إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية في محافظة أسوان
مع التطبيق على محطة بنبان
"دراسة فى جغرافية الطاقة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية"

د. ياسر محمد عبد الموجود*

د. محمد ربيع فرج**

الملخص:

يتناول البحث إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية في محافظة أسوان، من خلال دراسة المتوسط السنوي لعدد ساعات سطوع الشمس في المحافظة، بالإضافة إلى التعرف على قِيم الإشعاع الشمسي المباشر، وحجم الطاقة الفوتوفلطية المقدَّرة، وكذلك دراسة موقع بنبان الشمسي لكونِه المصدر الوحيد لإنتاج الكهرباء من المحطات الشمسية في المحافظة من حيث حجم القدرات الاسميِّة المُرَكَّبة، وتحديد كمية الطاقة الكهربائية المولَّدة منه؛ يضاف إلى ذلك دراسة مستقبل الطاقة الشمسية في المحافظة من خلال المحطات الفوتوفلطية التي سيتم إنشاؤها، وتحديد دورها في زيادة حجم الكهرباء المولَّدة من المحطات الشمسية، وكذلك دراسة المشكلات التي تتعرض لها المحطات الفوتوفلطية في موقع بنبان الشمسي، وقد خلصت الدراسة إلى مجموعةٍ من النتائج أهمها:

- ارتفاع ملائمة المحافظة لإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية؛ نظرًا لزيادة معدلات السطوع الشمسي، وكذلك زيادة حجم الإشعاع الشمسي المباشر، وكمية الطاقة المقدَّرة منه.
- على الرغم من أهمية موقع بنبان الشمسي في إنتاج الكهرباء؛ فإنَّه يواجه عدة مشكلات تقلل من كفاءة المحطات الفوتوفلطية أهمها: ارتفاع درجة الحرارة، وزيادة سرعة الرياح، وعدم توفر مصدر متجدد للمياه.
- تمثل المحطات الفوتوفلطية أنسب تقنيات إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية في محافظة أسوان؛ نظرًا لقلة كميات المياه اللازمة لتشغيلها، بالإضافة إلى انخفاض تكلفة إنشائها مقارنةً بالمحطات الشمسية الحرارية، التي تعمل بالتكامل مع محطات الدورة المُرَكَّبة.

(المجلة الجغرافية العربية، المجلد (٥٢) العدد (٧٧) يونيو ٢٠٢١، ص ص ٢١٥-٢٥٤)

الكلمات المفتاحية: الإشعاع المباشر، الطاقة المقدَّرة، المحطات الفوتوفلطية، بنبان.

---

* مدرس الجغرافيا الاقتصادية بقسم الجغرافيا، كلية الآداب – جامعة الوادي الجديد.

** مدرس الجغرافيا الاقتصادية بقسم الجغرافيا، كلية الآداب – جامعة القاهرة.

للتواصل: e-mail: mostafa.hashim@art.asu.edu.eg

المقدمة:

يُعَدُّ توفر الطاقة عاملًا محوريًّا في تحقيق التنمية الاقتصادية في مصر عامةً وفي محافظة أسوان بصفةٍ خاصةٍ؛ حيث يعتمد إنتاج الطاقة الكهربائية في مصر بصورةٍ أساسيةٍ على المحطات الحرارية بجملة إنتاج بلغت ١٧٠٤٤٠ مليون ك.و.س عام ٢٠١٨ تمثل ٨٥,٣% من إجمالي الكهرباء المولَّدة في مصر البالغة ١٩٩٨٤٣ مليون ك.و.س خلال العام نفسه(١)؛ ويترتب على ذلك تعرض الوقود الأحفوري للتناقص بصورةٍ مستمرةٍ؛ ومما يزيد من صعوبة المشكلة زيادة أسعار الوقود الأحفوري بشكلٍ مستمرٍ، بالإضافة إلى زيادة تأثيرها السلبي على البيئة مثل تلوث الهواء، وتأثيرها على طبقة الأوزون(٢)؛ لذلك تزايد الاتجاه نحو إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية وفقًا لاستراتيجية مصر لزيادة مشاركة الطاقة المتجددة إلى ٤٠% من جملة الكهرباء المولَّدة عام ٢٠٣٥(٣).

ومما يزيد من أهمية إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية في محافظة أسوان تناقص الكهرباء المولَّدة من المحطات المائية، التي تعد المصدر الرئيس لإنتاج الكهرباء في المحافظة، حيث انخفضت من ١٢٠٩٣ مليون ك.و.س عام ٢٠١٠ إلى ١١٩٩٧ مليون ك.و.س عام ٢٠١٨ بنسبة تغير بلغت (-٠,٨%) خلال الفترة نفسها، بينما ارتفعت كمية الكهرباء المولدة في مصر من ١٤٦٧٩٦ مليون ك.و.س عام ٢٠١٠ إلى ١٩٩٨٤٣ مليون ك.و.س عام ٢٠١٨ بنسبة تغير بلغت ٣٦,١% خلال الفترة (٢٠١٠-٢٠١٨)(٤).

وتُعَدُّ محافظة أسوان من أنسب المحافظات المصرية من حيث ملائمتها لإنشاء المحطات الشمسية؛ وذلك لأنَّها تحظى بتوفر مقومات إنشاء تلك المحطات أهمها: زيادة المتوسط السنوي لعدد ساعات سطوع الشمس البالغ ١٠,٦ ساعة/يوم؛ وهو بذلك يفوق نظيره على مستوى الجمهورية البالغ ١٠ ساعات/يوم؛ وقد ترتَّبَ على ذلك زيادة معدلات الإشعاع الشمسي المباشر بالمحافظة البالغ ٢٦,٩ ميجا جول/م٢/يوم، ويبلغ حجم الطاقة الفوتوفلطية المقدَّرة ٧,٥ ك.و.س/م٢/يوم(٥).

---

(١) وزارة الكهرباء والطاقة، الشركة القابضة لكهرباء مصر، التقرير الإحصائي السنوي، القاهرة، ٢٠١٩، ص ٢٥.

(2) Adnan Sozen, et al. (2005): Solar-energy potential in Turkey. *Elsevier*, Applied Energy (80), p. 368.

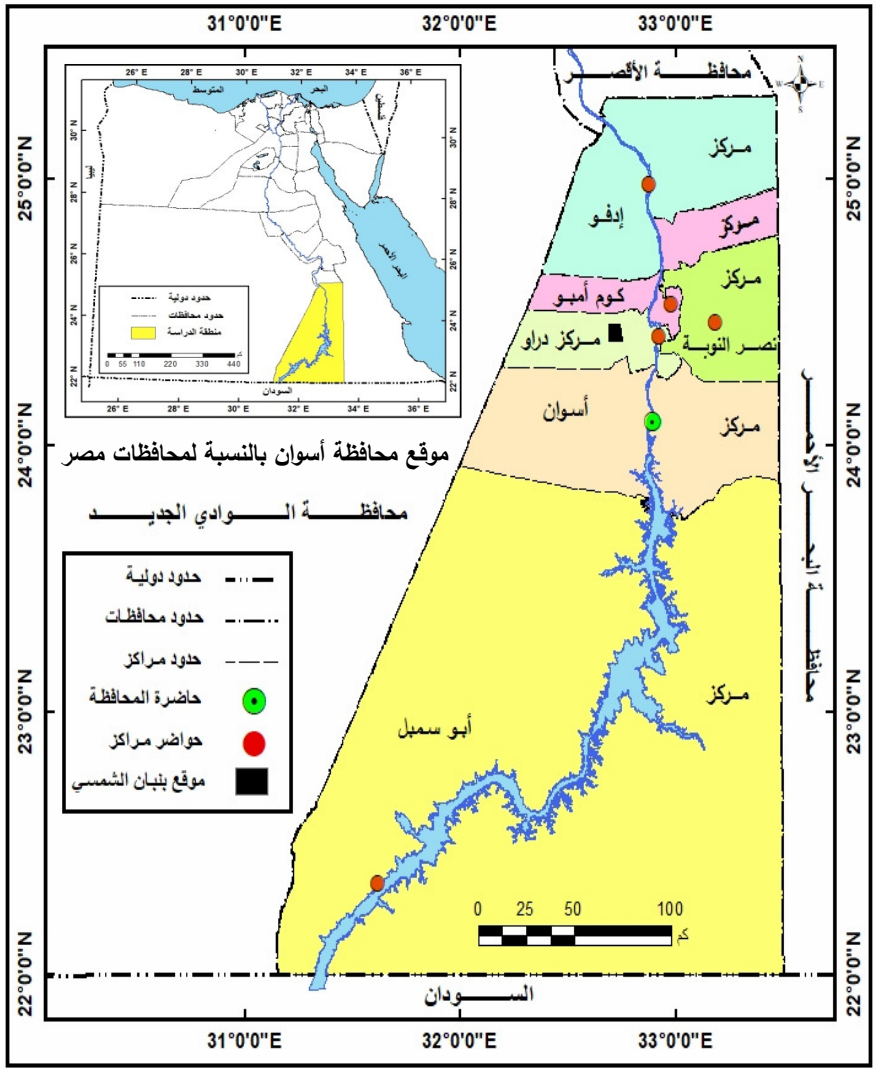
(٣) وزارة الكهرباء والطاقة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، التقرير السنوي، القاهرة، ٢٠١٩، ص ٥.

(٤) وزارة الكهرباء والطاقة، الشركة القابضة لكهرباء مصر، التقرير السنوي للأعوام المذكورة.

(٥) الهيئة العامة للأرصاد الجوية، بيانات غير منشورة، خلال الفترة (١٩٨٠-٢٠١٣).

تحديد منطقة الدراسة:

تقع محافظة أسوان شكل (١) بين دائرتي عرض ٢٢° – ٠٤َ ٢٥° شمالاً، وتنحصرُ بين خطي طول ٠٢َ ٣١° – ٠٣َ ٣٣° شرقًا، ويحدها من الجنوب الحدود الدولية مع السودان، ومن الشمال محافظة الأقصر، ومن الشرق محافظة البحر الأحمر، ومن الغرب محافظة الوادي الجديد.



شكل (١) : محافظة أسوان، التقسيم الإداري حسب المراكز عام ٢٠١٧.

المصدر: الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، التقسيم الإداري لمحافظة أسوان، عام ٢٠١٧.

تأخذ محافظة أسوان شكلًا طوليًا يمتد لمسافة ٤٨٥ كم من الشمال إلى الجنوب، ويبلغ متوسط عرضها ١٥٠ كم، وتبلغُ مساحة المحافظة ٦٢٧٢٦ كم٢، بنسبة ٦,٢% من إجماليِّ مساحةِ مصر الكلية، وتنقسم المحافظة إداريًّا إلى ستة مراكز هي: (أبو سمبل، وأسوان، ودراو، وكوم أمبو، ونصر النوبة، وإدفو)، وتضم المحافظة (٣٨) وحدة محلية قروية، (١٠٧) قرية رئيسة، (٥١٧) تابعًا(١).

بلغ عدد سكان المحافظة ١٤٧٣٩٧٥ نسمة وفقًا للنتائج النهائية لتعداد ٢٠١٧، ويتفاوت توزيع السكان بمراكز المحافظة، حيث يأتي مركز إدفو في الترتيب الأول بجملة عدد سكان بلغت ٤٦٠١٦٠ نسمة بنسبة ٣١,٢% من جملة سكان المحافظة، وفي المقابل بلغ عدد السكان أدناه ٧٦١٧ نسمة بمركز أبو سمبل بنسبة ٠,٥% من جملة سكان المحافظة(٢).

مشكلة الدراسة:

يتزايد استهلاك الطاقة الكهربائية في محافظة أسوان بصورةٍ مطَّردةٍ؛ نظرًا لزيادة معدلات الطلب على الطاقة الكهربائية الناتجة عن زيادة عدد السكان، وزيادة معدلات التنمية الاقتصادية، حيث زادت الكهرباء المستهلكة في المحافظة من ١٣٢٩,١ مليون ك.و.س عام ٢٠١٠ إلى ٢٣٧١,٦ مليون ك.و.س عام ٢٠١٨ بمعدل تغير بلغ ٧٨,٤% خلال الفترة نفسها؛ ولذلك أصبح الاعتماد على الطاقة الشمسية أمرًا ضروريًا لمواجهة زيادة الطلب على الكهرباء في المحافظة.

الإجراءات المنهجية للبحث:

- **الدراسة الميدانية:** تمثل الدراسة الميدانية المصدر الرئيس لإتمام هذا البحث؛ نظرًا لندرة الدراسات الجغرافية التي تناولت الطاقة الشمسية في محافظة أسوان، بالإضافة إلى حداثة إنشاء المحطات الفوتوفلطية في موقع بنبان، وكذلك تضارب البيانات الرسمية المتمثلة في عدد المحطات التي تم تشغيلها، وجملة قدراتها الاسميِّة، وحجم الكهرباء المولَّدة منها؛ لذلك قام الباحثان بإجراء الدراسة الميدانية بموقع بنبان خلال شهر يناير ٢٠٢٠، حيث تَمَّ حصر عدد المحطات الفوتوفلطية التي تَمَّ تشغيلها وربطها بالشبكة الكهربائية الموحدة، وتحديد قدراتها الاسميِّة، وحجم الكهرباء المولَّدة منها، بالإضافة إلى تطبيق نموذج استبيان على عشر محطات بموقع بنبان تمثل ٣١,٣% من جملة عدد المحطات التي تَمَّ تشغيلها البالغة ٣٢ محطة.

(١) محافظة أسوان، مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار، إدارة الإحصاء، ٢٠١٩.

(٢) الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، النتائج النهائية للتعداد العام للسكان والإسكان والمنشآت، محافظة أسوان، ٢٠١٧، ص ص ١٩-٢٠.

- **البيانات الإحصائية:** اعتمد الباحثان على بيانات الهيئة العامة للأرصاد الجوية بالنسبة للمحطات القائمة (أسوان، وأبو سمبل)، وتَمَّ الاعتماد على بيانات الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء (NASA) للمحطات التي اقترحها الباحثان (دراو، وكوم أمبو)؛ وذلك لإظهار التفاوت في هذه البيانات على مستوى المحافظة، وقام الباحثان بحساب متوسط عدد ساعات سطوع الشمس، والإشعاع الشمسي المباشر خلال الفترة (١٩٨٤-٢٠١٣).
- **مصادر الخرائط:** اعتمد الباحثان على مجموعة من الخرائط أهمها: الخريطة الطبوغرافية لمحافظة أسوان الصادرة عن إدارة المساحة العسكرية مقياس رسم ١: ٢٥٠٠٠٠، بالإضافة إلى خرائط الإشعاع الشمسي والطاقة الفوتوفلطية المقدَّرة الصادرة عن البنك الدولي، وتَمَّ الاعتماد على هذه المصادر في إنتاج الخرائط التي تخدم البحث باستخدام برنامج (Arc Map10.7).
- **المرئيات الفضائية:** تَمَّ الاعتماد على نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) بدقة ٣٠ مترًا؛ وذلك لإنتاج الخريطة الكنتورية لمحافظة أسوان باستخدام برنامج (Global Mapper 21.1)؛ وذلك لعمل خريطة مناسيب السطح في المحافظة باستخدام برنامج (Arc Map 10.7).
- **استعان الباحثان في إتمام هذا البحث بعدة مناهج أهمها:** منهج تحليل نظم الطاقة حيث تمثل الكهرباء المولدة من الطاقة الشمسية نظامًا متكاملاً يتكون من المحطات الشمسية، ومحطات محولات رفع الجهد، وشبكة نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية، وبالتالي لا يمكن فهم أيِّ عنصرٍ بمعزلٍ عن باقي العناصر الأخرى، بالإضافة إلى المنهج الموضوعي الذي يهتم بدراسة الكهرباء المولدة من الطاقة الشمسية كسلعةٍ لها أهميتها، وكذلك التعرف على المشكلات المتعلقة بإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية، بالإضافة إلى منهج تحليل تكلفة العائد الذي يهدف إلى تحديد أهمية الكهرباء المولدة من الطاقة الشمسية من خلال الموازنة بين إنتاج الكهرباء من جهةٍ والعائد الاقتصادي والبيئي من جهةٍ أخرى، يضاف إلى ذلك منهج دراسة الحالة وتتمثل أهميته في جمع المعلومات الدقيقة عن المحطات الفوتوفلطية في موقع بنبان، التي لا يمكن الحصول عليها من الإحصاءات والتقارير الرسمية.

الدراسات السابقة:

- **دراسة سعيد أحمد عبده (٢٠١٢):** وموضوعها مستقبل الطاقة المتجددة في مصر، تناولت الدراسة مفهوم الطاقة المتجددة، وتاريخ استخدام الطاقة المتجددة وتطورها في مصر، بالإضافة إلى الإمكانات الحالية للطاقة المتجددة في مصر من خلال التركيز على الطاقة الكهروشمسية، والطاقة الكهروريحية، وكذلك رؤية مستقبلية لمصادر الطاقة المتجددة في مصر، ومدى قدرتها على تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري[١].

(١) سعيد أحمد عبده: مستقبل الطاقة المتجددة في مصر، مجلة المجمع العلمي المصري، المجلد (٨٧)، ٢٠١٢.

- **دراسة مصطفى محمد عبد الوهاب (٢٠١٤):** وموضوعها الطاقة الكهربائية في محافظة أسوان تضمنت الدراسة تطور إنتاج الكهرباء بالمحافظة، وكذلك دراسة شبكة نقل وتوزيع الكهرباء، بالإضافة إلى استهلاك الطاقة الكهربائية، ومشكلات الطاقة الكهربائية ومستقبلها(١).
- **دراسة هالة عادل عفت (٢٠١٦):** وموضوعها رسم خرائط المناطق المحتملة للطاقة الشمسية باستخدام بيانات (SRTM)، ونماذج التحليل المكاني في إقليم بحيرة ناصر– محافظة أسوان، وانتهت الدراسة إلى استخدام عملية التحليل الهرمي (Analytic Hierarchy Process) بالتكامل مع نظم المعلومات الجغرافية؛ لتحديد مناطق إنشاء المحطات الشمسية في منطقة بحيرة ناصر(٢).
- **دراسة جمعة محمد داود، ومسعد سلامة مندور (٢٠١٦):** وموضوعها المناطق الملائمة لإنشاء مزارع الطاقة الشمسية في مصر، وتوصلت الدراسة إلى استخدام تحليل المعايير المتعددة (Multi- criteria analysis) بالتكامل مع نظم المعلومات الجغرافية لتحديد مواقع إنشاء المحطات الشمسية في مصر(٣).
- **دراسة ياسر محمد عبد الموجود (٢٠١٧):** وموضوعها إمكانات الطاقة الشمسية في مصر مع التطبيق على محطة الكريمات، تناولت الدراسة الإشعاع الشمسي في مصر، وعوامل توطن محطات توليد الكهرباء الشمسية، وكذلك إنتاج الطاقة الكهربائية من الطاقة الشمسية، بالإضافة إلى مستقبل الطاقة الشمسية، يضاف إلى ذلك استخدام تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في اختيار أنسب المواقع لإنشاء المحطات الشمسية في مصر(٤).

استفاد الباحثان من الدراسات السابقة في تحديد إطار البحث من حيث العناصر الأساسية التي تشتمل عليها الدراسة الحالية، والتعرف على أهم المناهج التي تخدم موضوع البحث، بالإضافة إلى دورها في تحديد البعد الزمني للدراسة، وتختلف هذه الدراسة عن الدراسات السابقة في البعدين الزمني

---

(١) مصطفى محمد عبد الوهاب: الطاقة الكهربائية في محافظة أسوان، دراسة في جغرافية الطاقة، رسالة ماجستير، غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة القاهرة، ٢٠١٤.

(2) Hala Adel Effat (2016): Mapping Solar Energy Potential Zones, using SRTM and Spatial Analysis, Application in Lake Nasser Region, Egypt. *International Journal of Sustainable Land Use and Urban Planning*, Vol. 3.

(3) Gomaa M. Dawod & Mosaad S. Mandoer (2016): Optimum Sites for Solar Energy Harvesting in Egypt Based on Multi-Criteria GIS. *The First Future University International Conference on New Energy and Environmental Engineering*, Cairo, Egypt. April.

(٤) ياسر محمد عبد الموجود: إمكانات الطاقة الشمسية في مصر مع التطبيق على محطة الكريمات الشمسية – دراسة في جغرافية الطاقة، رسالة دكتوراه، غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب بالوادي الجديد، جامعة أسيوط، ٢٠١٧.

والمكاني، بالإضافة إلى أنَّها دراسة تطبيقية على محطة بنبان الشمسية، التي تُعَدُّ أكبر محطات الطاقة الشمسية في مصر، وكذلك دورها في تحديد المشكلات التي تواجه المحطات الفوتوفلطية في موقع بنبان؛ وذلك للاستفادة منها عند إنشاء المحطات الفوتوفلطية خلال الفترات المستقبلية القادمة سواء في محافظة أسوان، أم على مستوى الجمهورية.

أهداف البحث:

يهدف البحث إلى تحقيق الأهداف التالية:

- دراسة المتوسط السنوي لعدد ساعات سطوع الشمس في محافظة أسوان، وتحديد تأثيرها في معدلات الإشعاع الشمسي المباشر.
- التعرف على حجم الإشعاع الشمسي في المحافظة، وتحديد كمية الطاقة الفوتوفلطية المقدَّرة.
- دراسة إنتاج الكهرباء من المحطات الفوتوفلطية في موقع بنبان من خلال تحديد حجم القدرات الاسميِّة المُرَكَّبة، والتعرف على حجم الكهرباء المولَّدة منها.
- الوقوف على مستقبل الطاقة الشمسية بالمحافظة من خلال التعرف على المحطات الشمسية التي سيتم إنشاؤها في المستقبل، وتحديد دورها في زيادة حجم الكهرباء المولَّدة من الطاقة الشمسية.
- تحديد أهم المشكلات التي تواجه المحطات الفوتوفلطية في موقع بنبان، وحلولها المقترحة.

تساؤلات الدراسة:

- هل تمتلك محافظة أسوان مقومات إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية؟
- ما أنسب تقنيات إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية في محافظة أسوان؟
- ما حجم القدرات الشمسية المُرَكَّبة في محافظة أسوان؟
- ما حجم الكهرباء المولَّدة من الطاقة الشمسية في محافظة أسوان؟
- ما مشكلات إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية في محافظة أسوان؟

محاور البحث:

يتضمن البحث خمسة محاور هي:

أولاً: متوسط عدد ساعات سطوع الشمس في محافظة أسوان.

ثانيًا: الإشعاع الشمسي وحجم الطاقة الفوتوفلطية المقدَّرة في محافظة أسوان.

ثالثًا: إنتاج الكهرباء من المحطات الفوتوفلطية في موقع بنبان.

رابعًا: مشكلات إنتاج الكهرباء من المحطات الفوتوفلطية في موقع بنبان.

خامسًا: مستقبل الطاقة الشمسية في محافظة أسوان.

أولاً – متوسط عدد ساعات سطوع الشمس في محافظة أسوان :

تؤدي زيادة المتوسط السنوي لعدد ساعات سطوع الشمس دورًا مهمًا في إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية؛ وذلك لأنَّها تعمل على زيادة حجم الإشعاع الشمسي والطاقة المقدَّرة منه، وتتميز محافظة أسوان بارتفاع المتوسط السنوي لعدد ساعات سطوع الشمس؛ ويشير ذلك إلى زيادة ملائمتها لإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية، ويوضح الجدول التالي المتوسط الشهري والسنوي لعدد ساعات سطوع الشمس في محافظة أسوان خلال الفترة (١٩٨٤–٢٠١٣).

جدول (١) : المتوسط الشهري والسنوي لعدد ساعات سطوع الشمس في محافظة أسوان ساعة/يوم خلال الفترة (١٩٨٤–٢٠١٣)[١].

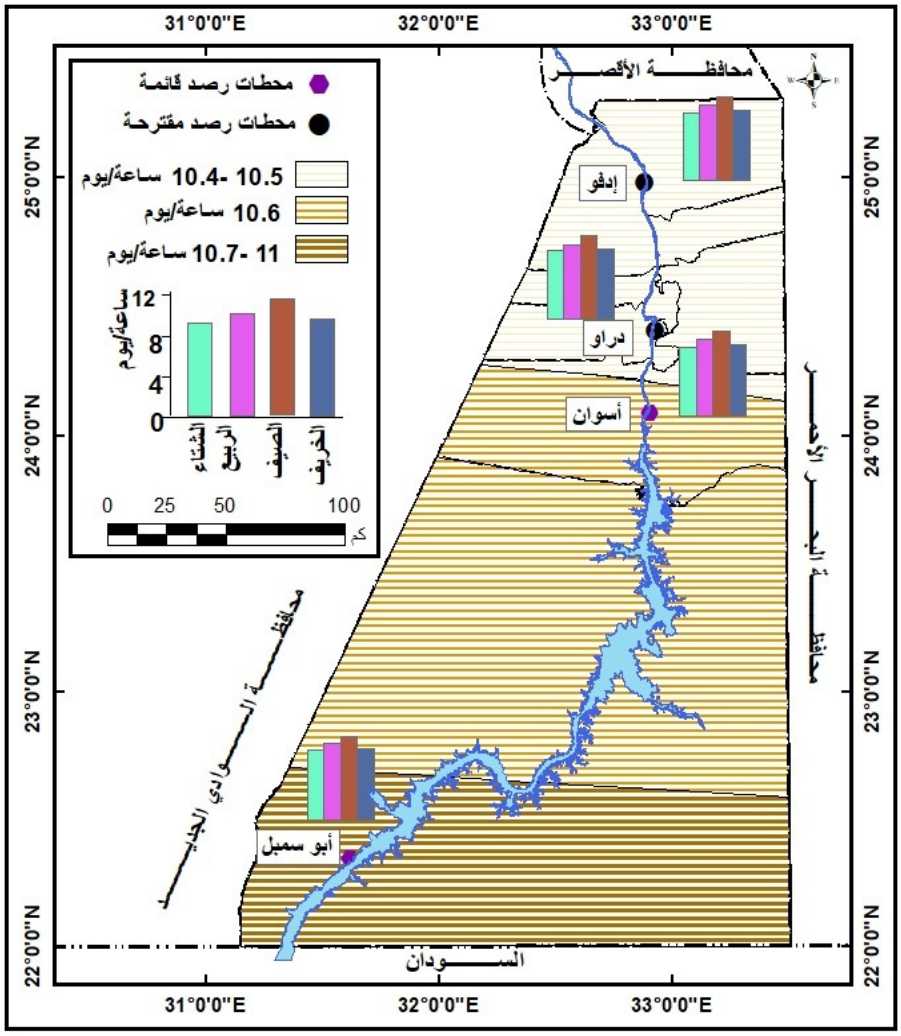
الشهر	أبو سمبل	أسوان	دراو	إدفو	المتوسط
ديسمبر	٩,٦	٩,٣	٩,٤	٩,٢	٩,٤
يناير	٩,٨	٩,٦	٩,٧	٩,٥	٩,٧
فبراير	١٠,٢	١٠	١٠	١٠	١٠
الشتاء	٩,٩	٩,٦	٩,٧	٩,٦	٩,٧
مارس	١٠,٥	١٠,٤	١٠,٣	١٠,٢	١٠,٤
إبريل	١٠,٦	١٠,٥	١٠,٥	١٠,٤	١٠,٥
مايو	١١,٢	١١,٢	١١,١	١١,١	١١,٢
الربيع	١٠,٨	١٠,٧	١٠,٦	١٠,٦	١٠,٧
يونيو	١٢,١	١٢,١	١٢,٢	١٢,١	١٢,١
يوليو	١٢	١٢,١	١٢	١٢	١٢
أغسطس	١١,٦	١١,٦	١١,٧	١١,٦	١١,٦
الصيف	١١,٩	١١,٩	١٢	١١,٩	١١,٩
سبتمبر	١٠,٣	١٠,١	١٠,١	١٠,١	١٠,١
أكتوبر	١٠,١	١٠	١٠	١٠,١	١٠
نوفمبر	١٠	٩,٩	٩,٩	٩,٩	٩,٩
الخريف	١٠,١	١٠	١٠,١	١٠	١٠
المتوسط السنوي	**١٠,٧**	**١٠,٦**	**١٠,٦**	**١٠,٥**	**١٠,٦**

المصدر: الجدول من إعداد البَاحِثَيْن اعتمادًا على:

– الهيئة العامة للأرصاد الجوية، بيانات ساعات سطوع الشمس، خلال الفترة (١٩٨٤–٢٠١٣).

– NASA surface meteorology and solar energy, Hours of sunshine, (1984-2013)

(١) توجد في محافظة أسوان محطتا أرصاد هما: محطة أبو سمبل تقع هذه المحطة جنوب المحافظة عند التقاء خط طول ١٦َ ٣١° شرقًا مع دائرة عرض ٦٣َ ٢٢° شمالًا، ومحطة أسوان تقع عند التقاء خط طول ٨٧َ ٣٢° شرقًا مع دائرة عرض ٦٩َ ٢٣° شمالًا؛ وبذلك تغطي هاتان المحطتان النصف الجنوبي من المحافظة تقريبًا، ولإظهار التفاوت في معدلات الإشعاع الشمسي، وعدد ساعات سطوع الشمس بين أجزاء المحافظة اقترح الباحثان محطتي أرصاد تغطي النصف الشمالي من المحافظة الأولى في مركز دراو عند التقاء خط طول ٢٩َ ٣٢° شرقًا مع دائرة عرض ٠٤َ ٢٤° شمالًا، والثانية في مركز إدفو شمال المحافظة، وتقع عند التقاء خط طول ٧٨َ ٣٢° شرقًا بدائرة عرض ٨٩َ ٢٤° شمالًا، وتم الحصول على بيانات المحطتين المقترحتين من خلال موقع ناسا، وهي بيانات حسابية خلال الفترة (١٩٨٤–٢٠١٣).



شكل (٢) : المتوسط السنوي لعدد ساعات سطوع الشمس في محافظة أسوان.

من تحليل بيانات الجدول السابق والشكل (٢) تتضح الحقائق التالية:

بلغ المتوسط السنوي لعدد ساعات سطوع الشمس في محافظة أسوان ١٠,٦ ساعة/يوم خلال الفترة (١٩٨٤-٢٠١٣)، ويتضح تفاوت متوسط عدد ساعات سطوع الشمس في المحافظة من شهر إلى آخر؛ حيث يزيد متوسط عدد ساعات سطوع الشمس في المحافظة عن المتوسط السنوي في أربعة أشهر خلال الفترة (مايو – أغسطس)؛ الأمر الذي يتضح من خلاله الاختلاف الواضح لمتوسط عدد ساعات سطوع الشمس من شهر إلى آخر في محافظة أسوان.

يختلف متوسط عدد ساعات سطوع الشمس في محافظة أسوان حسب فصول السنة، حيث بلغ المتوسط أقصاه ١١,٩ ساعة/يوم خلال فصل الصيف؛ ويعزى ذلك بصفةٍ أساسيةٍ إلى طول ساعات النهار الناتج عن تعامد أشعة الشمس على مدار السرطان الواقع في الأجزاء الجنوبية من المحافظة خلال هذا الفصل، بالإضافة إلى وقوع المحافظة ضمن الإقليم الصحراوي الذي يتميز بقلة تكون السحب؛ وانعكس ذلك على زيادة معدلات السطوع الشمسي، وفي المقابل بلغ متوسط عدد ساعات سطوع الشمس أدناه ٩,٧ ساعة/يوم خلال فصل الشتاء، وعلى الرغم من ذلك لا يؤثر انخفاض متوسط عدد ساعات سطوع الشمس خلال هذا الفصل على إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية في المحافظة؛ وذلك لأنَّ المناطق الأنسب لاستغلال الطاقة الشمسية يتراوح متوسط عدد ساعات سطوع الشمس بها ما بين (٦,٣–١٠,٩) ساعة/يوم؛ ويشير ذلك إلى ارتفاع ملائمة محافظة أسوان لإنتاج الكهرباء من المحطات الشمسية.

كما يلاحظ أنَّه يوجد تباين طفيف في متوسط عدد ساعات سطوع الشمس في محافظة أسوان، حيث يقل المتوسط السنوي لعدد ساعات سطوع الشمس بالاتجاه من الجنوب إلى الشمال، حيث بلغ المتوسط السنوي لعدد ساعات سطوع الشمس أقصاه ١٠,٧ ساعة/يوم في محطة أبو سمبل الواقعة جنوب مدار السرطان، بينما بلغ متوسط عدد ساعات سطوع الشمس أدناه ١٠,٥ ساعة/يوم في مركز إدفو شمال المحافظة؛ وبذلك يبلغ الفارق في المتوسط السنوي لعدد ساعات سطوع الشمس بين جنوب المحافظة وشمالها ٠,٢ ساعة/يوم.

ثانيًا – الإشعاع الشمسي المباشر وحجم الطاقة الفوتوفلطية المقدَّرة في محافظة أسوان :

تُعَدُّ دراسة بيانات الإشعاع الشمسي على قدرٍ كبيرٍ من الأهمية؛ وذلك لكونِها تمثل مدخلات أساسية لتطبيقات الطاقة الشمسية، بالإضافة إلى دورها في تقييم تقنيات الطاقة الشمسية، وتحسين كفاءتها[١]، أمَّا بالنسبة لقِيم الإشعاع الشمسي في مصر فإنَّها تختلف مكانيًّا، حيث تزيد قِيم الإشعاع الشمسي بالاتجاه من الشمال إلى الجنوب طوال العام حتى تبلغ أقصاها في محافظة أسوان[٢]؛ وقد انعكس ذلك على زيادة ملائمة المحافظة لإنتاج الكهرباء من المحطات الشمسية، ويوضح الجدول التالي المتوسط الشهري والسنوي للإشعاع الشمسي المباشر، وحجم الطاقة المقدَّرة في محافظة أسوان خلال الفترة (١٩٨٤–٢٠١٣).

(1) El- Sebaii A.A., (2010): Global, direct and diffuse solar radiation on horizontal and tilted surfaces in Jeddah, Saudi Arabia, *Elsevier*, Applied Energy (87), p. 568.

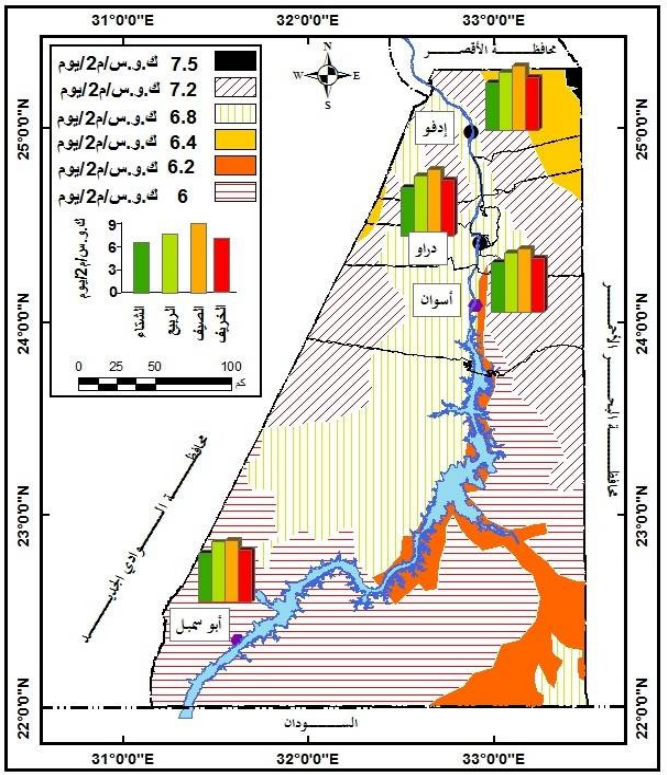
(٢) أمل عبد العظيم عبد المقصود: المناخ والنشاط البشري في صحراء مصر الشرقية، رسالة دكتوراه، غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الإسكندرية، ٢٠١٥، ص ٧٩.

جدول (٢) : المتوسط الشهري والسنوي للإشعاع الشمسي المباشر وحجم الطاقة المقدَّرة في محافظة أسوان خلال الفترة (١٩٨٤-٢٠١٣).

المحطة / الشهر	أبو سمبل		أسوان		دراو		إدفو		المتوسط	
	الإشعاع المباشر ميجا جول/ م٢/ يوم	الطاقة المقدَّرة ك.و.س/ م٢/ يوم	الإشعاع المباشر ميجا جول/ م٢/ يوم	الطاقة المقدَّرة ك.و.س/ م٢/ يوم	الإشعاع المباشر ميجا جول/ م٢/ يوم	الطاقة المقدَّرة ك.و.س/ م٢/ يوم	الإشعاع المباشر ميجا جول/ م٢/ يوم	الطاقة المقدَّرة ك.و.س/ م٢/ يوم	الإشعاع المباشر ميجا جول/ م٢/ يوم	الطاقة المقدَّرة ك.و.س/ م٢/ يوم
ديسمبر	٢١,٦	٦	٢١,٦	٦	٢٠,٨	٥,٨	٢٠,٨	٥,٨	٢١,٢	٥,٩
يناير	٢٢,٥	٦,٣	٢٣	٦,٤	٢٢	٦,١	٢١,٦	٦	٢٢,٣	٦,٢
فبراير	٢٦,٣	٧,٣	٢٦,٣	٧,٣	٢٦,٢	٧,٣	٢٥,٢	٧	٢٦	٧,٢
الشتاء	٢٣,٥	٦,٥	٢٣,٦	٦,٦	٢٣	٦,٤	٢٢,٥	٦,٣	٢٣,٢	٦,٥
مارس	٢٨,٢	٧,٨	٢٧,٤	٧,٦	٢٧,٧	٧,٧	٢٧,١	٧,٥	٢٧,٦	٧,٧
إبريل	٢٩,٣	٨,١	٢٨,٤	٧,٩	٢٩,٦	٨,٢	٢٨,٤	٧,٩	٢٨,٩	٨
مايو	٢٨,٧	٨	٢٧,٩	٧,٨	٢٩,٣	٨,١	٢٧,٨	٧,٧	٢٨,٤	٧,٩
الربيع	٢٨,٧	٨	٢٧,٩	٧,٨	٢٨,٩	٨	٢٧,٨	٧,٧	٢٨,٣	٧,٩
يونيو	٣١	٨,٦	٣١,٣	٨,٧	٣٣	٩,٢	٣٢	٨,٩	٣١,٨	٨,٩
يوليو	٢٩,٦	٨,٢	٣٠,٦	٨,٥	٣٢,٣	٩	٣١	٨,٦	٣٠,٩	٨,٦
أغسطس	٢٨	٧,٨	٢٨,٤	٧,٩	٣٠	٨,٣	٢٩,٢	٨,١	٢٨,٩	٨
الصيف	٢٩,٥	٨,٢	٣٠,١	٨,٤	٣١,٨	٨,٨	٣٠,٧	٨,٥	٣٠,٥	٨,٥
سبتمبر	٢٦,٦	٧,٤	٢٧,٤	٧,٦	٢٩,٤	٨,٢	٢٧,٩	٧,٨	٢٧,٨	٧,٧
أكتوبر	٢٥,١	٧	٢٥,٢	٧	٢٦,٦	٧,٤	٢٤,٨	٦,٩	٢٥,٤	٧,١
نوفمبر	٢٤,١	٦,٧	٢٤,١	٦,٧	٢٤,١	٦,٧	٢٣	٦,٤	٢٣,٨	٦,٦
الخريف	**٢٥,٣**	**٧**	**٢٥,٦**	**٧,١**	**٢٦,٧**	**٧,٤**	**٢٥,٢**	**٧**	**٢٥,٧**	**٧,١**
المتوسط	**٢٦,٧**	**٧,٤**	**٢٦,٨**	**٧,٥**	**٢٧,٦**	**٧,٧**	**٢٦,٦**	**٧,٤**	**٢٦,٩**	**٧,٥**

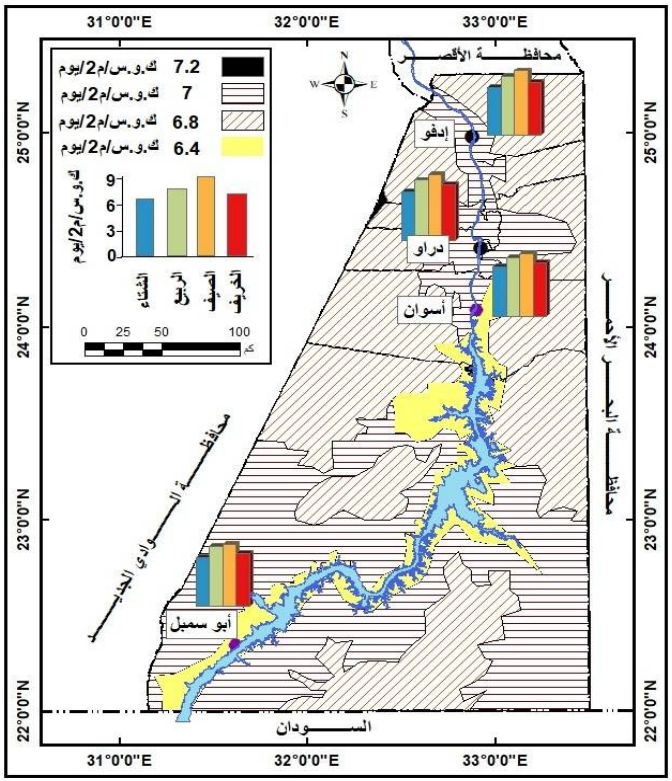
المصدر:

- الهيئة العامة للأرصاد الجوية، بيانات الإشعاع الشمسي، خلال الفترة (١٩٨٤-٢٠١٣).
- Nasa Surface Meteorology and solar energy, Direct solar radiation, (1984-2013)



شكل (٣) : الإشعاع الشمسي المباشر في محافظة أسوان خلال الفترة (١٩٩٤–٢٠١٥).

Source: World Bank Group, Solar Resource map, Direct Normal Irradiation, Egypt, (1994-2015).



شكل (٤) : حجم الطاقة الفوتوفلطية المقدَّرة من الإشعاع الشمسي المباشر في محافظة أسوان خلال الفترة (١٩٩٤–٢٠١٥).

Source: World Bank Group, Solar Resource map, Photovoltaic Power Potential, Egypt, (1994-2015).

من دراسة بيانات الجدول السابق والشكلين (٣)، (٤) يتضح ما يلي:

١- بلغ المتوسط السنوي للإشعاع الشمسي المباشر في محافظة أسوان ٢٦,٩ ميجا جول/م٢/يوم، ويبلغ حجم الطاقة الشمسية المقدَّرة منه ٧,٥ ك.و.س/م٢/يوم خلال الفترة (١٩٨٤-٢٠١٣)؛ وبذلك يفوق حجم الإشعاع المباشر والطاقة الشمسية المقدَّرة منه نظيريهما على مستوى الجمهورية البالغ ٢٠,٩ ميجا جول/م٢/يوم، ٥,٨ ك.و.س/م٢/يوم على الترتيب، ويتضح من ذلك ارتفاع ملائمة المحافظة لإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية.

٢- تختلف قِيم الإشعاع الشمسي المباشر في محافظة أسوان مكانيًا؛ وذلك وفقًا لمجموعةٍ من العوامل أهمها: عدد ساعات سطوع الشمس، وزاوية سقوط الإشعاع الشمسي، ونسبة الألبيدو الأرضي، حيث تبلغ قِيم الإشعاع الشمسي أقصاها في مركز دراو ٢٧,٦ ميجا جول/م٢/يوم ويبلغ حجم الطاقة الشمسية المقدَّرة ٧,٧ ك.و.س/م٢/يوم، وتأتي محطة أسوان في الترتيب الثاني من حيث قِيم الإشعاع الشمسي البالغة ٢٦,٨ ميجا جول/م٢/يوم، ويبلغ حجم الطاقة الشمسية المقدَّرة ٧,٥ ك.و.س/م٢/يوم، وتستحوذ محطة أبو سمبل على المكانة الثالثة بمعدل إشعاع شمسي بلغ ٢٦,٧ ميجا جول/م٢/يوم، ويبلغ حجم الطاقة الشمسية المقدَّرة ٧,٤ ك.و.س/م٢/يوم، بينما بلغ متوسط حجم الإشعاع الشمسي المباشر أدناه في مركز إدفو ٢٦,٦ ميجا جول/م٢/يوم، ويبلغ حجم الطاقة الشمسية المقدَّرة ٧,٤ ك.و.س/م٢/يوم.

٣- ويتضح مما سبق تفاوت قِيم الإشعاع الشمسي المباشر، وحجم الطاقة الشمسية المقدَّرة منه من منطقة إلى أخرى في محافظة أسوان، ورغم ذلك فإنَّ المحافظة تتميز بمعدلات إشعاع شمسي مرتفعةٍ جدًا، تفوق المعدلات الأنسب التي تم تحديدها لإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية البالغة ١٨ ميجا جول/م٢/يوم، وتعطي هذه المعدلات طاقة شمسية تقدر بنحو ٥ ك.و.س/م٢/يوم[(١)]؛ ويشير ذلك إلى ارتفاع ملائمة المحافظة لإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية.

٤- كذلك تتباين قِيم الإشعاع الشمسي المباشر في محافظة أسوان زمنيًا، حيث بلغت معدلات الإشعاع الشمسي المباشر أقصاها ٣٠,٥ ميجا جول/م٢/يوم، ويبلغ حجم الطاقة الشمسية المقدَّرة ٨,٥ ك.و.س خلال فصل الصيف؛ ويرجع السبب في ذلك إلى تعامد أشعة الشمس على مدار السرطان الذي يمر في الأجزاء الجنوبية من المحافظة خلال هذا الفصل، وقد ترتَّبَ على ذلك سقوط أشعة الشمس عمودية على جنوب المحافظة، وقريبة جدًا من العمودية على الأجزاء الوسطى والشمالية منها؛ مما انعكس على تقليل الفقد من الإشعاع الشمسي الساقط على محافظة أسوان.

---

(١) شيماء سمير عبد القادر: تأثير مورد الطاقة الشمسية على تغيير الهياكل العمرانية بالتطبيق على محافظة مطروح، رسالة ماجستير، غير منشورة، كلية التخطيط العمراني، جامعة القاهرة، ٢٠١٥، ص ٩٨.

٥- بلغت قِيم الإشعاع الشمسي المباشر في المحافظة أدناها ٢٣,٢ ميجا جول/م٢/يوم، ويبلغ حجم الطاقة الشمسية المقدَّرة ٦,٥ ك.و.س خلال فصل الشتاء؛ نظرًا لتعامد الشمس على مدار الجدي خلال هذا الفصل؛ الأمر الذي تَرتَّبَ عليه انخفاض زاوية سقوط الإشعاع الشمسي في المحافظة وخاصةً الأجزاء الشمالية منها؛ وانعكس ذلك على انخفاض حجم الإشعاع الشمسي المباشر خلال فصل الشتاء.

٦- على الرغم من انخفاض معدلات الإشعاع الشمسي المباشر، وحجم الطاقة الشمسية المقدَّرة في المحافظة خلال فصل الشتاء مقارنة بفصل الصيف؛ فإنَّ ذلك لا يؤثر على كفاءة إنتاج الكهرباء من المحطات الشمسية في المحافظة؛ وذلك لأنَّ معدلات الإشعاع الشمسي المباشر في المحافظة خلال فصل الشتاء تجعلها ضمن المناطق الأنسب لاستغلال الطاقة الشمسية كما سبقت الإشارة.

ثالثًا – إنتاج الكهرباء من المحطات الفوتوفلطية في موقع بنبان :

تمثل المحطات الفوتوفلطية في موقع بنبان الشمسي الإنتاج الفعلي للكهرباء المولَّدة من الطاقة الشمسية في المحافظة، ويمكن دراسة موقع بنبان الشمسي على النحو التالي:

١) أهمية موقع بنبان الشمسي:

يقع موقع بنبان الشمسي ضمن حدود قرية بنبان التابعة إداريًّا لمركز دراو عند تقاطع خط طول ٨٠ً ٣٤َ ٣٢° شرقًا بدائرة عرض ٣٤ً ٥٢َ ٢٤° شمالًا؛ ويبعد موضع محطات الطاقة الشمسية في بنبان عن مدينة أسوان بمسافة ٤٠ كم ناحية الشمال الغربي؛ وبذلك تقع المحطة في الظهير الصحراوي الغربي لمحافظة أسوان، وقد روعي عند اختيار موقع بنبان عدة اعتبارات أهمها:

- زيادة المتوسط السنوي لعدد ساعات سطوع الشمس في موقع بنبان البالغ ١٠,٨ ساعة/يوم خلال الفترة (١٩٨٤-٢٠١٣)؛ وترتَّبَ على ذلك زيادة معدلات الإشعاع الشمسي المباشر، والذي يبلغ ٢٨,٢ ميجا جول/م٢/يوم، ويبلغ حجم الطاقة المقدَّرة ٧,٨ ك.و.س/م٢/يوم خلال الفترة نفسها؛ وبذلك ترتفع قِيم الإشعاع الشمسي بموقع بنبان مقارنةً بالمتوسط العام للمحافظة البالغ ٢٦,٩ ميجا جول/م٢/يوم، ويبلغ حجم الطاقة المقدَّرة ٧,٥ ك.و.س/م٢/يوم(١).

(1) Nasa Surface Meteorology and Solar Energy, Direct Solar Radiation (1984-2013).

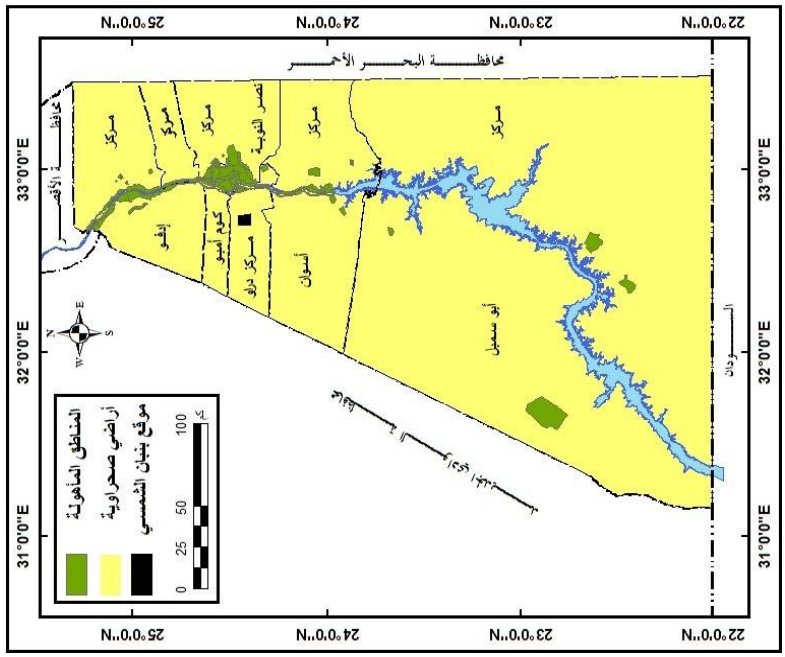
- موقع بنبان الشمسي في منطقة صحراوية غير مأهولة (شكل ٥)، وتتمثل أهمية هذا العامل في صعوبة إنشاء هذه المحطات في المناطق السكنية أو الأراضي الزراعية، بالإضافة إلى أنَّ تكلفة الأراضي تُعَدُّ معيارًا مهمًا يؤثر في إنشاء المحطات الشمسية؛ نظرًا لدورها في تحديد تكلفة إنشاء تلك المحطات(١)، ويشير ذلك إلى أهمية موقع بنبان؛ نظرًا لتخصيص مساحات كبيرة من الأراضي الصحراوية لصالح هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة لإنشاء المحطات الفوتوفلطية، حيث تبلغ مساحة موقع بنبان ٣٧,٢ كم٢ (٨٨٥٧,١ فدانًا)، وتنقسم هذه المساحة إلى ٤٠ قطعة منتظمة في أربعة صفوف، تتراوح مساحتها ما بين (٠,٣-١ كم٢)، لإنشاء ٤٠ محطة فوتوفلطية تتراوح قدرتها الاسميَّة ما بين (٢٠-٥٠ ميجاوات)(٢).
- يتميز موقع بنبان بقربه من الشبكة الكهربائية الموحدة شكل (٦)، ويعد ذلك عاملًا مهمًا من الناحية الاقتصادية؛ لأنَّه يقلل من تكلفة التركيب، وإنشاء بنية تحتية جديدة(٣)؛ لذلك تَمَّ ربط موقع بنبان الشمسي بالشبكة الكهربائية الموحدة بسهولة؛ نظرًا لقربها من الخط الهوائي جهد ٢٢٠ ك.ف بمسافة ١٢ كم، حيث يربط هذا الخط بين محطة محولات ربط أسوان – محطة محولات سلوا؛ وقد ترتَّبَ على ذلك خفض تكلفة ربط المحطة بالشبكة الكهربائية، مما يزيد من أهمية موقع بنبان قربه من الخط الهوائي جهد ٥٠٠ ك.ف، الذي يربط بين محطة محولات السد العالي – محطة محولات نجع حمادي بمسافة ٥٠٠ متر.
- بالإضافة إلى خصائص موقع بنبان سالفة الذكر؛ فإنَّه يتميز باستواء السطح وعدم تضرسه، حيث يقع موقع بنبان شكل (٧) على منسوب ١٥٠ مترًا فوق مستوى سطح البحر، بينما تقع مياه نهر النيل على منسوب ٨٣ مترًا فوق مستوى سطح البحر، وبذلك يبلغ فارق المنسوب بين موقع بنبان ومنسوب مياه نهر النيل ٦٧ مترًا، وقد ساعد استواء السطح في موقع بنبان على خفض تكلفة إنشاء المحطات الشمسية، بالإضافة إلى تحقيق الاستفادة القصوى من طاقة الإشعاع الشمسي في إنتاج الكهرباء.

---

(1) Merve A. & Mehmet A. (2018): Optimal Site Selection for a Solar Power Plant in Turkey Using a Hybrid AHP-TOPSIS Method. *Celal Bayar University Journal of Science*, Volume (14), P. 417

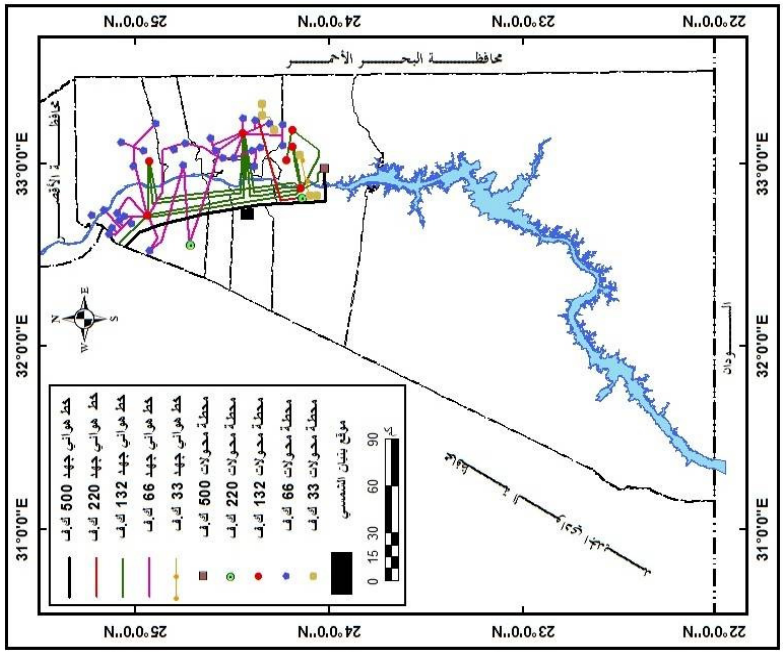
(٢) هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، مشروعات إنتاج الكهرباء من الخلايا الفوتوفلطية في بنبان، الدراسة الاستراتيجية لتقييم التأثيرات البيئية والاجتماعية، التقرير النهائي، فبراير ٢٠١٦، ص ٣٦.

(3) Hala Adel Effat (2013): Selection of Potential Sites for Solar Energy Farms in Ismailia Governorate, Egypt using SRTM and Multi-criteria Analysis. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS,* Volume (2), P. 210.



شكل (٥) : موقع بنبان بالنسبة للمناطق المأهولة في محافظة أسوان.

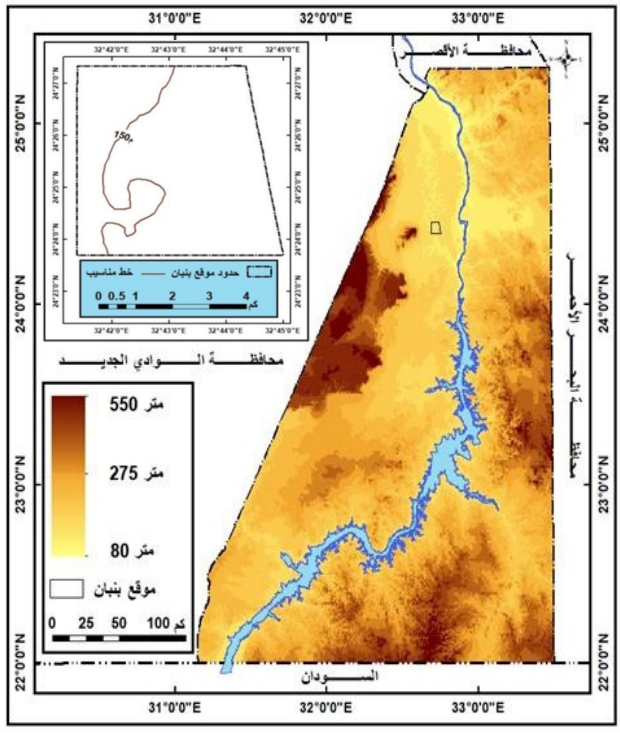
المصدر : الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، وحدة نظم المعلومات الجغرافية ٢٠١٧.



شكل (٦) : موقع بنبان بالنسبة للشبكة الكهربائية في محافظة أسوان.

المصدر : الشركة المصرية لنقل الكهرباء، قطاع كهرباء أسوان، الشئون الفنية، ٢٠١٩.

- يقترب موقع بنبان من شبكة الطرق القائمة، حيث يبعد عن طريق أسوان – الأقصر بمسافة ١ كم، الذي يمثل خط الطرق الرئيس على طول امتداد نهر النيل، وترتَّبَ على ذلك إنشاء خطين من الطرق المرصوفة داخل موقع بنبان باتجاه عام من الشرق إلى الغرب، ويتعامدان على طريق أسوان – الأقصر، بالإضافة إلى إنشاء عدة طرق من الرمال والحصى المضغوط؛ وذلك لتسهيل الوصول إلى كافة المحطات الموجودة بالموقع(١).
- يبعد موقع بنبان عن مدينة أسوان الجديدة بمسافة ٢٩ كم شمالًا؛ لذلك يتم إمداده بكميات المياه اللازمة للأغراض الأدمية، وغسيل الألواح الشمسية من محطة مياه الشرب بمدينة أسوان الجديدة بواسطة شاحنات مخصصة لذلك، كما يتميز الموقع بقربه من نهر النيل بمسافة ١٥ كم؛ ويساعد ذلك على سهولة توصيل خط أنابيب من نهر النيل إلى المحطة خلال الفترات القادمة؛ مما يضمن استمرارية وصول المياه إلى المحطات الفوتوفلطية بالموقع.



شكل (٧) : مناسيب السطح في محافظة أسوان.

المصدر: من إعداد الباحِثَيْن اعتمادًا على: Digital Elevation Model 30 M (DEM)

(١) هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، مشروعات إنتاج الكهرباء من الخلايا الفوتوفلطية في بنبان، مصدر سبق ذكره، ص ص ٣٨-٤٢.

٢) مكونات شبكة نقل الكهرباء في موقع بنبان:

يضم موقع بنبان الشمسي شبكة داخلية لنقل الكهرباء، وذلك لنقل الكهرباء المولَّدة من المحطات الفوتوفلطية بالموقع، وتوصيلها إلى محطات محولات رفع الجهد تمهيدًا لإرسالها إلى الشبكة الموحدة من خلال خط هوائي جهد ٢٢٠ ك.ف، ويربط هذا الخط بين محطة محولات ربط أسوان ومحطة محولات سلوا، ويمكن التعرف على مكونات شبكة نقل الكهرباء في موقع بنبان كما يلي:

أ- خطوط نقل الكهرباء:

يَتِمُّ الاعتماد على الكابلات الأرضية جهد ٢٢ ك.ف في نقل الكهرباء المولَّدة من المحطات الفوتوفلطية بموقع بنبان؛ وذلك للحد من الأخطار الناتجة عن الخطوط الهوائية، وتقليل نسبة الفقد من الكهرباء المنقولة، حيث يَتِمُّ ربط المحطة الواحدة قدرة ٥٠ م.و بمحطة المحولات التابعة لها بواسطة ثلاثة مغذيات كل مغذٍّ يتكون من ثلاثة أطراف، بينما ترتبط المحطة قدرة ٢٠ م.و من خلال مغذيين كل مغذٍّ يتكون من ثلاثة أطراف.

ب- محطات محولات رفع الجهد:

تتركز هذه المحطات في الجانب الشرقي من موقع بنبان؛ نظرًا لقربها من طريق أسوان- الأقصر، بالإضافة إلى قربها من الشبكة الكهربائية الموحدة؛ وقد ترتَّبَ على ذلك تسهيل تركيب معدات هذه المحطات، وخفض التكلفة الكلية اللازمة لربطها بالشبكة الكهربائية الموحدة، حيث يبلغ عدد محطات محولات رفع الجهد في موقع بنبان أربع محطات بتكلفةٍ إجماليةٍ بلغت ٦٠٠ مليون جنيهٍ مصري، وتعمل هذه المحطات بالنظام المعزول بالغاز، الذي يمثل أعلى تكنولوجيا لتوفير الأمان الكامل للعاملين داخل هذه المحطات، ويمكن تناول هذه المحطات كما يلي:

- **محطة محولات بنبان (١):** تقع المحطة في الطرف الشمالي الشرقي من موقع بنبان عند التقاء خط طول ٠٤ً ٤٤َ ٣٢° شرقًا بدائرة عرض ٩٣ً ٧٢َ ٢٤° شمالًا، وتبلغ مساحة المحطة ١٥٤٠٠ مترٍ مربعٍ أي ما يعادل (٣,٦٦ فدانًا)، وتتكون المحطة من ثلاثة محولات جهد ٢٢٠/٢٢ ك.ف، حيث تبلغ سعة المحول ١٧٥ م.ف.أ؛ وبذلك تبلغ السعة الكلية للمحطة ٥٢٥ م.ف.أ، تستقبل تلك المحطة الكهرباء المولَّدة من ٨ محطات تتركز في الصف الأول شمال موقع بنبان.

- **محطة محولات بنبان (٢):** تقع هذه المحطة جنوب محطة بنبان (١) عند التقاء خط طول ٩٢ً ٤٤َ ٣٢° شرقًا بدائرة عرض ٠٤ً ٦٢َ ٢٤° شمالًا، وتبلغ مساحة المحطة ١٥٠٥٠ مترًا مربعًا أي ما يعادل (٣,٥٨ فدانًا)، وتتكون المحطة من ثلاثة محولات جهد ٢٢٠/٢٢ ك.ف، تبلغ سعة المحول ١٧٥ م.ف.أ صورة (١)؛ بسعةٍ إجماليةٍ تبلغ ٥٢٥ م.ف.أ، وتستقبل المحطة الطاقة الكهربائية المولَّدة من ٩ محطات فوتوفلطية تتركز في الصف الثاني من موقع بنبان.
- **محطة محولات بنبان (٣):** تقع المحطة جنوب محطة بنبان (٢) عند تقاطع خط طول ٢١ً ٤٤َ ٣٢° شرقًا بدائرة عرض ٨٨ً ٤٢َ ٢٤° شمالًا، وتُعَدُّ هذه المحطة أكبر محطات المحولات من حيث المساحة البالغة ٦٣٤٦٧ مترًا مربعًا، أي ما يعادل (١٥,١١ فدانًا)، وتتكون المحطة من ثلاثة محولات جهد ٢٢/ ٢٢٠ ك.ف، تبلغ سعة المحول ١٧٥ م.ف.أ؛ بسعةٍ إجماليةٍ تبلغ ٥٢٥ م.ف.أ، وتستقبل المحطة الكهرباء المولَّدة من ٨ محطات تتركز في الصف الثالث بموقع بنبان.
- **محطة محولات بنبان (٤):** تقع تلك المحطة في الطرف الجنوبي الشرقي من موقع بنبان عند التقاء خط طول ٧٥ً ٤٤َ ٣٢° شرقًا بدائرة عرض ٢٨ً ٣٢َ ٢٤° شمالًا، وتبلغ مساحة المحطة ١٤٨٢١ مترًا مربعًا أي ما يعادل (٣,٥٢ فدانًا)، وتتكون المحطة من ثلاثة محولات جهد ٢٢٠/٢٢ ك.ف، تبلغ سعة المحول ١٧٥ م.ف.أ؛ بسعةٍ إجماليةٍ تبلغ ٥٢٥ م.ف.أ، وتستقبل المحطة الكهرباء المولَّدة من ٧ محطات فوتوفلطية تتركز في الصف الرابع جنوب موقع بنبان.

ومما تجدر الإشارة إليه أنَّ محطات المحولات الأربع سالفة الذكر ترتبط بالشبكة الكهربائية من خلال خط دخول جهد ٢٢٠ ك.ف يربط بين محطة محولات ربط أسوان – محطة محولات بنبان (٤) كما ترتبط محطة محولات بنبان (٤) بمحطات المحولات الثلاثة من خلال الكابلات الأرضية، وتتصل محطات المحولات في موقع بنبان بالشبكة الموحدة صورة (٢) من خلال خطي خروج هما: خط مفرد جهد ٢٢٠ ك.ف يربط بين محطة محولات بنبان (١) – محطة محولات سلوا – مركز كوم أمبو، وخط مفرد جهد ٢٢٠ ك.ف يربط بين محطة محولات بنبان (١) – محطة محولات النقرة – مركز نصر النوبة[١].

(١) المصدر: الدراسة الميدانية لموقع بنبان الشمسي خلال الفترة (٧– ٨) يناير ٢٠٢٠.

٣) محطات إنتاج الكهرباء الفوتوفلطية في موقع بنبان:

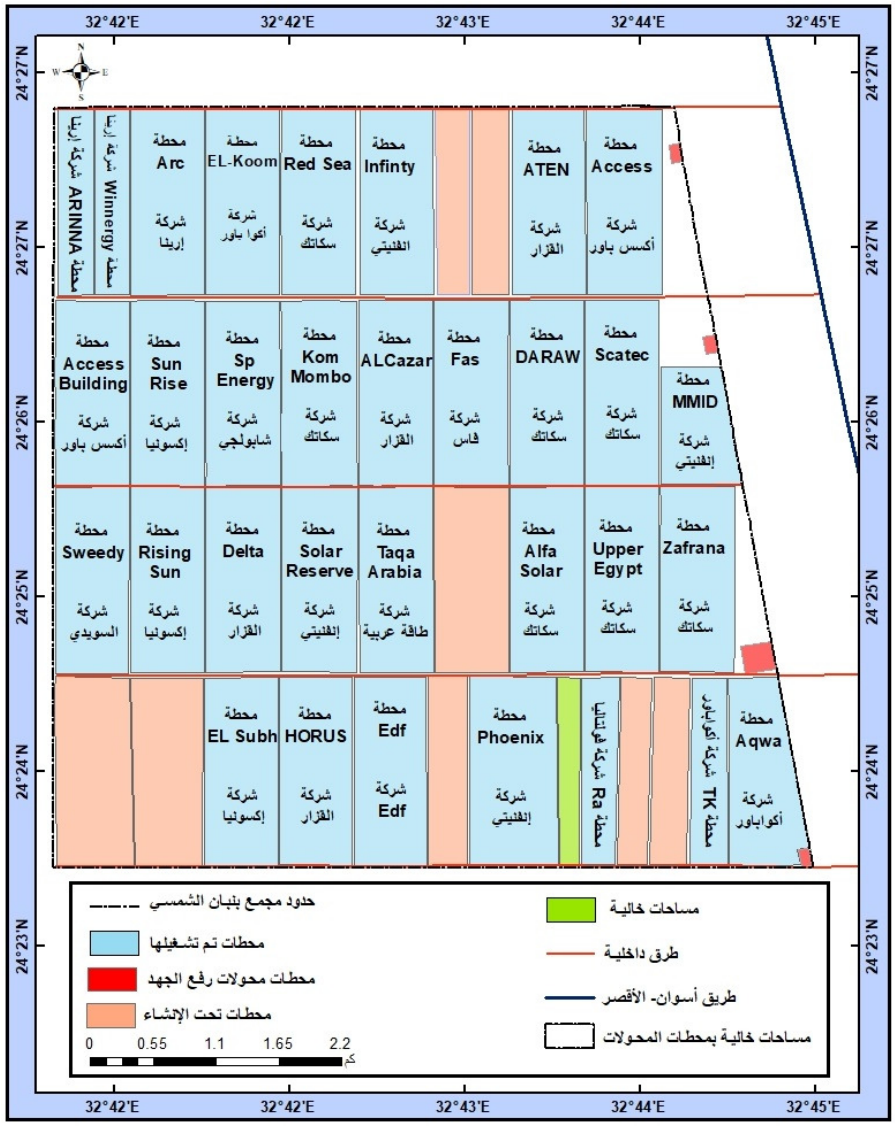
يبلغ عدد المحطات الفوتوفلطية المخطط إنشاؤها في موقع بنبان ٤٠ محطة، حيث بلغ عدد المحطات التي تَمَّ إنشاؤها وتشغيلها ٣٢ محطة بإجمالي قدرةٍ اسميةٍ بلغت ١٤٦٥ ميجاوات تمثل ٧٣,٣% من إجمالي القدرات الاسميِّة المخطط تنفيذها في موقع بنبان البالغة ٢٠٠٠ ميجاوات، وينقسم موقع بنبان إلى أربعة صفوف من الشمال إلى الجنوب (شكل ٨)، وتختلف هذه الصفوف من حيث إجمالي عدد المحطات المخطط إنشاؤها، وكذلك المحطات التي تَمَّ تشغيلها، وحجم القدرات الاسميِّة المُرَكَّبة، والطاقة الكهربائية المولَّدة[١]، ويمكن دراسة هذه الصفوف على النحو التالي:

١- **الصف الأول:** يقع هذا الصف في الجزء الشمالي من موقع بنبان، وتبلغ مساحته ٨,٦٩ كم^{٢} أي ما يعادل (٢٠٦٩,٩ فدانًا) تمثل ٢٣,٤% من جملة مساحة موقع بنبان، وينقسم هذا الصف إلى عشر محطات تبلغ قدرتها الاسميِّة ٣٨٠ ميجاوات بواقع ست محطات قدرة المحطة الواحدة ٥٠ ميجاوات، بالإضافة إلى أربع محطات قدرة المحطة الواحدة ٢٠ ميجاوات، بلغ عدد المحطات التي تَمَّ تشغيلها وربطها بالشبكة الكهربائية الموحدة ثماني محطات بجملة قدراتٍ مركبةٍ بلغت ٣٤٠ ميجاوات بواقع ست محطات قدرة المحطة ٥٠ ميجاوات، ومحطتين قدرة المحطة ٢٠ ميجاوات[٢]، حيث يتم نقل الكهرباء المولَّدة من تلك المحطات إلى محطة محولات بنبان (١).

---

(١) بلغت التكلفة الإجمالية لمشروع بنبان ٤٢ مليار جنيهٍ مصري، وتَمَّ إنشاء هذه المحطات من خلال شركات القطاع الخاص المتخصصة في إنشاء المحطات الشمسية البالغ عددها ١٣ شركة بنظام تعريفة التغذية (Feed- in Tariff)، حيث بلغ عدد الشركات المصرية ثلاث شركات هي: إنفنتي، والسويدي، وطاقة عربية، بلغ عدد المحطات المنفذة بواسطها سبع محطات بإجمالي قدرةٍ مركبةٍ بلغت ٣٥٠ ميجاوات بنسبة ٢٣,٩% من إجمالي القدرات الاسميِّة بموقع بنبان، وفي المقابل بلغ عدد الشركات غير المصرية في موقع بنبان الشمسي عشر شركات (سكاتك النرويجية، القزار الإماراتية، أكسيس باور الإماراتية، إكسيونا الإسبانية، أكوا باور السعودية، فاس السعودية، ألفا سولار السعودية، إرينا الإيطالية، شابولجي الهندية، فولتاليا الفرنسية)، حيث بلغ عدد المحطات التي أنشأتها تلك الشركات ٢٥ محطة بجملة قدراتٍ اسميةٍ بلغت ١١١٥ ميجاوات تمثل ٧٦,١% من إجمالي القدرات الاسميِّة التي تَمَّ تشغيلها بموقع بنبان.

(٢) تتفاوت المحطات الموجودة في الصف الأول من حيث المساحة، حيث تبلغ مساحة المحطة قدرة ٥٠ م.و ٩٦٢,٤ ألف متر مربع، وتبلغ مساحة المحطة قدرة ٢٠ م.و ٤٧٢,٣ ألف متر مربع، وهذه المحطات هي: =



شكل (٨) : استخدامات الأرض في موقع بنبان الشمسي.

المصدر: – الشكل من إعداد البَاحِثَيْن بتصرف عن Google Erath 2019.

– الدراسة الميدانية لموقع بنبان الشمسي خلال الفترة (٧–٨) يناير ٢٠٢٠.

٢- **الصف الثاني:** يقع جنوب الصف الأول، وتبلغ مساحته الإجمالية ٨,٩٩ كم٢ أي ما يعادل (٢١٤٢ فدانًا) بنسبة ٢٤,٢% من إجمالي مساحة موقع بنبان، وتنقسم هذه المساحة إلى تسع محطات تمَّ تشغيلها وربطها بالشبكة الكهربائية الموحدة، وتبلغ جملة القدرات الاسميِّة لهذه المحطات ٤٣٠ ميجاوات بواقع ثماني محطات تبلغ قدرة المحطة الواحدة ٥٠ ميجاوات بالإضافة إلى محطة واحدة تبلغ قدرتها ٣٠ ميجاوات (محطة إنفينيتي MMID)؛ وبذلك تمثل القدرات الاسميِّة للمحطات الموجودة بهذا الصف ٢٩,٤% من إجمالي القدرة الاسميِّة التي تمَّ توصيلها بالشبكة الموحدة في موقع بنبان البالغة ١٤٦٥ ميجاوات، ويتم نقل الكهرباء المولَّدة من المحطات الفوتوفلطية بهذا الصف إلى محطة محولات بنبان(٢)[١].

= ١. محطة إنفينيتي تتبع هذه المحطة شركة إنفنتي، وتُعَدُّ أول محطة تم تشغيلها في موقع بنبان؛ وذلك خلال شهر مارس ٢٠١٨، وتبلغ قدرتها الاسميِّة ٥٠ م.و، حيث تتكون المحطة من سبع مناطق (Zones) كل منطقة تتكون من ٦٩ صفًا (Tracker) صورة (٣)، والمحطة مزودة بأنظمة التتبع الشمسي صورة (٤)، وتضم المحطة ٢٠ محولًا تبلغ جملة قدراتها ٢٥٠٠ ك.ف.أ صورة (٥)؛ وذلك لتحويل الكهرباء المولَّدة من التيار الثابت إلى تيار متردد جهد ٢٢ ك.ف.

٢. محطة Access: تتبع هذه المحطة شركة أكسس باور الإماراتية، وتبلغ قدرتها الاسميِّة ٥٠ م.و، وتتكون المحطة من سبع مناطق كل منطقة تتكون من ٦٥ صفًا، ويبلغ عدد محولات نقل الكهرباء المولدة من المحطة ١٢ محولًا.

٣. محطة ATEN: تمَّ إنشاؤها من خلال شركة القزار (إماراتية/ إسبانية) بقدرةٍ اسميةٍ ٥٠ م.و، تتألف المحطة من ٤ مناطق تضم كل منطقة ٦٩ صفًا، يبلغ إجمالي عدد محولات نقل الكهرباء بالمحطة ٩ محولات.

٤. محطة Red Sea: أنشئت بتمويل من شركة سكاتك النرويجية بقدرةٍ اسميةٍ بلغت ٥٠ م.و، وتقسم المحطة إلى خمس مناطق تضم المنطقة الواحدة ٦٢ صفًا ، ويتمُّ نقل الكهرباء من المحطة بواسطة ١١ محولًا.

٥. محطة EL- Koom: أنشئت بتمويل من شركة أكوا باور السعودية بقدرةٍ بلغت ٥٠ ميجاوات، وتتكون المحطة من أربعة مناطق تضم كل منطقة ٧٨ صفًا من الخلايا الشمسية.

٦. محطات ARINNA: بلغ عدد المحطات التابعة لشركة إرينا الإيطالية ثلاث محطات هي: محطة Arc بقدرة اسمية بلغت ٥٠ ميجاوات، وتتكون المحطة من ست مناطق تتألف كل منطقة من ٥٤ صفًا من الألواح الشمسية، ومحطة Winnergy بقدرة اسمية بلغت ٢٠ ميجاوات، تضم المحطة ست مناطق تتكون كل منطقة من ٢٧ صفًا من الألواح الشمسية، ومحطة ARINNA: بقدرة اسمية بلغت ٢٠ ميجاوات، وتتكون المحطة من ست مناطق تتكون كل منطقة من ٢٧ صفًا من الألواح الشمسية.

(١) تختلف مساحة محطات الصف الثاني، حيث تبلغ مساحة المحطة قدرة ٥٠ م.و ٩٧٠,٧ ألف متر مربع، وتبلغ مساحة محطة (MMID) قدرة ٣٠ م.و ٥٩٦,٢ ألف متر مربع، ويمكن تناول هذه المحطات كما يلي:=

٣- **الصف الثالث:** تبلغ المساحة الإجمالية لهذا الصف ٩,٥٧ كم٢ بما يعادل (٢٢٨٠ فدانًا) تمثل ٢٥,٨% من إجمالي المساحة الكلية لموقع بنبان، وتتوزع هذه المساحة على تسع محطات بواقع ٩٦٩,٦ ألف متر مربع للمحطة الواحدة، حيث بلغت القدرة الاسميِّة لتلك المحطات ٤٥٠ ميجاوات بواقع ٥٠ ميجاوات للمحطة الواحدة؛ وبلغ عدد المحطات التي تمَّ تشغيلها وربطها بالشبكة الموحدة ثماني محطات بقدرةٍ بلغت ٤٠٠ ميجاوات تعادل ٢٧,٣% من إجمالي القدرات الاسميِّة التي تَمَّ توصيلها بالشبكة الموحدة في موقع بنبان[١]، حيث يَتِمُّ نقل الكهرباء المولَّدة من تلك المحطات إلى محطة محولات بنبان (٣).

= ١. محطة MMID Infinty : تتبع شركة إنفينتي بقدرة اسمية تبلغ 30 ميجاوات، وتتكون المحطة من سبع مناطق (Zones) كل منطقة تتكون من ٦٩ صفًا (Tracker)، ويبلغ عدد محولات نقل الكهرباء بالمحطة ٢٠ محولًا تبلغ إجمالي سعاتها ٢٥٠٠ ك.ف.أ.

٢. محطات سكاتك: يبلغ عددها ثلاث محطات بجملة قدرات اسمية بلغت ١٥٠ ميجاوات بواقع ٥٠ ميجاوات للمحطة الواحدة، وهذه المحطات هي: (Scatec)، (DARAW)، (Kom Mombo)، تنقسم كل محطة إلى ست مناطق كل منطقة تضم ٦٠صفًا من الخلايا الشمسية.

٣. محطة (AL- cazar): تَمَّ إنشاء هذه المحطة بتمويل من شركة القزار (إماراتية/ إسبانية) بقدرةٍ اسميةٍ مركبةٍ بلغت ٥٠ ميجاوات، وتتألف المحطة من أربع مناطق تضم كل منطقة ٦٦ صفًا من الخلايا الشمسية، يبلغ عدد محولات نقل الكهرباء المولدة من المحطة ٩ محولات.

٤. محطة (Fas): أُنشئت هذه المحطة بتمويل من شركة فاس السعودية بقدرةٍ اسميةٍ بلغت ٥٠ ميجاوات، وتتكون من ثماني مناطق تضم المنطقة الواحدة ١٣٤ صفًا من الخلايا الشمسية، وتشمل المحطة على ١٤ محولًا لنقل الكهرباء المولَّدة منها.

٥. محطة (SP Energy): تتبع شركة شابوجي بالونجي الهندية بقدرةٍ اسمية ٥٠ م.و، وتتكون المحطة من منطقتين تتكون كل منطقة من ١٣٨ صفًا من الخلايا الشمسية.

٦. محطة (Sun Rise): تَمَّ إنشاء هذه المحطة من خلال شركة أكسونيا الإسبانية، تتكون المحطة من ست مناطق تضم كل منطقة ١٣٠ صفًا من الخلايا الشمسية، ويبلغ عدد محولات نقل الكهرباء من المحطة ٢٠ محولًا.

٧. محطة (Access Building): أُنشئت هذه المحطة بتمويل من شركة أكسيس باور الإمارتية، وتتكون المحطة من سبع مناطق كل منطقة تتكون من ٦٥ صفًا، ويبلغ عدد محولات نقل الكهرباء من المحطة ١٢ محولًا.

(١) يمكن الإشارة إلى المحطات الفوتوفلطية التي تم تشغيلها في الصف الثالث على النحو التالي: =

٤- **الصف الرابع:** يقع هذا الصف في الجزء الجنوبي من موقع بنبان، ويعد أكبر صفوف موقع بنبان من حيث المساحة البالغة ٩,٩ كم٢ أي ما يعادل (٢٣٥٧,١ فدانًا) تعادل ٢٦,٦% من إجمالي مساحة موقع بنبان، ويضم هذا الصف اثنتي عشرة محطة بجملة قدراتٍ اسميةٍ بلغت ٤٥٥ ميجاوات بواقع سبع محطات قدرة المحطة الواحدة ٥٠ ميجاوات، وأربع محطات قدرة الواحدة ٢٠ ميجاوات، بالإضافة إلى محطة واحدة بقدرة ٢٥ ميجاوات، وبلغ عدد المحطات التي تَمَّ تشغيلها وربطها بالشبكة الموحدة سبع محطات تبلغ جملة قدراتها الاسميِّة ٢٩٥ ميجاوات بنسبة ٢٠,١% من إجمالي القدرات الاسميِّة التي تَمَّ توصيلها بالشبكة الموحدة في موقع بنبان[١]، ويَتِمُّ نقل الكهرباء المولَّدة من هذه المحطات إلى محطة محولات بنبان (٤).

= ١. محطة (Sweedy): تتبع هذه المحطة شركة السويدي المصرية، حيث تتكون المحطة من سبع مناطق كل منطقة تتكون من ٦٩ صفًا، كما تشمل المحطة على ٢٠ محولًا تبلغ سعاتها الإجمالية ٢٥٠٠ ك.ف.أ.

٢. محطة (Rising Sun): تتبع المحطة شركة إكسونيا، تتكون المحطة من ست مناطق كل منطقة تتكون من ١٣٠ صفًا ، تضم المحطة ٢٠ محولًا لنقل الكهرباء المولَّدة منها.

٣. محطة (Delta): تَمَّ إنشاؤها بتمويل من شركة القزار (إماراتية/ إسبانية)، تتكون المحطة من أربع مناطق تضم كل منطقة ٦٦ صفًا، ويبلغ عدد محولات نقل الكهرباء المولدة بالمحطة تسعة محولات.

٤. محطة (Solar Reserve): تتبع هذه المحطة شركة إنفينيتي، تتكون المحطة من عشر مناطق، تتكون كل منطقة من ٦٧ صفًا من الخلايا الشمسية، وتضم المحطة ٢٢ محولًا لنقل الكهرباء المولَّدة منها.

٥. محطة (Taqa Arabia): تَمَّ إنشاؤها بتمويل من شركة طاقة عربية، وتتألف المحطة من أربع مناطق كل منطقة تتكون من ٧١ صفًا من الخلايا الشمسية، حيث يبلغ عدد محولات نقل الكهرباء في المحطة ١١ محولًا.

٦. محطة (Alfa Solar) تتبع هذه المحطة شركة ألفا سولار السعودية، تتكون المحطة من سبع مناطق كل منطقة تتكون من ١٣٨ صفًا، وتضم المحطة ٢٧ محولًا لنقل الطاقة الكهربائية المولدة منها.

٧. محطات سكاتك: تمتلك شركة سكاتك النرويجية بهذا الصف محطتين بجملة قدرات اسمية بلغت ١٠٠ ميجاوات بواقع ٥٠ ميجاوات للمحطة الواحدة، وهاتان المحطتان هما: (Upper Egypt)، (Zafrana) وتتساوى هاتان المحطتان من حيث عدد المناطق البالغة خمس مناطق لكل محطة، وتضم كل منطقة ٦٠ صفًا من الخلايا الشمسية، كما تشمل كل محطة على ١١ محولًا لنقل الكهرباء المولَّدة منها.

(١) يمكن الإشارة إلى المحطات التي تم تشغيلها بالصف الرابع في موقع بنبان كما يلي:=

٤) الكهرباء المولَّدة من المحطات الفوتوفلطية في بنبان – محطة إنفينيتي نموذجًا:

بلغ حجم الكهرباء المولَّدة من المحطات الفوتوفلطية في موقع بنبان ٣٥٦٩,٩ مليون ك.و.س عام ٢٠١٩ تمثل ١٥,١% من إجمالي الكهرباء المولدة من الطاقة المتجددة في مصر البالغة ٢٣٧٠١ مليون ك.و.س خلال العام نفسه، وبنسبة ٨٠,٨% من جملة الكهرباء المولدة من محطات الطاقة الشمسية البالغة ٤٤١٨ مليون ك.و.س؛ وسيتم دراسة حجم الكهرباء المولَّدة من محطة إنفينيتي كنموذجٍ داخليٍ للمحطات الفوتوفلطية في موقع بنبان الشمسي؛ وذلك لأنَّها تُعَدُّ المحطة الوحيد التي مرَّ على تشغيلها أكثر من عام؛ مما يترتب عليه سهولة المقارنة بين حجم الكهرباء المولَّدة ومعدلات الإشعاع

= ١. محطة (EL subh): أُنشئت هذه المحطة بتمويل من شركة إكسونيا بقدرةٍ اسميةٍ ٥٠ ميجاوات، وتبلغ مساحتها ٩٧١ ألف متر مربع، وتتكون المحطة من ست مناطق كل منطقة تتكون من ١٣٠ صفًا من الخلايا الشمسية، يبلغ عدد محولات نقل الكهرباء المولدة من المحطة ٢٠ محولًا.

٢. محطة (HORUS): تتبع هذه المحطة شركة القزار (إماراتية/ إسبانية) بإجمالي قدرةٍ اسميةٍ بلغت ٥٠ ميجاوات، وبمساحةٍ إجماليةٍ بلغت ٩٧٠,٩ ألف مترٍ مربعٍ، وتتكون المحطة من أربع مناطق تشمل كل منطقة على ٦٦ صفًا من الخلايا الشمسية، وتضم المحطة تسعة محولات لنقل الكهرباء المولَّدة منها.

٣. محطة (Edf): تَمَّ إنشاء هذه المحطة بتمويل من شركة (EDF Energies Nouvelles)، بقدرةٍ اسميةٍ بلغت ٥٠ ميجاوات، وتبلغ مساحتها الإجمالية ٩٧٣,٥ ألف مترٍ مربعٍ، وتنقسم المحطة إلى أربع مناطق تضم كل منطقة ٦٦ صفًا من الخلايا الشمسية، ويبلغ عدد محولات نقل الكهرباء المولدة من المحطة تسعة محولات.

٤. محطة (Phoenix): تتبع شركة إنفينيتي، بقدرةٍ بلغت ٥٠ م.و، وتبلغ مساحتها ٩٨١,٨ ألف مترٍ مربعٍ، وتتكون المحطة من ست مناطق، تضم المنطقة ٦٧ صفًا، ويبلغ عدد محولات نقل الكهرباء المولدة من المحطة ٢٣ محولًا.

٥. محطة (RA): أُنشئت بتمويل من شركة فولتاليا الفرنسية بقدرةٍ اسميةٍ بلغت ٢٥ ميجاوات، وتبلغ مساحة المحطة ٤٨٢ ألف مترٍ مربعٍ، تنقسم هذه المساحة إلى منطقتين طوليتين باتجاه عام من الشمال إلى الجنوب كل منطقة تتكون من ١٩ صفًا من الخلايا الشمسية، ويبلغ عدد محولات نقل الكهرباء المولدة من المحطة تسعة محولات.

٦. محطات (Aqwa): تمتلك شركة أكوا باور السعودية بهذا الصف محطتين هما: محطة (Tk) بقدرةٍ اسميةٍ ٢٠ م.و، حيث تبلغ مساحة المحطة ٤٥٢,١ ألف مترٍ مربعٍ، وتتكون المحطة من منطقتين تتكون كل منطقة من ٣٧ صفًا، ومحطة (Aqwa) بقدرةٍ اسميةٍ بلغت ٥٠ م.و، وتبلغ مساحة المحطة ٨٧٥,٤ ألف مترٍ مربعٍ، وتتكون من ست مناطق، ويبلغ عدد الصفوف بكل منطقة ٧٥ صفًا من الخلايا الشمسية تضم ١٨٨,٢ ألف لوح شمسي، وتضم المحطة ٢٠ محولًا لنقل الكهرباء، بسعةٍ إجماليةٍ تبلغ ٢٦٥٠ ك.ف.أ.

الشمسي المباشر، ويترتب على ذلك تحديد أهمية حجم الإشعاع الشمسي المباشر في إنتاج الكهرباء، وهذا ما يوضحه الجدول التالي:

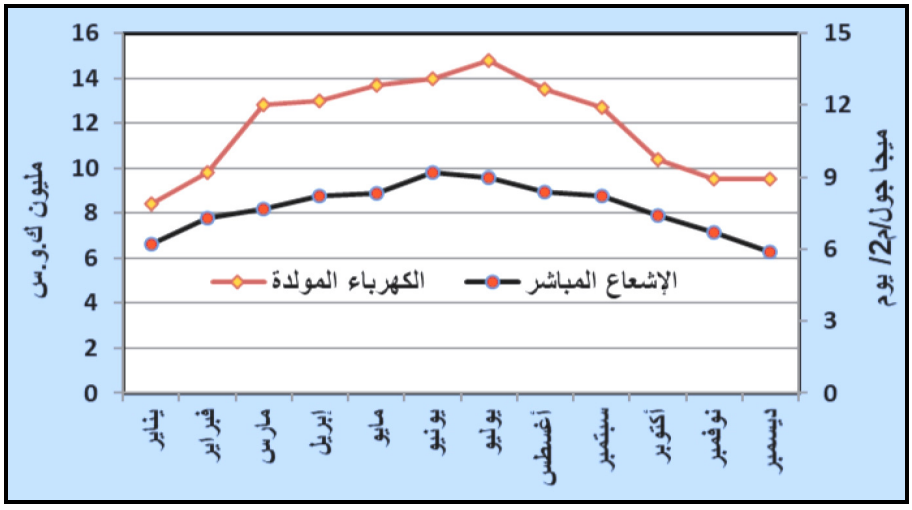
جدول (٣) : حجم الكهرباء المولَّدة من محطة إنفينيتي كنموذجٍ داخليٍ للمحطات الفوتوفلطية في موقع بنبان عام ٢٠١٩[(١)].

الشهر	الكهرباء المولَّدة مليون ك.و.س	% من إجمالي الكهرباء المولَّدة	الإشعاع الشمسي المباشر ك.و.س/م٢/يوم
ديسمبر	٩,٥	٦,٧	٥,٩
يناير	٨,٤	٥,٩	٦,٢
فبراير	٩,٨	٦,٩	٧,٣
الشتاء	٩,٢	٦,٥	٦,٥
مارس	١٢,٨	٩	٧,٧
إبريل	١٣	٩,٢	٨,٢
مايو	١٣,٧	٩,٦	٨,٣
الربيع	١٣,٢	٩,٣	٨,١
يونيو	١٤	٩,٩	٩,٢
يوليو	١٤,٨	١٠,٤	٩
أغسطس	١٣,٥	٩,٥	٨,٤
الصيف	١٤,١	٩,٩	٨,٩
سبتمبر	١٢,٧	٨,٩	٨,٢
أكتوبر	١٠,٤	٧,٣	٧,٤
نوفمبر	٩,٥	٦,٧	٦,٧
الخريف	١٠,٩	٧,٦	٧,٤
الإجمالي	١٤٢,١	١٠٠	-
المتوسط الشهري	١١,٨	٨,٣	٧,٨

المصدر: الجدول من إعداد البَاحِثَيْن اعتمادًا على:

- هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة: إدارة المشروعات، بيانات غير منشورة، عام ٢٠١٩.
- NASA Surface Meteorology & solar energy, Direct Radiation, (1984-2013)

(١) تم دخول المحطات الفوتوفلطية في موقع بنبان الشمسي للتشغيل التجاري خلال تسعة عشر شهرًا على أربع مراحل: المرحلة الأولى تَمَّ خلالها تشغيل محطة إنفنتي قدرة ٥٠ ميجاوات في مارس ٢٠١٨؛ وبذلك تعد هذه المحطة أول محطة تَمَّ تشغيلها في موقع بنبان، وبذلك تمثل بداية إنتاج الكهرباء من موقع بنبان، المرحلة الثانية تَمَّ خلالها تشغيل ٢٩ محطة في يونيو ٢٠١٩، حيث بلغت جملة قدراتها الاسميِّة ١٢٦٥ ميجاوات، والمرحلة الثالثة تَمَّ خلالها تشغيل محطتين هما فاس والقزار في سبتمبر ٢٠١٩ بجملة قدراتٍ اسميةٍ بلغت ١٠٠ ميجاوات، والمرحلة الرابعة وتَمَّ خلالها تشغيل محطة (HORUS) بقدرةٍ اسميةٍ بلغت ٥٠ ميجاوات؛ وبذلك تُعَدُّ هذه المحطة آخر المحطات التي تَمَّ ربطها بالشبكة الكهربائية الموحدة في أكتوبر ٢٠١٩.



شكل (٩) : حجم الكهرباء المولَّدة من محطة إنفينيتي كنموذجٍ للمحطات الفوتوفلطية بموقع بنبان.

من تحليل بيانات الجدول السابق والشكل (٩) يتضح أنَّ إجمالي الكهرباء المولدة من محطة إنفينيتي بلغت ١٤٢,١ مليون ك.و.س عام ٢٠١٩ بنسبة ٤% من إجمالي الكهرباء المولدة من المحطات الفوتوفلطية بموقع بنبان البالغة ٣٥٦٩,٩ خلال العام نفسه، وبذلك يبلغ المتوسط الشهري للكهرباء المولَّدة من محطة إنفينيتي ١١,٨ مليون ك.و.س.

ويختلف حجم الكهرباء المولَّدة من المحطة من شهر إلى آخر خلال العام، حيث بلغ حجم الطاقة الكهربائية المولَّدة أقصاها ١٤,٨ مليون ك.و.س خلال شهر يوليو بنسبة ١٠,٤% من جملة الكهرباء المولَّدة من المحطة عام ٢٠١٩؛ ويعزى ذلك إلى ارتفاع معدلات الإشعاع الشمسي المباشر خلال هذا الشهر البالغة ٩ ك.و.س/م٢/يوم، بينما بلغ حجم الكهرباء المولَّدة من المحطة أدناها ٩,٥ مليون ك.و.س خلال شهري نوفمبر وديسمبر، ويرجع ذلك إلى انخفاض معدلات الإشعاع الشمسي خلال هذين الشهرين، التي بلغت أدناها طوال العام (٦,٧، ٥,٩) ك.و.س/م٢/يوم على الترتيب.

يزيد حجم الطاقة الكهربائية المولَّدة من المحطة عن المتوسط السنوي في سبعة أشهر خلال الفترة (مارس– سبتمبر)؛ ويشير ذلك إلى التباين الواضح في حجم الطاقة الكهربائية المولَّدة من المحطة، كما يختلف متوسط حجم الكهرباء المولَّدة من المحطة من فصل إلى آخر، التي بلغت أقصاها ١٤,١ مليون ك.و.س خلال فصل الصيف؛ نظرًا لارتفاع معدلات الإشعاع الشمسي المباشر خلال هذا الفصل البالغة ٨,٩ ك.و.س/ م٢/يوم، وفي المقابل بلغ متوسط حجم الكهرباء المولَّدة من المحطة أدناها ٩,٢ مليون ك.و.س خلال فصل الشتاء؛ نظرًا لانخفاض معدلات الإشعاع الشمسي المباشر إلى أدنى قيمة لها خلال هذا الفصل؛ وبحساب معامل الارتباط بين

معدلات الإشعاع الشمسي المباشر، وحجم الكهرباء المولَّدة من المحطة تبين وجود علاقة ارتباط طردية قوية موجبة بلغ مقدارها ٠,٩٩؛ ويشير ذلك إلى قوة العلاقة بين المتغيرين(١).

رابعًا – مشكلات إنتاج الكهرباء من المحطات الفوتوفلطية في موقع بنبان :

على الرغم من وجود موقع بنبان في منطقةٍ تتميز بتوفر مقومات إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية بدرجةٍ كبيرةٍ فإنَّ محطات إنتاج الكهرباء في موقع بنبان تواجه بعض المشكلات التي تقلل من كفاءتها في إنتاج الكهرباء، ويمكن توضيح أهم هذه المشكلات على النحو التالي:

١) المعوقات المرتبطة بارتفاع درجة الحرارة:

يؤثر ارتفاع درجة حرارة الألواح الشمسية عن الحدود القصوى (٢٥° مئوية) تأثيرًا سلبيًا(٢)؛ نظرًا لدورها في تقليل حجم الكهرباء المولَّدة، وكذلك خفض جهد التيار المولد منها، ويتضح من خلال تحليل بيانات ملحق (٢) أنَّ درجة حرارة الألواح الشمسية في موقع بنبان مرتفعة عن الحدود القصوى المسموح بها طوال العام، حيث تختلف درجة حرارة الألواح الشمسية في موقع بنبان من شهر إلى آخر، التي بلغت أقصاها ٥٨,٤° مئوية خلال شهر يوليو، وانعكس ذلك على انخفاض كفاءتها في إنتاج الكهرباء

---

(١) تجدر الإشارة إلى أنَّ الإشعاع الشمسي لا يتحكم في إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية بمفرده، ولكن توجد عدة عوامل أخرى بالغة التأثير أهمها: كفاءة الألواح الشمسية، ومعامل حرارتها، وتزويدها بنظم التتبع الشمسي لتحقيق الاستفادة القصوى من الإشعاع الشمسي، بالإضافة إلى عمليات التنظيف الرطب والجاف للألواح الشمسية بشكل دوري، وكذا إجراء عمليات الصيانة الدورية للألواح الشمسية.

(٢) تعرف درجة تأثر الألواح الشمسية بدرجات الحرارة بمعامل حرارة الألواح الشمسية، الذي يبلغ (٠,٥-%) في المحطات الفوتوفلطية في موقع بنبان، وتشير هذه القيمة إلى انخفاض حجم الكهرباء المولَّدة من الألواح الشمسية حال ارتفاع درجة حرارة اللوح الشمسي عن (٢٥° مئوية)/ درجة واحدة، وكلما اقترب معامل حرارة الألواح الشمسية من الصفر ارتفعت كفاءة الخلايا الشمسية في توليد الكهرباء، ويتم حساب درجة حرارة الخلية الشمسية بالمعادلة التالية: $Tcell = [(Noct - 20) \div 0.8] \times S + Tamb$ حيث إنَّ Tcell درجة حرارة الخلية الشمسية بالدرجة المئوية، Tamb درجة حرارة الهواء بالدرجة المئوية، Noct درجة حرارة الخلية الشمسية (Nominal operation cell temperature)، وتبلغ قيمتها في معظم أنواع الخلايا الشمسية ٤٥° مئوية، S الإشعاع الشمسي ك.و.س/ متر مربع، يراجع في ذلك: – زينهم السيد مجد، مرجع سبق ذكره، ص ١٠.

بمعدل ١٦,٧%، بينما بلغت درجة حرارة الألواح الشمسية في بنبان أدناها ٣٥,٧° مئوية خلال شهر يناير؛ ويؤدي ذلك إلى انخفاض كفاءتها في إنتاج الكهرباء بمعدل ٥,٤%؛ ويتضح مما سبق التأثير السلبي لارتفاع درجة حرارة الألواح الشمسية في خفض الكهرباء المولَّدة من المحطات الفوتوفلطية في موقع بنبان.

يمكن الحد من تأثير درجات الحرارة على كفاءة المحطات الفوتوفلطية في موقع بنبان من خلال الاعتماد على عمليات التبريد الهوائي المستمر لأسطح الألواح الشمسية، ويؤدي ذلك إلى خفض درجة حرارتها، مما يساعد على تقليل الفقد في الكهرباء المولَّدة منها.

٢) المشكلات الناتجة عن سرعة الرياح:

يتضح من بيانات ملحق (٣) زيادة المتوسط السنوي لسرعة الرياح في موقع بنبان البالغ ١٦,٧ كم/ساعة، وهو بذلك يزيد عن الحدود القصوى البالغة ١٦ كم/ساعة، التي تَمَّ مراعاتها عند تركيب الألواح الشمسية؛ ومما يزيد من درجة تأثيرها على محطات الكهرباء الفوتوفلطية في موقع بنبان الشمسي وقوعه في منطقةٍ صحراويةٍ؛ يضاف إلى ذلك استواء السطح في موقع بنبان؛ وقد تؤدي زيادة سرعة الرياح إلى زحزحة الألواح الشمسية والهياكل الحاملة لها، ويزداد تأثير سرعة الرياح في المحطات التي تعمل بنظام التتبع الشمسي؛ نظرًا لحركة الألواح الشمسية المستمرة مما يعني زيادة مساحة الجانب المواجه للرياح، ويؤدي ذلك إلى الحاق الضرر بالخلايا الشمسية وتوقف إنتاج الكهرباء منها، بالإضافة إلى تأثير الرياح في تراكم الأتربة والرمال على الألواح الشمسية، وينعكس ذلك على تقليل كفاءتها في تحويل الإشعاع الشمسي الساقط عليها، مما يؤدي إلى انخفاض حجم الكهرباء المولَّدة منها، وكذلك خفض جهد التيار المولد.

وللتغلب على هذه المشكلة يوصى بضرورة دراسة سرعة الرياح وتحديد اتجاهاتها في موقع بنبان، وتخزين البيانات على الأجهزة التي تتحكم في توجيه الخلايا الشمسية على الوضع الأفقي حال زيادة سرعة الرياح عن الحدود القصوى المسموح بها، أمَّا بالنسبة لزيادة عمليات تراكم الأتربة على الألواح الشمسية يمكن التغلب عليها من خلال تكثيف عمليات الغسيل الرطب والجاف، لرفع كفاءتها في إنتاج الكهرباء.

٣) المعوقات الناتجة عن عدم توفر مصادر المياه:

يَتِمُّ إمداد موقع بنبان بالمياه من محطة مياه الشرب في مدينة أسوان الجديدة بواسطة شاحنات مخصصة لذلك كما سبقت الإشارة، وقد ترتب على ذلك تعرض المحطات الفوتوفلطية بالموقع إلى كثيرٍ من المشكلات، حيث اقتصر الغسيل الرطب للألواح الشمسية بموقع بنبان على مرتين خلال

العام، وتَمَّ تعويض ذلك بالغسيل الجاف بواسطة ماكينات آلية مزودة بفرشاة لإزالة الأتربة، وقد يترتب على ذلك إحداث خدوش في أسطح الألواح الشمسية، وبالتالي تقليل كفاءتها في إنتاج الكهرباء.

ولحل هذه المشكلة يمكن دراسة إمكانية توصيل خط أنابيب من نهر النيل إلى موقع بنبان، لتوفير المياه بشكل دائم في الموقع، ويساعد ذلك على تكثيف عمليات الغسيل الرطب للألواح الشمسية، وكذلك استخدامها في عمليات تبريد الألواح الشمسية، ومن ثَمَّ رفع كفاءتها في إنتاج الكهرباء.

خامسًا – مستقبل الطاقة الشمسية في محافظة أسوان :

يتضمن مستقبل الطاقة الشمسية في محافظة أسوان إنشاء (٢٠) محطة فوتوفلطية؛ بإجمالي قدراتٍ اسميةٍ مركبةٍ تبلغ ٦٧٦ ميجاوات، ويمكن تناول هذه المحطات على النحو التالي:

١- يبلغ عدد المحطات المخطط إنشاؤها خلال الفترات القادمة في موقع بنبان ثماني محطات فوتوفلطية بقدرةٍ إجماليةٍ مركبةٍ تبلغ ٤٠٠ ميجاوات بواقع ٥٠ ميجاوات/محطة، ويبلغ حجم الطاقة الكهربائية المتوقع إنتاجها من تلك المحطات ٤٢٤ مليون ك.و.س سنويًا، ويقدر حجم الوفر في الوقود بنحو ٨٨ ألف طن بترول مكافئ.

٢- محطة كوم أمبو الفوتوفلطية قدرة ٢٦ ميجاوات: سيتم إنشاء المحطة من خلال التعاقد بين هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، والوكالة الفرنسية للتنمية (AFD)، بتكلفةٍ إجماليةٍ بلغت ٤٠,٨ مليون يورو، في الأراضي المخصصة لإنشاء المحطات الفوتوفلطية بنظام حق الانتفاع البالغ مساحتها ٥٠٠ كم^{٢} في قرية فارس– مركز كوم أمبو، ويبلغ حجم الطاقة الكهربائية المخطط إنتاجها من المحطة ٥٣ مليون ك.و.س سنويًا، ويحقق ذلك وفرًا في الوقود يبلغ ١٢ ألف طن بترول مكافئ/سنة، وتحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بمعدل ٣٠ ألف طن/سنة.

٣- محطة كوم أمبو الفوتوفلطية بقدرة ٥٠ ميجاوات: سيتم إنشاء هذه المحطة من خلال التعاون المشترك بين هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، والصندوق العربي للتنمية بتكلفةٍ إجماليةٍ تبلغ ٢٦ مليون دينار كويتي، وتم التعاقد مع أحد المكاتب الاستشارية العالمية لإجراء دراسة الجدوى تمهيدًا لطرح أعمال تركيب معدات المحطة، ومن المخطط دخول المحطة للتشغيل عام ٢٠٢٢.

٤- إنشاء عشر محطات فوتوفلطية في مركز كوم أمبو: سيتم إنشاء هذه المحطات بواسطة شركة سكاي باور، وتبلغ القدرة الاسميِّة لتلك المحطات ٢٠٠ م.و بواقع ٢٠ م.و/محطة، حيث طرحت هيئة الطاقة المتجددة المشروع كمناقصةٍ عالميةٍ للمستثمرين المحليين والأجانب، ليتم إنشاء تلك المحطات بتمويل من القطاع الخاص (BOOT)، حيث يقوم المتقدم بتصميم المحطة، وتمويلها، وتشغيلها، وبيع الطاقة الكهربائية المولَّدة من تلك المحطات للشركة المصرية لنقل الكهرباء لمدة ٢٥ سنة.

الخاتمة:

تضمنت الخاتمة أهم نتائج الدراسة وتوصياتها.

أ- النتائج:

١. أثبت الدراسة أنَّ محافظة أسوان تتميز بارتفاع ملائمتها لإنشاء المحطات الفوتوفلطية؛ نظرًا لزيادة المتوسط السنوي لعدد ساعات سطوع الشمس البالغة ١٠,٦ ساعة/يوم، وانعكس ذلك على زيادة المتوسط السنوي للإشعاع الشمسي المباشر البالغ ٢٦,٩ ميجا جول/م^{٢}/يوم، ويبلغ حجم الطاقة الشمسية المقدَّرة ٧,٥ ك.و.س/م^{٢}/يوم.

٢. أكدت الدراسة على أنَّ موقع بنبان يتميز بتوفر مقومات إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية أهمها: زيادة المتوسط السنوي لعدد ساعات سطوع الشمس البالغة ١٠,٨ ساعة/يوم، وترتب على ذلك زيادة الإشعاع الشمسي المباشر البالغ ٢٨,٢ ميجا جول/م^{٢}/يوم ويبلغ حجم الطاقة الفوتوفلطية المقدَّرة ٧,٨ ك.و.س/م^{٢}/يوم، بالإضافة إلى قرب الموقع من شبكة نقل الكهرباء، وشبكة الطرق القائمة، يضاف إلى ذلك وجود موقع بنبان في منطقةٍ صحراويةٍ غير مأهولة، وترتب على ذلك تقليل تكلفة إنشاء المحطات الفوتوفلطية.

٣. بلغ عدد المحطات التي تمَّ تشغيلها بموقع بنبان الشمسي ٣٢ محطة بنسبة ٨٠% من جملة عدد المحطات المخطط إنشاؤها البالغة ٤٠ محطة، وبلغت جملة القدرات الاسميَّة للمحطات التي تَمَّ ربطها بالشبكة الكهربائية الموحدة ١٤٦٥ م.و تمثل ٧٣,٣% من جملة القدرات الاسميَّة المخطط تنفيذها في موقع بنبان البالغة ٢٠٠٠ ميجاوات.

٤. بلغت التكلفة الإجمالية لإنشاء المحطات الفوتوفلطية في موقع بنبان ٤٢ مليون جنيهٍ مصري، وتَمَّ إنشاء هذه المحطات وتشغيلها من خلال شركات القطاع الخاص المتخصصة في إنشاء المحطات الشمسية، وتعمل هذه المحطات بنظام تعريفة التغذية (Feed- in Tariff)؛ التي أقرَّها مجلس الوزراء في سبتمبر ٢٠١٤ بهدف تشجيع القطاع الخاص على إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية، مع الالتزام ببيع الطاقة الكهربائية المولدة من تلك المحطات للشركة المصرية لنقل الكهرباء خلال عمر المحطة الافتراضي البالغ ٢٥ سنة.

٥. أكد البحث على أهمية المحطات الفوتوفلطية في موقع بنبان؛ نظرًا لكونِها تمثل مصدرًا مهمًا لإنتاج الكهرباء من الطاقة المتجددة في مصر، حيث بلغت كمية الكهرباء المولدة منها ٣٥٦٩,٩ مليون ك.و.س عام ٢٠١٩ تشكل ١٥,١% من إجمالي الكهرباء المولدة من المصادر المتجددة البالغة ٢٣٧٠١ مليون ك.و.س خلال العام نفسه، وبنسبة ٨٠,٨% من إجمالي الكهرباء المولدة من الطاقة الشمسية البالغة ٤٤١٨ مليون ك.و.س عام ٢٠١٩.

٦. ترتب على إنتاج الكهرباء من المحطات الفوتوفلطية في موقع بنبان تحقيق وفرٍ في الوقود بلغ مقداره ٦٧٩,٧ ألف طن بترول مكافئ، وقد انعكس ذلك على الحد من الانبعاثات الغازية بمعدل ١٥٧٦ ألف طن.

٧. أظهرت الدراسة أنَّ المحطات الفوتوفلطية في موقع بنبان تواجه كثيرٌ من المشكلات أهمها: زيادة المعوقات المرتبطة بارتفاع درجات الحرارة، وزيادة المتوسط السنوي لسرعة الرياح، وعدم توفر مصدرٍ متجددٍ للمياه، وتؤدي هذه المشكلات إلى تقليل كفاءة تلك المحطات في إنتاج الكهرباء، بالإضافة إلى زيادة الفاقد من الكهرباء المولدة منها.

٨. بلغ عدد المحطات الفوتوفلطية المخطط إنشاؤها خلال الفترات المستقبلية القادمة ٢٠ محطة بجملة قدرات اسمية مركبة بلغت ٦٧٦ م.و، بواقع ثماني محطات في موقع بنبان الشمسي بقدراتٍ مركبةٍ بلغت ٤٠٠ م.و، ويبلغ حجم الكهرباء المخطط إنتاجها منها ٤٢٤ مليون ك.و.س، بالإضافة إلى ١٢ محطة في مركز كوم أمبو بقدراتٍ اسميِّة بلغت ٢٧٦ م.و.

ب- التوصيات:

١. أكدت الدراسة على أنَّ المناطق الملائمة لإنشاء المحطات الشمسية في محافظة أسوان تبعد عن نهر النيل بمسافةٍ تتراوح ما بين (١٠-١٥) كم؛ ولما كانت المحطات الشمسية الحرارية (CPS)[١] تتميز بضخامة كميات المياه التي تستهلكها؛ لذلك توصي الدراسة بضرورة الاعتماد على المحطات الفوتوفلطية في إنتاج الكهرباء؛ نظرًا لقلة كميات المياه اللازمة لتشغيلها، التي تستخدم في غسيل الألواح الشمسية وعمليات تبريدها، والأغراض الآدمية للعاملين بتلك المحطات، ومما يزيد من درجة ملائمة المحطات الفوتوفلطية في المحافظة أنَّ المحطات الشمسية الحرارية تعمل بالتكامل مع محطات الدورة المُرَكَّبة؛ مما يتطلب توصيل خطوط الغاز الطبيعي إلى تلك المحطات؛ ويؤدي ذلك إلى ارتفاع التكلفة الإجمالية لإنشاء المحطات الشمسية الحرارية بالمحافظة.

---

(١) يقصد بها محطات الطاقة الشمسية المركزة (Concentrated Solar Power)، ويعتمد هذا النوع على الطرق المستخدمة في إنتاج الكهرباء من المحطات الحرارية، ولكن الفارق يتمثل في استبدال الوقود الحفري بالطاقة الحرارية الناتجة عن تركيز الإشعاع الشمسي في عمليات إنتاج البخار اللازم لإنتاج الطاقة الكهربائية، وتتراوح درجة حرارة البخار الناتج عن هذه المحطات ما بين (٤٠٠-١٥٠٠) درجة مئوية.

- المصدر: ياسر محمد عبد الموجود، مرجع سبق ذكره، ص ٧٩.

٢. نظرًا لارتفاع درجات الحرارة في موقع بنبان معظم شهور السنة؛ الأمر الذي يترتب عليه زيادة المعوقات الحرارية التي تؤدي إلى تقليل كفاءة المحطات الفوتوفلطية في إنتاج الكهرباء؛ لذلك يوصى بضرورة الاعتماد على وسائل التبريد المختلفة وخاصةً التبريد الهوائي لخفض درجة حرارة الخلية، ورفع كفاءتها في إنتاج الكهرباء، وكذلك رفع جهد التيار الكهربائي المولد.

٣. ضرورة تكثيف عمليات الغسيل الرطب والجاف للألواح الشمسية في موقع بنبان، للتغلب على مشكلة تراكم الأتربة والرمال عليها؛ وذلك لتقليل الفقد في طاقة الإشعاع الشمسي، وزيادة حجم الطاقة الكهربائية المولَّدة منها.

٤. ضرورة الدراسة الدقيقة لسرعة الرياح وتحديد اتجاهاتها في موقع بنبان لحماية الألواح الشمسية من التلف، وخاصةً في المحطات المزودة بأنظمة التتبع الشمسي لتحقيق الاستفادة القصوى من الإشعاع الشمسي الساقط عليها، ويَتِمُّ ذلك من خلال تزويد الأجهزة بسرعات الرياح واتجاهها في المنطقة، بحيث يَتِمُّ ضبط زاوية ميل الألواح الشمسية إلى صفر (الوضع الأفقي) في حال زيادة سرعة الرياح عن الحدود القصوى المسموح بها.

٥. يوصى بدراسة إمكانية توصيل المياه إلى موقع بنبان من خلال خط أنابيب من نهر النيل، للتغلب على المعوقات الناتجة عن عدم وجود مصدر متجدد للمياه في موقع بنبان، بالإضافة إلى إمكانية تكثيف عمليات غسيل الألواح الشمسية التي يتم غسلها بمعدل مرتين كل عام مما يمكن من رفع كفاءتها في إنتاج الكهرباء.

٦. نظرًا لارتفاع متوسط درجة الحرارة في محافظة أسوان بصفةٍ عامةٍ وفي موقع بنبان بصفةٍ خاصةٍ؛ لذلك يجب مراعاة هذا العامل عند إنشاء المحطات المخطط إنشاؤها في المحافظة البالغة (٢٠) محطة فوتوفلطية بواقع (١٢) محطة في مركز كوم أمبو، (٨) محطات في موقع بنبان، من خلال تركيب الألواح الشمسية التي تتميز بمعامل حرارة منخفض يقترب من الصفر، بالإضافة إلى اختيار الألواح الشمسية التي تحتوي على زجاج من نوع السيكوريت المقوى ذات الأسطح الخشنة؛ وينعكس على ذلك قلة تأثر الألواح الشمسية بارتفاع درجات الحرارة، وتقليل الفاقد من الكهرباء المولَّدة.

٧. ضرورة زيادة الوعي لدى المواطنين بأهمية إنشاء الخلايا الفوتوفلطية على أسطح المنازل، بهدف تخفيف الأحمال على الشبكة الكهربائية الموحدة، ويتم ذلك من خلال توضيح حجم الاستثمارات التي تنفقها الدولة في إنشاء المحطات الشمسية المتصلة بالشبكة الكهربائية الموحدة، بالإضافة إلى توضيح المراحل المعقدة التي تمر بها صناعة

الكهرباء حتى وصولها إلى المستهلك، ويساعد ذلك على مشاركة المواطنين في عمليات إنتاج الكهرباء بدلًا من وقوعها على كاهل الدولة.

٨. الاستفادة من تجارب الدول الرائدة في تصنيع الألواح الكهروضوئية، وكافة أجهزة المحطات الشمسية، من خلال الاستعانة بالكوادر الفنية لتصنيعها محليًا، ويؤدي ذلك إلى خفض تكلفة إنشاء المحطات الفوتوفلطية بشكلٍ سريع.

ملحق (١) : نموذج استبيان

الدراسة الميدانية لموقع بنبان الشمسي

بيانات هذه الاستمارة سرية ولا تستخدم إلا في أغراض البحث العلمي

- اسم المحطة
- تاريخ دخول المحطة للتشغيل
- القدرة الاسميِّة للمحطة
- حجم الكهرباء المولَّدة من المحطة
- ما الشركة التي تتبعها المحطة؟
- في أي صف تقع المحطة؟
- ما عدد الصفوف الشمسية في المحطة؟
- ما المسافة بين كل صف:؟
- كم عدد الألواح الشمسية في كل صف؟
- كم تبلغ كفاءة الألواح الشمسية؟
- كم يبلغ عدد محولات رفع الجهد في المحطة؟
- إجمالي السعة الكلية لمحولات رفع الجهد بالمحطة؟
- شبكة نقل الكهرباء بالمحطة: الخطوط الهوائية ( ) الكابلات الأرضية ( )
- ما جهود شبكة نقل الكهرباء في المحطة؟
- كم يبلغ طول شبكة نقل الكهرباء في المحطة؟
- هل تم مراعاة سرعة الرياح واتجاهها عند إنشاء المحطة؟ نعم ( ) لا ( )
- كم تبلغ الحدود القصوى لسرعة الرياح التي تم مراعاتها؟
- هل تتعرض المحطة لهبوب العواصف الرملية والترابية؟ نعم ( )، لا ( )
- في حالة الإجابة بنعم ما الاحتياطات التي يتمُّ اتخاذها؟
- ما مصدر المياه في المحطة؟

  ١- المياه الجوفية ( ) ٢- نهر النيل ( ) ٣- أخرى ( )
- ما طرق تنظيف الألواح الشمسية في المحطة؟
- ما الفترات الزمنية الفاصلة بين عمليات تنظيف الألواح الشمسية؟
- ما المشكلات التي تواجه إنتاج الكهرباء من المحطة؟
- ما الحلول المقترحة لهذه المشكلات من وجهة نظرك؟

ملحق (٢) : متوسط درجة الحرارة وتأثيرها في رفع درجة حرارة الألواح الشمسية بموقع بنبان حسب شهور السنة خلال الفترة (١٩٨١-٢٠١٩).

الشهر	درجة الحرارة (درجة مئوية)	الإشعاع المباشر (كيلووات/م٢/ساعة)	درجة حرارة الألواح الشمسية (درجة مئوية)	انخفاض كفاءة الألواح %
يناير	١٣,٣	٠,٧١٨	٣٥,٧	٥,٤
فبراير	١٥,٢	٠,٨١٧	٤٠,٧	٧,٩
مارس	١٩,٥	٠,٨١٦	٤٥	١٠
إبريل	٢٤,٨	٠,٨٢٢	٥٠,٥	١٢,٨
مايو	٢٩,١	٠,٧٨٥	٥٣,٦	١٤,٣
يونيو	٣١,٢	٠,٨٦٠	٥٨,١	١٦,٦
يوليو	٣١,٨	٠,٨٥١	٥٨,٤	١٦,٧
أغسطس	٣١,٧	٠,٨١٥	٥٧,٢	١٦,١
سبتمبر	٢٩,٨	٠,٨٤٩	٥٦,٣	١٥,٧
أكتوبر	٢٥,٩	٠,٨١١	٥١,٢	١٣,١
نوفمبر	١٩,٦	٠,٧٧٥	٤٣,٨	٩,٤
ديسمبر	١٤,٩	٠,٧٠٣	٣٦,٩	٦
المتوسط	**٢٣,٩**	**٠,٧٥٢**	**٤٧,٤**	**١١,٤**

المصدر: من إعداد البَاحِثَيْن اعتمادًا على:

Nasa Surface Meteorology & Solar Energy, Temperature at 2 Meters, (1981-2019)

ملحق (٣) : متوسط سرعة الرياح في موقع بنبان حسب شهور السنة خلال الفترة (١٩٨١-٢٠١٩).

الشهر	يناير	فبراير	مارس	إبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المتوسط
السرعة كم/ساعة	١٤,٨	١٥,٣	١٦	١٦,١	١٦,٦	١٨,٥	١٧,٤	١٨,١	١٨,١	١٥,٤	١٦,٩	١٦,٩	١٦,٧

المصدر: من إعداد البَاحِثَيْن اعتمادًا على:

Nasa Surface Meteorology & Solar Energy, Wind Speed at 10 Meters, (1981-2019)

ملحق (٤) : الصور الفوتوغرافية

صورة (١) : محولات رفع الجهد بمحطة بنبان (٢).

صورة (٢) : ربط محطة بنبان (١) بالشبكة الموحدة.

صورة (٣) : الألواح الشمسية في محطة إنفينيتي.

صورة (٤) : نظام التتبع الشمسي في موقع بنبان.

صورة (٥) : محول لنقل الكهرباء في محطة إنفينيتي.

صورة (٦) : غرفة التحكم بمحطة محولات بنبان (٣).

المصدر: الدراسة الميدانية لموقع بنبان ٧-٢٠٢٠/١/٨.

المراجع والمصادر

أولًا: المراجع والمصادر العربية.

١. أمل عبد العظيم عبد المقصود (٢٠١٥): المناخ والنشاط البشري في صحراء مصر الشرقية، رسالة دكتوراه، غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الإسكندرية.

٢. الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، النتائج النهائية للتعداد العام للسكان والإسكان والمنشآت، محافظة أسوان، ٢٠١٧.

٣. الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، وحدة مركز المعلومات ونظم المعلومات الجغرافية، التقسيم الإداري لمحافظة أسوان، ٢٠١٧.

٤. الهيئة العامة للأرصاد الجوية، عدد ساعات سطوع الشمس، خلال الفترة (١٩٨٤-٢٠١٣).

٥. جمعة محمد داود وآخرون (٢٠١٧): تحديد أفضل المواقع لتجميع الطاقة الشمسية في مكة المكرمة الإدارية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، الملتقى الحادي عشر لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في المملكة العربية السعودية، جامعة الإمام عبد الرحمن بن فيصل، المنعقد خلال الفترة (١١- ١٣) إبريل.

٦. زينهم السيد مجد (٢٠١٨): المعوقات الحرارية لأداء الخلايا الكهروضوئية في مصر، الجمعية الجغرافية المصرية، المجلة الجغرافية العربية، العدد ٧٢، ج ٢.

٧. سعيد أحمد عبده (٢٠١٢): مستقبل الطاقة المتجددة في مصر، مجلة المجمع العلمي المصري، المجلد (٨٧).

٨. شيماء سمير عبد القادر (٢٠١٥): تأثير مورد الطاقة الشمسية على تغيير الهياكل العمرانية بالتطبيق على محافظة مطروح، رسالة ماجستير، غير منشورة، كلية التخطيط العمراني، جامعة القاهرة.

٩. شركة مصر العليا لتوزيع الكهرباء، قطاع كهرباء أسوان، الشئون الفنية، ٢٠١٩.

١٠. مصطفى محمد عبد الوهاب (٢٠١٤): الطاقة الكهربائية في محافظة أسوان، دراسة في جغرافية الطاقة، رسالة ماجستير، غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة القاهرة.

١١. محافظة أسوان، مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار، إدارة الإحصاء، ٢٠١٩.

١٢. هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، إدارة المشروعات، بيانات غير منشورة، ٢٠١٩.

١٣. هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، مشروعات إنتاج الكهرباء من الخلايا الفوتوفلطية في بنبان، الدراسة الاستراتيجية لتقييم التأثيرات البيئية والاجتماعية، التقرير النهائي، فبراير ٢٠١٦.

١٤. هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، التقرير السنوي، القاهرة، خلال عامي ٢٠١٠، ٢٠١٨.

١٥. وزارة الكهرباء والطاقة، الشركة القابضة لكهرباء مصر، التقرير السنوي للإحصاءات الكهربائية، القاهرة، ٢٠١٩.

١٦. ياسر محمد عبد الموجود (٢٠١٧): إمكانات الطاقة الشمسية في مصر مع التطبيق على محطة الكريمات الشمسية – دراسة في جغرافية الطاقة، رسالة دكتوراه، غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب بالوادي الجديد، جامعة أسيوط.

ثانياً: المراجع والمصادر غير العربية.

1. Adnan Sozen, et al. (2005): Solar-energy potential in Turkey. *Elsevier*, Applied Energy (80).
2. Alfa Solar, Environmental & Social Impact Assessment for PV Power Plant in Benban. *Final Report*, March 2016.
3. Acwa Power, Benban 50 MW Photovoltaic Power Station, Environmental Impact Assessment, April 2016.
4. El- Sebaii AA, Global (2010): Direct and diffuse solar radiation on horizontal and tilted surfaces in Jeddah, Saudi Arabia. *Elsevier*, Applied Energy (87).
5. Ghazanfar Khan & Shikha Rathi (2014): Optimal Site Selection for Solar PV Power Plant in an Indian State Using Geographical Information System (GIS). *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology,* Volume 2, Issue 7.
6. Gomaa M. Dawod & Mosaad S. Mandoer (2016): Optimum Sites for Solar Energy Harvesting in Egypt Based on Multi-Criteria GIS. *The First Future University International Conference on New Energy and Environmental Engineering*, Cairo, Egypt.
7. Hala Adel Effat (2013): Selection of Potential Sites for Solar Energy Farms in Ismailia Governorate, Egypt using SRTM and Multicriteria Analysis. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, Vol. 2, Issue 1.
8. Hala Adel Effat (2016): Mapping Solar Energy Potential Zones, using SRTM and Spatial Analysis, Application in Lake Nasser Region, Egypt. *International Journal of Sustainable Land Use and Urban Planning*, Vol. 3, No. 1.
9. Hala A. Effat & Ahmed El Zeiny (2017): Modeling potential zones for solar energy in Fayoum, Egypt, using satellite and spatial data. *Springer International Publishing AG*.
10. Merve A & Mehmet A., (2018): Optimal Site Selection for a Solar Power Plant in Turkey Using a Hybrid AHP-TOPSIS Method. *Celal Bayar University Journal of Science*, Volume (14).
11. Nasa surface meteorology and solar energy, Direct solar radiation, (1984-2013).
12. Nasa surface meteorology and solar energy, Hours of sunshine, (1984-2013).
13. Nasa Surface Meteorology and Solar Energy, Temperature at 2 Meters, (1981-2019).
14. Nasa Surface Meteorology and Solar Energy, Wind Speed at 10 Meters, (1981-2019).
15. World Bank Group, Solar Resource map, Direct Normal Irradiation, Egypt, (1994-2015).
16. World Bank Group, Solar Resource map, Photovoltaic Power Potential, Egypt, (1994-2015).

Production of Electricity from Solar Energy in Aswan Governorate with Applications on Benban Station

A Study in Geography of Energy Using Geographical Information System (GIS)

ABSTRACT

The study deals the production of electricity from solar energy in Aswan governorate by examining the annual average number of sunshine hours in the governorate, and identifying the direct solar radiation values and the estimated photovoltaic energy volume. Furthermore, it investigates the Benban solar site as it is the only source of electricity production from solar stations in the governorate in terms of the size of the installed nominal capacities. The amount of the generated electrical energy has been determined. The study also speculates the future of solar energy in the governorate through the photovoltaic stations that will be established, determining its role in increasing the volume of electricity generated from solar stations, as well as studying the problems that may face the photovoltaic stations in the Benban solar site. Some important results has been found:

- The high suitability of the province to produce electricity from solar energy as well as the increase of the rates of solar brightness, the size of direct solar radiation and the estimated amount of energy from it.
- In spite of the importance of the Benban solar site for electricity production, it faces several problems that reduce the efficiency of photovoltaic stations. The most important of which are: high temperature, increased wind speed, and the lack of a renewable source of water.
- Photovoltaic stations are considered the most suitable technology for producing electricity from solar energy in Aswan governorate. This is due to some factors such as the small quantities of water required for its operation, the low cost of its construction compared to solar thermal stations which work in conjunction with combined cycle stations.

Key Words: direct radiation, rated power, photovoltaic stations, Benban.