2026 كانون 2 مجلة دراسات في الإنسانيات والعلوم التربوية العدد 12
January 2026 Journal of Studies in Humanities and Educational Sciences No. 12
Print ISSN 3006-3256 Online ISSN 3006-3264

The Solar Energy Industry in Karbala Governorate (A Study of Potentials and Artificial Intelligence Applications)

Dr . Alaa Hussein Mohammed Al-Khafaji
University of Karbala, College of Education for Human Sciences/Department of Applied Geography
alaa.mohammad@uokerbala.edu.iq

Abstract:

Objectives: This study addresses the importance of solar energy as a renewable and inexhaustible source and its role in supporting sustainable development. It aims to analyze the natural and human geographical potentials of Karbala Governorate for investing in solar energy and to identify the problems and constraints affecting the efficiency of this investment. **Methodology**: The study adopts a descriptive–analytical approach by analyzing the efficiency and expected annual production of the Karbala Solar Power Plant. The results indicate an annual production of approximately 603 thousand MWh, reflecting the high level of solar radiation in Karbala, the suitability of its geographical location for solar investment, and the potential for future expansion of the plant. **Results:** The findings show that Karbala Governorate enjoys high rates of sunshine hours, particularly during the summer months, which positively affect annual solar radiation values and specific yield. All calculated values exceeded the global minimum threshold (1000 kWh/kWp/year), indicating high technical and economic feasibility for solar energy investment in Karbala. This has supported the establishment of the first solar power plant in the governorate, specifically in Al-Hur District, in 2025, with a production capacity of 22 MW out of a planned total capacity of 300 MW, representing a strategic step toward supporting the national power grid. The results also indicate an expected increase in solar energy production during the period 2025–2030, with a clear upward trend aimed at raising the share of renewable energy to 12% of total electricity generation. **Conclusions:** The data reveal a clear seasonal variation, with summer months recording the highest sunshine duration, reaching 13.5 hours/day in July, confirming the feasibility of investing in solar power plants. The Karbala Solar Power Plant is considered the largest of its kind in Iraq, serving as a vital indicator of the project's contribution to the national energy mix. The operational capacity of the first phase (22 MW) reflects a gradual implementation stage of the project. The application of artificial intelligence in the Karbala Solar Power Plant represents a strategic step toward enhancing energy sustainability, improving economic efficiency, supporting spatial geographic decision-making, and achieving energy security in the governorate. **Recommendations** : The study concluded on the necessity of expanding solar energy projects, strengthening investment planning, and

supporting them with modern technologies and specialized personnel to ensure the sustainability of this sector.

Keywords: Solar energy, specific yield, Karbala Solar Power Plant, artificial intelligence.

صناعة الطاقة الشمسية في محافظة كربلاء (دراسة للمقومات وتطبيقات الذكاء الاصطناعي)

م.د الاء حسين محمد الخفاجي
جامعة كربلاء كلية التربية للعلوم الانسانية/قسم الجغرافية التطبيقية
alaa.mohammad@uokerbala.edu.iq

الملخص :

الأهداف تتناول هذه الدراسة أهمية الطاقة الشمسية بوصفها مصدراً متجدداً وغير قابل للنفاد، ودورها في دعم التنمية المستدامة. وتهدف إلى تحليل المقومات الجغرافية الطبيعية والبشرية التي تمتلكها محافظة كربلاء المقدسة لاستثمار الطاقة الشمسية، وتشخيص المشكلات والمعوقات المؤثرة في كفاءة هذا الاستثمار. **المنهجية :** واعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي من خلال تحليل الكفاءة والإنتاج السنوي المتوقع لمحطة كربلاء للطاقة الشمسية وتبين انها تنتج سنويًا حوالي 603 ألف ميغاواط/ ساعة وهذا يعكس ارتفاع الإشعاع الشمسي في كربلاء وملاءمة الموقع الجغرافي للاستثمار الشمسي وإمكانية توسعة المحطة مستقبلا. **النتائج :**أظهرت النتائج النتائج أن محافظة كربلاء تتمتع بمعدلات مرتفعة لساعات السطوع الشمسي، لا سيما خلال أشهر الصيف، مما ينعكس إيجابًا على قيم الإشعاع الشمسي السنوي والإنتاجية النوعية. وقد تجاوزت جميع القيم المحسوبة الحد الأدنى العالمي (kWh/kWp/year1000)، مما يدل على الجدوى الفنية والاقتصادية العالية لاستثمار الطاقة الشمسية في محافظة كربلاء وهذا يعزز انشاء اول محطة للطاقة الشمسية في محافظة كربلاء تحديدا في قضاء الحر عام 2025 بطاقة إنتاجية بلغت 22 ميغاواط من أصل قدرة مخططة تصل إلى 300 ميغاواط، وهو ما يمثل خطوة استراتيجية لدعم الشبكة الوطنية. مما يشير الى زيادة متوقعة في إنتاج الطاقة الشمسية خلال المدة (2025–2030)، حيث يُلاحظ اتجاه عام تصاعدي منتظم يهدف برفع حصة الطاقة المتجددة إلى 12% من إجمالي إنتاج الكهرباء. **الاستنتاجات** أظهرت البيانات تبايناً موسمياً واضحاً، إذ تسجل أشهر الصيف أعلى قيم للسطوع الشمسي بلغت (13.5) ساعة/يوم في شهر تموز ,مما يؤكد جدوى الاستثمار في محطة للطاقة الشمسية اذ تعتبر المحطة كربلاء للطاقة الشمسية الأكبر من نوعها على مستوى العراق ,وهذا مؤشراً حيوياً يقيس مدى مساهمة المشروع في مزيج الطاقة الوطني. بينما تعكس القدرة التشغيلية للمرحلة الأولى، التي تبلغ 22 ميغاواط، مرحلة زمنية تعبر عن التقدم التدريجي في تنفيذ المشروع , ويُعد توظيف الذكاء الاصطناعي في محطة كربلاء للطاقة الشمسية خطوة استراتيجية نحو تعزيز استدامة الطاقة وتحسين الكفاءة الاقتصادية ودعم القرار الجغرافي المكاني وتحقيق أمن الطاقة في المحافظة. **التوصيات** :توصلت الدراسة إلى وجود تحديات تتعلق بالظروف المناخية كالغبار وتغطية السحابية والتخطيط الفني ، وأوصت بضرورة توسيع المشاريع الشمسية، وتعزيز التخطيط الاستثماري، ودعمها بالتقنيات الحديثة والكوادر المتخصصة لضمان استدامة هذا القطاع.

الكلمات المفتاحية: الطاقة الشمسية، الإنتاجية النوعية، محطة كربلاء للطاقة الشمسية، الذكاء الاصطناعي.

المقدمة:

تعد الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقة الطبيعية المتجددة التي لا تنتهي، أي غير القابلة للنفاذ والتي توجد إلى جانب كل من طاقة الرياح والطاقة الكهرومائية، حيث تتمثل هذه الطاقة في إنبعاث الأشعة الضوئية والحرارية من أشعة الشمس،

تؤدي الطاقة دورا حيويًا لا غنى عنه في عالمنا المعاصر، فقد اتضحت أهميتها في عملية التنمية وارتباطها الوثيق بمختلف مجالات التنمية المستدامة وأبعادها. أيضا ثمة اتجاه عالمي نحو اللجوء إلى مصادر الطاقة المتجددة نظرا لكونها تتميز بديمومة وجودها وعدم نفادها، مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية والحرارية، لسد احتياجات الإنسان المتزايدة من الطاقة من ناحية، وخروجا من شبح نفاد موارد الطاقة الأحفورية غير المتجددة وعلى رأسها النفط والغاز من ناحية أخرى.

اولاً :- مشكلة البحث :-

تحدد مشكلة البحث بالأسئلة الآتية :-

1- ما هي صناعة الطاقة الشمسية؟ وما هي الامكانات الجغرافية التي تجعل من محافظة كربلاء المقدسة بيئة مناسبة لصناعة الطاقة الشمسية؟

2- مدى تأثير المعطيات المناخية في تحديد الإنتاجية النوعية للطاقة الشمسية؟

2- ما المشاكل التي تواجه استثمار صناعة الطاقة الشمسية؟

ثانيا :-الفرضية

1. تمتلك محافظة كربلاء المقدسة امكانات جغرافية - طبيعية مناخية تمكنها لاستثمار الطاقة الشمسية و بإمكانية عالية جداً .
2. تختلف الإنتاجية النوعية للطاقة الشمسية باختلاف التغيرات المناخية الموسمية اذ تزداد بزيادة ساعات السطوع الشمسي .
3. توجد العديد من المشاكل المناخية التي تؤثر سلبيا في صناعة الطاقة الشمسية.

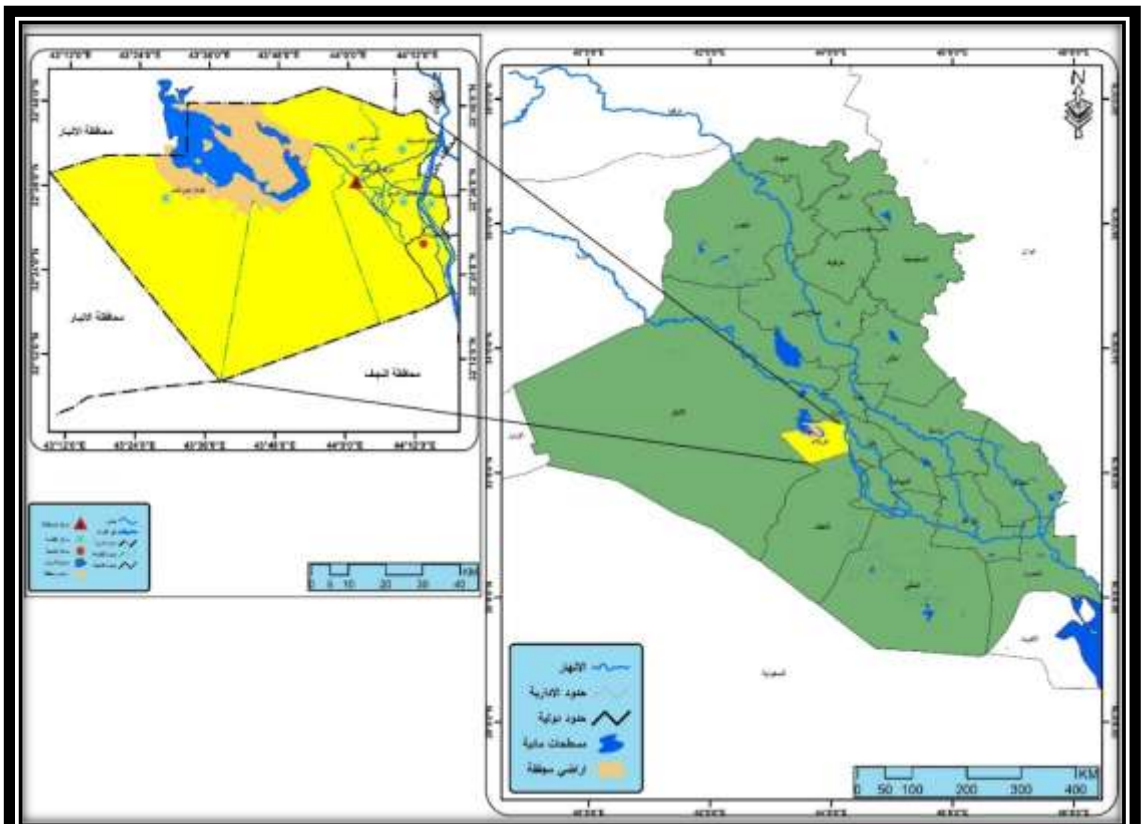
ثالثاً : - اهداف البحث

يهدف البحث الى دراسة المقومات الجغرافية لاستثمار الطاقة الشمسية في محافظة كربلاء المقدسة والعوامل المؤثرة فيها فضلاً عن الكشف عن واقع انتاج الطاقة الشمسية في محافظة كربلاء والصعوبات والمعوقات التي تقف عائق امام استثمارها.

رابعا :- حدود منطقة الدراسة : Limitations of the study

محافظة كربلاء تقع في الجزء الشمالي الغربي من إقليم الفرات الأوسط من العراق ينظر خريطة (1) على أطراف الحافة الشرقية من هضبة البادية الشمالية من الهضبة الغربية، غربي نهر الفرات، وبذلك تقع فلكياً على خط عرض (31,45˚-32,45˚) شمالا وخط طول (43,15˚-44,30˚) شرقا, يحدها من الشمال والغرب محافظة الانبار ومن الشرق محافظة بابل ومن الجنوب محافظة النجف الاشرف.

خريطة (1) موقع منطقة الدراسة من العراق



المصدر : جمهورية العراق , وزارة الموارد المائية ,الهيئة العامة للمساحة, خريطة محافظة كربلاء , مقياس 1:1000000 , لعام (2024)م .

المبحث الاول : الطاقة الشمسية مفهومها وجوانبها

اولا : مفهوم الطاقة الشمسية .

تعد الطاقة الشمسية هي احد انواع الطاقة المتجددة، والتي تعد من أهم الثروات الطبيعية التي تهدف الدول الى استثمارها بأقصى حد ممكن؛ لتلبية الاحتياجات المتزايدة من الطاقة . وتعد الشمس المصدر الرئيس للطاقة المتجددة على سطح الأرض، فطاقة المد والجزر، والتي هي نوع من انواع الطاقة الحركية، تعتمد على الشمس لأن سبب المد والجزر، هو جذب الشمس والقمر لمياه الارض، وكذلك مصادر الطاقة الأحفورية، تستمد طاقتها المخزونة من الشمس، وبذلك نجد ان الطاقة الشمسية تستحوذ على النصيب الأكبر من العناية من بين مصادر الطاقة المتجددة[1].

تعرف الطاقة الشمسية بأنها طاقة يتم الحصول عليها من ضوء الشمس والضوء من الشمس قد يستعمل لتوليد الطاقة الكهربائية وتزويد النباتات بالتدفئة والتبريد لتسخين الماء، وقد أستعملت الطاقة الشمسية لآلاف السنين وبطرق أخرى أيضا، معظم الحياة على الأرض لا يمكن أن توجد بدون شمس، وبطريقة مباشرة أو غير مباشرة فإن الشمس مسؤولة تقريبا عن كل مصادر الطاقة الموجودة على الأرض، فجميع الفحم والنفط والغاز الطبيعي قد أنتجت بسبب تحلل النباتات قبل

1 سمير سعدون مصطفى وآخرون، الطاقة البديلة، دار البازوري العلمية للنشر والتوزيع الأردن، 2011.ص56.

ملايين السنين وبعبارة أخرى فإن الوقود الأحفوري الأساسي المستعمل اليوم هو في الواقع يخزن الطاقة الشمسية.([2])

وتعتبر الطاقة الشمسية هي جزء من الأشعة الشمسية التي تصل إلى سطح الأرض بعد تصنيفها من خلال الغلاف الجوي للأرض، في شكل من أشكال الطاقة الحرارية والضوئية، وفي مجال الطاقة المقصود من هذا المصطلح طاقة شمسية) وبشكل وثيق تلك الطاقة التي يتم إستغلالها من قبل الإنسان للإضاءة (كالنوافذ)، والتدفئة الطاقة الشمسية الحرارية، وسخانات المياه بالطاقة الشمسية والأفران الشمسية)، أو لتوليد الكهرباء ألواح الخلايا الشمسية الفوتوفولطية، ومحطات الطاقة الشمسية الحرارية) .([3]).

ومن خلال الطاقة الشمسية من ضوء وحرارة قام الانسان بتسخيرها لمصلحته باستعمال مجموعه من وسائل التكنولوجيا والتي تتطور باستمرار، وتبلغ حجم الطاقة الشمسية التي يستقبلها كوكب الأرض ما يقارب (174) ميكا واط من الاشعاع الشمسي وينعكس ما يقارب (30%) ، منه إلى الفضاء فيما يمتص الجبال والمحيطات والكتل الأرضية النسبة المتبقية منها . ([4])

ثانيا : الجوانب الإيجابية والسلبية لاستخدام الطاقة الشمسية:

إن الطاقة الشمسية كغيرها من مصادر الطاقة لها جوانب إيجابية وسلبية.

الجوانب الإيجابية:- ([5])

1. الطاقة الشمسية طاقة هائلة من حيث مخزونها وكميتها، من حيث مخزونها: إن الشمس منبع لا ينتهي من الطاقة ومن حيث كميتها: إن ما يصل إلى الأرض من الأشعة الشمسية يعادل عدة أضعاف احتياج البشرية من الطاقة.
2. الطاقة الشمسية مجانية، لذلك يعتمد استخدامها على الكلفة التأسيسية فقط.
3. تتوزع الطاقة الشمسية على سطح الكرة الأرضية، وتصل إلى الجميع فلا حاجة لنقلها وتوزيعها.
4. تعد الطاقة الشمسية عملية من ناحية استخدامها، فهي قابلة للتحول إلى أنواع أخرى من الطاقة كالطاقة الحرارية والميكانيكية والكهربائية.
5. تعد هذه الطاقة لامثيل لها في بعض الاستخدامات الخاصة فيما يتعلق بحياة الإنسان والنبات مثل المشاريع الضخمة التي تعتمد على تبخير كميات هائلة من المياه وعمليات التركيب الضوئي وغيرها).
6. تعد هذه الطاقة مصدرا نظيفا للطاقة من حيث تأثيرها على البيئة وغير خطرة الاستعمال.
7. على الرغم من الفرق في توزع الطاقة الشمسية بين خط الاستواء والقطبين إلا أن توزعها حسب خطوط العرض منتظم تقريبا ، ويعتمد على المنطقة الجغرافية مما يسهل عملية دراستها واستخدامها وتبادل المعلومات والدراسات حولها.

الجوانب السلبية:([6])

---

2 حبيب عيسى الناصر وحنان مبارك البوفلاسة، مصادر الطاقة النظيفة أداة ضرورية الحماية المحيط الحيوي العربي، المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم، بدون سنة نشر ص22.

3.European Photovoltaic industry association CEPIAL, "Solar Generation 6: Solar Photovoltaic electricity empowering the World", 2011, p.p. 14-15.

4. نصري ذياب خاطر، جغرافية الطاقة، الطبعة الأولى، الجنادرية للنشر والتوزيع، 2011، ص 22.

5. شريف عمر، الطاقة الشمسية وآثارها الاقتصادية في الجزائر، مجلة العلوم الإنسانية، العدد السادس، جامعة محمد خيضر بسكرة، الجزائر .٢٠٠٤، ص12.

6.Garg, Hp, Advances in solare energy technology, Volume3, Reidel publishing Boston, RA, 1987.

1. عدم استمرارية الطاقة الشمسية خلال اليوم، حيث تتوفر فقط لساعات معينة في اليوم مما يسبب مشاكل عملية في استخدامها .
2. جهل المستهلك بأهمية هذه الطاقة، مما يتطلب وضع خطة تفهيم وتوجيه بما يتناسب مع التحولات الاجتماعية التي ترافق استخدام هذه الطاقة.
3. إن نظام الطاقة الذي عاشه الإنسان خلال التطور الصناعي نتج عنه نظام حياتي معين، ونظام الطاقة الشمسية الجديد قد يتطلب تغيرا نوعيا في بعض أسس هذا النظام.
4. تحتاج المساحات كبيرة لإنتاج قدر محدد من الكهرباء.
5. تحتاج إلى أماكن خالية من الظل أو من أي أجسام قد تحجب أشعة الشمس.
6. نقص المعلومات التقنية والفنية كونها حديثة.
7. الكلفة الأولية مازالت مرتفعة مقارنة مع غيرها من مصادر الطاقة

المبحث الثاني : المقومات الجغرافية لصناعة الطاقة الشمسية في محافظة كربلاء المقدسة

يهدف هذا البحث إلى دراسة وتحليل العوامل الجغرافية المؤثرة في استثمار الطاقة الشمسية في محافظة كربلاء المقدسة. كما يسعى إلى توضيح تأثير هذه العوامل، مثل الموقع الجغرافي والمناخ، الذي يؤثر على زوايا سقوط الإشعاع الشمسي، وعدد ساعات النهار النظرية، بالإضافة إلى المعدلات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى، والمعدلات الشهرية للأمطار، والرطوبة، والظواهر الغبارية المتعلقة بكميات الغبار العالق. علاوة على ذلك، يتناول البحث العوامل الأرضية المتمثلة في خصائص السطح ونوع الغطاء الأرضي.

اولا : الموقع والمساحة: (Location and area)

يعتبر الموقع الفلكي عنصراً حيوياً ومؤثراً في إبراز سمات المناخ السائد. وتتمتع محافظة كربلاء المقدسة بموقع جغرافي فريد يتيح لها فرصاً كبيرة لاستغلال الطاقة المتجددة، بالإضافة إلى إمكانيات واسعة لتطوير الصناعة. فهي تقع في قلب العراق، على الحافة الشرقية للهضبة الصحراوية، بالقرب من نهر الفرات , وبذلك تقع فلكياً على خط عرض (31,45˚-32,45˚) شمالا وخط طول (43,15˚-44,30˚) شرقا, يحدها من الشمال الغرب محافظة الانبار بمسافة (112)كم , ومن الشرق محافظة بابل بمسافة (45)كم, ومن الجنوب والجنوب الغربي محافظة النجف الاشرف بمسافة (74)كم ([7]).لذلك يساهم الموقع الجغرافي مع امكانات التوطن الأخرى بشكل كبير في قيام اي نوع من الانشطة صناعية في الاقليم الذي تتوفر فيه هذه الامكانات. ويهتم بدراسة المكان بدلالة المواقع المجاورة[8] فضلاً عما تتمتع به اغلب اجزاء المحافظة من انبساط في اراضيها مما يتيح فرصة استثمار العديد من المواقع لنصب الخلايا الشمسية و بمساحات شاسعة لاسيما تمتاز منطقة الدراسة بوجود مناطق صحراوية غير مأهولة بالسكان .

و تلعب المساحة دورا مهما وكبيرا في جذب المستقرات البشرية وفي امتداد طرق النقل البري و أساسًا مهمًا لاستثمار صناعة الطاقة الشمسية. اذ تبلغ مساحة محافظة كربلاء المقدسة المقدسة(5034) كم ^{2} ([9]) من أجمالي من مساحة العراق البالغة (437072) كم^2 لعام (2024) ,ينظر خريطة (2).

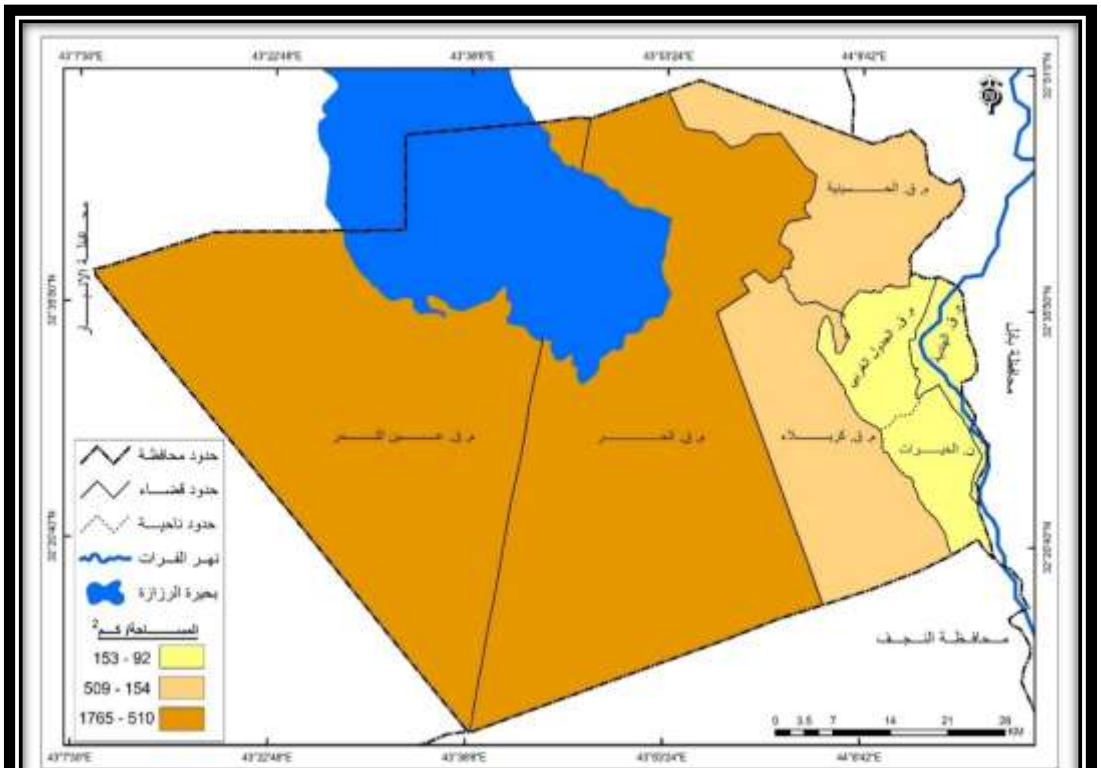
7. وزارة البلديات والاشغال العامة , الهيئة العامة للتخطيط العمراني , المركز العالمي للأبحاث العلمية , المخطط الهيكلي لمحافظة كربلاء المقدسة (المرحلة الرابعة) , بيانات (غ.م) لعام2012.

8. Michal Levasseur and Others , Word Geography , prentice Hall, U.S.A. 1998 ,p 35

.

9. مديرية التخطيط العمراني محافظة كربلاء المقدسة وبيانات(غ.م) لعام (2024)م.

خريطة (2) الوحدات الادارية والمساحة لمحافظة كربلاء المقدسة



المصدر :1- جمهورية العراق , وزارة الموارد المائية ,الهيئة العامة للمساحة, خريطة محافظة كربلاء , مقياس 1:1000000 , لعام (2024)م .

ثانياً : المناخ وعناصره (Climate and elements) :

تُعتبر الخصائص المناخية من العوامل المؤثرة بشكل ملحوظ، سواء بصورة مباشرة أو غير مباشرة، على الطاقة الشمسية في محافظة كربلاء المقدسة. ويشمل ذلك عناصر مثل درجات الحرارة، ودرجة السطوع الشمسي، واتجاه الرياح، بالإضافة إلى معدلات الأمطار والرطوبة النسبية، فضلاً عن الظواهر الغبارية.

لإبراز أهمية عناصر المناخ وتأثيرها على إمكانية استثمار الطاقة الشمسية، يتطلب الأمر دراسة هذه العناصر بتفصيل أكبر كما يلي:

أ. الاشعاع الشمسي (Solar radiation):

الإشعاع الشمسي الوارد إلى سطح الأرض ذو اهمية كبيرة؛ فهو من أهم مصادر الطاقة المتجددة التي تتجه اليها انظار العالم حالياً، ولذا فإن استعمال الطاقة الشمسية مباشرة ربما يصبح في المستقبل مصدر الطاقة المتجددة الرئيس للكائن البشري([10]). وتعتمد معدلات كمية الاشعاع الشمسي الواصلة لسطح الارض على ساعات الاشعاع والزاوية التي تسقط بها الاشعة وكذلك طول الليل والنهار وتضاريس سطح الارض , وتتباين زوايا الاشعاع الشمسي تبعا للموقع الجغرافي وتباينه بحسب دوائر العرض .

10.علي حسين موسى اساسيات علم المناخ، ط١ ، دار الفكر المعاصر، بيروت - لبنان، ١٩٩٤،ص68.

ونتيجة لموقع المحافظة بالنسبة لدوائر العرض تستقبل كميات كبيرة من الاشعاع الشمسي الذي يعد المصدر الرئيس للطاقة في الغلاف الجوي . تؤثر شدة و كمية الاشعاع الشمسي على التوزيع العام لدرجات الحرارة فوق سطح الارض عند دوائر العرض المختلفة ,و يتميز الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى منطقة الدراسة بارتفاع شدته خلال فصل الصيف جدول (1)، يتواجد موقع الشمس شمال خط الاستواء، وتتحرك بشكل ظاهري نحو مدار السرطان، مما يؤدي إلى أن تكون زاوية سقوط أشعة الشمس على منطقة الدراسة عمودية، حيث تصل مدة الإشعاع إلى حوالي 14 ساعة.[11] .

جدول (1) البيانات الشهرية لمعدل ساعات السطوع الفعلية لمحطة كربلاء للمدة (1987-2024)

ت	الشهر	معدل ساعات السطوع الشمسي الفعلي (ساعة/يوم)
1	كانون 2	6,2
2	شباط	7
3	أذار	7,7
4	نيسان	8,6
5	أيار	8,7
6	حزيران	10,9
7	تموز	13,5
8	أب	11
9	أيلول	10,3
10	تشرين1	8,5
11	تشرين2	7,4
12	كانون1	6,5
	المعدل السنوي	8,86

المصدر : الهيئة العامة للانواء الجوية و الرصد الزلزالي, قسم المناخ , المعدلات المناخية الشهرية في محطة كربلاء المناخية بيانات (غ.م)للمدة(1987-2024) .

يتضح من جدول (1) ان معدل ساعات السطوع الفعلية تختلف من فصل إلى آخر, إذ بلغ معدل ساعات السطوع الفعلية في الصيف والتي بلغت اقصاها في شهر تموز (13.5) ساعه يوم, أما في فصل الشتاء فأن معدل ساعات السطوع الفعلية قد وصل أدناها في شهر كانون الثاني (6.2)ساعه / يوم. أما المعدل السنوي نحو (8.86 ساعة/يوم)، وهو ما يشير إلى تمتع المنطقة بإشعاع شمسي مرتفع. وقد أظهرت البيانات تبايناً موسمياً واضحاً، إذ تسجل أشهر الصيف أعلى قيم للسطوع الشمسي، مما يعزز من ملاءمة الموقع لإقامة مشاريع الطاقة الشمسية، ويجعل من هذا المتغير أحد أهم المؤشرات المكانية في نماذج تقييم الملاءمة الجغرافية للطاقة المتجددة.

ب. درجات الحرارة (Temperature):

تُعتبر الحرارة أحد أشكال الطاقة الأساسية، وهي عنصر حيوي في النظام المناخي، حيث تؤثر بشكل مباشر على الأنشطة الإنسانية. كما تلعب دوراً مهماً في التأثير على العناصر الأخرى للنظام البيئي. بالإضافة إلى ذلك، تؤثر درجات الحرارة على معظم العناصر المناخية والظواهر الجوية، مثل الضغط الجوي، والرياح، والتبخر، والرطوبة النسبية. ويتبين من الجدول (2) ان

11. محمد أحمد السيد خليل الطاقة الشمسية واستخدامها، الطبعة الأولى، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، القاهرة ٢٠٠٩، ص ٩١.

المعدل السنوي لدرجة الحرارة الصغرى قد بلغ (17.9مْ) والمعدل السنوي لدرجة الحرارة العظمى قد بلغ (31.6مْ) ان معدلات درجات الحرارة تأخذ بالارتفاع التدريجي ابتداء من شهر ايار اذ بلغ معدله الشهري (37.6مْ) , وسجلت أعلى معدلات لدرجات الحرارة في شهري تموز وآب اذ بلغ (44.8مْ و44.6مْ) لكل منهما على التوالي, ان تباين درجات الحرارة في منطقة الدراسة خلال فصول العام.

جدول (2) البيانات الشهرية لدرجة الحرارة الصغرى والعظمى لمحطة كربلاء المناخية لمدة (1987-2024)

ت	الشهر	معدلات الحرارة الصغرى مْ	معدلات الحرارة العظمى مْ
1	كانون 2	5.8	17.2
2	شباط	7.5	19.6
3	أذار	11.3	24.9
4	نيسان	18.4	32.6
5	أيار*	23.3	37.6
6	حزيران	27.4	41.9
7	تموز	29.9	44.8
8	أب	28.5	44.6
9	أيلول	24.9	40.5
10	تشرين1	18.7	33.3
11	تشرين2	11.6	23.8
12	كانون1	6.9	18.5
	المعدل السنوي	*17.9	31.6

المصدر: الهيئة العامة للانواء الجوية والرصد الزلزالي, قسم المناخ , بيانات (غ.م), للمدة 1987-2024.

ويمكن الإشارة إلى أن أحد المفاهيم الخاطئة الشائعة المتعلقة بتأثير الطقس على الألواح الشمسية هو الاعتقاد بأن ارتفاع درجات الحرارة يمكن أن يعزز كفاءة هذه الألواح. وعلى الرغم من أن هذا الاعتقاد يبدو غير منطقي، إلا أن الألواح الشمسية تحقق إنتاجية أعلى في ظل درجات حرارة منخفضة. حيث تؤدي درجات الحرارة المرتفعة إلى تقليل إنتاج الطاقة للخلايا الكهروضوئية نتيجة لانخفاض الجهد الكهربائي. وبالتالي، فإن الأيام المشمسة التي تتميز بانخفاض درجات الحرارة تعتبر أكثر ملاءمة لتحقيق الأداء الأمثل للألواح الشمسية.

ت. الأمطار (Rainfall) :

تتميز أمطار منطقة الدراسة بموسمية سقوطها, وتذبذب كمياتها اذ ينحصر سقوط المطر في فصل الخريف والشتاء والربيع وينعدم في فصل الصيف , كما انها تمتاز بعدم الانتظام قد تسقط لساعة من الزمن وقد تستمر لعدة أيام وعلى هياة امطار رعدية نتيجة لمرور منخفضات جويه قادمه من حوض البحر المتوسط ([12]) جدول (3) . ويتركز المطر في شهر كانون الثاني, اذ سجلت محطة كربلاء المناخية اعلى معدل لسقوط الأمطار في شهر كانون الثاني والذي بلغ (20.7)لم .

12. سالار علي خضر الدزيي , التحليل العملي لمناخ العراق , ط1 , دار الفراهيدي للنشر والتوزيع , بغداد , 2010 , ص13.

جدول (3) مجموع التساقط الشهري /ملم والرطوبة النسبية% لمحطة كربلاء المناخية لمدة (1987-2024)

ت	الشهر	مجموع التساقط الشهري /ملم	معدلات الرطوبة النسبية%
1	كانون 2	20.7	67
2	شباط	15.1	58
3	أذار	18	46
4	نيسان	11.2	39
5	أيار	5.3	32
6	حزيران	0	26
7	تموز	0	22
8	أب	0	25
9	أيلول	0	31
10	تشرين1	2.7	42
11	تشرين2	19.6	58
12	كانون1	16.1	63
	المعدل السنوي	108.7	42.5

المصدر: الهيئة العامة للانواء الجوية والرصد الزلزالي, قسم المناخ , بيانات (غ.م), للمدة 1987-2024.

ث. **الرطوبة النسبية (Humidity Relativity):**

وتختلف درجات الرطوبة النسبية خلال اليوم , حيث تبلغ الحد الأعلى لها في الليل أو عند الصباح قبل شروق الشمس بينما تتناقص تدريجيا حتى تصل إلى الحد الادنى لها وقت الظهر([13]). ويتضح من جدول (3) إن الرطوبة النسبية تتناقص في المحافظة بدأ من شهر تموز حتى شهر آب إذ لا تتجاوز نسبتها (22 %) بعد ذلك تبدأ بالازدياد التدريجي حتى تصل إلى أقصاها في شهر كانون الثاني إذ تبلغ (67 %) , في حين تنخفض كمية الرطوبة النسبية في اشهر الصيف الحار والطويل , إذ تبلغ ادنى مقدار لها في اشهر تموز وآب وحزيران (22 % ,25 % ,26 %) على التوالي .

يمكن للرطوبة أن تؤثر على كفاءة الألواح الشمسية بعدة طرق نذكر منها ([14]):

1. تتجمع قطرات الماء على الألواح الشمسية وتعكس أو تكسر ضوء الشمس بعيدًا عن الخلايا الشمسية وهذا يقلل من كمية ضوء الشمس التي تصل إليها مما يقلل من كمية الكهرباء المولدة من الألواح.
2. التعرض للرطوبة لفترات طويلة يؤدي إلى تآكل الأجزاء المعدنية في الألواح وحدوث تيارات تسريبية.
3. الرطوبة قد تزيد من المقاومة الكهربائية داخل اللوح مما يعيق تدفق التيار الكهربائي.
4. عندما تتعرض الألواح الشمسية للرطوبة، قد تبدأ المواد اللاصقة التي تثبت الخلايا الشمسية في الانحلال والتلف، مما يؤدي إلى اصفرارها وضعف تثبيتها الأمر الذي يؤثر بشكل كبير على أداء الألواح ويسبب انخفاضاً في إنتاجيتها.

13. عبد الله رزوقي كربل ,الطقس والمناخ ,بدون طبعة ,مطبعة البصرة ,1978,ص106 .

14. Hasan et al. (2022) – Impact of Cloud, Rain, Humidity, and Wind Velocity on PV Panel Performance DOI: 10.31185/ejuow.Vol10.Iss2.237

ويظهر تأثير عامل الرطوبة على خلايا الطاقة الشمسية بأنها تتطلب درجات حرارة واشعاعاً شمسياً أكبر ، بينما عند انخفاض درجات الحرارة مع ارتفاع الرطوبة النسبية خصوصاً خلال فصل الشتاء يؤثر سلباً على خلايا الطاقة الشمسية فإن ازدياد الرطوبة يؤدي إلى انخفاض الجهد الناتج عن الألواح الشمسية.

ج. العواصف الغبارية :

تُعرَّف العواصف الغبارية بأنها ظواهر طبيعية تحدث عندما تتجاوز سرعة الرياح 5 م/ثا (18 كم/ساعة)، حيث تتراوح أبعاد دقائق الغبار فيها بين 100 و200 ميكرون. وعادةً ما يرافق هبوب هذه العواصف تدهور في مدى الرؤية إلى أقل من 1 كم، وقد ترتفع هذه الدقائق إلى أكثر من 1 كم خلال العواصف. وغالبًا ما يتشكل الغبار المتصاعد في فترة الظهيرة. يمكن تصنيف الظواهر الغبارية إلى نوعين: الأول هو العواصف التي تتضمن غبارًا متصاعدًا، والثاني هو العواصف التي تحتوي على غبار عالق. يلعب الغبار العالق دورًا مهمًا في تشتيت الأشعة الشمسية من خلال حجبها، مما يؤدي إلى تقليل كميات الإشعاع الشمسي التي تصل إلى سطح الأرض.

جدول (4) معدل الغبار العالق لمحطة كربلاء للمدة (1987-2024)

ت	الشهر	الغبار العالق / يوم
1	كانون 2	5.4
2	شباط	7.37
3	أذار	11.1
4	نيسان	12.73
5	أيار	14.81
6	حزيران	14.4
7	تموز	10.6
8	أب	6.8
9	أيلول	6.8
10	تشرين1	9.4
11	تشرين2	4.19
12	كانون1	4.56
	المعدل السنوي	108.16

المصدر : الهيئة العامة للانواء الجوية و الرصد الزلزالي, قسم المناخ , المعدلات المناخية الشهرية في محطة كربلاء المناخية بيانات (غ.م)للمدة(1987-2024) .

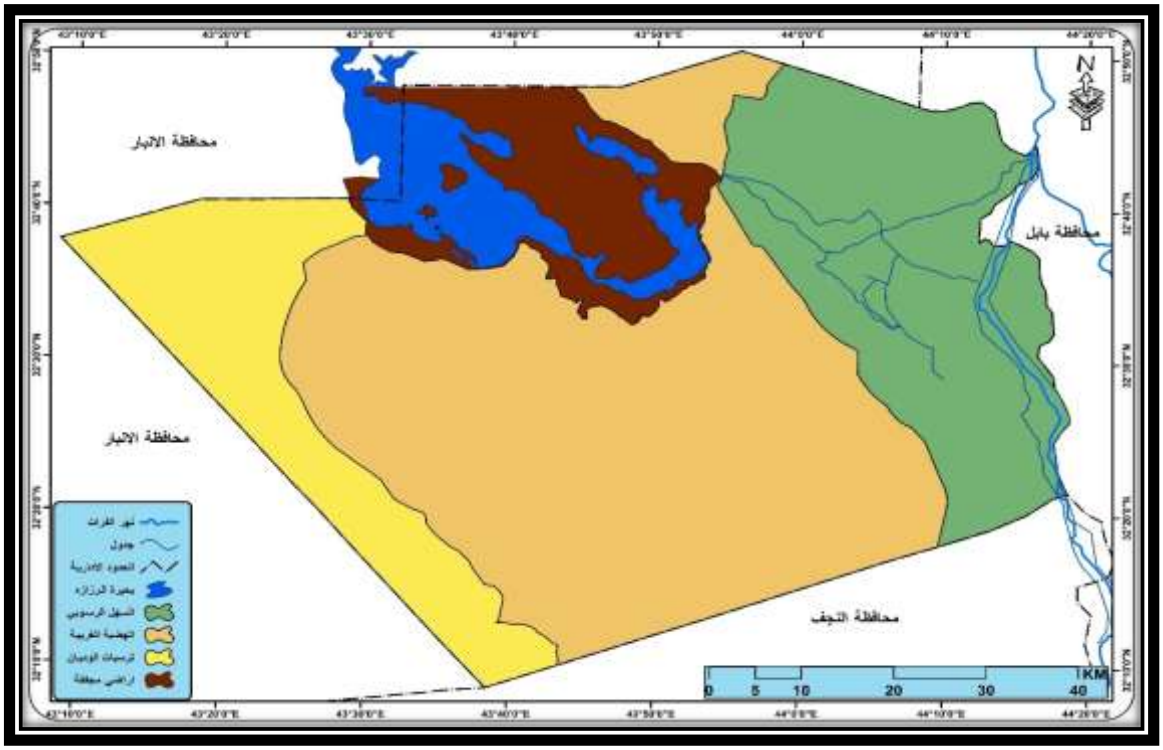
يتضح من الجدول (4) ان معدلات الغبار العالقة في محطة كربلاء سجلت حوالي (10.6) في شهر تموز، ويرجع السبب في ذلك هو نتيجة لعدم سقوط الأمطار وارتفاع درجات الحرارة، ولذلك نجد أن معدلات العواصف الترابية اقل نسبيا في أشهر الشتاء يسبب انخفاض درجة الحرارة، وسقوط الأمطار.

لذا فان وجود الغبار العالق في الهواء من ابرز العوامل المناخية التي يُعزى لها تدهور كفاءة الألواح الشمسية . يُشكل هذا التراكم عائقًا أمام وصول الإشعاع الشمسي إلى سطح الألواح، مما يؤدي إلى انخفاض معدلات إنتاج الكهرباء. علاوة على ذلك، فإن تراكم جزيئات الغبار في الغلاف الجوي يُعيق وصول الإشعاع الشمسي بشكل كافٍ إلى الألواح. بالإضافة إلى ذلك، قد يُسهم تراكم الغبار في تكوين البقع الساخنة (Hotspot)، والتي إذا لم يتم التعامل معها بشكل مناسب، قد تؤدي إلى تلف الخلايا الشمسية وقد تسبب أيضًا تلفًا كاملًا للوحة، وفي بعض الحالات، قد تؤدي إلى نشوب حرائق.

ثانيا : خصائص السطح (Topographical Features) :

تُعتبر ملامح السطح من العوامل الجغرافية الهامة التي تؤثر في كمية الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى منطقة البحث. إذ تختلف كمية الإشعاع الشمسي المستقبَل من الأسطح المتنوعة بحسب درجة انحدارها. وتعتمد قوة الإشعاع الذي يصل إلى سطح الأرض في موقع معين وفي زمن محدد على اتجاه السطح وزاوية ميلانه.. ومن الجدير بالذكر أن السطح المتعامد مع أشعة الشمس سيستقبل أكبر كمية من الإشعاع الشمسي. ومع ذلك، فإن عملية تتبع حركة الشمس غالباً ما تكون مكلفة وغير عملية في العديد من الحالات .([15])

تتصف منطقة الدراسة بامتدادها في منطقتين الأولى منطقة السهل الرسوبي والذي يمتاز



بارض سهلية منبسطة قليلة الانحدار والثانية الهضبة الغربية , ويمتد السهل مع امتداد الحدود الادارية للمحافظة مع محافظة بابل , فضلا عن نطاق ضيق يشكل الحدود بينها وبين محافظة النجف في جنوب شرق المحافظة كربلاء المقدسة , والسهل عبارة عن شريط ضيق بمحاذات شط الهندية يتسع شمالا من ناحية الحسينية ويضيق جنوب المحافظة باتجاه محافظة النجف ,ومن الصعوبة التمييز بين السهل والهضبة عند التقائهما يفعل استواء سطح الهضبة عند هذه المناطق وتجانس ظروف المناخ وأشكال النبات الطبيعي. ينظر خريطة (3).**خريطة (3) خصائص السطح في محافظة كربلاء المقدسة**

ثالثا: الغطاء الأرضي: تختلف كمية الإشعاع الشمسي المستلمة من قبل السطوح المتنوعة تبعًا لنوعية تلك السطوح وخصائصها الطبيعية، والتي تتحدد بالعوامل التالية : ([16])

1. **زاوية سقوط أشعة الشمس**، حيث كلما زاد ميل الأشعة، زاد معامل الانعكاس، والعكس صحيح.

15. علي ناجي حمودي ، دراسة وتنفيذ وتحسين أداء محطة ضخ مياه تعمل بالطاقة الشمسية رسالة ماجستير كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية ، جامعة تشرين ، 2008 ،ص13.
16. قصي عبد المجيد السامرائي ، المناخ والاقاليم المناخية، الطبعة العربية، دار اليازوري للطباعة، عمان، 2008،ص59.

2. **درجة خشونة السطح**، إذ إن معامل الانعكاس للسطوح الملساء والمصقولة يكون أكبر مقارنة بالسطوح الخشنة. وبالتالي، فإن معامل انعكاس الأشعة من المناطق السهلية يتجاوز معامل انعكاسها من الهضاب والجبال الوعرة.
3. **لون السطح :** تتميز الأسطح ذات الألوان الفاتحة بقدرتها على عكس كمية أكبر من الإشعاع مقارنة بتلك ذات الألوان الداكنة، التي تميل إلى امتصاص المزيد من الإشعاع. يتراوح معامل الانعكاس للترب الرملية بين 15% و25%، بينما يبلغ معامل الانعكاس للحقول الخضراء حوالي 15%، في حين يتراوح معامل الانعكاس للطرق المعبدة بين 5% و10%.درجة رطوبة السطح : يزداد الانعكاس مع قلة رطوبة السطح ويقل مع زيادة تلك الرطوبة فعاكسيه الترب الرطبة اقل من الترب الجافة ([17]).
4. **نوعية وكثافة الغطاء النباتي:** تُظهر الحقول الخضراء التي تتميز بأوراق غنية بالرطوبة معامل انعكاس أقل مقارنة بالحقول الناضجة التي تحتوي على أوراق جافة وقليلة الرطوبة. كما يتناقص معامل الانعكاس مع زيادة كثافة النباتات ويزداد مع انخفاضها. بالإضافة إلى ذلك، يُعتبر الغطاء النباتي عاملًا سلبيًا على كفاءة الخلايا الشمسية، حيث إنه يحجب جزءًا من أشعة الشمس. لذا، من الضروري تجنب تركيب الخلايا الشمسية في المناطق التي تغطيها النباتات، نظرًا لأن الطاقة المنتجة في هذه الخلايا لا تصل إلى كفاءة الخلايا المعرضة مباشرة لأشعة الشمس.
5. **طبيعة استخدام الأرض** : فمعامل الانعكاس من اسطح البيوت المدهونة بالقار يختلف عن معامل انعكاس الطرق المعبدة والملاعب الرياضية وغيرها.

تقدير الإنتاجية السنوية للنظام الكهروضوئي في محافظة كربلاء على ضوء البيانات المناخية:

يُعد حساب الإنتاجية السنوية للنظام الكهروضوئي من العناصر الأساسية التي تُستخدم لتقييم مدى جدوى مشاريع الطاقة الشمسية. يتم احتساب معامل الأداء (Performance Ratio – PR) وفقاً للمعيار الدولي IEC 61724-1 ([18]). حيث يُحسب كنسبة بين الإنتاج الفعلي للنظام والإنتاج النظري الذي يُفترض تحقيقه تحت ظروف الاختبار القياسية (STC). يُعتبر هذا المعامل مؤشراً مستقلاً عن الموقع، مما يُتيح إمكانية المقارنة بين الأنظمة المختلفة.

يُعرف العائد السنوي النوعي بوحدة (kWh/kWp/year) بأنه نتيجة قسمة الإنتاج السنوي النظري على القدرة الاسمية للنظام، ويعكس كفاءة استغلال الإشعاع الشمسي دون اعتبار الخسائر التشغيلية. ([19]) حيث تمثل:

- **kWh**: كيلوواط ساعة، وهي وحدة قياس كمية الطاقة الكهربائية المنتجة أو المستهلكة.
- **kWp**: كيلوواط - ذروة، وهي القدرة المثالية للنظام الكهروضوئي تحت أفضل الظروف (أقصى قدرة يمكن أن تنتجها الألواح الشمسية عند إشعاع قياسي يبلغ 1000 واطم ودرجة حرارة 25 مئوية).
- **year**: سنة، وهي الفترة الزمنية التي يتم قياس الإنتاج خلالها.

يتراوح معامل الأداء الفعلي للأنظمة الجيدة بين 75-85%، حيث يعكس هذا النطاق العوامل المؤثرة مثل الحرارة والغبار والظل والكابلات والمحولات، استنادًا إلى المعدلات الشهرية للإشعاع الشمسي المسجلة في محطة كربلاء لعام 2024. وقد تم حساب إنتاجية نظام كهروضوئي افتراضي بقدرة اسمية تبلغ 1 ميغاواط.

17.نعمان شحاذة , علم المناخ ,ط2,مطبعة النور النموذجية ,عمان, 1983, ص74 .

18. International Electrotechnical Commission. (2017). IEC 61724-1: Photovoltaic system performance monitoring — Guidelines for measurement, data exchange and analysis. IEC.

19 .PV Knowhow. (n.d.). Saudi Arabia solar report. Retrieved from https://www.pvknowhow.com/solar-report/saudi-arabia/

تم تحويل المتوسط المكاني للإشعاع (W/m) إلى طاقة يومية (kWh/m/day)، ثم حساب الإشعاع السنوي (GHI) بضرب القيم الشهرية بعدد أيام كل شهر. أظهرت النتائج أن المعدل السنوي للإشعاع الشمسي على السطح الأفقي بلغ (3233.0 kWh/m²/year) وبناء على معامل الأداء بلغت الإنتاجية النوعية للنظام في محافظة كربلاء كما يلي:

- حساب المعدل السنوي لساعات السطوع الشمسي
المعدل السنوي = مجموع القيم ÷ 12 = 8.86 ساعة /يوم.
- تقدير الإشعاع الشمسي السنوي (GHI)
GHIاليومي = 8.86 kWh/m²/day
GHIالسنوي = 3233.0 kWh/m²/year
- حساب الإنتاجية النوعية (Specific Yield) وفق معادلة.([20])
Specific Yield = GHI × PR
PR = 0.75 → 2425.0 kWh/kWp/year (≈ 2.42 MWh/سنة لنظام 1 ميغاواط)
PR = 0.8 → 2587.0 kWh/kWp/year (≈ 2.59 MWh/سنة لنظام 1 ميغاواط)
PR = 0.85 → 2748.0 kWh/kWp/year (≈ 2.75 MWh/سنة لنظام 1 ميغاواط)

تُظهر هذه القيم ارتفاعًا ملحوظًا مقارنةً بالحد الأدنى المطلوب لتشغيل الأنظمة الكهروضوئية بكفاءة، والذي يُقدّر بحوالي 1000 (Wh/kWp/year)، مما يعزز من جدوى الاستثمار في الطاقة الشمسية في محافظة كربلاء.

بالإضافة إلى ذلك، فإن ميل الألواح بزاوية قريبة من دائرة العرض (بين 25 و30 درجة) يمكن أن يزيد من الإنتاجية السنوية بنسبة تتراوح بين(5 و10%). وبالتالي، تُبرز النتائج الإمكانيات الكبيرة لتوليد الطاقة الكهربائية من الشمس بشكل اقتصادي ومستدام. ومع ذلك، يجب إدخال برامج صيانة وتنظيف الألواح وتقنيات التهوية للحد من خسائر الغبار والحرارة، مما يضمن تحسين معامل الأداء الفعلي للنظام.

المبحث الثالث : محطة كربلاء للطاقة الشمسية (الواقع الحالي وافاق التطور المستقبلي) :

اولا : محطة كربلاء للطاقة الشمسية :

شهدت محافظة كربلاء افتتاح المرحلة الأولى من أول محطة لتوليد الطاقة الشمسية في العراق، بقدرة إنتاجية بلغت 22 ميغاواط من إجمالي قدرة مخططة تصل إلى 300 ميغاواط، وذلك في 21 سبتمبر/أيلول 2025 . ويُعد هذا المشروع خطوة مفصلية في مسار تطوير قطاع الطاقة الكهربائية في البلاد، لما يمثله من دعم مباشر للشبكة الوطنية وتعزيز التوجه نحو مصادر الطاقة المتجددة.([21])

تقع المحطة في قضاء الحر على مساحة تقدر بحوالي 4000 دونم في محافظة كربلاء خريطة (4) صورة (1) تعود فكرة إنشاء محطة كربلاء للطاقة الشمسية إلى عام 2021، ومع مطلع عام 2023، انطلقت الأعمال الإنشائية للمحطة، حيث واجه تنفيذ المشروع جملة من التحديات المرتبطة بالبنية التحتية ونقل المعدات والتقنيات المستوردة. غير أن مستوى التنسيق والتكامل بين الجهات الحكومية المعنية والشركة المنفذة أسهم في تجاوز هذه التحديات وتحقيق تقدم ملحوظ في مراحل التنفيذ ضمن إطار زمني متسارع .([22])

تعتبر المحطة الأكبر من نوعها على مستوى العراق. تم تنفيذ المشروع من خلال استثمار شركة مجموعة البلال، تحت إشراف مباشر من وزارة الكهرباء، وذلك في إطار وطني يهدف

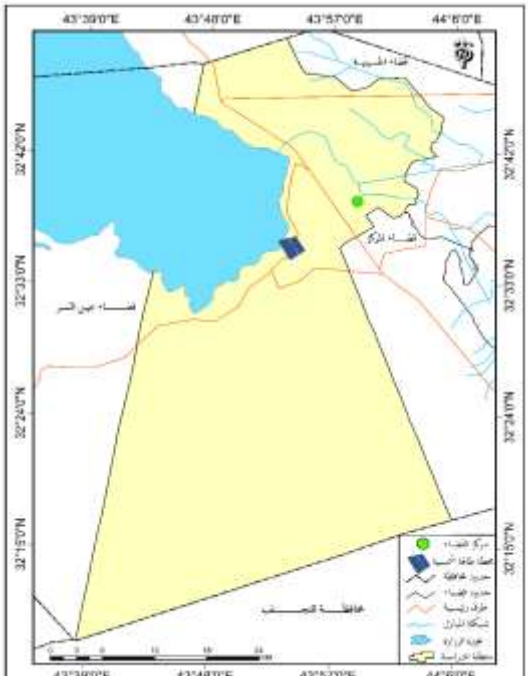
20. International Energy Agency. (2014). Technology roadmap: Solar photovoltaic energy. Paris: IEA.: https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-solar-photovoltaic-energy-2014?

21. مقابلة شخصية مع المهندس صفاء حسين المدير التنفيذي للمحطة بتاريخ 2025/11/16 .

22. مقابلة شخصية مع يوسف عدنان مدير الموقع بتاريخ2025/11/16 .

إلى تنويع مصادر إنتاج الطاقة وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري .يمثل تشغيل هذه المحطة نقلة نوعية في مزيج الطاقة الوطني، إذ يسهم في خفض الانبعاثات الكربونية الضارة، ويعكس التزام الحكومة العراقية بمبادئ التنمية المستدامة والتحول الطاقي, ويأتي المشروع منسجمًا مع الإستراتيجية الوطنية الرامية إلى رفع مساهمة الطاقة المتجددة إلى نحو 12% من إجمالي إنتاج الكهرباء بحلول عام 2030، بما يدعم استقرار الشبكة الكهربائية ويخفف الضغط عن محطات التوليد التقليدية .

خريطة (4) الموقع الجغرافي لمحطة كربلاء لطاقة الشمسية في قضاء الحر في محافظة كربلاء



صورة المصدر :1- جمهورية العراق , وزارة الموارد المائية ,الهيئة العامة للمساحة, خريطة العراقية ؛ محافظة كربلاء , مقياس 1:1000000 , لعام (2024)م .
2- تقنيات (ArcMap 10.8.1) .

تُعد محطة كربلاء للطاقة الشمسية نقطة انطلاق لمرحلة جديدة في استثمار موارد الطاقة النظيفة في العراق، إذ توفر قاعدة أساسية لجذب استثمارات مستقبلية في مجال الطاقة المتجددة.

وتضم المحطة في مرحلتها الحالية أكثر من 39 ألف لوح شمسي، من أصل نحو نصف مليون لوح مخطط لتركيبها عند اكتمال المشروع، ما يعكس الحجم الكبير للمحطة وقدرتها المستقبلية على تلبية احتياجات مئات الآلاف من المنازل بالطاقة الكهربائية النظيفة.

بدأت المرحلة الأولى بقدرة إنتاجية قدرها 22 ميغاواط، على أن ترتفع القدرة تدريجيًا لتصل إلى 75 ميغاواط خلال فترة زمنية قصيرة، وفق البيانات الرسمية للمشروع. وقد اختير موقع المحطة في صحراء كربلاء بعناية نظرًا لارتفاع معدلات الإشعاع الشمسي، الأمر الذي يساهم في تحسين كفاءة الإنتاج وتقليل تكاليف التشغيل والصيانة مقارنة بمحطات التوليد التقليدية.

تساهم المحطة في تقليل الفاقد الكهربائي وتعزيز كفاءة نظام التوزيع، بالإضافة إلى تعزيز مرونة الشبكة الوطنية وقدرتها على مواجهة ذروة الطلب، خاصة خلال فصل الصيف, ولا تقتصر أهمية المحطة على الجانب الإنتاجي فحسب، بل تشمل أيضًا الأبعاد البشرية والتقنية، حيث تُعتبر منصة تدريب وطنية ساهمت في إشراك الكوادر العراقية الشابة في عمليات التشغيل والصيانة، مما يعزز من نقل المعرفة وتوطين تقنيات الطاقة المتجددة على المستوى المحلي.

ثانيا : تقييم كفاءة الأداء الإنتاجي لمحطة كربلاء للطاقة الشمسية :

تُعتبر القدرة التصميمية الكلية للمحطة، التي تبلغ 300 ميغاواط، مؤشراً حيوياً يقيس مدى مساهمة المشروع في مزيج الطاقة الوطني. بينما تعكس القدرة التشغيلية للمرحلة الأولى، التي تبلغ 22 ميغاواط، مرحلة زمنية تعبر عن التقدم التدريجي في تنفيذ المشروع.

١. **التحليل الوصفي للقدرة الإنتاجية**

يشير جدول (5) إلى أن المرحلة الأولى تمثل نحو 7.3% من إجمالي القدرة الكلية المخططة للمحطة، في حين يُتوقع أن ترتفع القدرة إلى 75 ميغاواط خلال المرحلة اللاحقة، أي ما يعادل 25% من الطاقة الكلية المستهدفة. ويعكس هذا التدرج نمطًا تصاعديًا في الإنتاج .

نسبة المرحلة الأولى من القدرة الكلية

النسبة المئوية = {القدرة\المرحلية}{القدرة\ الكلية} 100

{22}{300} 100 = 7.3%

جدول (5): تطور القدرة الإنتاجية لمحطة كربلاء للطاقة الشمسية

المرحلة	القدرة (ميغاواط)	النسبة من القدرة الكلية (%)
الاولى	22	7،3
الثانية	75	25
الثالثة	300	100

المصدر :من عمل الباحثة بالاعتماد على الدراسة الميدانية.

يتبين من خلال جدول (5) تطور القدرة الإنتاجية لمحطة كربلاء للطاقة الشمسية أن المشروع يشهد نموًا تدريجيًا ومدروسًا في القدرة الإنتاجية، وصولًا إلى القدرة التصميمية البالغة 300 ميغاواط، وهو ما يعكس نجاح التخطيط المرحلي وكفاءة الموقع الجغرافي في دعم مشاريع الطاقة المتجددة المستدامة.

٢. **تحليل الكفاءة والإنتاج السنوي المتوقع**

يمكن تقدير الإنتاج السنوي للمحطة بالاعتماد على عدد ساعات السطوع الشمسي في منطقة كربلاء، والتي تُعد من المناطق ذات الإشعاع الشمسي المرتفع. وباستخدام معادلات التقدير الإحصائي للإنتاج السنوي (ميغاواط/ساعة)، يمكن حساب كمية الطاقة الكهربائية المتوقعة

سنويًا، ثم مقارنتها بإنتاج المحطات التقليدية، بما يسمح بتحليل الفروقات في الكفاءة والتكلفة التشغيلية.

تقدير الإنتاج السنوي للطاقة الكهربائية وفق المعادلة الاتية:

$$E = 300 \times 0.23 \times 8760$$

E= الطاقة السنوية المنتجة (ميغاواط/ساعة)

P= القدرة الاسمية للمحطة (ميغاواط)

365×24= عدد ساعات السنة (8760 ساعة)

CF= معامل السعة (Capacity Factor)(*)

وبافتراض معامل سعة قدره 0.23 لمحطات الطاقة الشمسية في كربلاء:

$$E = 300 \times 0.23 \times 8760$$

$$E = 603$$

---

*معامل السعة (CF)هو نسبة الاستفادة الفعلية من القدرة التصميمية للمحطة خلال السنة قيمته لمحطات الطاقة الشمسية عادة بين (0.18 – 0.25)

وفي العراق غالبًا تكون قريبة من 0.22 – 0.24.

ويعكس معامل السعة:

١. الإشعاع الشمسي.
٢. عدد ساعات السطوع.
٣. الغبار.
٤. كفاءة التشغيل .

يتبين من خلال تحليل الكفاءة والإنتاج السنوي المتوقع لمحطة كربلاء للطاقة الشمسية انها تنتج سنويًا حوالي 603 ألف ميغاواط ساعة وهذا يعكس:

١. ارتفاع الإشعاع الشمسي في كربلاء.
٢. ملاءمة الموقع الجغرافي للاستثمار الشمسي.
٣. إمكانية توسعة المحطة مستقبلاً.

ثالثا : استخدام نماذج الذكاء الاصطناعي في إدارة وتشغيل محطة كربلاء للطاقة الشمسية :

1. **التنبؤ بالإنتاج الكهربائي (AI Forecasting) :** يُستخدم الذكاء الاصطناعي، ولاسيما الشبكات العصبية الاصطناعية (ANN) ونماذج التعلم العميق (Deep Learning) للتنبؤ بكمية الطاقة المنتجة اعتمادًا على متغيرات مناخية مكانية وزمانية.([23])

المتغيرات :

- الإشعاع الشمسي (W/m^2)
- درجة الحرارة (C°)
- سرعة الرياح (m/s)
- الغبار والعواصف الترابية
- الموقع الجغرافي (خط العرض والطول)

---

23. Machine learning methods for solar radiation forecasting: A review. Renewable Energy, 105, 569–582.

2. **الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance) :** يعتمد الذكاء الاصطناعي على تحليل البيانات الحسية (Sensors) لاكتشاف الأعطال قبل وقوعها.([24])
المؤشرات المحللة:
- انخفاض الجهد الكهربائي
- ارتفاع درجة حرارة الألواح
- تغير كفاءة التحويل

3. **إدارة الأحمال الذكية (Smart Grid AI)**
يُستخدم الذكاء الاصطناعي لتوزيع الطاقة المنتجة مكانيًا داخل محافظة كربلاء.من خلال :
- توجيه الطاقة إلى المناطق ذات الاستهلاك الأعلى
- تقليل الفاقد الكهربائي
- دعم الشبكة الوطنية وقت الذروة

4. **التحليل الجغرافي المكاني المدعوم بالذكاء الاصطناعي**
يتم توظيف الذكاء الاصطناعي بالتعاون مع نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتحديد ما يلي:
- المواقع المثلى لتوسيع المحطة.
- المناطق التي تتمتع بأعلى كفاءة في استقبال الإشعاع الشمسي.
- تأثيرات الغبار والتضاريس على الأداء.

5. **تحسين كفاءة الإنتاج باستخدام الخوارزميات الذكية .([25])**
تُستخدم خوارزميات مثل:
- خوارزميات التنبؤ بالطاقة الشمسية
- خوارزميات تتبع نقطة القدرة العظمى (MPPT)
- خوارزميات المنطق الضبابي (Fuzzy Logic)
- خوارزميات التحسين Optimization Algorithms
- خوارزميات كشف الأعطال والصيانة الذكية
- خوارزميات إدارة الشبكة والتخزين

رابعا : المشاكل التي تواجه استثمار صناعة الطاقة الشمسية .

1. تراكم الغبار على أسطح خلايا الطاقة الشمسية يعيق إنتاج الطاقة من خلال التأثير على الأنظمة الكهروضوئية وكفاءتها. فالغبار يؤثر بشكل كبير على هذه الأسطح، مما يحجب أشعة الشمس عن الخلايا، وبالتالي ينخفض مستوى الإنتاج. وإذا تم إهمال الصيانة أو تأخير تنظيف الخلايا من الغبار، فقد يؤدي ذلك إلى تراجع إنتاج الطاقة بنسبة تتراوح بين 35% و65%.([26])
2. تؤثر درجات الحرارة المرتفعة سلباً على إنتاج خلايا الطاقة الشمسية، حيث تتسارع حركة الإلكترونات، مما يجعل من الصعب على الخلايا تجميع الطاقة. فكلما ارتفعت درجة حرارة الخلايا الشمسية المصنوعة من السيليكون، تدهور أداؤها، إذ يزداد التيار قليلاً بينما ينخفض جهد الخلية بشكل أكبر، مما يؤدي إلى تقليل القدرة الإنتاجية والكفاءة. كما أن تأثير الحرارة يختلف باختلاف

24. عبد السلام علي احمد ,نماذج الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بتوليد الطاقة الشمسية وتحسينه في ظل ظروف جوية متغيرة ,المجلة العلمية للنشر في أبحاث الصحة والتكنولةجيا ,المجلد الأول ,العدد الأول ,2025 ,ص8.

25. عبد الله خبابا وكاميليا بليدا و غزلان خبايا ,توظيف التعليم الالي لتتوليد الطاقة الشمسية المستدامة :تقنيات لتحسين الإنتاج والإدارة ,مجلة الاتحاد العربي للتنمية المستدامة والبيئية ,المجلد 7, العدد 1, 2024, ص5.

26. سلام هاتف احمد الجبوري ، علم المناخ التطبيقي ، الطبعة الأولى، جامعة بغداد، 2014 ، ص 330.

التكنولوجيا المستخدمة، حيث تكون خلايا الأفلام الرقيقة أقل تأثراً بالحرارة مقارنة بالخلايا أحادية البلورة. فالأشباه الموصلات حساسة للحرارة، وزيادة درجة الحرارة تؤدي إلى تقليل فجوة النطاق، مما يؤثر على خصائص شبه الموصل وبالتالي، تزداد طاقة الإلكترونات بينما تقل الطاقة اللازمة لكسر الرابطة بين الإلكترونات والنواة، مما يؤدي إلى زيادة التيار وانخفاض الجهد عند ارتفاع درجات الحرارة.([27])

3. تتأثر كفاءة الخلايا الشمسية بشكل كبير بالأمطار والرطوبة، حيث يظهر ذلك جليًا عند وجود عيوب في العزل , كما أن غياب الشمس يؤثر سلبًا على إنتاجية هذه الخلايا، خصوصًا خلال فترات هطول الأمطار , وتجدر الإشارة إلى أن تأثير الرطوبة على الخلايا الشمسية يفوق تأثير درجة الحرارة، حيث تلعب الأخيرة دورًا في كفاءة الخلايا الكهروضوئية بسبب الخصائص الأساسية لمادة أشباه الموصلات فعندما تنخفض درجة الحرارة، تزداد كفاءة الألواح الشمسية، بينما تنخفض هذه الكفاءة في درجات الحرارة المرتفعة.([28])
4. تُعتبر مسألة الصيانة الدورية تحديًا مهمًا، حيث تحتوي أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية على مكونات مثل العواكس الكهربائية والهياكل المعدنية والقواطع الكهربائية، التي قد تتعرض للأعطال نتيجة مشكلات في التصميم أو التثبيت، أو حتى بسبب عيوب في التصنيع. هذه الأعطال تؤدي إلى تراجع أداء النظام عن المستوى المتوقع. وبالتالي، فإن عدم الالتزام بمواعيد الصيانة الدورية لهذه الخلايا يمكن أن يتسبب في العديد من المشكلات المتعلقة بإنتاج الطاقة.

الاستنتاجات:

1. الطاقة الشمسية من اهم مصادر الطاقة البديلة التي يمكن استثمارها في توليد الطاقة الكهربائية لاحتواها على طاقة هائلة وبالإضافة لنظافتها وقلة اثارها البيئية.
2. ان للإمكانات الجغرافية المناخية وبشكل مثالي منطقة الدراسة مهيأة لإقامة محطات لإنتاج الطاقة الشمسية لاسيما عناصر كمية الاشعاع الشمسي والحرارة.
3. تُظهر الإنتاجية النوعية ارتفاعًا ملحوظًا مقارنةً بالحد الأدنى المطلوب لتشغيل الأنظمة الكهروضوئية بكفاءة، والذي يُقدّر بحوالي 1000 (Wh/kWp/year)، مما يعزز من جدوى الاستثمار في الطاقة الشمسية في محافظة كربلاء.
4. تتوفر في محافظة كربلاء مساحات كبيرة للتوقيع المكاني للمحطات الطاقة الشمسية اذ تشغل محطة كربلاء للطاقة الشمسية في قضاء الحر مساحة تقدر بحوالي 4000 دونم. ذات القدرة التصميمية الكلية تبلغ 300 ميغاواط، تعتبر المحطة الأكبر من نوعها على مستوى العراق.
5. ان تحليل الكفاءة والإنتاج السنوي المتوقع لمحطة كربلاء للطاقة الشمسية انها تنتج سنويًا حوالي 603 ألف ميغاواط ساعة.
6. تتأثر محطة الطاقة الشمسية والاسلاك المرتبطة بها بالخصائص المناخية اذ تتعرض للتلف نتيجة تساقط الامطار والتأكل نتيجة ارتفاع الرطوبة والى التساقط نتيجة لحدوث العواصف الغبارية .
7. يُعد توظيف الذكاء الاصطناعي في محطة كربلاء للطاقة الشمسية خطوة استراتيجية نحو تعزيز الاستدامة الطاقة وتحسين الكفاءة الاقتصادية ودعم القرار الجغرافي المكاني وتحقيق أمن الطاقة في المحافظة.

التوصيات :

1. الاستثمار في مشاريع الطاقة الشمسية الكهروضوئية في محافظة كربلاء يُعتبر خيارًا واعدًا نظرًا لتوفر مستويات إشعاع شمسية ملائمة على مدار السنة.
2. استخدام تقنيات متطورة لتنظيف الألواح ومكافحة تأثير الغبار، مما يسهم في تعزيز الكفاءة التشغيلية.

---

27. عبد السلام علي احمد, مصدر سابق ص13 .
28 . ستيفان ك و كراوتز ، توليد الطاقة الكهربائية من الطاقة الشمسية أنظمة الطاقة الفولطوضوئية ترجمه عبد الباسط على صالح المنظمة العربية للترجمه، مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت، 2011، ص 57

3. تصميم الأنظمة مع الأخذ بعين الاعتبار ذروة الإشعاع في فصل الصيف وأدنى المستويات في الشتاء، بهدف تحديد حجم التخزين الأمثل.
4. تنفيذ برامج رصد مناخية دقيقة لتحديث البيانات بشكل دوري، مما يدعم اتخاذ القرارات الاستثمارية الصائبة.
5. تشجيع الدراسات المحلية لمقارنة أداء الأنظمة الشمسية في مختلف مناطق العراق.

المصادر:

1.سمير سعدون مصطفى وآخرون، الطاقة البديلة، دار البازوري العلمية للنشر والتوزيع الأردن، 2011.ص56.

2.حبيب عيسى الناصر وحنان مبارك البوفلاسة، مصادر الطاقة النظيفة أداة ضرورية الحماية المحيط الحيوي العربي، المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم، بدون سنة نشر ص22.

3.European Photovoltaic industry association CEPIAL, "Solar Generation 6: Solar Photovoltaic electricity empowering the World", 2011, p.p. 14-15.

4. نصري ذياب خاطر، جغرافية الطاقة، الطبعة الأولى، الجنادرية للنشر والتوزيع، 2011، ص 22.

5. شريف عمر، الطاقة الشمسية وآثارها الاقتصادية في الجزائر، مجلة العلوم الإنسانية، العدد السادس، جامعة محمد خيضر بسكرة، الجزائر .٢٠٠٤، ص12.

6.Garg, Hp, Advances in solare energy technology, Volume3, Reidel publishing Boston, RA, 1987.

7. وزارة البلديات والاشغال العامة , الهيئة العامة للتخطيط العمراني , المركز العالمي للأبحاث العلمية , المخطط الهيكلي لمحافظة كربلاء المقدسة (المرحلة الرابعة) , بيانات (غ.م) لعام2012.

8. Michal Levasseur and Others , Word Geography , prentice Hall, U.S.A. 1998 ,p 35 .

9. مديرية التخطيط العمراني محافظة كربلاء المقدسة وبيانات(غ.م) لعام (2024)م.

10.علي حسين موسى اساسيات علم المناخ، ط١ ، دار الفكر المعاصر، بيروت - لبنان، ١٩٩٤،ص68.

11. محمد أحمد السيد خليل الطاقة الشمسية واستخدامها، الطبعة الأولى، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، القاهرة ٢٠٠٩، ص ٩١.

12. سالار علي خضر الدزيي , التحليل العملي لمناخ العراق , ط1 , دار الفراهيدي للنشر والتوزيع , بغداد , 2010 , ص13.

13. عبد الله رزوقي كربل ,الطقس والمناخ ,بدون طبعة ,مطبعة البصرة ,1978,ص106 .

14. Hasan et al. (2022) – Impact of Cloud, Rain, Humidity, and Wind Velocity on PV Panel Performance DOI: 10.31185/ejuow.Vol10.Iss2.237

15. علي ناجي حمودي ، دراسة وتنفيذ وتحسين أداء محطة ضخ مياه تعمل بالطاقة الشمسية رسالة ماجستير كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية ، جامعة تشرين ، 2008 ،ص13.

16. قصي عبد المجيد السامرائي ، المناخ والاقاليم المناخية، الطبعة العربية، دار اليازوري للطباعة، عمان، 2008،ص59.

17.نعمان شحاذة , علم المناخ ,ط2,مطبعة النور النموذجية ,عمان ,1983 ,ص74 .

18. International Electrotechnical Commission. (2017). IEC 61724-1: Photovoltaic system performance monitoring — Guidelines for measurement, data exchange and analysis. IEC.
19.PV Knowhow. (n.d.). Saudi Arabia solar report. Retrieved from https://www.pvknowhow.com/solar-report/saudi-arabia/

20. International Energy Agency. (2014). Technology roadmap: Solar photovoltaic energy. Paris: IEA.: https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-solar-photovoltaic-energy-2014?

21. مقابلة شخصية مع المهندس صفاء حسين المدير التنفيذي للمحطة بتاريخ 2025/11/16 .
22. مقابلة شخصية مع يوسف عدنان مدير الموقع بتاريخ2025/11/16 .
23. Machine learning methods for solar radiation forecasting: A review. Renewable Energy, 105, 569–582.
24. عبد السلام علي احمد ,نماذج الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بتوليد الطاقة الشمسية وتحسينه في ظل ظروف جوية متغيرة ,المجلة العلمية للنشر في أبحاث الصحة والتكنولةجيا ,المجلد الأول ,العدد الأول ,2025 ,ص8.
25. عبد الله خبابا وكاميليا بليدا و غزلان خبايا ,توظيف التعليم الالي لتتوليد الطاقة الشمسية المستدامة :تقنيات لتحسين الإنتاج والإدارة ,مجلة الاتحاد العربي للتنمية المستدامة والبيئية ,المجلد 7, العدد 1, 2024, ص5.
26. سلام هاتف احمد الجبوري ، علم المناخ التطبيقي ، الطبعة الأولى، جامعة بغداد، 2014 ، ص 330.
27.عبد السلام علي احمد, مصدر سابق ص13 .
28.ستيفان ك و كراوتز ، توليد الطاقة الكهربائية من الطاقة الشمسية أنظمة الطاقة الفولطوضوئية ترجمه عبد الباسط على صالح المنظمة العربية للترجمه، مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت، 2011، ص 57

1. Samir Saadoun Mustafa et al., Alternative Energy, Al-Bazouri Scientific Publishing and Distribution House, Jordan, 2011, p. 56.
2. Habib Issa Al-Nasser and Hanan Mubarak Al-Boufalasa, Clean Energy Sources as a Necessary Tool for Protecting the Arab Environment, Arab Organization for Education, Culture and Science, no publication year, p. 22.
3. European Photovoltaic Industry Association (EPIA), Solar Generation 6: Solar Photovoltaic Electricity Empowering the World, 2011, pp. 14–15.
4. Nasri Dhiab Khater, Energy Geography, First Edition, Al-Janadriya Publishing and Distribution, 2011, p. 22.
5. Sharif Omar, Solar Energy and Its Economic Impacts in Algeria, Journal of Humanities, Issue No. 6, Mohamed Khider University of Biskra, Algeria, 2004, p. 12.

6. Garg, H. P., Advances in Solar Energy Technology, Vol. 3, Reidel Publishing, Boston, MA, 1987.
7. Ministry of Municipalities and Public Works, General Authority for Urban Planning, Global Center for Scientific Research, Master Plan of Karbala Governorate (Phase Four), unpublished data, 2012.
8. Michal Levasseur et al., World Geography, Prentice Hall, USA, 1998, p. 35.
9. Directorate of Urban Planning, Karbala Governorate, unpublished data, 2024.
10. Ali Hussein Mousa, Fundamentals of Climatology, 1st Edition, Dar Al-Fikr Al-Moasser, Beirut, Lebanon, 1994, p. 68.
11. Mohammed Ahmed Al-Sayed Khalil, Solar Energy and Its Applications, First Edition, Dar Al-Kutub Al-Ilmiyah for Publishing and Distribution, Cairo, 2009, p. 91.
12. Salar Ali Khudr Al-Dazayi, Applied Analysis of Iraq's Climate, 1st Edition, Dar Al-Farahidi for Publishing and Distribution, Baghdad, 2010, p. 13.
13. Abdullah Razouqi Karbal, Weather and Climate, no edition, Basra Printing Press, 1978, p. 106.
14. Hasan et al. (2022). Impact of Cloud, Rain, Humidity, and Wind Velocity on PV Panel Performance.
DOI: 10.31185/ejuow.Vol10.Iss2.237
15. Ali Naji Hammoudi, Study, Implementation, and Performance Optimization of a Solar-Powered Water Pumping Station, Master's Thesis, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, 2008, p. 13.
16. Qusay Abdul-Majid Al-Samarrai, Climate and Climatic Regions, Arabic Edition, Al-Yazouri Publishing House, Amman, 2008, p. 59.
17. Noman Shahada, Climatology, 2nd Edition, Al-Noor Model Printing Press, Amman, 1983, p. 74.
18. International Electrotechnical Commission (IEC). (2017). IEC 61724-1: Photovoltaic System Performance Monitoring — Guidelines for Measurement, Data Exchange and Analysis. IEC.
19. PV Knowhow. (n.d.). Saudi Arabia Solar Report. Retrieved from: https://www.pvknowhow.com/solar-report/saudi-arabia/
20. International Energy Agency (IEA). (2014). Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy. Paris: IEA.
https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-solar-photovoltaic-energy-2014
21. Personal interview with Engineer Safaa Hussein, Executive Director of the Plant, 16/11/2025.
22. Personal interview with Youssef Adnan, Site Manager, 16/11/2025.

23. Machine Learning Methods for Solar Radiation Forecasting: A Review. Renewable Energy, 105, 569–582.
24. Abdul Salam Ali Ahmed, Artificial Intelligence Models for Forecasting and Optimizing Solar Power Generation under Variable Weather Conditions, Scientific Journal for Health and Technology Research, Vol. 1, No. 1, 2025, p. 8.
25. Abdullah Khabbaba, Kamelia Blida, and Ghazlan Khabaya, Employing Machine Learning for Sustainable Solar Power Generation: Techniques for Improving Production and Management, Arab Union Journal for Sustainable and Environmental Development, Vol. 7, No. 1, 2024, p. 5.
26. Salam Hathef Ahmed Al-Jubouri, Applied Climatology, First Edition, University of Baghdad, 2014, p. 330.
27. Abdul Salam Ali Ahmed, previous source, p. 13.
28. Stefan K. Krautz, Electricity Generation from Solar Energy: Photovoltaic Systems, translated by Abdul-Basit Ali Saleh, Arab Organization for Translation, Center for Arab Unity Studies, Beirut, 2011, p. 57.