) يشير إلى النطاقات النموذجية لمعامل الأداء (**PR**) في البيئات المختلفة، إذ يُظهر أن البيئات المثالية تحقق أعلى كفاءة، بينما تنخفض القيم في البيئات الجافة أو الرطبة بسبب الخسائر المناخية، وهنا تراوحت قيم **PR** بين 80% - 82% بحسب نتائج المحاكاة، وهي ضمن الحدود الجيدة عالمياً رغم الظروف المناخية الجافة.

جدول (٢) المعيار العالمي لبيئة معامل الأداء النموذجي (**PR**)

| البيئة   | معامل الأداء النموذجي ( <b>PR</b> ) |
|--|-------------------------------------|
| بيئة مثالية (معتدلة، نظيفة، دون خسائر كبيرة)   | 85% - 90%                           |
| بيئة جافة ذات حرارة مرتفعة وغبار (مثل الأنبار) | 78% - 83%                           |
| بيئة ساحلية أو رطبة ذات تلوث عالي              | 70% - 80%                           |

Geneva, , (2023). PVSyst Technical Documentation: Performance Ratio Guidelines, PVSyst SA Switzerland: PVSyst SA.

أما الجدول (3) فهو يمثل تقديراً تقنياً للعوامل الرئيسية التي تؤدي إلى انخفاض معامل الأداء (**PR**) في الأنظمة الكهروضوئية، كما يحاكيها برنامج PVSyst، موضحاً النسب التقريبية لكل نوع من الخسائر وتأثيره على كفاءة النظام الشمسي.

الجدول (٣) العوامل التي تقلل قيمة PR نسب تقريبية في PVsyst

| نوع الخسارة      | النسبة النموذجية | التفسير                             |
|------------------|------------------|-------------------------------------|
| الخسائر الحرارية | 4% – 6%          | بسبب ارتفاع حرارة الألواح في الصيف. |
| الغبار والعواصف  | 6% – 10%         | تراكم الغبار يحد من امتصاص الضوء.   |
| التظليل          | 1% – 3%          | إن وُجدت عوائق طبيعية أو عمرانية.   |
| الفقد الكهربائي  | 2% – 4%          | فقد في الكابلات والمحولات والأنظمة. |

المصدر: اعتمادًا على دليل الخسائر الفنية المعتمد في برنامج PVsyst ومحاكاة الأداء للنظم الشمسية، ووفق أدلة الأداء الفني الصادرة عن (IEA-PVPS (2022) و PVsyst SA (2023) ،

ويشير الجدول (4) إلى مجموعة من الافتراضات التقنية الأساسية المعتمدة في برنامج PVsyst لمحاكاة أداء نظام شمسي نموذجي، تمثل هذه القيم مدخلات معيارية تساعد على توحيد شروط النمذجة، وتُستخدم لتقدير الإنتاج السنوي للطاقة بدقة مع مراعاة تأثيرات البيئة والمكونات الفنية.

جدول (٤) افتراضات تقنية ضمن برنامج PVsyst

| العنصر                | القيمة      | التوضيح  |
|-----------------------|-------------|--|
| سعة النظام النموذجي   | 1ميغاواط    | قيمة معيارية تسهل المقارنة والتحليل الفني والاقتصادي.                        |
| اتجاه الألواح الشمسية | جنوب (180°) | التوجيه الأمثل في نصف الكرة الشمالي بحسب القواعد القياسية لـ PVsyst.         |
| خسائر درجة الحرارة    | 5%          | محسوبة داخل PVsyst بناءً على فرق حرارة الهواء واللوح باستخدام معامل -٠.٤/°C. |
| خسائر الغبار          | 8%          | تقدير لبيئات صحراوية مماثلة) المصادر. (Elminir et al., 2006) :               |
| خسائر كهربائية شاملة  | 4%          | تشمل العاكس، الكابلات، الظل، اللوحات، وهي قيمة افتراضية في البرنامج.         |

المصدر: بالاعتماد على الإعدادات الافتراضية لبرنامج PVsyst ، وبالرجوع إلى الدراسة التطبيقية في البيئات الجافة لـ *Elminir et al., 2006* ، وكذلك أدلة النمذجة الصادرة عن PVsyst SA.

### ١ - خطوات بناء قواعد البيانات لبرنامج PVsyst

تُعد بيانات الإدخال في برنامج PVsyst من الأسس الجوهرية في نمذجة أداء نظم الطاقة الشمسية، إذ تُمثل الظروف المناخية والفنية الفعلية للموقع المدروس، وتشمل هذه البيانات (الإشعاع الشمسي المباشر) (5.87 kWh/m<sup>2</sup>/day) وساعات السطوع (٨.٧ ساعة/يوم)، ودرجة الحرارة السنوية (٢٠.٨م)، والرطوبة النسبية (٤٢%)، وسرعة الرياح (٣.٤ م/ثا)، إلى جانب تكرار الغبار والعواصف (٥٠-٦٠ يومًا في السنة) (PVsyst SA, 2023) كما في الجداول الملحقه (٥) (٦) (٧) (٨) (٩)، وتتضمن المواصفات الفنية للنظام سعة نموذجية قدرها (١ ميغاواط) وزاوية ميل (٢٥°)، واتجاه جنوبي (١٨٠°) للحصول على أقصى تعرض للشم (Elminir et al., 2006) .

ويمكن ان تُقدّر الخسائر الحرارية بـ ٥%، والغبار بـ ٨%، والخسائر الكهربائية الكلية بـ ٤%، وهي قيم نموذجية تُدرج ضمن الحسابات داخل البرنامج، وبعد إدخال هذه المعطيات، يقوم PVsyst بمحاكاة كمية الطاقة المنتجة سنويًا بمعادلة الإنتاج الأساسية، ويشق معامل الأداء (PR) من مجموع الخسائر المرتبطة بالعوامل المناخية والتقنية، وتُستخدم النتائج في تقييم كفاءة المواقع المختلفة وتحليل الجدوى الفنية والاقتصادية لمشاريع الطاقة الشمسية في البيئات الجافة مثل المحافظة.

يشير الجدول (٥) إلى القيم المناخية والتقنية المعتمدة ك نماذج إدخال أساسية في برنامج PVsyst لمحاكاة أداء نظام شمسي نموذجي في بيئة المحافظة، وتُظهر البيانات الخصائص المناخية للمنطقة مثل الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة والرطوبة وسرعة الرياح وتكرار الغبار، إلى جانب المواصفات الفنية للنظام الشمسي مثل زاوية الميل، الاتجاه، القدرة الاسمية، والخسائر المتوقعة. تُستخدم هذه البيانات لتقدير كمية الطاقة السنوية المنتجة وكفاءة النظام الكهروضوئي في البيئات الجافة، مما يعزز دقة التنبؤات الفنية والاقتصادية لنظم الطاقة الشمسية، وبعد الانتهاء من إدخال البيانات أُجريت عملية المحاكاة لحساب الإنتاج السنوي للطاقة الكهربائية (E) ومعامل الأداء (PR)، يتم حساب تشير نتائج المحاكاة التطبيقية التي تم الحصول عليها باستخدام برنامج PVsyst إلى مجموعة من القيم الفنية التي تعتمد على محاكاة واقعية لظروف المناخ المحلي والتركييب الهندسي للنظام الشمسي، وتشمل هذه النتائج في جوهرها خمسة مكونات رئيسية، أولها الإشعاع الشمسي الفعّال (Geff) وهو مقدار الطاقة الشمسية التي تصل فعليًا إلى سطح الألواح بعد احتساب زاوية الميل والاتجاه الجغرافي وفقدان التظليل، ويُعد هذا العامل الأساس في تحديد كفاءة امتصاص الإشعاع، وثانيًا، معامل الأداء (PR) الذي يمثل الكفاءة التشغيلية للنظام ويأخذ بعين الاعتبار جميع الخسائر الفنية والمناخية، مثل الخسائر الناتجة عن الحرارة المرتفعة، وتراكم الغبار، والفقد الكهربائي في الكابلات والمحولات، مما يوفر مقياسًا دقيقًا للأداء الواقعي مقارنة بالظروف المثالية.

جدول (٥) بيانات الإدخال في نمذجة الأداء الشمسي باستخدام برنامج PVsyst للمحافظة

| العنصر                            | القيمة المعتمدة              |
|-----------------------------------|------------------------------|
| الموقع الجغرافي                   | المحافظة                     |
| معدل كمية الإشعاع الشمسي المباشر  | 5.87 kWh/m <sup>2</sup> /day |
| معدلا ساعات السطوع الفعلي السنوية | 8.7 ساعة/يوم                 |
| معدل الحرارة السنوية              | 20.8 °م                      |
| الرطوبة النسبية                   | 42%                          |
| معدل سرعة الرياح السنوية          | 3.4 م/ثا                     |
| معدل مجاميع تكرار الغبار والعواصف | يوم غباري سنويًا 50-60       |
| زاوية الميل الأمثل                | 25°                          |
| سعة النظام النموذجي               | 1 ميغاواط                    |
| الاتجاه                           | (180°) جنوبي                 |
| خسائر درجة الحرارة                | 5%                           |
| خسائر الغبار                      | 8%                           |
| خسائر كهربائية ومجموعة النظام     | 4%                           |

المصدر: بالاعتماد على البيانات المناخية، ومعايير المحاكاة المعتمدة في برنامج PVsyst، ودراسات الغبار في البيئات الصحراوية. (Elminir et al., 2006)

أما ثالث هذه النتائج فهو الإنتاج السنوي للطاقة (E)، والذي يعبر عن كمية الكهرباء التي يمكن إنتاجها فعليًا خلال سنة كاملة لكل وحدة قدرة اسمية سواء كانت ١ كيلوواط أو ١ ميغاواط، وهو المؤشر الرئيس في تقدير الجدوى الاقتصادية للنظام، ويأتي بعد ذلك تحليل الخسائر الفنية والمناخية، الجدول

(٦) اذ يتم تمثيلها بنسب مئوية توضح مقدار الفاقد في الأداء بسبب العوامل البيئية مثل ارتفاع درجات الحرارة أو الغبار المتراكم، وهي خسائر تؤثر بشكل مباشر على قيمة الإنتاج النهائي.

الجدول (٦) نتائج المحاكاة التطبيقية لمحطات المحافظة

| نسبة الخسارة | سبب الخسارة                       |
|--------------|-----------------------------------|
| 5%           | خسائر الحرارة                     |
| 8%           | خسائر الغبار والعواصف الترابية    |
| 4%           | خسائر النظام (كهربائية/ظل/نظامية) |
| 17-20        | إجمالي الخسائر                    |

المصدر: بالاعتماد على نتائج المحاكاة باستخدام برنامج Pvsyst ، ومعايير الخسائر الفنية المعتمدة في الدراسات الصحراوية.(Elminir et al., 2006; Pvsyst SA, 2023)

وقد بلغت الخسائر الفنية الإجمالية في النظام الكهروضوئي في بيئة الأنبار ما بين ١٧-٢٠%، موزعة بين خسائر الحرارة (٥%)، وخسائر الغبار والعواصف الترابية (٨%)، إضافة إلى خسائر النظام التقنية كالفقد الكهربائي والتظليل (٤%)، كما هو موضح في الجدول (٦) المعتمد على محاكاة برنامج Pvsyst ودراسات بيئية مماثلة.

وتُظهر نتائج المحاكاة تباين الإنتاج الشمسي شهرياً، مع تحديد أشهر الذروة والانخفاض وفقاً لتغير الإشعاع والغبار وساعات السطوع، مما يوفر أساساً علمياً دقيقاً لتقييم كفاءة الأنظمة الكهروضوئية ودعم التخطيط والاستثمار في مشاريع الطاقة الشمسية بالمحافظة. يشير التحليل المكاني والزمني للإنتاج الشهري المتوقع للطاقة الشمسية المبين في الجدول (٧) إلى وجود نمط موسمي واضح في كفاءة محطات الأنبار، مع تباين مكاني يعكس أثر العوامل الجغرافية والمناخية المحلية.

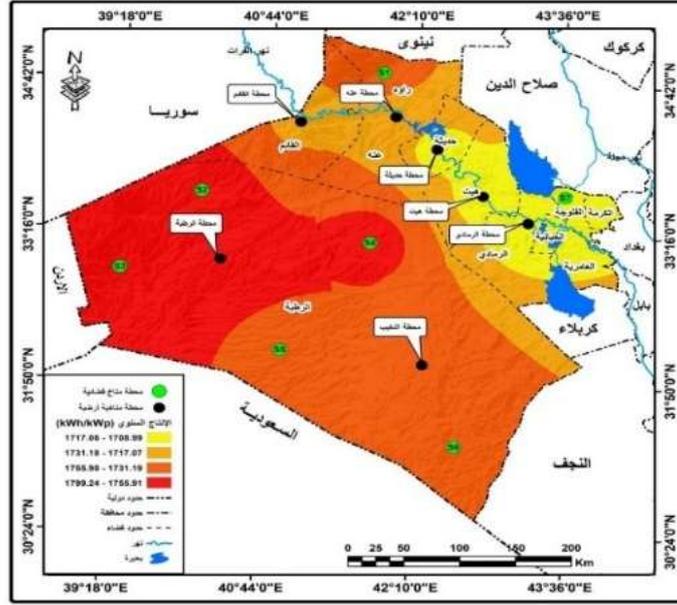
جدول (٧) الإنتاج السنوي المتوقع للطاقة باستخدام بيانات الإشعاع الشمسي الفعلي ومعامل الأداء (PR)

| المحطة  | معدل الإشعاع الشمسي (kWh/m <sup>2</sup> /day) | معامل الأداء (PR) | القدرة الاسمية (kWp) | الإنتاج السنوي المتوقع (kWh) |
|---------|---|-------------------|----------------------|------------------------------|
| S3      | 147.29  | 0.81              | 1                    | 43546.29                     |
| S5      | 144.34  | 0.81              | 1                    | 42674.12                     |
| S6      | 142.75  | 0.81              | 1                    | 42204.04                     |
| الرطبة  | 141.58  | 0.81              | 1                    | 41858.13                     |
| S2      | 141.58  | 0.81              | 1                    | 41858.13                     |
| S4      | 141.36  | 0.81              | 1                    | 41793.08                     |
| النخيب  | 141.22  | 0.81              | 1                    | 41751.69                     |
| عنة     | 139.9   | 0.81              | 1                    | 41361.44                     |
| حديثة   | 139.9   | 0.81              | 1                    | 41361.44                     |
| القائم  | 139.08  | 0.81              | 1                    | 41119                        |
| S1      | 139.08  | 0.81              | 1                    | 41119                        |
| الرمادي | 138.53  | 0.81              | 1                    | 40956.39                     |
| S7      | 138.53  | 0.81              | 1                    | 40956.39                     |
| هيت     | 138.31  | 0.81              | 1                    | 40891.35                     |

المصدر: بيانات الإشعاع الشمسي من مشروع (NASA POWER (2023) ، ومحاكاة الأداء باستخدام برنامج Pvsyst (إصدار ٧.٢)، مع

افتراض معامل أداء (PR) = 0.81 وقدرة اسمية ١ kWp.

الخريطة (١) الإنتاج السنوي المتوقع للطاقة الكهربائية للمحطات باستخدام بيانات الإشعاع الشمسي الفعلي ومعامل الأداء (PR)



باستخدام بيانات الهيئة العامة للأنواء الجوية العراقية وخرائط نظم المعلومات الجغرافية (GIS) ، وبالاعتماد على بيانات الإشعاع باستخدام Global Solar Atlas ، وبيانات الأداء النموذجية لمحطات الطاقة الشمسية في العراق.

على المستوى الزمني تُظهر جميع المحطات نمطاً تصاعدياً في الإنتاج من ك٢ إلى حزيران، اذ يبلغ الإنتاج ذروته في حزيران وتموز، قبل أن يبدأ بالتراجع التدريجي من آب فصاعداً حتى يصل إلى أدنى مستوياته في كانون الأول، ويُعزى هذا النمط إلى التغير الطبيعي في زاوية سقوط الإشعاع الشمسي وطول ساعات السطوع خلال أشهر الصيف، ويصل الإشعاع الشمسي إلى أعلى مستوياته وتكون زاوية السقوط أكثر ملاءمة للألواح المثبتة بزاوية ميل ٢٥° نحو الجنوب، كما أوصت ذكر ذلك كل من [Duffie & Beckman, 2013] و [Skoplaki & Palyvos, 2009].

أما من الناحية المكانية، الخريطة (١) فتُظهر محطات S3، S5، S6، والرطوبة أعلى معدلات إنتاج سنوي وشهري، إذ تجاوزت الإنتاجية فيها ٤٢٠٠٠ ك.و.س سنوياً لكل كيلو واط مركب، مع ذروة يومية تجاوزت ١٤٧ kWh/m<sup>2</sup>/day في محطة S3، وهو ما يُعد من المعدلات النادرة في النظم الكهروضوئية الصحراوية، ويعود هذا الانتاج إلى ارتفاع معدلات الإشعاع الشمسي المباشر في هذه المواقع، كما هو موضح في جدول الإشعاع السنوي المستخلص من بيانات NASA POWER، والتي تراوحت فيها قيم الإشعاع بين 138 و ١٤٧ kWh/m<sup>2</sup>/day، فضلا عن ان محطات مثل الرطوبة والنخيب تتمتع بمواقع مرتفعة وسماء صافية بنسبة كبيرة ويتجاوز عدد الأيام الصافية ٢٦٠ يوماً سنوياً وفق سجلات الهيئة العامة للأنواء الجوية، ما يقلل من الخسائر المرتبطة بالرطوبة والتلوث الجوي.

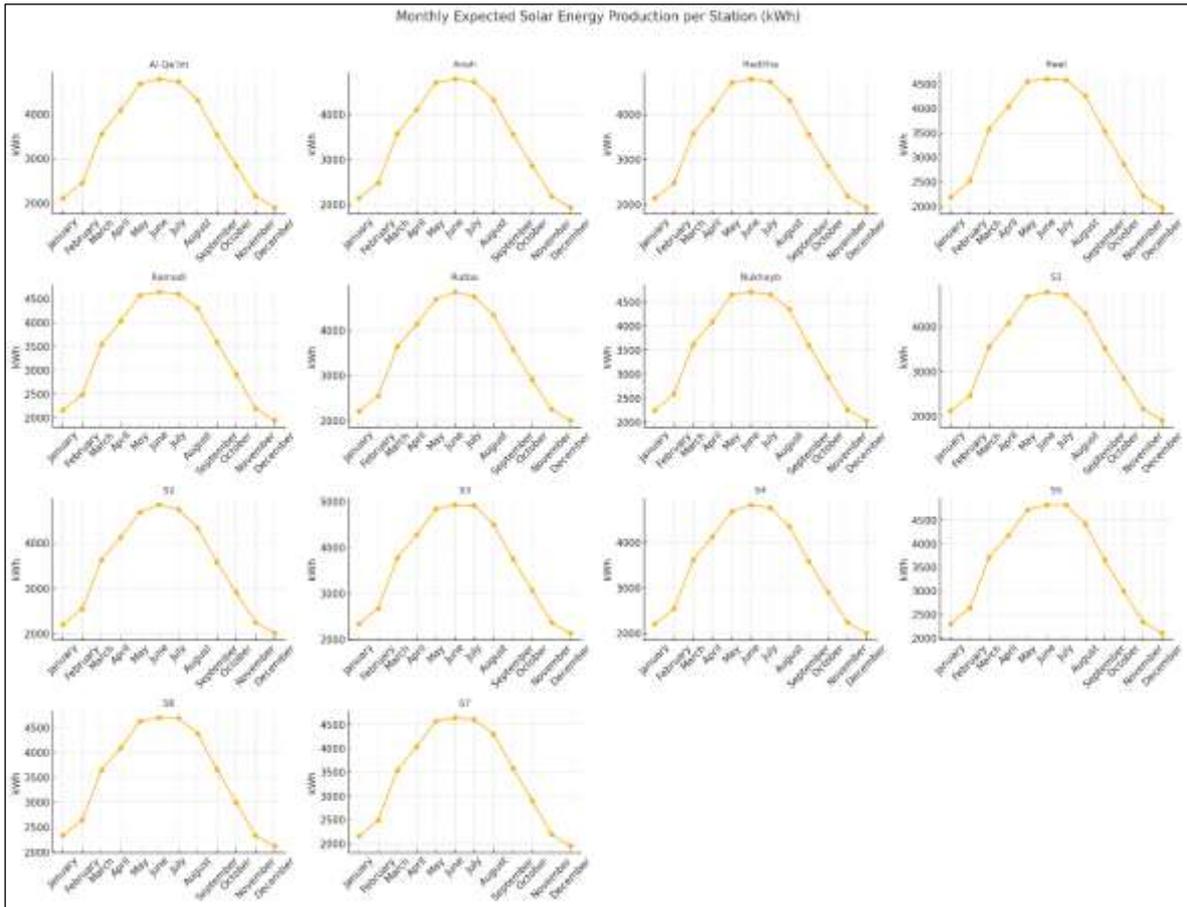
بالمقابل سجّلت محطات مثل هيت، S7، والرمادي مستويات إنتاج أقل نسبياً، ما قد يرتبط بمستوى الغبار وتكرار العواصف الترابية في تلك المناطق، وهو ما أكدته دراسات سابقة مثل [Elminir et al.,

[2006]، التي أثبتت أن تراكم الغبار قد يخفض نفاذية الضوء بنسبة تصل إلى ١٧%، مما ينعكس سلبيًا على كفاءة النظام الكهروضوئي، وإن ارتفاع درجات الحرارة في بعض المحطات، مثل هيت تصل في تموز إلى أكثر من ٣٥° م ، يؤدي إلى انخفاض الكفاءة الكهربائية للخلايا الشمسية بمعدل ٠.٤% لكل درجة مئوية، حسب ما أورده [Skoplaki & Palyvos, 2009] واعتمده برنامج PVsyst ضمن معامل الأداء PR .

يتضح من الشكل أن جميع المحطات، بالرغم من تباين إنتاجها، تتبع نفس المنحنى الزمني للإنتاج، مما يدل على أن التحكم الأساسي في كفاءة الإنتاج هو المناخ الموسمي المشترك للأنبار، في حين أن الفروقات بين المحطات تُعزى إلى العوامل المحلية مثل الارتفاع، زاوية السقوط، الغبار، وساعات السطوع، وتدعم هذه النتائج توجهات التخطيط المكاني للطاقة الشمسية التي توصي بدمج بيانات الإشعاع الدقيقة مع النمذجة الفنية باستخدام PVsyst كما ورد في توصيات [Charabi & Gastli, 2010] لتعظيم الفوائد الاقتصادية والطاقة للمشاريع في البيئات الجافة.

الشكل (٢) الإنتاج الشهري المتوقع للطاقة (kWh) باستخدام بيانات الإشعاع الشمسي الفعلي ومعامل أداء PR =

0.81



المصدر: اعتمادًا على بيانات الإشعاع الشمسي (NASA POWER 2023)، ومحاكاة الأداء باستخدام برنامج PVsyst الإصدار ٧.٢.

## ٢- تحليل مؤشرات الأداء الكلية للنظام الكهروضوئي

أظهرت نتائج المحاكاة باستخدام برنامج Pvsyst أن مؤشرات الأداء الكلية لنظام الطاقة الشمسية في المحافظة جاءت ضمن النطاقات العالمية المعتمدة، حيث تراوح معامل الأداء (Performance Ratio - PR) بين 80% و 82%، وهو ما يُعد مؤشراً جيداً للغاية في بيئة صحراوية جافة ذات حرارة وغبار مرتفعين، ويتمشى مع ما ذكره (Huld et al, 2010)، الذين بينوا أن البيئات ذات الإشعاع العالي ودرجات الحرارة المرتفعة تسجل عادةً معدلات PR بين 78% و 83%، خاصة في المناطق شبه القاحلة، ويُعبّر هذا المؤشر عن الكفاءة الفعلية للنظام بعد احتساب كافة الخسائر المناخية والفنية، مثل الخسائر الحرارية، والغبار، والخسائر الكهربائية، وهي محددات تم نمذجتها بدقة ضمن إعدادات البرنامج. بلغ عامل السعة في الدراسة بين 19% و 21%، وهي نسبة مرتفعة تعكس كفاءة استغلال القدرة الاسمية للنظام، وتتفق مع ما ذكره (Trieb et al. (2012 حول إمكانية وصول محطات الطاقة الشمسية في مناطق صحراوية إلى 22%. ويرتبط هذا الارتفاع بوفرة الإشعاع الشمسي وساعات السطوع الطويلة، وهما من خصائص الأنبار وفقاً لتصنيف (IRENA (2021)، وتعزز هذه المؤشرات ثقة الدراسة في كفاءة الأداء العام للنظام الكهروضوئي، وتدعم جدوى الاستثمار في مشاريع الطاقة الشمسية في المحافظة، خاصة عند دمجها مع النتائج المكانية التي أظهرت تفوق بعض المواقع مثل الرطبة والنخيب من حيث وفرة الإشعاع وكفاءة الأداء، وتُعد هذه المؤشرات أدوات حاسمة في دعم اتخاذ القرار الاستثماري، لا سيما عند التخطيط لمحطات كبيرة الحجم، حيث يُفضّل التركيز على المواقع التي تتجاوز فيها قيم PR حاجز 80%، وتُسجّل فيها عوامل سعة تقترب من الحد الأعلى الممكن في البيئات الجافة.

## ٣- التوزيع الزمني للإنتاج الشمسي في المحافظة.

يُعد التحليل الزمني للإنتاج الشمسي أحد أهم أدوات تقييم أداء النظم الكهروضوئية، إذ يُظهر التغير الموسمي في كفاءة النظام ويكشف أشهر الذروة والانخفاض، بالاعتماد على بيانات الإشعاع الشمسي وكفاءة الإنتاج المستخلصة من المحاكاة باستخدام برنامج Pvsyst، يمكن تمثيل التوزيع الشهري للإنتاج في المحافظة كما في الجدول (٨) التالي:

الجدول (٨): التوزيع الشهري للإشعاع الشمسي والإنتاج المتوقع من النظام الكهروضوئي في المحافظة

| الشهر  | الإشعاع الشمسي (KWH/M <sup>2</sup> /DAY) | الطاقة المنتجة (KWH/KWP) | الملاحظات                               |
|--------|--|--------------------------|---|
| يناير  | 3.5                                      | 95                       | أدنى إنتاج بسبب قصر النهار وكثرة السحب  |
| فبراير | 4.0                                      | 110                      | بداية ارتفاع السطوع                     |
| مارس   | 5.5                                      | 150                      | تحسن واضح بالإنتاج مع زيادة النهار      |
| نيسان  | 6.5                                      | 175                      | موسم الذروة يبدأ                        |
| مايو   | 7.2                                      | 195                      | ذروة جيدة مع طقس مستقر                  |
| يونيو  | 7.8                                      | 200                      | أعلى إنتاج سنوي تقريباً                 |
| يوليو  | 8.0                                      | 205                      | أقصى إشعاع لكن مع تأثير حرارة           |
| أب     | 7.6                                      | 200                      | استمرار الذروة مع بداية الانخفاض الطفيف |
| سبتمبر | 6.5                                      | 175                      | بداية انخفاض تدريجي للإنتاج             |
| أكتوبر | 5.5                                      | 150                      | تراجع ملحوظ في الإشعاع                  |
| نوفمبر | 4.0                                      | 110                      | انخفاض حاد                              |
| ديسمبر | 3.5                                      | 90                       | أدنى مستويات السطوع                     |

المصدر: اعتمادًا على محاكاة برنامج PVsyst 7.2 ، وبيانات (NASA POWER (2023) ، والهيئة العامة لأنواء الجوية العراقية (1991-2023).

يُتضح من الجدول (٨) أن أشهر الذروة الإنتاجية تمتد من نيسان حتى آب، وهي المدة التي تشهد أعلى قيم للإشعاع الشمسي، مع تسجيل ذروة مطلقة في يوليو ( $8.0 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$ ) يقابلها إنتاج بنحو 205 kWh/kWp ، وعلى الرغم من الإشعاع المرتفع في هذا الشهر فإن تأثير الحرارة العالية يؤدي إلى بعض الانخفاض في الكفاءة مقارنةً بالقيمة النظرية الممكنة، وهو ما يتوافق مع ما أشار إليه (Skoplaki & Palyvos 2009) من أن كل ارتفاع في درجة حرارة اللوح بمقدار  $1^\circ\text{C}$  يؤدي إلى انخفاض الكفاءة بنسبة  $0.4\%$  ، وبالمقابل تسجل أشهر الشتاء (ك٢، كانون الأول، شباط) أدنى معدلات الإشعاع والإنتاج، إذ يصل الإنتاج إلى أقل من  $100 \text{ kWh/kWp}$  ، نتيجة قصر النهار وزيادة تغطية الغيوم وانخفاض زاوية سقوط الإشعاع.

#### ٤ - تحليل الإنتاج السنوي الكلي المتوقع للطاقة الشمسية في المحافظة

يمثل تقدير كمية الطاقة الكهربائية المنتجة سنويًا من نظام كهروضوئي الخطوة الأساسية في تقييم الجودة الفنية والاقتصادية، وخاصة في البيئات الجافة، وقد أظهرت نتائج المحاكاة التي تم تنفيذها باستخدام برنامج PVsyst أن الإنتاج السنوي الصافي المتوقع لكل وحدة اسمية (١ كيلوواط ذروة) في المحافظة يتراوح بين 1750 و ١٨٥٠ كيلوواط ساعة/سنة لكل كيلوواط ذروة، وتُعد هذه القيمة من أعلى القيم المسجلة على مستوى البيئات الصحراوية وشبه الصحراوية عالميًا مما يدل على كفاءة ملحوظة للنظام في ظل الظروف المناخية القاسية للمحافظة.

يرتبط هذا الإنتاج المرتفع بتوافر إشعاع شمسي عالي وكثرة ساعات السطوع، مع انخفاض الرطوبة والتظليل، إضافةً إلى اعتماد زاوية ميل مثالية ( $25^\circ$ ) وتوجيه جنوبي للألواح. وقد بينت دراسات مثل (IRENA 2021) و (Meteonorm 2022) أن الإنتاج السنوي في المناطق الجافة يتراوح بين ١٦٠٠ و ١٩٠٠ ك.و.س/ك.و.ذ/سنة، وهي معدلات تُظهر أن الأنبار تقع ضمن الشريحة العليا، متفوقة على العديد من المواقع في جنوب أوروبا وشمال إفريقيا.

#### ٥ - التوزيع الزمني للإنتاج على مدار السنة:

عند تحليل التوزيع الشهري للإنتاج السنوي يتبين أن ذروة إنتاج الطاقة الشمسية في المحافظة تتحقق خلال المدة الممتدة من شهر أيار وحتى آب، وتبلغ كمية الطاقة المنتجة خلال هذه الأشهر حوالي 195 - ٢٠٥ كيلوواط ساعة لكل كيلوواط ذروة شهريًا، ويعود هذا الأداء المرتفع إلى أن هذه الأشهر تسجل أعلى معدلات للإشعاع الشمسي اليومي، والتي تصل إلى  $8.0 - 7.2 \text{ كيلوواط ساعة/م}^2/\text{يوم}$ ، إلى جانب صفاء الجو واستقرار درجات الحرارة خلال ساعات الذروة اليومية.

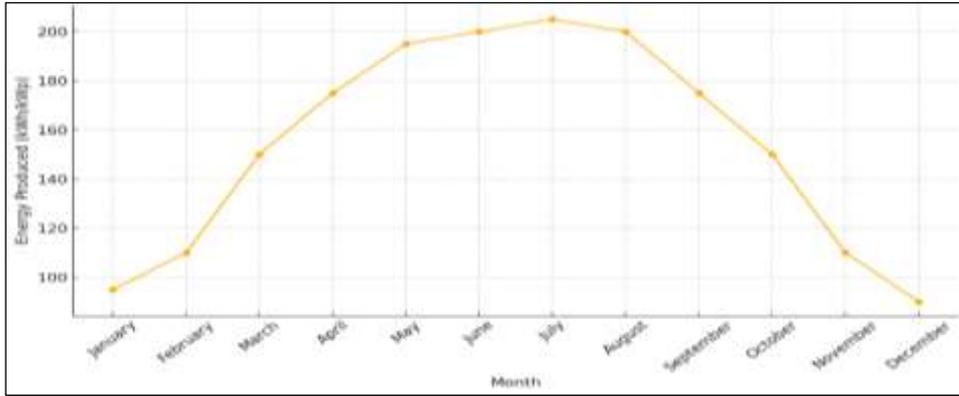
أما أشهر الشتاء، وتحديدًا كانون الأول وك٢، فهي تسجل أدنى مستويات الإنتاج الشهري والتي تتراوح بين 90 و ٩٥ كيلوواط ساعة/كيلوواط ذروة، وهذا الانخفاض يرجع إلى قصر مدة النهار وزيادة تغطية

الغيوم وارتفاع الرطوبة النسبية، مما يقلل من شدة الإشعاع المتاح ويزيد من الخسائر الحرارية في النظام، وتُسجل أشهر آذار وأيلول معدلات إنتاج انتقالية تتراوح بين 150 و١٧٥ كيلوواط ساعة/كيلوواط ذروة، وتشكل مدد تحوّل بين فصلي الذروة والانخفاض.

#### ٦- أهمية التباين الزمني في التخطيط:

ان التفاوت الموسمي يشكل عاملاً مهماً في تصميم الأنظمة الشمسية وتقدير كفاءتها السنوية، ويُعد عنصرًا رئيسًا في تحديد احتياجات أنظمة التخزين أو التكامل مع مصادر طاقة مساندة، في أشهر الذروة (ايار-آب) يمكن توليد فائض كهربائي يعوض الانخفاض الشتوي، خاصة إذا ما تم توظيف حلول التخزين الذكية أو ربط الإنتاج مع شبكة توزيع مرنة.

الشكل (٣) الإنتاج الشهري المتوقع للطاقة الشمسية في المحافظة (ك.و.س/ك.و.ذ)



مصدر: استنادًا إلى نتائج المحاكاة الشهرية للإنتاج باستخدام برنامج PVSyst (الإصدار ٧.٢)، بالاعتماد على بيانات الإشعاع الشمسي من مشروع (NASA POWER (2023)، ومعامل أداء  $PR = 0.81$ .

#### سابعاً: التوزيع المكاني للإنتاج السنوي للطاقة الشمسية في المحافظة

يُعد التحليل المكاني للإنتاج السنوي للطاقة الشمسية من العناصر الجوهرية في تقييم كفاءة المواقع المختلفة ضمن بيئة الدراسة، إذ يساعد في تحديد الفروقات بين المحطات من حيث الجدوى الفنية، وقد تم هنا اعتماد بيانات الارتفاعات المستخلصة من نموذج التضرس الرقمي (DEM) بدقة ٣٠ م، لتقدير الإنتاج السنوي من الطاقة الكهربائية لكل محطة من المحطات المناخية المنتشرة في المحافظة، وتم افتراض أن الإنتاج السنوي للوحدة الاسمية (١ كيلوواط ذروة) عند مستوى سطح البحر يبلغ 1700 كيلوواط ساعة/سنة، وهو معيار متحفظ يستند إلى ظروف معتدلة، ومن ثم أُضيف 0.12 كيلوواط ساعة لكل متر ارتفاع عن مستوى سطح البحر، استنادًا إلى دراسات تؤكد أن الانخفاض في كثافة الهواء عند الارتفاعات الأعلى يُقلل من الخسائر الحرارية ويُحسّن الأداء الكهروضوئي بنسبة طفيفة، كما ورد في دراسة (Dirnberger & Moser (2015)، ويتضح من الجدول (٩) أن محطات مثل S3 (827) م و S5 (627) م والرطوبة (٦١٨ م) سجلت أعلى معدلات الإنتاج السنوي، إذ تجاوزت 1770 كيلوواط

ساعة/سنة لكل كيلوواط ذروة، مما يُعزى إلى ارتفاع مواقعها عن مستوى سطح البحر، وهو ما يسهم في تقليل الخسائر الحرارية الناتجة عن درجات الحرارة المرتفعة على مستوى السهول.

الجدول (٩) الإنتاج السنوي المتوقع لكل محطة مناخية حسب الارتفاع

| اسم المحطة | الارتفاع (متر) | الإنتاج المتوقع (KWH) كيلوواط ذروة) |
|------------|----------------|-------------------------------------|
| الرطبة     | 618            | 1774.16                             |
| النخيب     | 311            | 1737.32                             |
| القائم     | 204            | 1724.48                             |
| عنه        | 174            | 1720.88                             |
| حديثة      | 99             | 1711.88                             |
| هيت        | 106            | 1712.72                             |
| الرمادي    | 53             | 1706.36                             |
| S1         | 360            | 1743.20                             |
| S2         | 594            | 1771.28                             |
| S3         | 827            | 1799.24                             |
| S4         | 378            | 1745.36                             |
| S5         | 627            | 1775.24                             |
| S6         | 318            | 1738.16                             |
| S7         | 62             | 1707.40                             |

- Dirnberger, D., & Moser, D. (2015). Performance of Photovoltaic Systems at Varying Altitudes. Renewable Energy, 80, 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.01.042>
- نموذج التضرس الرقمي (DEM) بدقة ٣٠ متر - وزارة التخطيط العراقية، قسم الخرائط، معالجة باستخدام ArcGIS (2015) 10.8

وسجلت محطات منخفضة الارتفاع مثل الرمادي (٥٣ م) و S7 (62) م أقل إنتاجية سنوية، بقيم تقارب 1706-1707 كيلوواط ساعة/سنة لكل كيلوواط ذروة، وهو ما يعكس تأثير درجات الحرارة الأعلى وكثافة الهواء وزيادة احتمالية ترسيب الغبار في المناطق المنخفضة نسبياً، كما يلاحظ تدرج واضح في الإنتاج كلما زاد الارتفاع، ما يبرز أهمية تحليل التضرس كعامل مكاني في نمذجة الأداء الكهروضوئي.

### ثامناً: العائد الاقتصادي (Return on Investment – ROI) .

هو مؤشر مالي يُستخدم لتقييم جدوى الاستثمار من خلال مقارنة الأرباح الصافية المتوقعة بتكاليف المشروع في سياق الطاقة الشمسية، يُستخدم لحساب مدى ربحية النظام الكهروضوئي مقارنة بتكلفة تركيبه وتشغيله، يُحسب العائد الاقتصادي باستخدام المعادلة: (Duffie & Beckman, 2013)

$$ROI (\%) = 100 \times (\text{صافي العائد السنوي} \div \text{التكلفة الكلية للاستثمار})$$

في دراسات محطات الطاقة الشمسية مثل التي أجريت على المحافظة، يتم ربط العائد الاقتصادي بمخرجات برنامج PVsyst التي تتضمن الإنتاج السنوي لكل كيلوواط ذروة (PVsyst SA, 2023) ، تُقدّر الإيرادات بناءً على سعر بيع الكيلوواط الساعي ويُخصم منها التكاليف (مثل الصيانة، التنظيف، الفاقد الكهربائي)، كلما زادت كمية الإنتاج السنوي في محطة معينة، ارتفع العائد الاقتصادي (IRENA, 2021) ، خصوصاً إذا كانت التكاليف ثابتة أو منخفضة.

الجدول (١٠) التباين المكاني للإنتاج السنوي والعائد الاقتصادي لمحطات الطاقة الشمسية للمحافظة

| المحطة  | العائد ROI (%) | تصنيف الأداء |
|---------|----------------|--------------|
| رمادي   | 336.49         | منخفضة       |
| هيت     | 338.02         | منخفضة       |
| عانة    | 340.52         | منخفضة       |
| القائم  | 341.52         | منخفضة       |
| الرطوبة | 355.32         | عالية جداً   |
| النخيب  | 342.08         | جيدة         |
| Hit     | 338.47         | منخفضة       |
| S1      | 344.24         | جيدة         |
| S2      | 354.67         | عالية جداً   |
| S3      | 359.26         | عالية جداً   |
| S4      | 344.84         | جيدة         |
| S5      | 355.77         | عالية جداً   |
| S6      | 342.18         | جيدة         |
| S7      | 336.66         | منخفضة       |

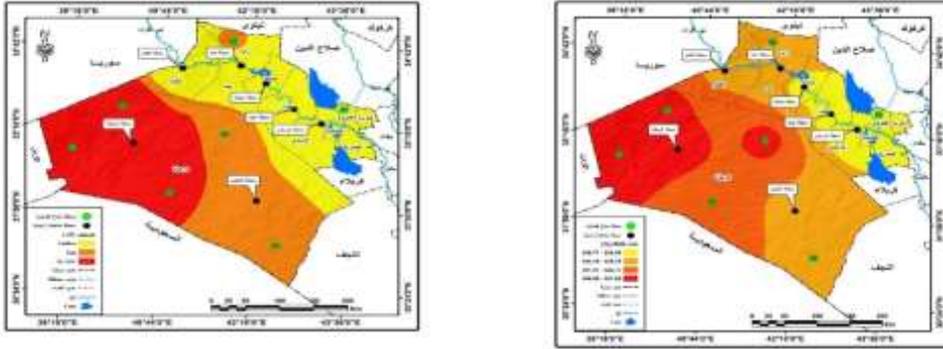
المصدر: استناداً إلى بيانات الارتفاع من نموذج DEM ، ومحاكاة الأداء باستخدام برنامج Pvsyst ، بالاعتماد على Dirnberger & Moser (2015).

يشير الجدول (١٠) والخريطة (٢) ان التحليل المكاني للعائد الاقتصادي (ROI) لمحطات الطاقة الشمسية في المحافظة إلى وجود فروقات مكانية واضحة ترتبط مباشرة بالخصائص الطبوغرافية والمناخية للمواقع المختلفة، فقد أظهرت المحطات الواقعة في المناطق الغربية والجنوبية الغربية من المحافظة، مثل الرطوبة (355.32%) ، S3 (359.26%) ، و S5 (355.77%) ، أعلى مستويات للعائد الاقتصادي، وهي مواقع تتصف بارتفاعاتها الكبيرة (تتجاوز ٦٠٠ متر عن سطح البحر)، ومناخها الجاف المستقر، وصفاء سمائها معظم أيام السنة، هذا التميز في الأداء يُعزى إلى العلاقة العكسية بين درجة الحرارة وكفاءة الخلايا الكهروضوئية، حيث تؤكد الدراسات أن كل ارتفاع في درجة حرارة اللوح بمقدار ١ °C يؤدي إلى انخفاض الكفاءة بنسبة ٠.٤% (Skoplaki & Palyvos, 2009) ، كما أن انخفاض كثافة الهواء في المناطق المرتفعة يسهم في تحسين التبريد الطبيعي للألواح الشمسية وتقليل الخسائر الحرارية، مما يرفع من كفاءة النظام ويزيد من العائد (Dirnberger & Moser, 2015) ، والخريطة (٣) تبين ان المحطات الواقعة في المناطق المنخفضة من وسط وشرق الأنبار سجلت، في الرمادي (٣٣٦.٤٩%) ، هيت (٣٣٨.٤٧%) ، وحديثة (٣٣٨.٠٢%) ، أدنى نسب للعائد الاقتصادي، وتتميز هذه المناطق بانخفاض ارتفاعها عن سطح البحر (أقل من ١٠٠ متر)، وقربها من مجاري الأنهار، مما يجعلها أكثر عرضة للرطوبة والغبار الموسمي والتظليل الجزئي، وهي عوامل تُسهم في تقليل كمية الإشعاع الفعّال على سطح الألواح الشمسية وتؤثر سلباً على معامل الأداء (PR) ، كما أن قرب هذه المحطات من المراكز الحضرية قد يزيد من التلوث الهوائي ويُضعف جودة الإشعاع الساقط، وهو ما تؤكد نتائج الدراسات التطبيقية في البيئات الحضرية (Elminir et al., 2006) ، أما المحطات

التي تقع ضمن نطاق متوسط من الارتفاع والإشعاع، مثل النخيب (342.08%) ، S1 (344.24%) ، و S4 (344.84%) ، فقد سجلت عوائد اقتصادية جيدة دون أن تصل إلى المستويات العليا، وتتمتع هذه المواقع بخصائص مناخية وسطية، حيث تتوازن فيها درجات الحرارة مع وفرة معتدلة في الإشعاع، ما يجعلها مناسبة من حيث الجدوى الفنية والاقتصادية، لكنها تظل أقل تميزاً من المواقع المرتفعة ذات السماء الصافية الدائمة.

### الخريطة (٣) التوزيع المكاني لكفاءة أداء

#### محطات الطاقة الشمسية في المحافظة



المصدر خريطة (٢): استناداً إلى نتائج PVsyst وبيانات DEM و NASA POWER (2023)

المصدر خريطة (٣) : استخدام ArcGIS ، واستناداً إلى نتائج المحاكاة في برنامج PVsyst (الإصدار ٧.٢) وتصنيف الأداء الفني للمحطات الشمسية، بالاعتماد على بيانات DEM و NASA POWER (2023).

يُظهر التحليل المكاني أن العائد الاقتصادي يرتبط بشكل وثيق بالارتفاع الطبوغرافي، وكثافة الإشعاع الشمسي ونسب الغبار والرطوبة، وهي عوامل قابلة للإدراج في نماذج مثل PVsyst. وتوصي دراسات مثل (IRENA 2021) و (Duffie & Beckman 2013) باعتماد هذه المعايير في تخطيط مشاريع الطاقة الشمسية، نظراً لأهميتها في تحديد الجدوى الاستثمارية وتوجيه المشاريع نحو البيئات ذات الأداء الأعلى، خاصة في المناطق الجافة كالأنبار.

### الاستنتاجات

١. كفاءة عالية في بيئة قاسية إذ يتراوح معامل الأداء الكهروضوئي (PR) في الأنبار بين ٨٠% - ٨٢%، مما يعكس فعالية التصميم في ظروف صحراوية حارة ومغبرة. لمحطات الطاقة الشمسية في محافظة الأنبار
٢. أهمية الموقع والارتفاع فقد سجلت المحطات المرتفعة مثل الرطبة و (S3) أعلى إنتاج وعائد اقتصادي، مقابل تراجع الكفاءة في المناطق المنخفضة كالرطبة وهيت.
٣. تباين موسمي في الإنتاج و بلغ الإنتاج ذروته في الصيف (أيار و آب) وانخفض في الشتاء (كانون الأول و شباط)، ما يؤكد ضرورة التخطيط الموسمي للطاقة.
٤. خسائر مناخية مؤثرة إذ شكّلت الخسائر المناخية ١٧-٢٠% من الإنتاج، توزعت بين الحرارة (٥%)، الغبار (٨%)، والكهرباء (٤%)، ما يتطلب حلولاً ميدانية لتقليلها.

٥. تصنيف اقتصادي للمواقع وتم تصنيف المحطات حسب الإنتاج والعائد إلى عالية جدًا، جيدة، منخفضة، ما يشكل أساسًا لتوجيه الاستثمارات بكفاءة في مشاريع الطاقة المتجددة.

#### التوصيات:

١. توجيه الاستثمارات إلى المواقع المرتفعة ذات الإشعاع العالي لضمان العائد الفني والاقتصادي.
٢. تطبيق صيانة دورية للألواح للحد من تأثير الغبار والعواصف وتحسين الكفاءة.
٣. دمج المحاكاة مع نظم GIS لاختيار المواقع المثلى ضمن تخطيط طاقي ذكي ومستدام.
٤. اعتماد حلول تخزين أو مصادر بديلة لمواجهة تراجع الإنتاج الشتوي وتحقيق استقرار الشبكة.
٥. تعميم نتائج الدراسة على مناطق مشابهة في العراق لدعم سياسات الطاقة المتجددة وطنياً.

#### • المصادر الأجنبية:

1. Abdallah, H. A., & Hussein, H. A. (2022). Spatial Suitability Analysis for Solar Energy Projects in Western Iraq Using AHP-GIS. *Journal of Renewable Energy Research*, 12(4), 876–888.
2. Chow, T. T. (2010). A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology. *Applied Energy*, 87(2), 365–379.
3. Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes* (4th ed.). John Wiley & Sons.
4. Elminir, H. K., Ghitass, A. E., Hamid, R. H., El-Hussainy, F., Beheary, M. M., & Abdel-Moneim, K. M. (2006). Effect of dust on the transparent cover of solar collectors. *Renewable Energy*, 30(3), 345–359. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.03.005>
5. Elminir, H. K., et al. (2006). Effect of dust on the transparent cover of solar collectors. *Energy Conversion and Management*, 47(18–19), 3192–3203. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.01.016>
6. Green, M. A. (2001). Photovoltaics: Technology overview. *Energy Policy*, 29(9), 689–698. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00136-0](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00136-0)
7. Huld, T., Friesen, G., Skoczek, A., Kenny, R., Sample, T., & Dunlop, E. D. (2010). A power-rating model for crystalline silicon PV modules. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 94(6), 1156–1163. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2010.01.019>
8. IRENA. (2021). *Renewable Energy Statistics 2021*. International Renewable Energy Agency. Retrieved from <https://www.irena.org/publications>
9. Kalogirou, S. A. (2014). *Solar Energy Engineering: Processes and Systems* (2nd ed.). Academic Press.
10. Meteororm Database. (2022). *Global Meteorological Database for Solar Energy and Building Physics*. Meteotest AG. Retrieved from <https://meteororm.com>
11. NASA POWER Project. (2023). *NASA Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER) Data Access Viewer*. Retrieved from <https://power.larc.nasa.gov>
12. NOAA National Centers for Environmental Information. (2023). *Climate Data Online*. Retrieved from <https://www.ncei.noaa.gov/>
13. PVSyst SA. (2022). *PVSyst Help Manual – Version 7.2*. Retrieved from <https://www.pvsyst.com/help/>
14. PVSyst SA. (2023). *PVSyst Software: User Manual and Simulation Guidelines*.
15. Skoplaki, E., & Palyvos, J. A. (2009). On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations. *Solar Energy*, 83(5), 614–624.

16. Sulaiman, S. A., Singh, A. K., Mokhtar, M.N., & Bou-Rabee, M. A. (2014). Influence of dirt accumulation on performance of PV panels. *Energy Procedia*, 50, 50–56.
17. Trieb, F., Müller-Steinhagen, H., & Kern, J. (2012). Financing Concentrating Solar Power in the Middle East and North Africa – Subsidy or Investment? *Energy Policy*, 39(5), 3071–3079. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.03.044>.

• المصادر العربية والمحلية:

١٨. الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي في العراق. (2023). البيانات المناخية السنوية والشهرية لمحطات العراق للفترة ١٩٩١-٢٠٢٣ (غير منشورة، بيانات ميدانية).
١٩. نظام المعلومات الجغرافية - ArcGIS 10.8 نموذج التضرس الرقمي (DEM) بدقة ٣٠ متر. (2015). وزارة التخطيط - الجهاز المركزي للإحصاء، قسم الخرائط. البيانات المعالجة داخل بيئة GIS

الملاحق

ملحق (١) \* معدل ساعات السطوع الفعلي (ساعة/يوم) الشهري والسنوي في محطات المنطقة الأرضية للمدة (١٩٩١ - ٢٠٢٣)

| المحطة المناخية | ساعات السطوع الشمسي الفعلي (ساعة/يوم) |     |     |     |     |      |      |      |      |     |     |     |     |
|-----------------|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
|                 | ع                                     | ب   | ج   | د   | هـ  | و    | ز    | ح    | ط    | ي   | ك   | ل   |     |
| القائم          | 5.6                                   | 6.7 | 7.5 | 8.2 | 9.3 | 11.4 | 11.8 | 11.3 | 10.1 | 8.5 | 6.8 | 5.7 | 8.6 |
| عنة             | 5.8                                   | 7.0 | 7.7 | 8.1 | 9.1 | 11.2 | 11.4 | 11.3 | 10.1 | 8.1 | 6.6 | 5.2 | 8.5 |
| حديثة           | 5.9                                   | 6.9 | 7.8 | 8.2 | 9.8 | 12.0 | 12.0 | 11.4 | 10.3 | 8.2 | 7.0 | 5.5 | 8.7 |
| هيت             | 5.9                                   | 7.2 | 7.6 | 8.2 | 9.6 | 11.7 | 11.8 | 11.8 | 10.3 | 8.1 | 7.1 | 5.9 | 8.8 |
| الرمادي         | 5.8                                   | 7.0 | 7.8 | 8.4 | 9.2 | 11.5 | 11.7 | 11.3 | 10.2 | 8.4 | 6.5 | 5.2 | 8.6 |
| الرطوبة         | 6.0                                   | 7.1 | 8.2 | 8.9 | 9.8 | 12.0 | 12.1 | 11.7 | 10.5 | 8.7 | 7.4 | 5.7 | 9.0 |
| النخيب          | 6.6                                   | 7.7 | 8.2 | 8.9 | 9.5 | 11.6 | 11.6 | 11.3 | 10.2 | 8.5 | 7.4 | 5.9 | 8.9 |

ملحق (٢) \*\* المعدل الحراري العام (م) الشهري والسنوي لمحطات المنطقة والفضائية للمدة (١٩٩١ - ٢٠٢٣)

| المحطة المناخية | معدل الحرارة العام (درجة مئوية) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                 | ع                               | ب    | ج    | د    | هـ   | و    | ز    | ح    | ط    | ي    | ك    | ل    |      |
| القائم          | 8.2                             | 10.5 | 14.9 | 20.6 | 26.1 | 31.1 | 33.6 | 32.7 | 28.6 | 22.8 | 13.9 | 9.2  | 21   |
| عنة             | 7.8                             | 9.9  | 14.3 | 20.7 | 26.3 | 31.0 | 33.7 | 33.0 | 28.7 | 22.4 | 14.2 | 8.8  | 20.9 |
| حديثة           | 8.5                             | 10.9 | 16.1 | 19.9 | 27.5 | 30.2 | 35.2 | 34.4 | 30.4 | 24.1 | 15.9 | 10.1 | ٢١.٩ |
| هيت             | 9                               | 11   | 16   | 23   | 28   | 33   | 35   | 35   | 31   | 25   | 16   | 11   | 22.8 |
| الرمادي         | 9.9                             | 12.2 | 16.4 | 22.8 | 28.3 | 32.7 | 35.4 | 34.5 | 30.2 | 24.6 | 16.4 | 11.2 | 22.9 |
| الرطوبة         | 8.3                             | 10.0 | 13.8 | 20.1 | 25.0 | 29.5 | 32.1 | 30.6 | 27.6 | 22.5 | 14.4 | 10.3 | 20.4 |
| النخيب          | 3.7                             | 5.6  | 9.7  | 15.3 | 20.8 | 24.6 | 26.5 | 26.1 | 22.4 | 17.1 | 9.4  | 5.2  | 15.5 |
| S <sub>1</sub>  | 6.4                             | 8.7  | 13.2 | 19.8 | 26   | 31.2 | 33.9 | 33.6 | 29.2 | 23.2 | 14.2 | 8.3  | 20.6 |
| S <sub>2</sub>  | 6.1                             | 8    | 12.3 | 18.4 | 23.9 | 28.1 | 30.5 | 30.5 | 26.9 | 21.6 | 13.3 | 7.9  | 19   |
| S <sub>3</sub>  | 5.9                             | 7.8  | 11.8 | 17.8 | 23.3 | 27.4 | 29.5 | 29.7 | 26.3 | 21.2 | 13.1 | 7.8  | 18.5 |
| S <sub>4</sub>  | 7.3                             | 9.6  | 14.1 | 20.5 | 26.7 | 31.3 | 33.6 | 33.6 | 29.7 | 23.8 | 14.9 | 9.1  | 21.2 |
| S <sub>5</sub>  | 6.6                             | 8.8  | 13.3 | 19.4 | 25.3 | 29.6 | 31.7 | 31.9 | 28.2 | 22.6 | 14   | 8.5  | 20   |
| S <sub>6</sub>  | 8.4                             | 10.9 | 15.7 | 22.2 | 28.4 | 32.9 | 34.9 | 35   | 31.1 | 25.1 | 16.1 | 10.2 | 22.6 |
| S <sub>7</sub>  | 8.8                             | 11.3 | 16.1 | 22.8 | 29.2 | 34.2 | 36.4 | 36.2 | 31.9 | 25.9 | 16.6 | 10.6 | 23.3 |

ملحق (٣) \*\* معدل الرطوبة النسبية في محطات منطقة الدراسة الأرضية والفضائية للمدة (١٩٩١ - ٢٠٢٣)

| المحطة المناخية | معدلات الرطوبة النسبية (%) |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------------|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                 | ع                          | ب  | ج  | د  | هـ | و  | ز  | ح  | ط  | ي  | ك  | ل  |    |
| القائم          | 70                         | 61 | 51 | 43 | 36 | 30 | 28 | 31 | 37 | 45 | 63 | 71 | 47 |
| عنة             | 76                         | 65 | 54 | 43 | 33 | 27 | 27 | 27 | 32 | 44 | 62 | 74 | 47 |
| حديثة           | 75                         | 64 | 54 | 44 | 36 | 29 | 29 | 29 | 32 | 42 | 60 | 68 | 47 |
| هيت             | 64                         | 58 | 48 | 38 | 31 | 25 | 22 | 23 | 27 | 35 | 56 | 64 | 41 |

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |                |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------------|
| 50 | 74 | 63 | 50 | 39 | 34 | 31 | 33 | 40 | 48 | 54 | 65 | 75 | الرمادي        |
| 48 | 70 | 60 | 45 | 35 | 32 | 34 | 30 | 36 | 44 | 54 | 62 | 70 | الرطبة         |
| 42 | 61 | 54 | 37 | 30 | 26 | 25 | 27 | 33 | 39 | 45 | 57 | 66 | النخيب         |
| 41 | 64 | 51 | 33 | 24 | 23 | 22 | 23 | 31 | 40 | 50 | 61 | 67 | S <sub>1</sub> |
| 41 | 63 | 51 | 36 | 28 | 26 | 25 | 25 | 31 | 37 | 48 | 59 | 64 | S <sub>2</sub> |
| 41 | 63 | 50 | 35 | 28 | 26 | 25 | 25 | 30 | 36 | 47 | 58 | 63 | S <sub>3</sub> |
| 36 | 58 | 46 | 30 | 22 | 20 | 19 | 20 | 26 | 33 | 42 | 52 | 59 | S <sub>4</sub> |
| 35 | 58 | 46 | 30 | 22 | 19 | 19 | 19 | 24 | 31 | 40 | 51 | 58 | S <sub>5</sub> |
| 32 | 54 | 44 | 27 | 19 | 16 | 15 | 16 | 21 | 28 | 36 | 46 | 55 | S <sub>6</sub> |
| 39 | 62 | 50 | 32 | 24 | 22 | 21 | 21 | 28 | 37 | 47 | 57 | 63 | S <sub>7</sub> |

ملحق (٤) \*\* معدل سرعة الرياح (متر/ثا) في محطات المنطقة الأرضية والفضائية للمدة (١٩٩١ - ٢٠٢٣)

| معدلات سرعة الرياح (متر/ثا) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | المحطة المناخية |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------|
| ١                           | ٢   | ٣   | ٤   | ٥   | ٦   | ٧   | ٨   | ٩   | ١٠  | ١١  | ١٢  | ١٣  |                 |
| 2.4                         | 1.6 | 1.6 | 1.7 | 2.0 | 2.8 | 3.3 | 3.2 | 2.8 | 2.7 | 2.5 | 2.4 | 1.9 | القائم          |
| 2.9                         | 1.7 | 1.7 | 2.0 | 2.7 | 3.7 | 4.9 | 4.4 | 3.4 | 3.0 | 3.0 | 2.5 | 2.2 | عنة             |
| 2.9                         | 1.9 | 2.1 | 2.3 | 2.8 | 3.6 | 4.1 | 4.0 | 3.4 | 3.0 | 2.8 | 2.4 | 2.2 | حديثة           |
| 3.0                         | 2.1 | 2.3 | 2.5 | 2.8 | 3.5 | 4.1 | 3.8 | 3.3 | 3.1 | 3.0 | 2.6 | 2.5 | هيت             |
| 2.2                         | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 2.0 | 2.2 | 2.7 | 2.7 | 2.5 | 2.5 | 2.4 | 2.2 | 1.9 | الرمادي         |
| 2.3                         | 1.8 | 1.6 | 1.7 | 1.7 | 2.1 | 2.9 | 2.6 | 2.5 | 2.7 | 2.7 | 2.5 | 2.2 | الرطبة          |
| 3.5                         | 2.5 | 2.6 | 2.6 | 2.9 | 3.7 | 4.9 | 4.2 | 4.1 | 4.1 | 3.7 | 3.4 | 2.9 | النخيب          |
| 4                           | 3.1 | 3.1 | 3.4 | 4   | 4.8 | 5.6 | 5.2 | 4.3 | 4   | 3.9 | 3.5 | 3.3 | S <sub>1</sub>  |
| 4.2                         | 3.8 | 3.6 | 3.5 | 3.5 | 4.1 | 4.9 | 4.7 | 4.3 | 4.4 | 4.5 | 4.3 | 4.2 | S <sub>2</sub>  |
| 4.2                         | 4   | 3.8 | 3.7 | 3.5 | 3.8 | 4.4 | 4.4 | 4.3 | 4.6 | 4.6 | 4.5 | 4.4 | S <sub>3</sub>  |
| 4.1                         | 3.4 | 3.4 | 3.5 | 3.7 | 4.4 | 5.4 | 4.9 | 4.3 | 4.2 | 4.2 | 3.9 | 3.7 | S <sub>4</sub>  |
| 4                           | 3.5 | 3.4 | 3.5 | 3.5 | 3.8 | 4.5 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.4 | 4.1 | 3.9 | S <sub>5</sub>  |
| 3.7                         | 3.1 | 3.2 | 3.4 | 3.2 | 3.6 | 4.4 | 4.2 | 3.9 | 3.9 | 3.9 | 3.7 | 3.4 | S <sub>6</sub>  |
| 3.9                         | 3.2 | 3.2 | 3.4 | 4   | 4.7 | 5.4 | 5   | 4.1 | 3.8 | 3.7 | 3.4 | 3.3 | S <sub>7</sub>  |

ملحق (٥) \* معدلات مجاميع تكرار العواصف الترابية لمحطات المنطقة الأرضية للمدة (١٩٩١ - ٢٠٢٣)

| معدلات مجاميع تكرار العواصف الترابية/ يوم |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | المحطة المناخية |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------------|
| ١   | ٢  | ٣  | ٤  | ٥  | ٦  | ٧  | ٨  | ٩  | ١٠ | ١١ | ١٢ | ١٣ |                 |
| 4   | 2  | 5  | 2  | 2  | 0  | 3  | 12 | 50 | 19 | 27 | 12 | 4  | القائم          |
| 4   | 14 | 3  | 25 | 11 | 6  | 10 | 14 | 24 | 21 | 10 | 0  | 7  | عنة             |
| 6   | 4  | 4  | 15 | 7  | 10 | 13 | 12 | 63 | 26 | 15 | 18 | 7  | حديثة           |
| 13  | 2  | 1  | 4  | 5  | 4  | 7  | 10 | 10 | 6  | 5  | 4  | 2  | هيت             |
| 7   | 13 | 21 | 18 | 15 | 12 | 15 | 17 | 45 | 29 | 36 | 5  | 2  | الرمادي         |
| ٤   | 5  | 7  | 6  | 10 | 9  | 1  | 6  | 36 | 20 | 19 | 10 | 5  | الرطبة          |
| 7   | 6  | 6  | 11 | 7  | 0  | 11 | 49 | 51 | 72 | 7  | 21 | 0  | النخيب          |

ملحق (٦) \*\* معدل كميات الاشعاع الشمسي (ملي واط/ سم<sup>٢</sup> / ساعة) الشهري والسنوي للمدة (١٩٩١ - ٢٠٢٣)

| المحطة المناخية | معدل الحرارة العام (درجة مئوية) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                 | ١                               | ٢     | ٣     | ٤     | ٥     | ٦     | ٧     | ٨     | ٩     | ١٠    | ١١    | ١٢    | ١٣    |
| القائم          | 351.1                           | 452.0 | 590.2 | 700.7 | 777.0 | 820.8 | 777.0 | 700.7 | 590.2 | 452.0 | 351.1 | 579.5 | 579.5 |
| عنة             | 355.8                           | 456.5 | 593.6 | 704.5 | 780.5 | 819.9 | 780.5 | 704.5 | 593.6 | 456.5 | 355.8 | 582.9 | 582.9 |
| حديثة           | 355.8                           | 456.5 | 593.6 | 704.5 | 780.5 | 819.9 | 780.5 | 704.5 | 593.6 | 456.5 | 355.8 | 582.9 | 582.9 |
| هيت             | 362.3                           | 463.3 | 593.7 | 693.6 | 756.2 | 789.4 | 756.2 | 693.6 | 593.7 | 463.3 | 362.3 | 576.3 | 576.3 |
| الرمادي         | 358.1                           | 457.1 | 587.7 | 692.2 | 759.8 | 796.9 | 759.8 | 692.2 | 587.7 | 457.1 | 358.1 | 577.2 | 577.2 |
| الرطبة          | 365.9                           | 467.7 | 603.8 | 708.9 | 778.0 | 831.9 | 778.0 | 708.9 | 603.8 | 467.7 | 365.9 | 589.9 | 589.9 |
| النخيب          | 373.1                           | 475.9 | 602.0 | 701.3 | 773.5 | 807.9 | 773.5 | 701.3 | 602.0 | 475.9 | 373.1 | 588.4 | 588.4 |
| S <sub>1</sub>  | 351.1                           | 452.0 | 590.2 | 700.7 | 777.0 | 820.8 | 777.0 | 700.7 | 590.2 | 452.0 | 351.1 | 579.5 | 579.5 |
| S <sub>2</sub>  | 365.9                           | 467.7 | 603.8 | 708.9 | 778.0 | 831.9 | 778.0 | 708.9 | 603.8 | 467.7 | 365.9 | 589.9 | 589.9 |
| S <sub>3</sub>  | 388.3                           | 491.1 | 626.2 | 733.1 | 803.1 | 845.7 | 803.1 | 733.1 | 626.2 | 491.1 | 388.3 | 613.7 | 613.7 |
| S <sub>4</sub>  | 365.9                           | 467.2 | 599.7 | 707.6 | 775.8 | 827.3 | 775.8 | 707.6 | 599.7 | 467.2 | 365.9 | 589.0 | 589.0 |
| S <sub>5</sub>  | 382.9                           | 485.2 | 615.6 | 716.2 | 783.4 | 826.7 | 783.4 | 716.2 | 615.6 | 485.2 | 382.9 | 601.4 | 601.4 |
| S <sub>6</sub>  | 387.8                           | 485.7 | 605.8 | 701.8 | 768.7 | 806.1 | 768.7 | 701.8 | 605.8 | 485.7 | 387.8 | 594.8 | 594.8 |
| S <sub>7</sub>  | 358.1                           | 457.1 | 587.7 | 692.2 | 759.8 | 796.9 | 759.8 | 692.2 | 587.7 | 457.1 | 358.1 | 577.2 | 577.2 |

ملحق (٧) \* زاوية سقوط الاشعاع الشمسي على محطات منطقة الدراسة

| ت  | المحطة  | الموقع الفلكي     |               |          | زاوية السقوط (°) | زاوية السقوط عند مدار السرطان (°) | زاوية السقوط عند مدار الجدي (°) |
|----|---------|-------------------|---------------|----------|------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
|    |         | دائرة العرض شمالا | خط الطول شرقا |          |                  |                                   |                                 |
| ١  | القائم  | 43.29287          | 43.29287      | 48.84653 | 17.71347         | 64.59347                          |                                 |
| ٢  | عنة     | 42.38953          | 42.38953      | 48.00843 | 18.55157         | 65.43157                          |                                 |
| 3  | حديثة   | 41.99157          | 41.99157      | 47.61047 | 18.94953         | 65.82953                          |                                 |
| 4  | هيت     | 41.15347          | 41.15347      | 47.18036 | 19.37964         | 66.25964                          |                                 |
| 5  | الرمادي | 40.29015          | 40.29015      | 46.70713 | 19.85287         | 66.73287                          |                                 |
| 6  | الرطبة  | 42.23163          | 42.23163      | 49.70985 | 16.85015         | 63.73015                          |                                 |
| 7  | النخيب  | 42.81964          | 42.81964      | 47.76837 | 18.79163         | 65.67163                          |                                 |
| 8  | S1      | 41.84336          | 41.84336      | 48.15664 | 18.40336         | 65.28336                          |                                 |
| 9  | S2      | 40.09638          | 40.09638      | 49.90362 | 16.65638         | 63.53638                          |                                 |
| 10 | S3      | 39.34314          | 39.34314      | 50.65686 | 15.90314         | 62.78314                          |                                 |
| 11 | S4      | 41.77735          | 41.77735      | 48.22265 | 18.33735         | 65.21735                          |                                 |
| 12 | S5      | 40.93252          | 40.93252      | 49.06748 | 17.49252         | 64.37252                          |                                 |
| 13 | S6      | 42.64101          | 42.64101      | 47.35899 | 19.20101         | 66.08101                          |                                 |
| 14 | S7      | 43.67487          | 43.67487      | 46.32513 | 20.23487         | 67.11487                          |                                 |

ملحق (٨) \* معدل مجاميع حالة الجو الصافي في محطات المنطقة الأرضية للمدة (١٩٩١ - ٢٠٢٣)

| المحطة المناخية | معدل تكرار الجو الصافي/ يوم |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------------|-----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                 | ١                           | ٢  | ٣  | ٤  | ٥  | ٦  | ٧  | ٨  | ٩  | ١٠ | ١١ | ١٢ | ١٣ |
| القائم          | 21                          | 19 | 20 | 19 | 21 | 19 | 20 | 19 | 21 | 19 | 20 | 19 | 21 |
| عنة             | 21                          | 19 | 21 | 19 | 21 | 19 | 21 | 19 | 21 | 19 | 21 | 19 | 21 |
| حديثة           | 15                          | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| هيت             | 18                          | 16 | 18 | 16 | 18 | 16 | 18 | 16 | 18 | 16 | 18 | 16 | 18 |
| الرمادي         | 17                          | 15 | 16 | 15 | 17 | 15 | 16 | 15 | 17 | 15 | 16 | 15 | 17 |
| الرطبة          | 15                          | 16 | 17 | 16 | 15 | 16 | 17 | 16 | 15 | 16 | 17 | 16 | 15 |
| النخيب          | 16                          | 14 | 17 | 16 | 15 | 16 | 17 | 16 | 15 | 16 | 17 | 16 | 15 |
| المعدل          | 18                          | 16 | 18 | 16 | 18 | 16 | 18 | 16 | 18 | 16 | 18 | 16 | 18 |

ملحق (٩) \* معدل مجاميع الأمطار (ملم) الشهرية والسنوية في محطات المنطقة الأرضية والفئانية للمدة (١٩٩١ - ٢٠٢٣)

| المحطة المناخية | معدلات مجاميع الأمطار (ملم) |      |      |      |      |      |      |      |     |       |
|-----------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-------|
|                 | ١                           | ٢    | ٣    | ٤    | ٥    | ٦    | ٧    | ٨    | ٩   | ١٠    |
| القائم          | 0.1                         | 7.9  | 19.4 | 15.7 | 20.9 | 19.1 | 16.3 | 11.8 | 5.9 | 117.1 |
| عنة             | 0.4                         | 11.2 | 17.2 | 16.1 | 25.6 | 20.4 | 18.6 | 12.8 | 5.7 | 128.0 |
| حديثة           | 0.2                         | 4.3  | 20.8 | 15.2 | 20.4 | 19.7 | 19.1 | 12.1 | 4.7 | 116.5 |
| هيت             | 0.1                         | 4.5  | 12.5 | 14.0 | 21.7 | 12.3 | 14.9 | 9.1  | 3.2 | 92.3  |
| الرمادي         | 0.3                         | 5.6  | 14.9 | 15.3 | 19.9 | 20.3 | 14.2 | 14.5 | 3.7 | 108.7 |
| الرطبة          | 0.4                         | 12.3 | 18.2 | 10.9 | 13.9 | 20.0 | 13.3 | 9.2  | 7.8 | 106.0 |
| النخيب          | 0.0                         | 4.4  | 13.7 | 11.1 | 11.8 | 9.5  | 10.8 | 9.8  | 2.8 | 73.9  |
| S <sub>1</sub>  | 6.8                         | 14.2 | 16.1 | 19.4 | 18.4 | 15.8 | 13.4 | 5.6  | 0.2 | 109.9 |
| S <sub>2</sub>  | 5.5                         | 13.5 | 10.2 | 11.5 | 11.1 | 8.2  | 7    | 3.5  | 0.3 | 70.8  |
| S <sub>3</sub>  | 4.7                         | 11.2 | 9.1  | 10.2 | 10   | 7.9  | 6.5  | 2.7  | 0.2 | 62.5  |
| S <sub>4</sub>  | 7.3                         | 10.3 | 9.2  | 12.1 | 12   | 9.6  | 5.9  | 2.3  | 0.1 | 68.8  |
| S <sub>5</sub>  | 4.7                         | 7.1  | 5.6  | 5.9  | 7.3  | 5.9  | 3.7  | 1    | 0   | 41.2  |
| S <sub>6</sub>  | 7.3                         | 7    | 4.9  | 6.3  | 8.5  | 5.5  | 3.6  | 0.8  | 0   | 43.9  |
| S <sub>7</sub>  | 7.4                         | 18   | 18.2 | 22.3 | 19.5 | 17.8 | 13.2 | 5.1  | 0.1 | 121.6 |

ملحق (١٠) \* معدل مجاميع تكرار الضباب في محطات المنطقة الأرضية للمدة (١٩٩١ - ٢٠٢٣)

| المحطة المناخية | معدلات مجاميع تكرار الضباب/ يوم |     |     |     |     |     |     |     |     |     |               |
|-----------------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------|
|                 | ك١                              | ك٢  | ك٣  | ك٤  | ك٥  | ك٦  | ك٧  | ك٨  | ك٩  | ك١٠ | المعدل السنوي |
| القائم          | 1                               | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 3             |
| عنة             | ---                             | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --            |
| حديثة           | 2                               | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 6             |
| هيت             | --                              | --  | --  | --  | --  | --  | --  | --  | --  | --  | --            |
| الرمادي         | 2                               | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 6             |
| الرطبة          | 1                               | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 4             |
| النخيب          | 8                               | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 24            |
| المعدل          | 3                               | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 9             |

\* المصدر: وزارة النقل العراقية، الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي، قيم المناخ، بيانات غير منشورة، بغداد، ٢٠٢٥  
\* \* المصدر: وزارة النقل العراقية، الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي، قيم المناخ، بيانات غير منشورة، بغداد، ٢٠٢٥ وموقع بيانات

(NASA) على الرابط الاتي: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

\*\*\* المحطات المضللة لا تتوفر فيها بيانات الضباب