

# المعوقات الحرارية لأداء الخلايا الكهروضوئية في مصر

## "دراسة في المناخ التطبيقي"

د. زينهم السيد مجد\*

### الملخص :

ازداد الاهتمام في الآونة الأخيرة بالخلايا الكهروضوئية؛ باعتبارها مصدراً نظيفاً ومتجدداً للكهرباء من أشعة الشمس، ولكن أداء الخلايا الكهروضوئية يتأثر سلباً بزيادة درجة حرارتها فوق الحدود المثلى (٢٥ درجة مئوية)، مما يؤدي إلى انخفاض الطاقة المنتجة وخفض جهد التيار المنتج، وتؤثر أشعة الشمس ودرجة حرارة الهواء في درجة حرارة الخلية الكهروضوئية ومن ثم مستوى أدائها، ويهدف البحث إلى تحديد درجة تأثير العناصر المناخية، وخاصة الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الهواء في أداء الخلايا الكهروضوئية، ومن ثم تحديد الشهور والمناطق التي تتركز فيها المعوقات الحرارية على أداء الخلايا الكهروضوئية في مصر، علاوة على تحديد الطرق الواجب إتباعها للحد من التأثير السلبي للحرارة؛ مثل عمليات التبريد وكذلك التوجيه المثالي للخلايا، وقد تبين من البحث أن التأثير السلبي للمعوقات الحرارية يزداد خلال شهور: مايو ويونيو ويوليو وأغسطس وسبتمبر، وينخفض جهد التيار المنتج بنسبة ١١,٢٪ والطاقة المنتجة بنسبة ١٥,٨٪، ومن ثم فإن الخلايا الكهروضوئية خلال هذه الشهور تحتاج إلى تبريد من أجل تقليل درجة الحرارة، كما ثبت أيضاً أن المعوقات الحرارية تتزايد في المناطق الجنوبية من مصر وخاصة محافظات: قنا وسوهاج والأقصر وأسوان والبحر الأحمر والوادي الجديد، حيث ينخفض جهد الخلية بنحو ٣,٧ فولت (٨,٣٪)، وتنخفض الكهرباء المنتجة بنحو ٢١,٣ واط (١١,٥٪) ويرجع ذلك إلى ارتفاع متوسط درجة الحرارة السنوية للخلية إلى (٤٨ درجة مئوية) نحو ٢٣ درجة مئوية عن درجة الحرارة القياسية.

**الكلمات المفتاحية :** المعوقات الحرارية - الخلايا الكهروضوئية - المناخ التطبيقي - الطاقة المتجددة.

\* أستاذ مساعد المناخ التطبيقي، كلية الآداب - جامعة كفر الشيخ.

## المقدمة :

أدت الزيادة السكانية الكبيرة التي شهدها العالم في القرن الحادي والعشرين، وبخاصة في المدن، علاوة على ارتفاع مستوى الرفاهية إلى زيادة الطلب على الطاقة، ومن ثم ارتفاع أسعار النفط بصفته المصدر الرئيس لتوليد الطاقة في العالم، إلا إن احتراق الوقود الاحفوري كالبترول والفحم أدى إلى ارتفاع نسب غازات الاحتباس الحراري (GHG) وبخاصة في أجواء المدن فقد أوضح التقرير الخامس للهيئة الدولية الحكومية المعنية بتغير المناخ (IPCC) أن معظم انبعاث الغازات المسببة لظاهرة الاحتباس الحراري تخرج من المدن<sup>(1)</sup>، مما يخلف آثار سيئة سواء على مكونات النظام البيئي بصفة عامة، أو على صحة الإنسان بصفة خاصة.

ومن المرجح ازدياد الآثار السلبية لزيادة فعالية الاحتباس الحراري في القريب العاجل؛ فقد أشارت تقارير البنك الدولي انه بحلول عام ٢٠٥٠م سيصل عدد سكان العالم إلى ٩ مليار نسمة وسيزداد عدد سكان الدول النامية ويتحسن مستوى معيشتهم، وسيترتب على ذلك ازدياد الطلب على الطاقة، لذا من المتوقع أن يتضاعف حجم غازات الاحتباس الحراري<sup>(2)</sup>، وسيترتب على ذلك ارتفاع درجة حرارة الأرض بنحو ٣,٤ ° مئوية وفقاً لتقرير برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP)<sup>(3)</sup>.

ومن ثم يخضع العالم الآن لاختبار صعب، يتمثل في محاولة توفير متطلباته المتزايدة من الطاقة، مع الحفاظ على سلامة وتوازن النظام البيئي، ولن يتحقق ذلك إلا بإيجاد مصادر طاقة بديلة نظيفة ومتجددة، لتحل تدريجياً محل الفحم ومشتقات البترول، أو الطاقة النووية التي لا تؤمن آثارها السلبية على البيئة، ومن أهمها الطاقة المستمدة من أشعة الشمس وحركة الرياح.

وفي الآونة الأخيرة زاد الاهتمام عالمياً بمصادر الطاقة المتجددة، وبخاصة الطاقة المستمدة من الإشعاع الشمسي كمصدر نظيف ومتجدد ليحل بديلاً للفحم ومشتقات البترول، فوفقاً لتقرير الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA)<sup>(4)</sup> بلغ إنتاج العالم من الكهرباء بواسطة الطاقة الشمسية عام ٢٠٠٧م نحو ٩,٢ ألف ميغاوات، في حين زاد الإنتاج نفسه ليصل إلى نحو ٢٩٥,٧ ألف ميغاوات عام ٢٠١٦م، وعلى مستوى القارة الأفريقية زاد الإنتاج من ٧٨ميغاوات عام ٢٠٠٧م ليصل إلى ٢٩٢٠ ميغاوات عام ٢٠١٦م.

(1) Available online at <http://www.ipcc.ch/index.htm>, accessed on, 10/2/2017.

(2) Jane, E., and Walter, V., Climate impact on Energy systems-key issues for energy sector Adaptation, world bank, Washington, USA, 2011.

(3) Renewable energy and energy efficiency in developing countries: contributions to reducing global emissions – second Report, united nations Environment programme, 2016, p. 6, available online at <http://www.Unep.org>, accessed on, 20/2/2017.

(4) Renewable capacity statistics, 2017, International Renewable Energy Agency (IRENA), available online at <http://www.irena.org>, accessed on, 3/3/2017.

وقد كان للخلايا الكهروضوئية (الفولتوضوئية)<sup>(١)</sup> نصيباً كبيراً في التطور على مستوى العالم، حيث تكمن أهمية تكنولوجيا الخلايا الكهروضوئية في أنها أوسع تكنولوجيا للكهرباء الشمسية انتشاراً في العالم<sup>(٢)</sup>؛ ويرجع ذلك إلى قدرتها على توليد الكهرباء بطريقة مباشرة من أشعة الشمس دون أن تخلف انبعاثات لغازات أو حرارة أو ضوضاء أو أي مخلفات تضر البيئة علاوة على أنها معمرة لفترة زمنية كبيرة تصل إلى ٢٥ عاماً، وتتسم بالمرونة في التكلفة وفي الإنتاج؛ فالفرد يمكن أن يستخدمها لتوفير الاحتياجات المنزلية من الكهرباء، وبخاصة في المناطق النائية التي لم تصلها شبكة الكهرباء العامة، ويمكن استخدامها أيضاً كمصدر للكهرباء في المباني الكبيرة كالهôtels والمؤسسات العامة، ويمكن أن تتحول لمشروع ربحي إذا ما تم ضخ فائض إنتاجها في شبكة الكهرباء الموحدة<sup>(٣)</sup>.

وقد كان يعاب على تكنولوجيا الخلايا الكهروضوئية غياب مصدر الطاقة المتمثل في أشعة الشمس أثناء الليل، إلا أن التطور الكبير في صناعة البطاريات الشمسية أمكن من تخزين الكهرباء الزائدة عن الحاجة أثناء ساعات النهار واستغلالها ليلاً، كما أن الارتفاع النسبي في تكلفة إنشائها دائماً في تقلص بفضل عمليات التطوير المستمرة؛ فعلى سبيل المثال انخفضت تكلفة إنتاج وحدة الواط من الخلايا الكهروضوئية في دولة اليابان من ١٢٠ ين في عام ٢٠٠١م، لتصل إلى ٤٥ ين فقط في عام ٢٠٠٤م، ومازالت التكلفة في انخفاض مستمر بفعل التطور التكنولوجي الذي يشهده هذا المجال<sup>(٤)</sup>.

(١) الخلايا الكهروضوئية : تستخدم في تحويل الإشعاع الشمسي إلى كهرباء بطريقة مباشرة، ويطلق عليها الخلايا الفولتوضوئية (photovoltaic) والكلمة مكونه من مقطعين : الأول (photo) وهي كلمة ذات جذور يونانية وتعني ضوء الشمس، والثاني (voltaic) وتعني الفولت وهي وحدة قياس جهد التيار الكهربائي، وتختصر الكلمة إلى الحرفين (PV)، بدأت فكرتها عام ١٨٣٩م على يد الفرنسي أدوموند بكيرل، واستخدمت عام ١٩٥٨ م لإمداد الأقمار الصناعية وسفن الفضاء الأمريكية بالكهرباء، تطورت واستغلت تجارياً بعد ذلك ، وتوجد أكبر محطة توليد في العالم في كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية، وتسمى توباز سولار (topaz solar)، تبلغ قدرتها ٥٥٠ ميغاوات وتشتمل على عدد ٩ مليون لوح ضوئي، متاح على شبكة المعلومات الدولية في موقع :

– [http:// www. wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

- (2) Richard, S. et al., The Future of Solar Energy, An Interdisciplinary Mit Study, Massachusetts Institute of Technology, USA, 2015.
- (3) Zekai, S., solar Energy fundamentals and modeling techniques, springers – verlage, British, 2008, p. 258.
- (4) Robert, F., et al., Solar Energy – Renewable Energy and the Environment, Taylor & Francis Group, USA, 2010, p. 179.

وقد أوضح التقرير السابق أن إنتاج العالم من الطاقة الكهربائية عن طريق الخلايا الكهروضوئية بلغ عام ٢٠٠٧م نحو ٨,٧ ألف ميغاوات، في حين زاد الإنتاج نفسه ليصل عام ٢٠١٦م نحو ٢٩٠,٨ ألف ميغاوات، وعلى مستوى القارة الأفريقية زاد الإنتاج من ٧٨ ميغاوات عام ٢٠٠٧م ليبلغ إلى ٢٤٩١ ميغاوات عام ٢٠١٦م.

صممت الخلايا الكهروضوئية في البداية للعمل بكفاءة في ظل درجات حرارة منخفضة فقد كان استخدامها الأول هو إمداد سفن الفضاء والأقمار الصناعية باحتياجاتها من الطاقة الكهربائية على ارتفاعات كبيرة من سطح الأرض، حيث تنخفض درجة حرارة الهواء إلى ما دون درجة تجمد الماء، وبعد ذلك تم التوسع في إنتاجها للأغراض التجارية بهدف سد العجز في إنتاج الطاقة من ناحية، وتقليل انبعاث غازات الاحتباس الحراري الناتجة عن احتراق الفحم ومشتقات البترول من ناحية أخرى، ومن ثم لا يناسب الخلايا الكهروضوئية درجات حرارة الهواء المرتفعة، حيث تسهم درجات حرارة الهواء المرتفعة، علاوة على التأثير الحراري للإشعاع الشمسي في ارتفاع درجة حرارة ألواح الخلايا الكهروضوئية عن الحدود المثلى (٢٥ درجة مئوية) مما يترتب عليه انخفاض إنتاجية ألواح الخلايا الكهروضوئية، كما تؤدي إلى انخفاض جهد التيار الكهربائي الذي تنتجه<sup>(١)</sup>.

وبناءً على ما سبق فإن التوجه نحو تكنولوجيا توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية بصفة عامة<sup>(٢)</sup>، وتكنولوجيا التوليد من خلال الخلايا الكهروضوئية بصفة خاصة أصبح خيار لا بديل عنه اقتصادياً وبيئياً بمصر، ومن هنا تبع الأهمية التطبيقية للبحث حيث يسعى الباحث إلى تحقيق الاستفادة القصوى من الخلايا الكهروضوئية في مصر، من خلال تحديد المعوقات التي تعترض عملية التوليد أو تقلل من كفاءتها<sup>(٣)</sup>، وبخاصة المعوقات التي تنتج من ارتفاع درجة حرارة الخلايا

(1) Wurfel, B., Physics of solar cells from Basic to advanced concepts, second Edition, Wiley- VCH, Germany, 2009, p. 220.

(٢) يتم أيضاً تحويل أشعة الشمس إلى طاقة حرارية عن طريق المجمعات الحرارية الشمسية solar thermal collector، وهي عبارة عن مرايا تتخذ أشكالاً أهمها القطع المكافئ، تجمع أشعة الشمس في نقاط محددة فتتحول لطاقة حرارية، تستغل الحرارة مباشرة في تسخين المياه أو تجفيف المحاصيل أو أعمال الطهي، أو تستغل في تشغيل مراحل بخارية لتوليد الكهرباء بطريقة غير مباشرة، متاح على شبكة المعلومات الدولية في موقع : [http:// www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

(٣) معنى كلمة عوق صرف أو حبس، وعوق الشيء أي صرفه وحبسه عن الوجه الذي أراده، واسم الفعل معوق والجمع معوقات، نقلاً عن : ابن منظور محمد بن مكرم، لسان العرب، الطبعة الثالثة، الجزء العاشر، دار صابر، بيروت - لبنان، ١٤١٤هـ، ص ٢٧٩.

الكهروضوئية عن الحدود الحرارية المثلى، والتي ترجع إلى التأثير الحراري للإشعاع الشمسي المباشر أو لحرارة الهواء، ونقل من كمية الطاقة الكهربائية المنتجة من وحدة الخلايا الكهروضوئية، أو تخفض جهد التيار المولد منها، وتحديد تباينها المكاني والزمني بمصر؛ ومن ثم تحديد المناطق الأكثر عرضة للمعوقات الحرارية على أداء الخلايا، ثم تحديد الإجراءات الواجب إتباعها لتقليل تأثيراتها السلبية.

### الدراسات السابقة :

تعددت الدراسات التي تناولت أشعة الشمس كمصدر من مصادر الطاقة المتجددة، وأشارت سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة إلى نظام توليد الكهرباء من أشعة الشمس عن طريق الخلايا الكهروضوئية، وقد اتخذ الباحث من نتائجها قاعدة علمية وأساس معرفي لإنجاز هذا البحث ويمكن تصنيف أحدث هذه الدراسات إلى ما يلي:

#### ١- دراسات غير جغرافية :

تطرق بعض هذه الدراسات على الجانب الفني والهندسي، فركزت على تكنولوجيا توليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية، وسبل تقييمها وتطويرها باستخدام المعادلات الإحصائية والنماذج وبرامج الحاسب الآلي، وقد استعان الباحث بالعديد من المعادلات والنماذج الإحصائية المستخدمة في هذه الدراسات، ومن أهم هذه الدراسات: دراسة (Mesude) عام ٢٠١٤م<sup>(١)</sup> حول مقارنة كفاءة توليد الخلايا الكهروضوئية في ظل الحرارة الواقعية والقياسية، وقد أجريت تجارب عملية في هذه الدراسة على عدد ٢٣٦ مدينة أمريكية، وقد توصل الباحث إلى وجود ارتباط بين كفاءة الخلايا الكهروضوئية ودرجة حرارة الهواء، ودراسة (Tuza) عام ٢٠١٤م<sup>(٢)</sup>، والتي انصبت على مقارنة مجموعة من المعادلات الإحصائية المستخدمة في التنبؤ بدرجة حرارة الخلايا الكهروضوئية، ومحاولة تقييمها وفقاً لظروف المناخ السائدة بدولة الإمارات العربية المتحدة ودراسة (Effendy) عام ٢٠١٤م<sup>(٣)</sup> عن تأثير الاختبارات القياسية لدرجة الحرارة المباشرة على أداء

(1) Mesude, B., et al., Temperature Dependent power modeling of photovoltaics, Energy procedia, Vol. 57, 2014, available on line at <http://www.Sciencedirect.com>, accessed on, 12/1/2017.

(2) Tuza, A., Mahieddiine, E., A comparative Analysis of PV module temperature models, 6<sup>th</sup> international conference on sustainability in Energy and buildings, Energy procedia, Vol. 62, 2014, available on line at <http://www.Sciencedirect.com>, accessed on, 12/1/2017.

(3) Effendy, M., et al., Performance test conditions for direct temperature elements of multiple PV array configurations in Malaysia, the 6<sup>th</sup> international conference on applied Energy (2014), Energy procedia, Vol. 61, 2014, available on line at <http://www.Sciencedirect.com>, accessed on, 12/1/2017.

منظومة الخلايا الكهروضوئية في ماليزيا، وخلصت الدراسة إلى انخفاض الطاقة الكهربائية المنتجة نتيجة لارتفاع درجة حرارة الهواء، ودراسة (Hafez) عام ٢٠١٤م<sup>(١)</sup>، والتي انصبت على عمل برنامج لتتبع أشعة الشمس بهدف زيادة كفاءة الخلايا الكهروضوئية، من خلال حصولها على أكبر قدر ممكن من الإشعاع الشمسي العمودي، ودراسة (Subhash) عام ٢٠١٥م<sup>(٢)</sup> والتي انصبت على تحديد نوع ومستوى العلاقة بين حرارة الهواء والإشعاع الشمسي من ناحية وكفاءة الخلايا الكهروضوئية من الناحية الأخرى، وخلصت الدراسة إلى وجود علاقة عكسية بينهم دراسة (Khalifa) عام ٢٠١٥م<sup>(٣)</sup> عن بعض خصائص الخلايا الشمسية، وتناولت الدراسة أوجه التأثير السلبي لدرجة الحرارة على كفاءة الخلايا الكهروضوئية باستخدام نماذج محاكاة خاصة ودراسة (Catalin) عام ٢٠١٦م<sup>(٤)</sup> عن تحسين كفاءة ألواح الخلايا الكهروضوئية عن طريق التبريد، والتي خلصت إلى أن عملية التبريد تقلل درجة حرارة الخلايا نحو ١٠ درجات مئوية وتزيد كفاءتها بنحو ٧%، ودراسة (El-Tantawy) عام ٢٠١٦م<sup>(٥)</sup> عن تأثير درجة الحرارة وزوايا توجيه ألواح الخلايا على كفاءة الخلايا الكهروضوئية، وخلصت الدراسة إلى أن التوجيه الجيد واستخدام عمليات التبريد تزيد من كفاءة الخلايا الكهروضوئية في منطقة شبرالخيمة.

## ٢ - دراسات جغرافية :

ركزت بعض الدراسات الجغرافية على الطاقة المتجددة بصفة عامة، أو إمكانات الطاقة الشمسية في مصر، والبعض الآخر تناول أنظمة توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية بصفة عامة ولم تنفرد أي منها بدراسة بأنظمة التوليد الكهروضوئية، ومن هذه الدراسات: دراسة مسعد سلامة

- (1) Hafez, M., Increasing the Efficiency of Photovoltaic Systems, M.S, Department of – Electrical Engineering - Faculty of Engineering – Fayoum University, 2014.
- (2) Subhash. C., et al., A study on Photovoltaic Parameters of Mono - Crystalline solar cell with cell temperature, Energy Reports, Vol. 1, 2015, available on line At [http:// www.Sciencedirect.com](http://www.Sciencedirect.com), accessed on, 12/1/2017 .
- (3) Khalifa, M., A study for the Physical properties of some solar cell, M.S, Department of – Physics - Faculty of Science – Mansoura University, 2015.
- (4) Catalin, G., et al., Efficiency Improvement of photovoltaic panels by using Air cooled heatsinks, Energy procedia, Vol. 85, 2016, available on line at [http:// www.Sciencedirect.com](http://www.Sciencedirect.com), accessed on, 12/1/2017.
- (5) El-tantawy, H, Investigation of temperature and inclination Angles effects on the performance of photovoltaic cells, Ph.D , Department of Mechanic - Faculty of Engineering – Banha University, 2016.

مندور عام ٢٠٠٢م<sup>(١)</sup>، عن الإشعاع الشمسي في مصر، والتي انصبحت على دراسة الإشعاع الشمسي الكلي في مصر، والعوامل المؤثرة فيه و تأثيره على بعض الجوانب الجغرافية مثل العمران والسكان، ودراسة حسن يونس عبد الرحمن عام ٢٠٠٩م<sup>(٢)</sup> عن الإشعاع الشمسي والرياح كمصادر للطاقة الجديدة والمتجددة في مصر، وتناول الباحث فيها التوزيع الفصلي والشهري للإشعاع الشمسي الكلي وبعض التطبيقات لتوليد الكهرباء مثل محطة الكريمت، ودراسة ياسمين جاد الرب عام ٢٠١٣م<sup>(٣)</sup> عن الطاقة المتجددة في مصر، وتناولت فيها بعض نماذج استخدام الخلايا الكهروضوئية، ودراسة ياسر محمد عبد الموجود عام ٢٠١٧م<sup>(٤)</sup>، عن إمكانات الطاقة الشمسية في مصر مطبقاً على محطة توليد الكريمت الحرارية، ودراسة هبة محمود عبدالرازق عام ٢٠١٧م<sup>(٥)</sup> عن طاقة الشمس والرياح في شبه جزيرة سيناء، وتناولت فيها الإشعاع الشمسي وطاقته في شبه جزيرة سيناء، وتطرق إلى مشروعات الطاقة الشمسية وإمكانية تطبيقها في شبه جزيرة سيناء.

### يسعى الباحث من خلال الدراسة إلى تحقيق الأهداف التالية :

- ١- إبراز دور الخلايا الكهروضوئية في توفير طاقة كهربائية نظيفة ومتجددة.
- ٢- تحديد طبيعة العوامل المؤثرة في أداء الخلايا الكهروضوئية في مصر وبخاصة عنصري الإشعاع الشمسي و حرارة الهواء.
- ٣- رصد التغيرات المكانية والزمنية في مستوى أداء الخلايا الكهروضوئية في مصر وعلاقتها بدرجة حرارة الهواء.

- (١) مسعد سلامة مندور، الإشعاع الشمسي في مصر - دراسة في الجغرافيا المناخية، دكتوراه غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب - جامعة المنصورة، ٢٠٠٢م.
- (٢) حسن يونس عبد الرحمن، الإشعاع الشمسي والرياح كمصادر للطاقة الجديدة والمتجددة في مصر - دراسة في المناخ التطبيقي، ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب - جامعة طنطا، ٢٠٠٩م.
- (٣) ياسمين جاد الرب، الطاقة المتجددة في مصر - دراسة في الجغرافيا الاقتصادية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS، دكتوراه غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب - جامعة الزقازيق، ٢٠١٣م.
- (٤) ياسر محمد عبد الموجود، إمكانات الطاقة الشمسية في مصر مع التطبيق على محطة الكريمت - دراسة في جغرافية الطاقة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، دكتوراه غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب - جامعة أسيوط، ٢٠١٧م.
- (٥) هبة محمود عبد الرزاق، طاقة الشمس والرياح في شبه جزيرة سيناء - دراسة في المناخ التطبيقي باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب - جامعة القاهرة، ٢٠١٧م.

- ٤- توضيح المتطلبات المناخية لعملية توليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية، وتباينها المكاني والزمني وبخاصة عنصري الإشعاع الشمسي وحرارة الهواء.
- ٥- إبراز دور درجة حرارة الهواء في التأثير على أداء الخلايا الكهروضوئية وبخاصة جهد التيار وكمية الطاقة المنتجة.
- ٦- تصنيف مصر إلى نطاقات تبعاً لتعرض الخلايا الكهروضوئية للمعوقات الحرارية.
- ٧- تسليط الضوء على منظومة توليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية من حيث الأنواع والمكونات والموصفات الفنية والجوى الاقتصادية مما يشجع الاستثمار في هذا القطاع الحيوي.
- ٨- تحديد التقنيات والوسائل الواجب إتباعها للحد من التأثير السلبي لدرجة حرارة الهواء على أداء الخلايا الكهروضوئية.
- ٩- تحديد العلاقة بين دائرة عرض المكان وزاوية ميل ألواح الخلايا؛ ومن ثم تصميم معادلة يمكن من خلالها استنباط زوايا التوجيه المثالية للخلايا وفقاً لدائرة العرض.

#### كما يسعى الباحث من خلال الدراسة إلى الإجابة على التساؤلات التالية :

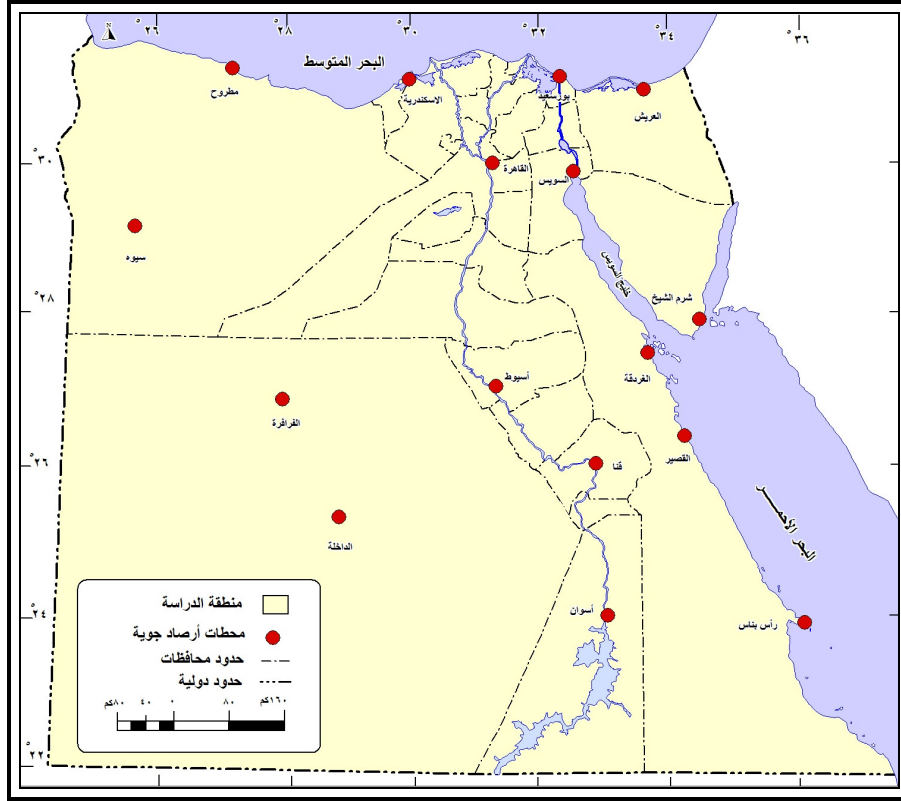
- ١- إلى أي مدى يرتبط أداء الخلايا الكهروضوئية بدرجة حرارة الهواء.
- ٢- هل يتفوق تأثير درجة حرارة الهواء على تأثير الإشعاع الشمسي على أداء الخلايا الكهروضوئية.
- ٣- أي جهات مصر تعد الأنسب لإنشاء منظومة تجارية لتوليد كهرباء من الخلايا الكهروضوئية.

وقد استعان الباحث في إتمامه للدراسة بالعديد من المناهج أهمها : المنهج الإقليمي والموضوعي والأصولي والتاريخي، بالإضافة إلى مجموعة من الأساليب منها : الأسلوب الكمي الأسلوب الكارتوجرافي، واعتمد الباحث على بيانات درجة حرارة الهواء العظمى من عدد ١٤ محطة أرصاد جوية تغطي معظم جهات مصر خلال المدة من ١٩٧٠-٢٠٠٠م (شكل ١)، وبيانات الإشعاع الشمسي الكلي من قاعدة بيانات وكالة الفضاء الأمريكية (NASA)<sup>(١)</sup>، واستخدم بعض برامج الحاسب الآلي مثل: برامج الخرائط Arcgis و MapInfo و surfer، وبرامج رسم الأشكال البيانية Excel، وبرنامج التحليل الإحصائي SPSS، وبرنامج حساب زوايا الإشعاع الشمسي Solar position calculator<sup>(٢)</sup>، كما استعان بالعدد من المعادلات الإحصائية وتتمثل فيما يلي :

(1) NASA Surface Meteorology and solar Energy, available on line at [http:// www.Eosweb.larc.nasa.gov](http://www.Eosweb.larc.nasa.gov), accessed on, 1/12/2016.

(2) Available online at: <http://www.Esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/azel.html>, accessed on, 11/1/2015.





شكل (١) : التوزيع الجغرافي لمحطات الأرصاد الجوية التي اعتمدت عليها الدراسة.

١- معادلة تحديد زاوية ميل شعاع الشمس عن خط الاستواء، أو زاوية دائرة عرض التعامد

(Declination angle):

$$\text{Solar declination} = 23.45 \times \sin [(360 \div 365) \times (284 + N)]$$

حيث : N هو ترتيب اليوم بالنسبة لباقي أيام السنة، ويتراوح بين ١ و ٣٦٥، علماً بأن الترتيب يبدأ من ١ يناير، ويتراوح ناتج للمعادلة بين ٢٣,٤٥ درجة عندما تتعامد الشمس على مدار السرطان في نصف الكرة الأرضية الشمالي، و - ٢٣,٤٥ درجة عندما تتعامد الشمس على مدار الجدي في نصف الكرة الأرضية الجنوبي<sup>(١)</sup>.

(1) Goswami, D., et al., Principles of Solar Engineering, Second Edition, Taylor & francis, USA, 2000, p. 24.

٢- معادلة تحديد درجة الحرارة التشغيلية للخلية الكهروضوئية، بمعلومية درجة حرارة الهواء وقيمة الإشعاع الشمسي الكلي :

$$T_{cell} = T_{amb} + [(Noct-20) \div 0.8] \times S$$

حيث :  $T_{cell}$  درجة حرارة الخلية الكهروضوئية بالدرجة المثوية،  $T_{amb}$  درجة حرارة الهواء بالدرجة المثوية،  $S$  الإشعاع الشمسي الكلي بوحدة الكيلوات ساعة/متر مربع،  $Noct$  درجة حرارة الخلية الكهروضوئية Nominal operating cell temperature عندما تبلغ درجة حرارة هواء  $20^{\circ}C$  والإشعاع الشمسي الكلي  $8$  كيلوات ساعة/متر مربع، وسرعة الرياح  $1$  متر/ثانية<sup>(١)</sup> وتبلغ نحو  $45^{\circ}C$  في معظم أنواع الخلايا الكهروضوئية<sup>(٢)</sup>.

٣- معادلة تحديد كثافة الشعاع الشمسي الساقط على دوائر العرض :

$$Intensity = \sin(A) \times 100$$

حيث :  $A$  زاوية سقوط شعاع الشمس أو ارتفاعه<sup>(٣)</sup>.

٤- معادلة تحديد زوايا سقوط الإشعاع الشمسي على سطح الأرض (زاوية الارتفاع):

$$\sin A = \sin \phi \times \sin \delta + \cos \phi \times \cos \delta \times \cos \omega$$

حيث :  $A$  زاوية السقوط (الارتفاع)، و  $\phi$  دائرة عرض المكان، و  $\delta$  زاوية ميل شعاع الشمس عن خط الاستواء، و  $\omega$  زاوية الساعة، وتساوي صفر عند منتصف النهار، وتزيد الزاوية بإشارة سالبة بمعدل  $-15$  درجة لكل ساعة من ساعات النهار باتجاه شروق الشمس، وبالمعدل نفسه ولكن بإشارة موجبة في اتجاه غروب الشمس<sup>(٤)</sup>.

- 
- (1) Gilbert, M., Renewable and Efficient Electric Power Systems, A John Wiley & Sons, Inc, USA, 2004, P. 476.  
(2) Michael, K., and Markus, H., Modeling of Nominal operating cell temperature based on outdoor weathering, Journal of solar energy material & solar cells, Vol. 95, 2011, p. 1638, Available online at <http://www.Elsevier.com>, accessed on, 28/2/2017.  
(3) Michael, P., Fundamentals of Physical Geography, 2<sup>nd</sup> Ed., 1999, P. 9, Available online at <http://www.E-Booksdirectory.com>, accessed on, 20/8/2016  
(4) Robert, F., et al., Solar Energy – Renewable energy and the Environment, Taylor & Francis Group, USA, 2010, p. 14.

٥- معادلة تحديد جهد الكهرياء الناتجة من الخلايا الكهروضوئية عند تعرضها لحرارة الهواء الواقعية :

$$V = (V_{mp} \times \frac{V_{tc}}{100}) \times (T_{cell} - 25)$$

حيث :  $V$  جهد الخلية في حرارة الهواء العادية،  $V_{mp}$  جهد الخلية عند الطاقة القصوى،  $V_{tc}$  معامل الجهد الحراري،  $T_{cell}$  درجة حرارة الخلية<sup>(١)</sup>.

٦- معادلة تحديد إجمالي الكهرياء المنتجة من الخلايا الكهروضوئية عند تعرضها لحرارة الهواء الواقعية :

$$P = (P_{max} \times \frac{P_{tc}}{100}) \times (T_{cell} - 25)$$

حيث :  $P$  الطاقة المنتجة من الخلية في حرارة الهواء العادية،  $P_{max}$  أقصى طاقة منتجة من الخلية  $P_{tc}$  معامل الطاقة المنتجة الحراري،  $T_{cell}$  درجة حرارة الخلية<sup>(٢)</sup>.

وعلاوة على ما سبق من معادلات استعان الباحث بمعاملات الارتباط والانحدار ونسبة الاختلاف والانحراف المعياري.

وبناءً على ما سبق جاء البحث في ثمانية أجزاء :

في الجزء الأول: تناول الباحث إنتاج مصر من الكهرياء بواسطة الخلايا الكهروضوئية وفي الجزء الثاني : تناول خصائص منظومات توليد الكهرياء من الخلايا الكهروضوئية، وفي الجزء الثالث : العوامل المؤثرة في أداء الخلايا الكهروضوئية، بينما تناول الباحث في الجزء الرابع : المتطلبات المناخية لتوليد الكهرياء من الخلايا الكهروضوئية، وفي الجزء الخامس التباين الزمني والمكاني لدرجة حرارة الخلايا الكهروضوئية في مصر، وفي الجزء السادس التباين الزمني والمكاني لأداء الخلايا الكهروضوئية في مصر، وفي الجزء السابع: تصنيف شهر السنة تبعاً للمعوقات الحرارية على أداء الخلايا الكهروضوئية، وفي الجزء الثامن : تصنيف مصر لمناطق تبعاً لتعرض الخلايا الكهروضوئية للمعوقات الحرارية، وأعقب ذلك عرض لنتائج وتوصيات الدراسة، ثم قائمة بالملاحق والمراجع.

(1) Gilbert, M., Renewable and Efficient Electric power systems, op.cit, P. 476.

(2) Ibid, P. 477 .

## أولاً - إنتاج مصر من الكهرباء بواسطة الخلايا الكهروضوئية :

على الرغم من الطفرة الكبيرة التي شهدتها تكنولوجيا إنتاج الكهرباء من الخلايا الشمسية على مستوى العالم، إلا أن مصر مازالت تعتمد بصورة أساسية على مشتقات البترول والغاز الطبيعي كمصادر لتوليد الطاقة علاوة على الكهرباء المائية المولدة من السد العالي، ولا يتماشى إنتاجها من الطاقة الشمسية مع الطفرة التي شهدها الإنتاج العالمي أو بعض الدول العربية والأفريقية المجاورة، ولا يعد ذلك منطقياً؛ فمصر أولى دول العالم التي عرفت تكنولوجيا الطاقة الشمسية الحرارية، فقد أنشئ فيها أول محطة شمسية حرارية في العالم عام ١٩١٢م، في منطقة المعادي على يد المهندس الأمريكي فرانك شومان (Frank Shuman)<sup>(١)</sup>، و وفقاً لتقرير الوكالة الدولية للطاقة المتجددة<sup>(٢)</sup> قدر إنتاج مصر من الطاقة الشمسية واحد ميجاوات عام ٢٠٠٧م بينما بلغ الإنتاج ٥٩ ميجاوات عام ٢٠١٦م، وبالمقارنة بدولة عربية كالمملكة المغربية نجد أن إنتاجها تجاوز إنتاج مصر، حيث بلغ ١٢ ميجاوات عام ٢٠٠٧م، وارتفع ليصل إلى ٢٠٥ ميجاوات عام ٢٠١٦م، و ينطبق ما سبق أيضاً على إنتاج مصر من الطاقة بواسطة الخلايا الكهروضوئية، فقد قدر إنتاجها بنحو واحد ميجاوات عام ٢٠٠٧م، وارتفع الإنتاج ليصل إلى ٣٩ ميجاوات عام ٢٠١٦م، وبالمقارنة بدولة كجنوب إفريقيا، نجد أن إنتاجها تخطى إنتاج مصر بمراحل؛ فقد بلغ ١٧ ميجاوات عام ٢٠٠٧م، وتسارع الإنتاج ليحقق قفزة كبيرة ليصل إلى مستوى ١٥٤٤ ميجاوات عام ٢٠١٦م.

أدى ارتفاع تكلفة إنتاج الطاقة الكهربية من الخلايا الكهروضوئية إلى انخفاض وتيرة انتشارها في مصر، فالخلايا ومعظم مكونات منظومة التوليد الكهروضوئية يتم استيرادها بالكامل من الخارج، ولا يدخل المنتج المحلي إلا في صناعة الأطر الخارجية للألواح أو هياكل التثبيت المعدنية، وتستغل تكنولوجيا الخلايا الكهروضوئية حالياً في تشغيل أعمدة إنارة الشوارع ومحطات إرسال الهواتف المحمولة وإشارات المرور واللوحات الإرشادية ورفع مياه الآبار، في المناطق النائية البعيدة عن شبكة الكهرباء الموحدة، وقد بلغ إجمالي الطاقة المستغلة في قطاعات الاتصالات والزراعة وأعمدة الإنارة وكهربية الريف نحو ٤,٢ ميجاوات<sup>(٣)</sup>، إلا أنه في الآونة الأخيرة أولت الحكومة اهتماماً خاصاً بتكنولوجيا توليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية فقد أنشأت محطة توليد قدرة ٤٢ كيلوات بمبنى هيئة الطاقة المتجددة، وأنشأت أيضاً محطة توليد في مدينة سيوة بمحافظة مطروح بقدرة ١٠ ميجاوات، كما أبرمت مصر بعض الاتفاقيات في الآونة الأخيرة مع العديد من

(1) Available online at <http://www.en.Wikipedia.org>, accessed on, 24/4/2017.

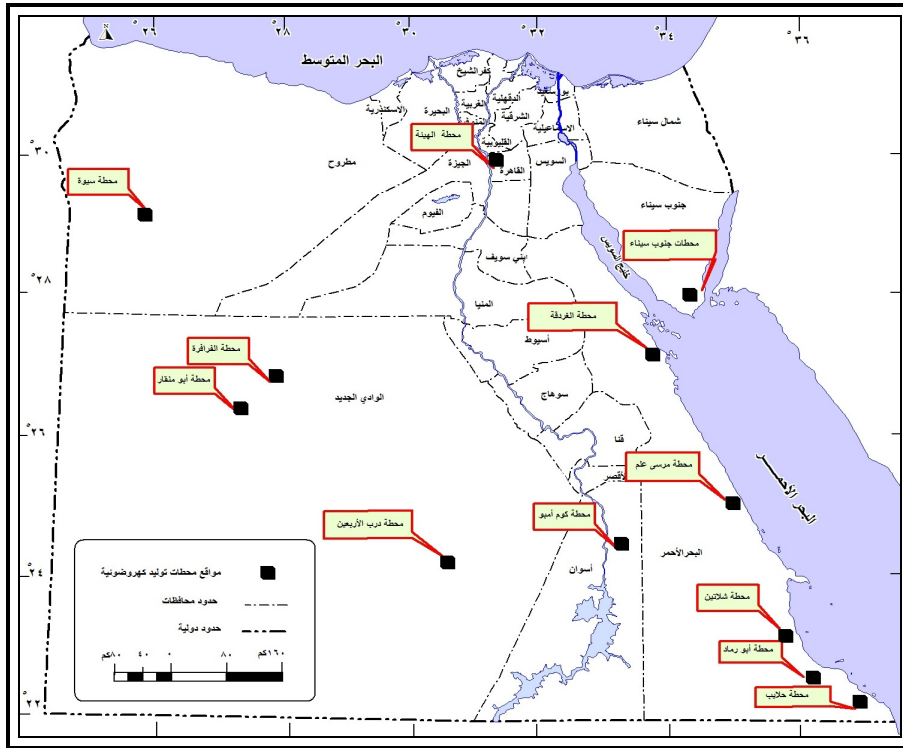
(2) Renewable Capacity Statistics,2017,international Renewable Energy Agency (IRENA), available online at <http://www.irena.org>, accessed on, 3/3/2017.

(٣) الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، دراسة مستقبل الطاقة الشمسية في مصر، ٢٠١٥م.

الدول العربية مثل الإمارات والأجنبية كاليابان وفرنسا، بغرض تمويل إنشاء مشروعات التغذية الكهربية للمناطق والقرى والتجمعات السكنية غير المرتبطة بالشبكة الموحدة<sup>(١)</sup>، باستخدام تكنولوجيا الخلايا الكهروضوئية، في محافظات الوادي الجديد وأسوان والأقصر وسوهاج والبحر الأحمر وشمال سيناء وجنوب سيناء ومطروح، وقد بدأ العمل على أرض الواقع في بعض هذه المشروعات (شكل ٢)، ومن أهم هذه المشروعات :

١- مشروع محطة توليد الغردقة بقدرة ٢٠ ميجاوات، بالتعاون مع الوكالة اليابانية للتعاون الدولي JICA.

٢- مشروع محطة توليد كوم أمبو بقدرة ٢٠ ميجاوات، بالتعاون مع الوكالة الفرنسية للتنمية AFD.



شكل (٢) : التوزيع الجغرافي لمواقع محطات الخلايا الكهروضوئية الجاري إنشائها في مصر.

(١) وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، هيئة تنمية واستخدام الطاقة الجديدة والمتجددة، التقرير السنوي، ٢٠١٥م.

- ٣- مشروع إنشاء ثلاث محطات توليد بمحافظة الوادي الجديد بقدرة إجمالية ٦ ميجاوات في مناطق : الفرافرة ودراب الأربعين وأبو منقار .
- ٤- مشروع إنشاء أربع محطات توليد بمحافظة البحر الأحمر بقدرة إجمالية ١٤ ميجاوات في مناطق : مرسى علم وأبو رماد وشلاتين وحلايب .
- ٥- مشروع إنشاء خمس محطات بمحافظة جنوب سيناء بقدرة إجمالية ٧ ميجاوات .

علاوة على تركيب عدد ١٠٤٠ عمود إنارة بمحافظات: الوادي الجديد ومطروح وشمال سيناء وجنوب سيناء، ومن المتوقع أن تشكل تلك المشروعات فور الانتهاء منها نقلة نوعية في توطيد تكنولوجيا الخلايا الكهروضوئية في مصر .

## ثانياً - خصائص منظومات توليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية :

### (١) مكونات المنظومة :

تشمل منظومة توليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية العديد من المكونات، لكل مكون وظيفة محددة، تتكامل تلك الوظائف فيما بينها لتحقيق الهدف المرجو منها وهو توليد الكهرباء من أشعة الشمس بطريقة مباشرة، تتباين منظومات الخلايا الكهروضوئية في نوعية وحجم مكوناتها وفقاً لنوع المنظومة أو الغرض منها، وفيما يلي شرح لتلك المكونات :

#### - الخلايا الكهروضوئية (Photovoltaic Cell (PV :

تعد المكون الرئيس في المنظومة، حيث تقوم بوظيفة التوليد المباشر للكهرباء من أشعة الشمس، كما أن تكلفتها تتعدى نصف تكلفة منظومة التوليد كاملة<sup>(١)</sup>، وتتربص من مواد شبه موصلة (semi conductor) أهمها السيلكون ثم الكاديوم، يضاف إليها نسب صغيرة من مواد أخرى كالفسفور والزرنيخ، عندما يتعرض السيلكون لأشعة الشمس تتحفز إلكتروناته وتتحرر من مداراتها مكونة شحنات سالبة، بينما تترك مكانها فجوات موجبة الشحنة<sup>(٢)</sup>، يتحرك كلا النوعين من الشحنات إلى خطوط نقل معدنية (Busbars) تسمح بتدفق التيار الكهربائي، وعادة ما تصنع تلك الخطوط من الفضة، وتكسب الخلية مظهر جمالي ومثانة وقدرة على تحمل الظروف الجوية مثل الرياح والحرارة.

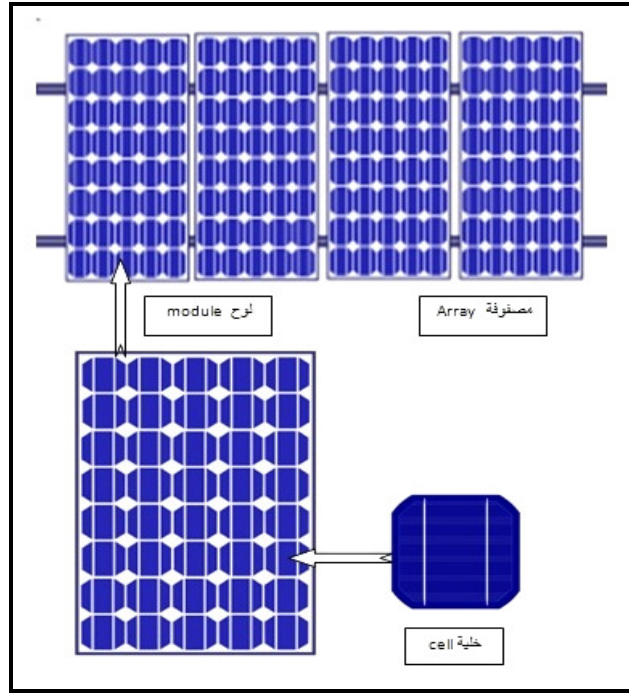
(1) Agroui, K., indoor and out door characterization of photovoltaic module based on multicrystalline solar cells, Energy procedia, Vol. 18, 2012, p. 857, Available on line at <http://www.Sciencedirect.com>, accessed on, 12/1/2017.

(2) Chenming,H, and Richard, M., Solar cells from Basics to Advanced Systems, Mc Graw - Hill Book Company, USA, 1983, p. 39.

تدعم شرائح السيلكون بألواح زجاجية تكسيها متانة وقدرة على تحمل الظروف الجوية وفي الوقت نفسه تسمح بفاذ أشعة الشمس، وعادة ما يكون الزجاج من النوع الجيد (سيكوريث مقوي سمك ٣,٢ ملليمتر)، وكلا سطحه خشن مما يسمح بامتصاص أكبر قدر ممكن من أشعة الشمس.

تختلف الخلايا الكهروضوئية المتاحة في الأسواق التجارية وفقاً لنوع كريستالات السيلكون المصنعة منها؛ فقد تكون أحادية الكريستالات (Monocrystalline) أو متعددة الكريستالات (polycrystalline)، أو سيلكون غير متبلور (Amorphous silicon)، وحديثاً تم تدشين نوعية جديدة من الخلايا تتسم بسمكها الصغير ومرونتها وسهولة تشكيلها تعرف بالخلية الرقيقة (Thin film).

يتم تجميع وربط عدد من الخلايا الكهروضوئية معاً في إطار معدني - غالباً ما يكون من الألومنيوم - بهدف زيادة الطاقة الكهربائية المنتجة، يطلق عليه وحدة فولتوضوئية (PV Module)، وللهدف نفسه يتم أيضاً تجميع وربط عدد من الوحدات الفولتوضوئية ببعضها لتشكل مجموعة فولتوضوئية (PV Array) كما هو موضح بالشكل (٣).



شكل (٣) : طريقة توصيل وربط الخلايا الكهروضوئية.

- **الصمامات (Fuses) :** وتهدف إلى تقليل الفقد من إنتاج الكهرباء، وأهمها الصمامات الثنائية (Bypass Diodes).
- **المحولات (Inverters) :** يهدف هذا المكون إلى تحويل التيار الكهربائي المستمر (DC) الذي تنتجه الخلايا إلى تيار متردد (AC) ليناسب الأجهزة المنزلية المختلفة.
- **البطاريات (Batteries) :** تستخدم لغرض تخزين الكهرباء بغرض استخدامها أثناء الليل أو في أوقات الطقس الغائم.
- **الشاحن (Charge Controller) :** يستخدم في تنظيم عملية شحن البطاريات الشمسية من التيار الكهربائي الذي تنتجه الخلايا الكهروضوئية.
- **عداد الكهرباء (Electricity Meter) :** يستخدم في قياس كمية الكهرباء المتحركة من وحدة الخلايا إلى شبكة الكهرباء والعكس، ويوجد في أنظمة التوليد المتصلة بالشبكة.
- **الكابلات (Wire) ومفاتيح التحكم (Controls) :** تهدف إلى نقل الكهرباء المنتجة من الخلايا إلى البطاريات لتخزينها مروراً بباقي مكونات المنظومة، أو إلى الأجهزة المنزلية حيث يتم استهلاكها.
- **الحوامل والتركيبات المعدنية (Mounting) :** تستخدم في تثبيت الألواح وتوجيهها رأسياً وأفقياً بزوايا محددة تسمح بتعامد أشعة الشمس على الخلايا.
- **نظام تتبع أشعة الشمس (Tracking System) :** يوجد في الأنظمة المتحركة، ويهدف إلى تعظيم كفاءة التوليد من خلال تحريك ألواح الخلايا وتغيير زواياها الرأسية والأفقية لتبقي أشعة الشمس متعامدة عليها طيلة ساعات النهار.

## ٢) أنواع منظومات توليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية :

تصنف منظومات توليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية وفقاً لعدة معايير أهمها مقدار الطاقة المنتجة، والاتصال بالشبكة القومية للكهرباء من عدمه، حركة ألواح الخلايا الكهروضوئية أو ثباتها، وفيما يلي عرض لأهم أنواع المنظومات :

### وفقاً لمقدار الطاقة المنتجة :

- تصنف المنظومات وفقاً لهذا المعيار إلى :
  - **منظومات كبيرة:** أسست لغرض تجاري، وتتسم بأن إنتاجيتها كبيرة وتقاس بوحدة الميجاوات ساعة، وخير مثال على ذلك محطة سيوة بقدرة ١٠ ميجاوات ساعة، والمحطة الجاري تنفيذها



- في الغردقة بقدرة ٢٠ ميجاوات بالتعاون مع الوكالة اليابانية للتعاون الدولي (JICA)، ومحطة كوم أمبو بقدرة ٢٠ ميجاوات بالتعاون مع الوكالة الفرنسية للتنمية (AFD)<sup>(١)</sup>.
- **منظومات متوسطة** : تستخدم في توفير الكهرباء للأبراج السكنية والمؤسسات الكبيرة وتتسم بإنتاجيتها المتوسطة والتي تقاس بوحدة الكيلووات ساعة، وخير مثال لهذا النمط المحطة الكهروضوئية قدرة ٤٢ كيلووات بمبنى وزارة الكهرباء والطاقة المصرية والتي تتكون من عدد ٩٦ لوح خلايا فولتوضوئية<sup>(٢)</sup>.
- **منظومات صغيرة** : تستخدم في إمداد المنازل بمتطلباتها الكهربائية، أو توليد الكهرباء بغرض رفع المياه من الآبار الجوفية، أو تشغيل محطات بث الهاتف المحمول، وتقاس إنتاجيتها بوحدة الوات ساعة، ومنظومات متناهية الصغر، مثل أعمدة إنارة الشوارع، وخير مثال على ذلك تركيب عدد ٣٠٠ عمود إنارة بسور محطة توليد الكريماز عام ٢٠١٤م، علاوة على التطبيقات المحمولة مثل مصابيح الإضاءة والكاميرات والساعات والآلات الحاسبة.

#### وفقاً لطبيعة الاتصال بشبكة الكهرباء القومية :

- تصنف المنظومات وفقاً لهذا المعيار إلي :
- **منظومات متصلة بالشبكة (on-grid systems)**، يضح هذا النمط الكهرباء التي تزيد عن الحاجة في الشبكة الموحدة أثناء النهار، وتأخذ ما تحتاجه من الشبكة أثناء الليل أو أثناء ساعات التخييم، وفي حالة الحمل الزائد على الشبكة يوفر هذا النظام متطلباته من الكهرباء إما عن طريق بطاريات شمسية أو مولد ديزل.
- **منظومات غير متصلة بالشبكة (off-grid systems)**، غالباً ما توجد في المناطق النائية والتي لم تصلها شبكة الكهرباء الموحدة، يتم توليد الكهرباء أثناء ساعات النهار وما يفيض عن الاستهلاك يخزن في البطاريات ليتم الاستفادة منه أثناء ساعات الليل أو ساعات تخييم الشمس وخير مثال لهذا النمط إنارة قريتي أم الصغير وعين زهرة بمركز سيوة محافظة مطروح عام ٢٠١٠م<sup>(٣)</sup>، ومن أبرز عيوب هذا النمط أن أي توليد للكهرباء في حالة امتلاء البطاريات يضيع سدى<sup>(٤)</sup>.

(1) Available online at <http://www.Nrea.gov.eg>.

(٢) وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، هيئة تنمية واستخدام الطاقة الجديدة والمتجددة، التقرير السنوي،

٢٠١٥م، متاح على شبكة المعلومات الدولية في موقع : <http://www.Nrea.gov.eg>

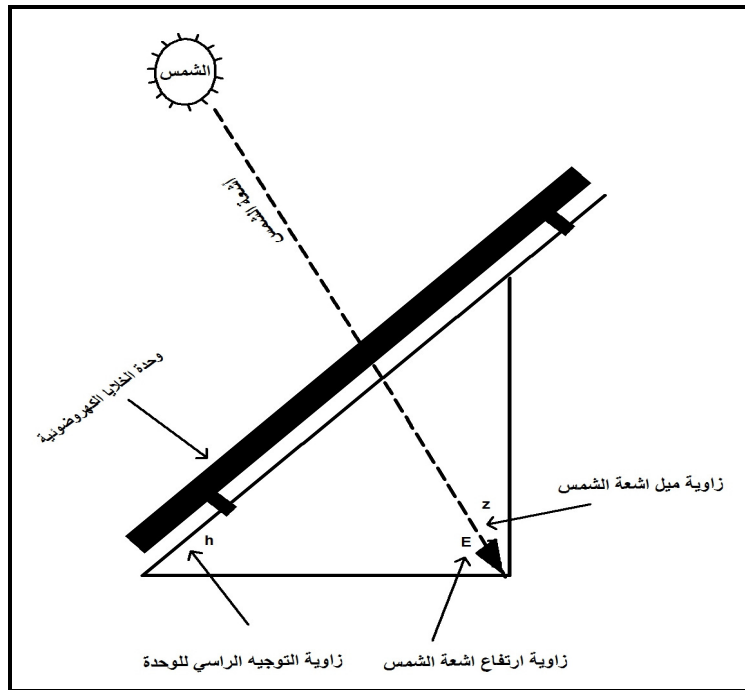
(3) Available online at <http://www.Nrea.gov.eg>.

(4) Anasuya, G., and Hippus, S., Institutional Roof to Solar NIAS experience with A100kw Solar System, National Institute of Advanced studies, Indian Institute of Science campus, INDIA, 2017, P.6.

### وفقاً لحركة ألواح الخلايا الكهروضوئية أو ثباتها :

تصنف المنظومات وفقاً لهذا المعيار إلي :

- منظومة ذات ألواح توليد ثابتة، توجه الألواح الخلايا في هذا النمط بزواوية أفقية (Azimuth angle) من اتجاه الشمال الجغرافي، وغالباً ما توجه الألواح ناحية الجنوب في نصف الكرة الأرضية الشمالي، حيث تسقط أشعة الشمس بأعلى زاوية ارتفاع لها في منتصف النهار، مما يتيح مواجهة أشعة الشمس للألواح معظم ساعات النهار؛ فتحقق بذلك أعلى كفاءة توليد، كما توجه الألواح بزواوية رأسية من سطح الأرض بحيث تسقط أشعة الشمس عليها بزواوية قائمة، فتحقق بذلك أعلى كفاءة توليد، ووفقاً لذلك يتم تحديد زاوية التوجيه الراسي للوح الشمسي بحيث تكون مساوية لزاوية ميل الشعاع الشمسي (Zenith angle)، أو انحرافه عن وضع التعامد بالنسبة لسطح الأرض (شكل ٤)، يتم توجيه الألواح في هذا النمط وفقاً لزوايا الشعاع الشمسي في فصل الصيف أو في فصل الشتاء، أو وفقاً لمتوسط الزوايا خلال العام، بناء على الموقع الفلكي لمكان المنظومة.



شكل (٤) : زاوية التوجيه الراسي لألواح الخلايا الكهروضوئية وعلاقتها بزوايا ارتفاع وميل أشعة الشمس.

- منظومة توليد ذات ألواح متحركة، تتغير زوايا التوجيه الرأسية والأفقي لألواح التوليد في هذا النمط منذ شروق الشمس حتى غروبها، من خلال نظام هيدروليكي يتحكم به جهاز تتبع للشمس، ومن ثم تزداد كفاءة التوليد بنسبة تصل إلى ٢٥% مقارنة بالأنظمة الثابتة<sup>(١)</sup>، إلا أن التكلفة الكبيرة لهذا النمط سواء للشراء أو للصيانة، والتي لا يعوضها المردود المادي للزيادة في التوليد قلل من انتشار هذا النمط، وبخاصة في المناطق ذات المناخ الحار.

### ثالثاً - العوامل المؤثرة في أداء الخلايا الكهروضوئية :

تقوم الخلايا الكهروضوئية بتحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية بطريقة مباشرة، ومن ثم يمكن الحكم على كفاءة أداء الخلية الكهروضوئية لوظيفتها بصفة عامة بحساب نسبة الإشعاع الشمسي الذي تحوله إلى كهرباء مقارنة بإجمالي ما تستقبله من إشعاع شمسي، ويعرف ذلك بمصطلح كفاءة التحويل الفولتضوئي (Conversion Efficiency)<sup>(٢)</sup>.

عند إنتاج ألواح الخلايا الكهروضوئية يتم إجراء بعض التجارب والقياسات المعملية عليها بهدف تحديد كفاءة التحويل، وكمية الطاقة الكهربائية التي ستنتجها (peak watt) وجهد التيار الكهربائي المنتج، وتتم تلك المعايرة في ظروف قياسية : عندما تكون حرارة الخلية ٢٥°م وعند تعرضها لإشعاع شمسي بقوة ١٠٠٠ وات/مترمربع (Standard Test Conditions (STC).

عند تركيب وتشغيل ألواح الخلايا الكهروضوئية، تتعرض لظروف مناخية فعلية تفوق الظروف القياسية التي عوبرت خلالها، وبخاصة درجة حرارة الهواء المرتفعة والتي تؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الخلايا، مما يؤدي إلى تغير كفاءة التحويل وكمية الطاقة الكهربائية المنتجة وجهد التيار الكهربائي، لذا يتم إخضاع ألواح الخلايا إلى قياسات تحت ظروف التشغيل الفعلية لتحديد درجة حرارتها الفعلية (Nominal Operating Cell Temperature (NOCT، وغالباً ما تحدد درجة حرارة الخلية الفعلية عندما تتعرض لهواء درجة حرارته ٢٠ درجة مئوية، وإشعاع شمسي بقوة ٨٠٠ وات/مترمربع وهواء سرعته متر/الثانية<sup>(٣)</sup>، وتبلغ درجة حرارة الخلايا الفعلية في معظم ألواح الخلايا المتداولة ٤٥ درجة مئوية.

(1) Robert, F., et al., Solar Energy – Renewable Energy and the Environment, Op. Cit., p. 143.

(٢) ستيفان كراوتر، توليد القدرة الكهربائية من الطاقة الشمسية أنظمة الطاقة الفولتضوئية، ترجمة عبدالباسط على كرمان و محمد عبد الستار الشبحلي، المنظمة العربية للترجمة - مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت، ٢٠١١م، ص ٦٤.

(3) Tiwari, G., and Swapnil, D., Fundamentals of Photovoltaic Modules and their Applications, RSC publishing, UK, 2010, p. 104.

يتم الحكم على كفاءة أداء الخلايا بمقارنة كمية الطاقة الكهربائية المنتجة وجهد التيار الكهربائي المنتج في ظل الظروف القياسية (STC)، بنظائرها في ظل ظروف التشغيل الفعلية (NOCT)، فيتم الحصول على معامل الفقد في الطاقة المنتجة، والذي يصل في معظم أنواع الخلايا الكهروضوئية المتداولة في الأسواق التجارية إلى نحو - ٠,٥% من الطاقة المنتجة في ظل الظروف القياسية، لكل زيادة مقدارها درجة مئوية في حرارة الخلية الكهروضوئية عن ٢٥ درجة مئوية (الحرارة القياسية)، ومعامل الفقد في جهد التيار المنتج، والذي يصل إلى ٠,٣٦% من جهد التيار المنتج في ظل الظروف القياسية، لكل زيادة مقدارها درجة مئوية في حرارة الخلية الكهروضوئية عن ٢٥ درجة مئوية، ويشير الجدول التالي إلى خصائص وحدة الخلايا الكهروضوئية التي اعتمدت عليها الدراسة.

جدول (١) : خصائص وحدة الخلايا الكهروضوئية التي اعتمدت عليها الدراسة.

نوع اللوحة	أحادية الكريستالات	رقم اللوحة	Bp7185
الطاقة القصوى	١٨٥ وات	معامل فقد الطاقة	-٠,٥%/١° مئوية
جهد التيار الأقصى	٤٤,٨ فولت	معامل فقد التيار	-٠,٣٦%/١° مئوية
درجة الحرارة التشغيلية	٤٥° مئوية	درجة الحرارة القياسية	٢٥° مئوية

وبناءً على ما سبق يمكن الحكم على مستوى أداء الخلايا الكهروضوئية من خلال معيارين : كمية الطاقة الكهربائية المنتجة وجهد التيار الكهربائي، وتتحكم في هذين المعيارين مجموعة من العوامل : يرجع بعضها إلى خصائص الخلايا الكهروضوئية وباقي مكونات منظومة التوليد والآخر إلى الظروف المناخية، وفيما يلي عرض لتلك العوامل :

### (١) عوامل ترجع إلى الخلايا الكهروضوئية :

تؤثر نوعية الخلايا الكهروضوئية في أدائها وقدرتها على توليد الكهرباء من أشعة الشمس فالخلايا المصنعة من السيلكون أحادي الكريستالات تتسم بنقاؤها ومن ثم ارتفاع كفاءتها لتصل إلى ٢١%، ولذا يتم الاستعانة بها في المشروعات التي لا تتوافر لها مساحة كبيرة، وفي ألواح التوليد التي تركيب فوق أسطح المباني، بينما تتراوح كفاءة الخلايا الكهروضوئية المصنعة من السيلكون متعددة الكريستالات بين ١٣-١٦%، وتعد الأفضل في المشروعات التي تتوافر لها مساحة كبيرة

نظراً لقلّة تكلفتها مقارنة بخلايا السيلكون أحادي الكريستالات، بينما تصل كفاءة التوليد إلى أدنى مستوى لها في الخلايا الرقيقة، حيث تتراوح بين 7-13%<sup>(1)</sup>.

يؤثر عدد الخطوط المعدنية (Busbars) التي تدخل في تصنيع الخلايا الكهروضوئية وتسمح بتدفق التيار الكهربائي على كفاءتها، وعلى تحملها للأثر السلبية الناتجة عن الظروف الجوية مثل الرياح السريعة ودرجات الحرارة المرتفعة، ويتراوح عدد الخطوط المعدنية في الخلايا المتاحة في الأسواق بين ثلاثة إلى خمسة خطوط، ومن ثم عند القيام بشراء ألواح الخلايا يجب التأكد جيداً من احتواء الخلايا على ما لا يقل عن أربعة خطوط معدنية.

تؤثر نوعية الألواح الزجاجية التي تدعم بها شرائح السيلكون على امتصاصها لأشعة الشمس، وبالتالي على كفاءتها؛ فالزجاج الشفاف الناعم يعكس جزء من أشعة الشمس، بينما الزجاج السميك الخشن يسمح بامتصاص قدر أكبر من أشعة الشمس، كما أنه أكثر تحملاً للتأثير السلبى للظروف الجوية، وفي الوقت نفسه يسمح بفاذ أشعة الشمس.

يؤثر عدد الصمامات الثنائية (Bypass Diodes) في كفاءة ألواح الخلايا الكهروضوئية فيزيادة عددها تقل نسبة الفقد في إنتاجية الخلايا، والتي تنجم عن تعرض أجزاء من الخلايا للظلال كما تقلل من التأثير السلبى لتراكم الأتربة على الألواح، وتقلل التأثير السلبى الناجم عن ارتفاع درجة حرارة الخلايا، ونتيجة لتكلفتها العالية لا توضع في كثير من الألواح المتداولة في الأسواق التجارية، لذا يجب التأكد عند شراء ألواح الخلايا من احتوائها على عدد ثلاث صمامات على الأقل.

يؤثر التوجيه الجيد لألواح الخلايا الكهروضوئية على كفاءتها، وبخاصة في الأنظمة الثابتة فكلما ظلت الخلايا مواجهة لأشعة الشمس بزاوية قائمة أطول فترة ممكنة من النهار، كلما ارتفعت كفاءتها وارتفع مستوى أدائها، ومن ثم يجب الأخذ في الحسبان المسافات الفاصلة بين مصفوفات الخلايا تحاشياً لأن تظلل بعضها البعض، وذلك أثناء حركة الشمس الظاهرية في السماء، كما يجب مراعاة المسافات التي تفصل المنظومات عن أي عائق لأشعة الشمس، مثل الأشجار والحوائط، والتي من الممكن أن تشكل مصدراً للظلال.

تؤثر نوعية المواد المعدنية التي تصنع منها أطر ألواح الخلايا والهيكل الذي يحملها على كفاءة الخلايا؛ فالمعادن جيدة التوصيل للحرارة تسخن بسرعة نتيجة ارتفاع درجة حرارة الهواء والإشعاع الشمسي المباشر، فتنتقل الحرارة إلى الخلايا، والى باقي مكونات منظومة التوليد عن طريق التوصيل فتقلل من كفاءتها، ومن ثم يفضل استخدام مواد معدنية متينة وفي نفس الوقت رديئة التوصيل للحرارة، وغالباً ما يستخدم الألومنيوم في صنع الأطر الخارجية لألواح الخلايا.

(1) Anasuya, G., and Hippus, S., institutional Roof to solar NIAS experience with A100kw solar system , national institute of Advanced studies, Indian institute of science campus, INDIA, 2017, P. 5.

## ٢) عوامل ترجع إلى الظروف المناخية :

### أ- أشعة الشمس :

يتم تحول الطاقة المستمدة من أشعة الشمس عبر الخلايا الكهروضوئية إلى كهرباء، ومن ثم تؤثر خصائص الإشعاع الشمسي في كفاءة أداء الخلايا؛ فكلما كان الإشعاع الشمسي متاحاً بكمية كبيرة، كلما استطاعت الخلايا تحويل نسبة كبيرة منه إلى كهرباء وفقاً لنوعية الخلايا، وكلما كانت أشعة الشمس متاحة طيلة ساعات النهار دون انقطاع أو تغير في النسبة سواء بفعل السحب أو العواصف الترابية أو الرملية، كلما أمن ذلك استمرارية لعملية التوليد، ومن ثم الحصول على تيار كهربائي غير متقطع.

كما تؤثر زاوية ارتفاع أشعة الشمس على مساحة السطح الذي تتوزع عليه ومن ثم على كثافتها؛ ومن خلال جدول (٢) وشكل (٥) يتضح أنه كلما زادت زاوية ارتفاع أشعة الشمس كلما قلت مساحة السطح الذي تتوزع عليه ومن ثم زادت كثافتها، مما يترتب عليه ارتفاع أداء الخلايا الكهروضوئية، حيث تزداد كمية الطاقة الكهربائية المنتجة ويزداد جهد التيار الكهربائي.

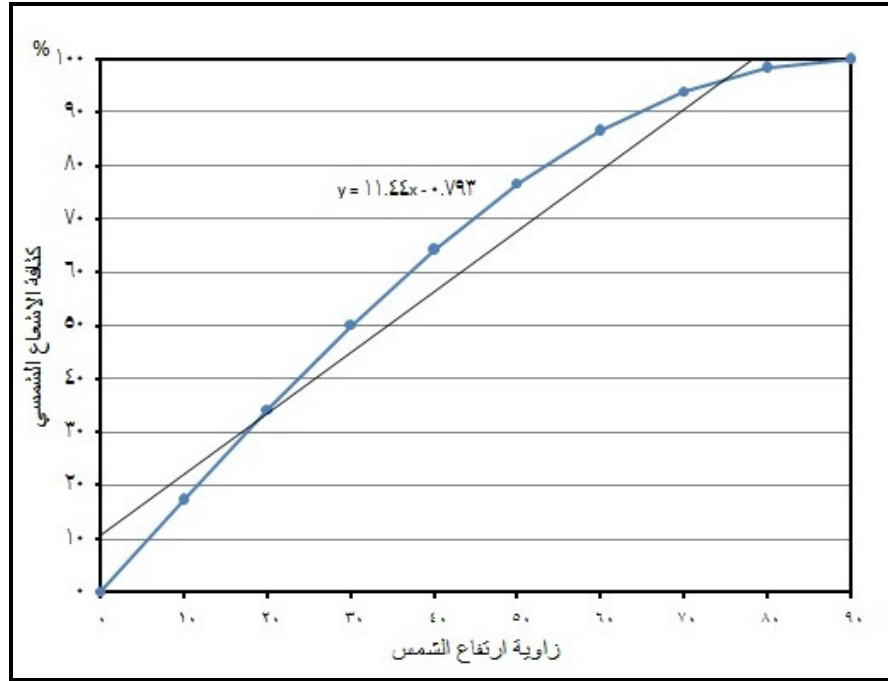
يتحول جزء من الإشعاع الشمسي الساقط على الخلايا الكهروضوئية إلى طاقة حرارية مما يترتب عليه ارتفاع درجة حرارة الخلايا<sup>(١)</sup>، فإذا ما تجاوزت حرارة الخلايا درجة الحرارة القياسية (٢٥ ° مئوية) انخفض مستوى أدائها، وبحساب معامل الارتباط بين كمية الإشعاع الشمسي السنوي الكلي بمحطات الدراسة كمتغير مستقل، ودرجة حرارة الخلية الكهروضوئية وكمية الانخفاض في الطاقة المنتجة والانخفاض في جهد التيار الكهربائي كمتغيرات تابعة تبين وجود ارتباط طردي متوسط (٠,٦٦)، وينضح ذلك من خلال شكل (٦).

جدول (٢) : العلاقة بين زوايا ارتفاع أشعة الشمس وكثافة الإشعاع الشمسي.

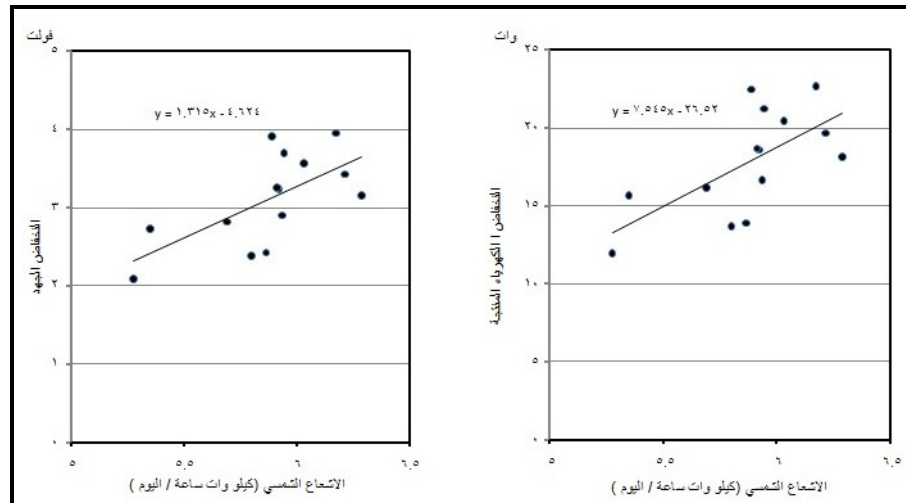
زاوية ارتفاع الشمس	الكثافة %	زاوية ارتفاع الشمس	الكثافة %
٠	٠	٥٠	٧٦,٦
١٠	١٧,٤	٦٠	٨٦,٦
٢٠	٣٤,٢	٧٠	٩٣,٩
٣٠	٥٠	٨٠	٩٨,٥
٤٠	٦٤,٣	٩٠	١٠٠

المصدر: من إعداد الباحث.

(1) Swapnil, D., et al., Temperature dependent photovoltaic (PV) efficiency and its effect on pv production in the world –are view, Energy procedia. Vol. 33, 2013, p. 312, available online at <http://www.Sciencedirect.com>, accessed on, 9/3/2017.



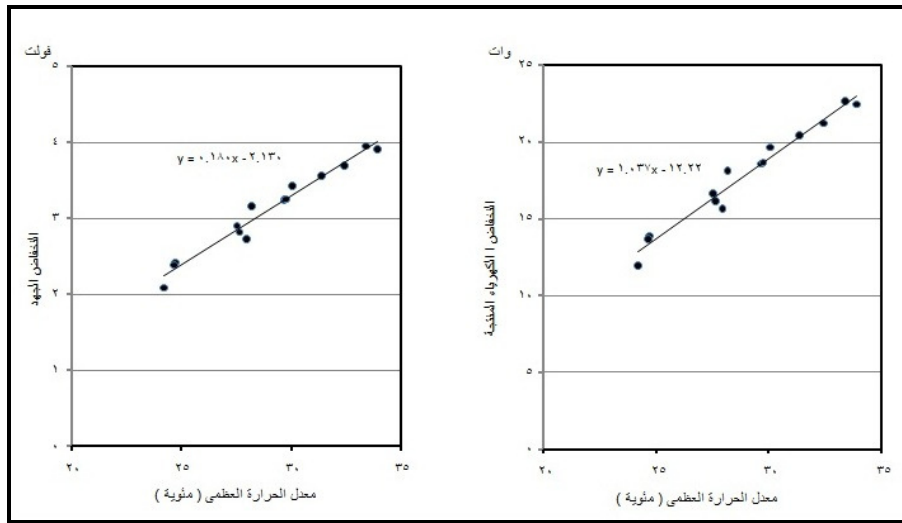
شكل (٥) : العلاقة بين زاوية ارتفاع الشمس وكثافة الإشعاع الشمسي.



شكل (٦) : العلاقة بين كمية الإشعاع الشمسي السنوي الكلي وكمية الانخفاض في الطاقة المنتجة وجهد التيار الكهربائي للخلايا الكهروضوئية.

## ب- حرارة الهواء :

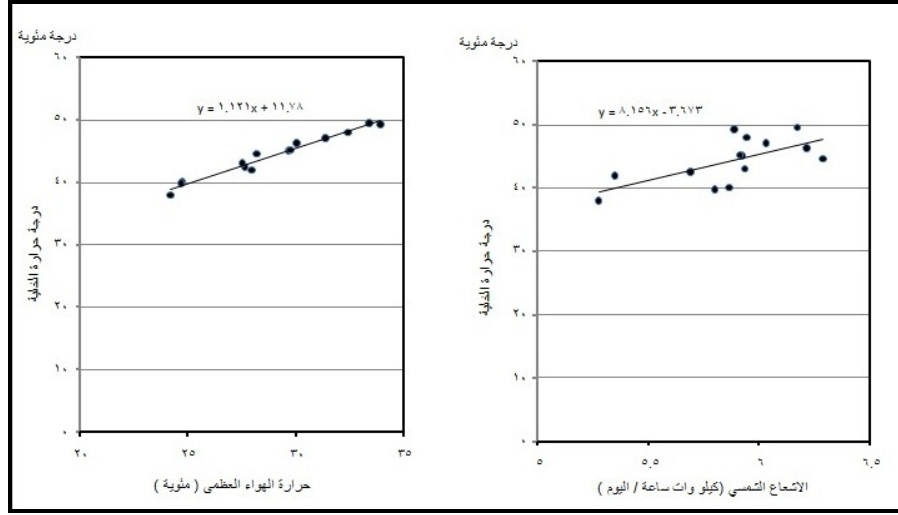
يؤدي ارتفاع درجة حرارة الهواء إلى ارتفاع درجة حرارة الخلية الكهروضوئية؛ والتي تعد بمثابة مفتاح التحكم في أدائها، فإذا ما تجاوزت درجة حرارتها ٢٥ درجة مئوية (الحرارة القياسية) انخفض مستوى أدائها، وبحساب معامل الارتباط بين المعدل السنوي لدرجة الحرارة الهواء العظمى بمحطات الدراسة كمتغير مستقل، ودرجة حرارة الخلية الكهروضوئية وكمية الانخفاض في الطاقة المنتجة والانخفاض في جهد التيار الكهربائي كمتغيرات تابعة؛ تبين وجود ارتباط طردي قوي (٠,٩٨)، ويتضح ذلك من خلال شكل (٧).



شكل (٧) : العلاقة بين درجة حرارة الهواء العظمى وكمية الانخفاض في الطاقة المنتجة وجهد التيار الكهربائي للخلايا الكهروضوئية.

مما سبق يتضح أن التغيرات التي تنتاب درجة حرارة الخلايا الكهروضوئية، وبالتالي مستوى أدائها في محطات الدراسة، وترجع إلى عامل الحرارة ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالتغيرات التي تنتاب درجة حرارة الهواء العظمى، بدرجة تفوق ارتباطها بالتغيرات التي تنتاب الإشعاع الشمسي الكلي، ويتضح ذلك من خلال شكل (٨).





شكل (٨) : العلاقة بين درجة حرارة الهواء العظمى وكمية الإشعاع الشمسي الكلي ودرجة حرارة للخلايا الكهروضوئية.

#### رابعاً - المتطلبات المناخية لتوليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية :

##### (١) الإشعاع الشمسي :

تتلخص فكرة منظومة الخلايا الكهروضوئية في تحويل الطاقة المستمدة من الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية بطريقة مباشرة، واستغلالها في تشغيل الأجهزة الكهربائية أو في عمليات الإضاءة، أو تخزينها لوقت لاحق في بطاريات خاصة، ويتوقف مقدار الطاقة المستمدة من الشعاع الشمسي على معيارين : أولهما كمية الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على سطح الأرض، وثانيهما زوايا سقوط الإشعاع الشمسي على سطح الأرض، وفيما يلي عرض لهذين المعيارين.

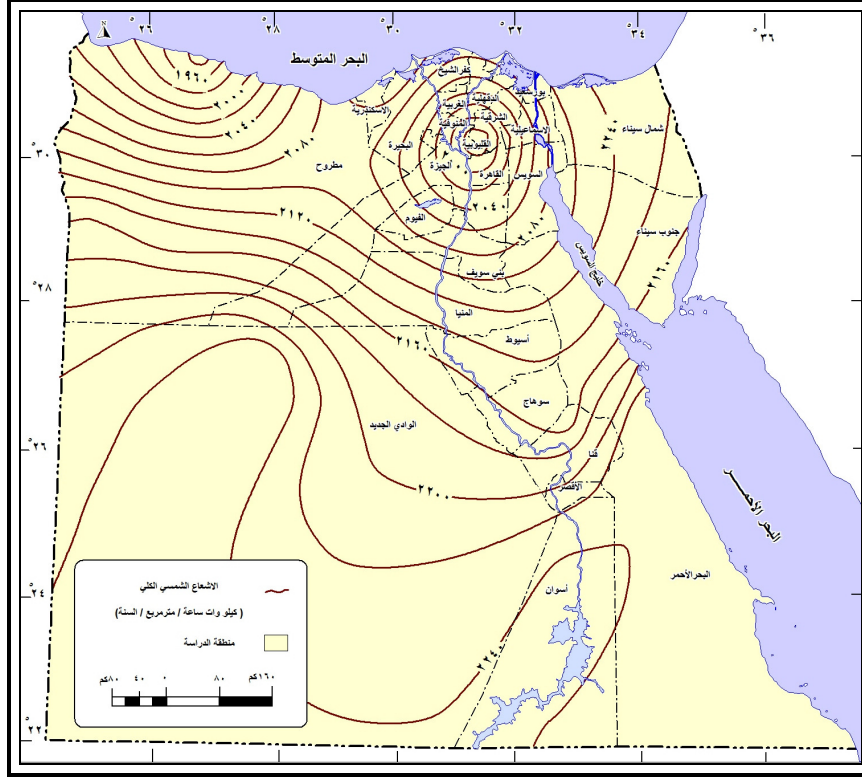
##### أ- كمية الإشعاع الشمسي الكلي :

- من خلال الدراسة التحليلية لملاحق (١) وشكل (٩) يمكن استخلاص الحقائق التالية :
  - تتفاوت كمية الإشعاع الشمسي الذي تستقبله كافة جهات مصر من شهر لآخر خلال العام فبحساب الانحراف المعياري للمعدلات الشهرية للإشعاع الشمسي الكلي الساقط بمواقع محطات الأرصاد الجوية، تبين أنه لا ينخفض في أي منها عن ١,١ كيلووات ساعة/مترمربع/يوم (محطة رأس بناس)، ويشكل ذلك نسبة اختلاف قدرها ١٨,٦% في المحطة نفسها، بينما وصل التفاوت الشهري لحدوده القصوى في محطة مطروح؛ حيث بلغ الانحراف المعياري ١,٩

كيلوات ساعة/مترمربع/اليوم، بينما بلغت نسبة الاختلاف ٣٦,٢% في المحطة ذاتها؛ ويرجع ذلك إلى حركة الشمس الظاهرية، ومن ثم تفاوت المسافة الفاصلة بين اليباس المصري ودوائر العرض التي تتعامد الشمس عليها خلال العام، علاوة على اختلاف نوع السحب ونسبتها تغطيتها للسماء من شهر لآخر في كافة جهات مصر.

- لا توجد اختلافات مكانية كبيرة في كمية الإشعاع الشمسي الكلي الذي تستقبله مصر خلال كل شهر من شهور السنة على حده، فبحساب الانحراف المعياري للمعدلات الشهرية للإشعاع الشمسي الكلي الساقط بمواقع محطات الأرصاد الجوية كل شهر على حده، تبين أنه لا يزيد في أي من شهور العام عن نصف كيلوات ساعة/مترمربع/يوم (شهور ديسمبر ويناير وفبراير) ويشكل ذلك نسبة اختلاف قدرها ١٣,٨% و ١٣,٥% و ١١,٦% للشهور نفسها على الترتيب.
- يستقبل اليباس المصري أكبر معدل شهري للإشعاع الشمسي الكلي خلال شهر يونيو، فلم ينخفض المعدل إبان هذا الشهر في أي من جهات مصر عن ٧,٥ كيلوات/ساعة/مترمربع/اليوم (محطة رأس بناس)، بينما وصل المعدل أقصاه في محطة الفرافرة (٨,٥ كيلوات/ساعة/مترمربع/اليوم) خلال الشهر ذاته، ويرجع ذلك إلى تعامد الشمس خلال هذا الشهر على الأطراف الجنوبية من مصر.
- يستقبل اليباس المصري أصغر معدل شهري للإشعاع الشمسي الكلي خلال شهر ديسمبر فلم يرتفع المعدل إبان هذا الشهر في أي من جهات مصر عن ٤,١ كيلوات/ساعة/مترمربع/اليوم (محطة رأس بناس)، بينما وصل المعدل أدنى مستوى له في محطة مطروح (٢,٥ كيلوات/ساعة/مترمربع/اليوم) خلال الشهر ذاته، ويرجع ذلك إلى ابتعاد دوائر عرض تعامد الشمس إبان هذا الشهر عن اليباس المصري.
- يستقبل اليباس المصري أكبر معدل فصلي للإشعاع الشمسي الكلي خلال فصل الصيف، فلم ينخفض المعدل إبان هذا الفصل في أي من جهات مصر عن ٧,١ كيلوات/ساعة/مترمربع/اليوم (محطة رأس بناس)، بينما وصل المعدل أقصاه في محطة الفرافرة (٨,١ كيلوات/ساعة/مترمربع/اليوم) خلال الفصل ذاته.
- يستقبل اليباس المصري أصغر معدل فصلي للإشعاع الشمسي الكلي خلال فصل الشتاء فلم يزيد المعدل إبان هذا الفصل في أي من جهات مصر عن ٤,٧ كيلوات/ساعة/مترمربع/اليوم (محطة رأس بناس)، في حين وصل المعدل أدنى مستوى له في محطة مطروح (٢,٨ كيلوات/ساعة/مترمربع/اليوم) إبان الفصل ذاته.
- يزداد المعدل السنوي للإشعاع الشمسي الكلي الذي يستقبله اليباس المصري بالاتجاه العام من الشمال والشمال الغربي صوب الجنوب والجنوب الشرقي، فقد بلغ المعدل في مطروح شمالي

غرب مصر ١٩٢٩,٥ كيلووات/ساعة/مترمربع/العام، بينما بلغ المعدل ذاته ٢٢٥٤,٦ كيلووات/ساعة/مترمربع/العام في أسوان بجنوبي مصر.



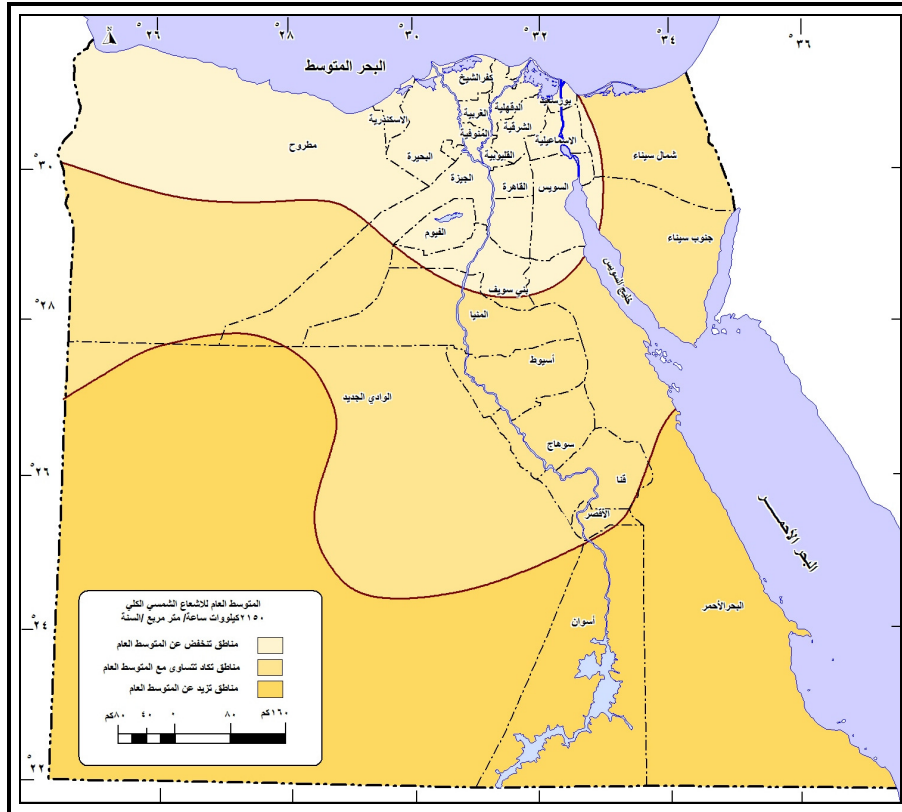
شكل (٩) : التوزيع الجغرافي لكمية الإشعاع الشمسي السنوي الذي تستقبله مصر .

وبناءً على ما سبق يمكن تقسيم مصر وفقاً للنفقات المكانية في المعدلات السنوية للإشعاع الشمسي الكلي، كما يظهر في شكل (١٠) إلى المناطق التالية :

١. مناطق تنخفض عن المتوسط العام :

ينخفض المعدل السنوي للإشعاع الشمسي الكلي الذي تستقبله ألواح الخلايا الكهروضوئية في هذه المناطق عن ٢١٥٠ كيلووات ساعة/مترمربع/العام، ويبلغ إجمالي مساحتها نحو ١٦٨,٨ ألف كيلومتر مربع، أي ما يعادل نحو ١٦,٩% من إجمالي مساحة اليابس المصري. تقع هذه المناطق بشمالي مصر داخل الحدود الإدارية لمحافظة بورسعيد والإسماعيلية والسويس والدقهلية والشرقية والقليوبية والقاهرة وبنى سويف والفيوم والجيزة والمنوفية والغربية وكفرالشيخ والبحيرة والإسكندرية والأطراف الشمالية لمحافظة مطروح.

تتأثر هذه المناطق بحركة المنخفضات الجوية على امتداد البحر المتوسط وسواحله الجنوبية وبخاصة خلال فصل الشتاء، والتي تجلب كتل هوائية باردة رطبة على امتداد جبهاتها الباردة، فتتشكل سحب كثيفة بفعل عملية الرفع الجبهي، مما يقلل من عدد ساعات سطوع الشمس الممكنة ومن ثم تحجب نسبة كبيرة من الإشعاع الشمسي الكلي.



شكل (١٠) : التباين المكاني للمعدلات السنوية للإشعاع الشمسي الكلي في مصر.

## ٢. مناطق تكاد تتساوى مع المتوسط العام :

يكاد يتساوى المعدل السنوي للإشعاع الشمسي الكلي الذي تستقبله ألواح الخلايا الكهروضوئية في هذه المناطق مع المتوسط العام (٢١٥٠ كيلوات ساعة/متر مربع/عام)، ويبلغ إجمالي مساحتها نحو ٣٤٥,١ ألف كيلومتر مربع، أي ما يعادل نحو ٣٤,٦% من إجمالي مساحة اليابس المصري.

تقع هذه المناطق داخل الحدود الإدارية لمحافظة : شمال سيناء وجنوب سيناء والمنيا وأسيوط وسوهاج وقنا والأقصر والأطراف الشمالية لمحافظة البحر الأحمر والوادي الجديد والأطراف الجنوبية لمحافظة مطروح.

### ٣. مناطق تزيد عن المتوسط العام :

يرتفع المعدل السنوي للإشعاع الشمسي الكلي الذي تستقبله ألواح الخلايا الكهروضوئية في هذه المناطق عن ٢١٥٠ كيلووات ساعة/مترمربع/العام، ليصل إلى أعلى معدل سنوي له ٢٢٩٧,٥ كيلووات ساعة/مترمربع/العام في القصير، ويبلغ إجمالي مساحتها نحو ٤٨٢,٦ ألف كيلومتر مربع، أي ما يعادل نحو ٤٨,٥% من إجمالي مساحة اليابس المصري.

تقع هذه المناطق جنوبي مصر داخل الحدود الإدارية لمحافظة : البحرالأحمر وأسوان والوادي الجديد، و تتسم بصفاء السماء وخلوها النسبي من السحب الكثيفة معظم شهور العام علاوة على تعامد أشعة الشمس عليها إبان فصل الصيف، وقرىها من دوائر عرض التعامد في باقي الفصول مقارنة بالنطاقين السابقين.

### ب- زوايا سقوط وميل الإشعاع الشمسي على سطح الأرض :

ترتبط كفاءة توليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية بزوايا سقوط وزاوية ميل الإشعاع الشمسي الساقط عليها؛ فأشعة الشمس تصبح أكثر كثافة وتركيزاً ومن ثم أكبر طاقة عندما تسقط على سطح الخلايا الكهروضوئية بزوايا كبيرة، وتميل عن وضع السمات بزوايا صغيرة، ومن هنا تتبع أهمية التوجيه الجيد لألواح الخلايا رأسياً وأفقياً - وبخاصة الأنظمة الثابتة - والذي يحقق تعامد لأشعة عليها، ولن يتأتى ذلك إلا بتحديد التغيرات المكانية والزمنية التي تعترض زوايا سقوط وميل الشعاع الشمسي خلال العام، والتي ترتبط ارتباطاً وثيقاً بحركة الشمس الظاهرية ودرجات عرض التعامد على سطح الأرض، ومن خلال هذا التحديد يمكن التحكم بزوايا التوجيه الرأسية لألواح الخلايا بحيث تصبح مساوية لزوايا الميل، فيتحقق بذلك تعامد أشعة الشمس على الخلايا، ومن خلال الدراسة التحليلية لزوايا سقوط الإشعاع الشمسي وكثافته بدوائر العرض التي تمثل معظم اليابس المصري كما هو موضح بملحق(٢) يمكن استخلاص الحقائق التالية :

- يستقبل اليابس المصري أشعة الشمس بزوايا سقوط كبيرة طيلة العام؛ فقد بلغ المتوسط السنوي لزوايا السقوط على كافة دوائر العرض ٦٣,١ درجة، كما بلغ المتوسط السنوي لزوايا الميل ٢٦,٩ درجة، وبناء عليه تصل كثافة الإشعاع الشمسي السنوي إلى ٨٥,٣%، ومن ثم تعد مصر من أفضل الجهات ملائمة لتوليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية.

- ترتفع زوايا سقوط الإشعاع الشمسي إبان فصل الصيف لتصل إلى أعلى معدل فصلي لها خلال العام (٨٢,٦ درجة)؛ ومن ثم بلغ المعدل الفصلي لزوايا الميل ٧,٤ درجة، بينما وصلت كثافة الإشعاع إلى ٩٩,٢%.
  - ترتفع زوايا سقوط الإشعاع الشمسي إبان شهر يونيو لتصل إلى أعلى معدل شهري لها خلال العام (٨٦ درجة)؛ وبناء عليه بلغ المعدل الشهري لزوايا الميل ٤ درجة، بينما وصلت كثافة الإشعاع إلى ٩٩,٨%؛ ويرجع ذلك إلى تعامد الشمس على الأطراف الجنوبية من الياابس المصري.
  - تنخفض زوايا سقوط الإشعاع الشمسي خلال فصل الشتاء لتصل إلى أدنى معدل فصلي لها خلال العام (٤٣,٦ درجة)؛ ومن ثم بلغ المعدل الفصلي لزوايا الميل ٤٦,٣ درجة، بينما وصلت كثافة الإشعاع إلى ٦٩%؛ ويعود ذلك إلى بعد الياابس المصري عن دوائر عرض تعامد الشمس.
  - تنخفض زوايا سقوط الإشعاع الشمسي إبان شهر ديسمبر لتصل إلى أعلى معدل شهري لها خلال العام (٣٩,٩ درجة)؛ وبناء عليه بلغ المعدل الشهري لزوايا الميل ٥٠,١ درجة، بينما وصلت كثافة الإشعاع إلى ٦٤,١%.
  - تنخفض زوايا سقوط الإشعاع الشمسي بالاتجاه من جنوبي مصر صوب شمالها؛ فقد بلغت زاوية السقوط ٦٧,٧ درجة عند دائرة عرض ٢٢ درجة جنوبي مصر، في حين بلغت ٥٨,٩ درجة عند دائرة عرض ٣١ درجة شمالاً بشمالي مصر، وبناءً عليه تنخفض زوايا ميل الإشعاع الشمسي لتتراوح بين ٢٢,٣ درجة و ٣١,١ درجة عند دائرتي العرض نفسها على الترتيب، كما ينخفض المتوسط السنوي لكثافة الإشعاع الشمسي ليتراوح بين ٨٨,٨% و ٨٢,١% عند نفس دائرتي العرض، ومن ثم تزداد إمكانية توليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية في جنوبي مصر مقارنة بالوسط والشمال.
- وبناءً على ما سبق فإن أفضل زوايا توجيه رأسي للألواح الخلايا الكهروضوئية الثابتة (زاوية الميل) على مدار العام تتراوح بين ٢٢,٣ درجة في أقصى جنوبي مصر و ٣١,١ درجة في أطرافها الشمالية، بمتوسط قدره ٢٧ درجة في كافة جهات مصر، وقد استنتج الباحث معادلة يمكن من خلالها تحديد زاوية التوجيه الراسي المثلى للألواح في أي دائرة عرض بمصر على مدار العام وهي كالتالي :

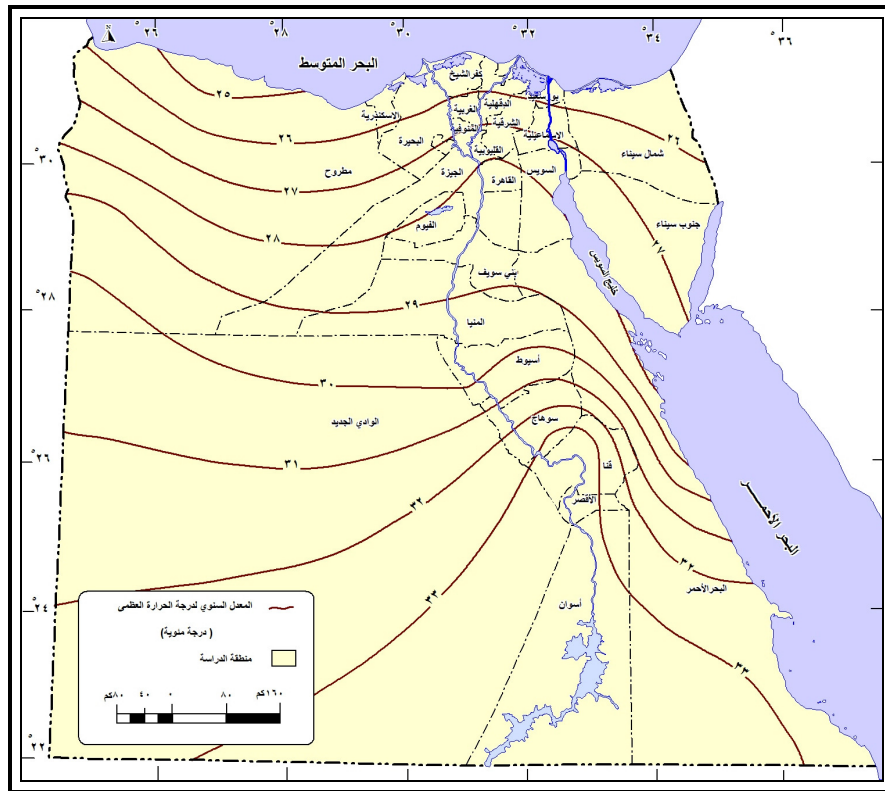
$$\text{زاوية التوجيه الرأسي المثلى} = (٠,٩٨٤ \times \text{دائرة عرض المكان}) + ٠,٥٥٩$$

## ٢) حرارة الهواء :

تؤثر درجة حرارة الهواء في كفاءة الخلايا الكهروضوئية، ومن ثم قدرتها على توليد الكهرباء من أشعة الشمس؛ ويتم ذلك بطريقة غير مباشرة من خلال تأثير درجة حرارة الهواء في درجة حرارة الخلية الكهروضوئية، وحيث أن عملية التوليد تتم خلال ساعات النهار وبخاصة خلال ساعات الظهيرة، وأن ألواح الخلايا دائماً ما توجه أفقياً نحو الجنوب، وتوجه رأسياً بزاوية تمكن أشعة شمس الظهيرة من التعامد عليها، فإن درجات حرارة الهواء العظمى هي الأكثر تعبيراً عن تأثير حرارة الهواء في الخلايا الكهروضوئية، ومن خلال الدراسة التحليلية لملحق (٣) وشكل (١١) يمكن استخلاص الحقائق التالية :

- يتسم التوزيع الشهري لمعدلات درجة الحرارة العظمى بكافة جهات مصر بالتذبذب فبحساب الانحراف المعياري للمعدلات الشهرية لدرجة الحرارة العظمى بمحطات الدراسة، تبين أنه لا ينخفض في أي منها عن ٤,١ درجة مئوية (محطة مطروح)، ويشكل ذلك نسبة اختلاف قدرها ١٧,١% في المحطة نفسها، بينما وصل التفاوت الشهري لحدوده القصوى في محطة أسوان بجنوبي مصر؛ حيث بلغ الانحراف المعياري ٦,٨ درجة مئوية، بينما بلغت نسبة الاختلاف ٢٠,٤% في المحطة ذاتها.
- تتفاوت الاختلافات المكانية في المعدلات الشهرية لدرجة الحرارة العظمى خلال كل شهر من شهور السنة على حده، فبحساب الانحراف المعياري للمعدلات الشهرية لدرجة الحرارة العظمى بمحطات الدراسة كل شهر على حده، تبين أنه يصل لأعلى مستوى له خلال شهر ابريل (٥,٥ درجة مئوية)، ويشكل ذلك نسبة اختلاف قدرها ١٩,٤%، بينما بلغ الانحراف المعياري للمعدل ذاته أدنى مستوى له في شهر نوفمبر (٢ درجة مئوية)، ويشكل ذلك نسبة اختلاف قدرها ٧,٨%.
- ترتفع المعدلات الشهرية لدرجة الحرارة العظمى إبان فصل الصيف لتصل إلى أعلى معدل فصلي لها خلال العام، كما هو الحال في محطتي أسوان وقنا (٤٠,٩ درجة مئوية) بجنوبي مصر.
- ترتفع المعدلات الشهرية لدرجة الحرارة العظمى إبان شهر يوليو لتصل إلى أعلى معدل شهري لها خلال العام، كما هو الحال في محطتي أسوان وقنا (٤١ درجة مئوية) بجنوبي مصر.
- تنخفض المعدلات الشهرية لدرجة الحرارة العظمى خلال فصل الشتاء لتصل إلى أدنى معدل فصلي لها خلال العام، كما هو الحال في محطة مطروح (١٨,٨ درجة مئوية) بشمالي غرب مصر.

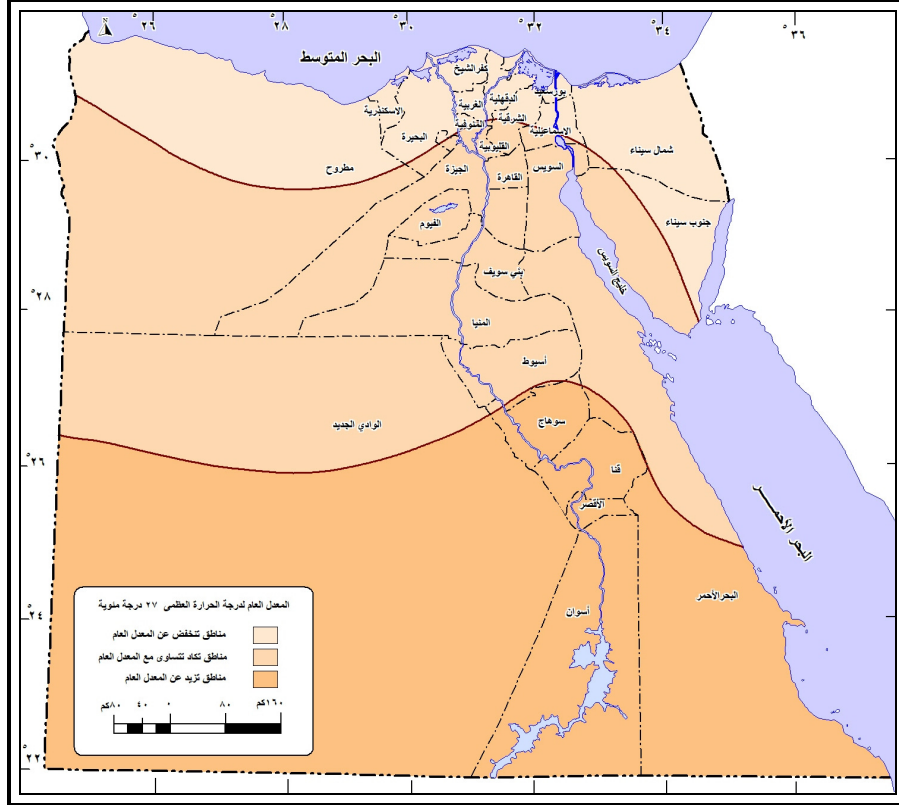
- تنخفض المعدلات الشهرية لدرجة الحرارة العظمى إبان شهر يناير لتصل إلى أدنى معدل شهري لها خلال العام، كما هو الحال في محطة مطروح (١٨ درجة مئوية) بشمالي غرب مصر.
- تنخفض المعدلات السنوية لدرجة الحرارة العظمى بالاتجاه من جنوبي مصر صوب شمالها فقد بلغ المعدل ٢٤,٢ درجة مئوية بمحطة مطروح بشمالي المنطقة، بينما بلغ المعدل ذاته ٣٣,٤ درجة مئوية بمحطة أسوان بجنوبي مصر، كما ينخفض المعدل بالجهات الساحلية الشرقية مقارنة بالمناطق الصحراوية الداخلية، ويتضح ذلك من مقارنة المعدلات السنوية لمحطات الغردقة والقصير ورأس بناس (٣٢,٤، ٢٨,٢، ٢٧,٥ درجة مئوية) بالمعدلات ذاتها بمحطات الفرافرة والداخلة وأسوان (٣٣,٤، ٣١,٤، ٣٠,١ درجة مئوية) على الترتيب، ويرجع ذلك إلى تأثير المسطحات المائية والتي تتمثل في البحر المتوسط والبحر الأحمر.



شكل (١١) : التوزيع الجغرافي للمعدل السنوي لدرجة حرارة الهواء العظمى في مصر.



وبناءً على ما سبق يمكن تقسيم مصر وفقاً للفتاوت المكانية في المعدلات السنوية لدرجة الحرارة العظمى، كما يظهر في شكل (١٢) إلى المناطق التالية :



شكل (١٢) : التباين المكاني للمعدلات السنوية لدرجة حرارة الهواء العظمى في مصر.

#### ١. مناطق تنخفض عن المتوسط العام :

ينخفض المعدل السنوي لدرجة حرارة الهواء العظمى الذي تتعرض له ألواح الخلايا الكهروضوئية في هذه المناطق عن ٢٧° مئوية، ويبلغ إجمالي مساحتها نحو ١٣٠,٦ ألف كيلومتر مربع، أي ما يعادل نحو ١٣,١% من إجمالي مساحة اليابس المصري. تقع هذه المناطق في شمال مصر داخل الحدود الإدارية لمحافظة شمال سيناء وجنوب سيناء وبورسعيد والإسماعيلية والدقهلية والشرقية ودمياط والمنوفية والغربية وكفرالشيخ والبحيرة والإسكندرية والأطراف الشمالية لمحافظة مطروح.

يرجع انخفاض درجات الحرارة العظمى في هذه المناطق مقارنة بباقي الياض المصري إلى تأثرها بدرجة حرارة مياه البحر المتوسط وبخاصة أثناء فصل الصيف، ويمتد هذا التأثير إلى مسافات كبيرة داخل الياض المصري بفعل هبوب الرياح التجارية الشمالية الشرقية من نفس الاتجاه، علاوة على تأثير نسيم البحر خلال ساعات النهار، وقد ساعد استواء الظهر البحري وانخفاض منسوبه على ذلك.

## ٢. مناطق تكاد تتساوى مع المتوسط العام :

يكاد يتساوى المعدل السنوي لدرجة الحرارة العظمى الذي تتعرض له ألواح الخلايا الكهروضوئية في هذه المناطق مع المعدل العام (٢٧° مئوية)، ويبلغ إجمالي مساحتها نحو ٣٦٥,٥ ألف كيلومتر مربع، أي ما يعادل نحو ٣٦,٧% من إجمالي مساحة الياض المصري. تقع هذه المناطق في وسط مصر داخل الحدود الإدارية لمحافظة : جنوب سيناء والإسماعيلية والسويس والشرقية والقليوبية والمنوفية والقاهرة والجيزة والفيوم وبنى سويف والمنيا وأسيوط والبحر الأحمر والفيوم والوادي الجديد ومطروح.

## ٣. مناطق تزيد عن المتوسط العام :

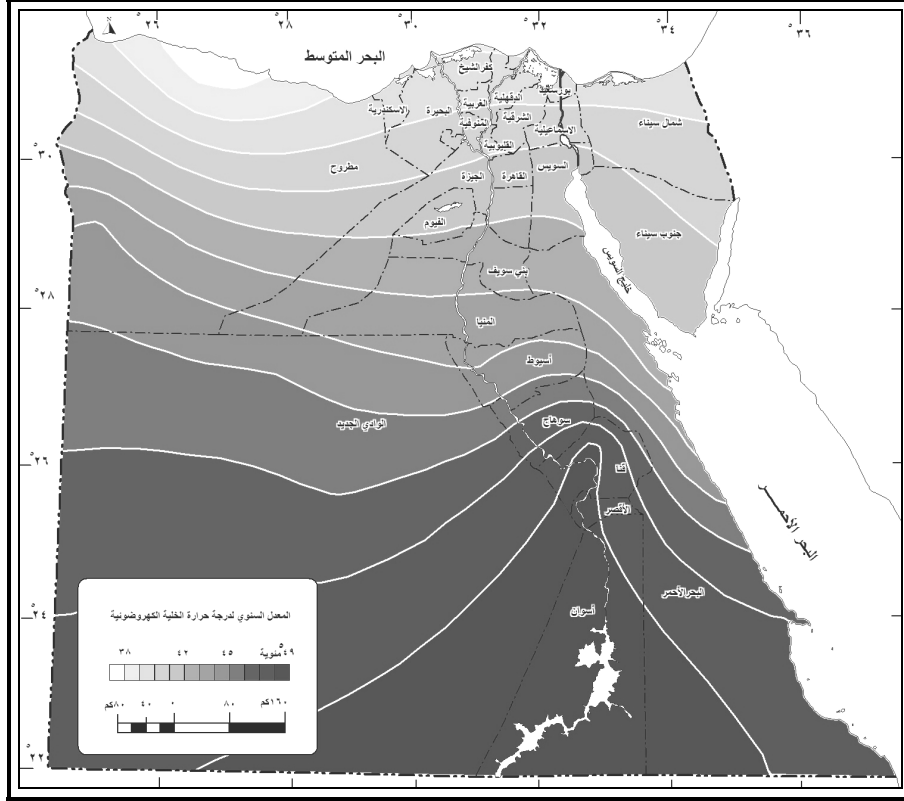
يرتفع المعدل السنوي لدرجة الحرارة العظمى الذي تتعرض له ألواح الخلايا الكهروضوئية في هذه المناطق عن المعدل العام (٢٧°م)، ليصل إلى أعلى معدل سنوي له ٣٣,٩°م في قنا، ويبلغ إجمالي مساحتها نحو ٥٠٠,١ ألف كيلومتر مربع، أي ما يعادل نحو نصف مساحة الياض المصري (٥٠,٢%).

تقع هذه المناطق في جنوبي مصر داخل الحدود الإدارية لمحافظة : البحر الأحمر وأسوان والوادي الجديد وسوهاج وقنا والأقصر، ترتفع معدلات الحرارة العظمى في هذه المناطق نتيجة تعامد أشعة الشمس عليها في فصل الصيف، وقربها من دوائر عرض التعامد في باقي فصول السنة، علاوة على انخفاض تأثير المسطحات المائية مقارنة بالمناطق المتاخمة لسواحل البحر المتوسط.

## خامساً - التباين الزمني والمكاني لدرجة حرارة الخلايا الكهروضوئية :

- من خلال الدراسة التحليلية لملاحق (٤) وشكل (١٣) يمكن استخلاص الحقائق التالية :
- يتسم التوزيع الشهري لدرجة حرارة الخلية الكهروضوئية بجهات مصر بالتذبذب؛ فبحساب الانحراف المعياري لدرجة حرارة الخلية الكهروضوئية بمواقع محطات الأرصاد الجوية، تبين أنه لا ينخفض في أي منها عن ٧,٣ درجة مئوية (محطة القصير)، ويشكل ذلك نسبة

اختلاف قدرها ١٦,٤% في المحطة نفسها، بينما وصل التفاوت الشهري لحدوده القصوى في محطة سيوة؛ حيث بلغ الانحراف المعياري ١٠,٩ درجة مئوية، بينما بلغت نسبة الاختلاف ٢٤,١% في المحطة ذاتها.



شكل (١٣) : التوزيع الجغرافي للمعدل السنوي لدرجة حرارة الخلايا الكهروضوئية في مصر.

- تتفاوت الاختلافات المكانية لدرجة حرارة الخلية الكهروضوئية خلال كل شهر من شهور السنة على حده، فبحساب الانحراف لدرجة حرارة الخلية الكهروضوئية بمواقع محطات الأرصاد الجوية كل شهر على حده، تبين أنه يصل لأعلى مستوي له خلال شهر ابريل (٤,٤° مئوية) ويشكل ذلك نسبة اختلاف قدرها ٩,٤%، بينما بلغ الانحراف المعياري للمعدل ذاته أدنى مستوى له في شهر نوفمبر (٣,١° مئوية)، ويشكل ذلك نسبة اختلاف قدرها ٨,٤%.

- ترتفع المعدلات الفصلية لدرجة حرارة الخلية الكهروضوئية إبان فصل الصيف لتصل إلى أعلى معدل فصلي لها خلال العام، كما هو الحال في محطة قنا (٦٠,٩ درجة مئوية) بجنوبي مصر بينما تنخفض المعدلات نفسها خلال فصل الشتاء لتصل إلى أدنى معدل فصلي لها خلال العام كما هو الحال في محطة مطروح (٢٦,٤ درجة مئوية) بشمالي غرب مصر.
- ترتفع المعدلات الشهرية لدرجة حرارة الخلية الكهروضوئية إبان شهر يونيو لتصل إلى أعلى معدل شهري لها خلال العام، كما هو الحال في محطة أسوان (٦١,٦ درجة مئوية) بجنوبي مصر، في حين تنخفض المعدلات ذاتها إبان شهر يناير لتصل إلى أدنى معدل شهري لها خلال العام، كما هو الحال في محطة مطروح (٢٥ درجة مئوية) بشمالي غرب مصر.
- تنخفض المعدلات السنوية لدرجة حرارة الخلية الكهروضوئية بالاتجاه من جنوبي مصر صوب شمالها؛ فقد بلغ المعدل ٣٧,٩ درجة مئوية بمحطة مطروح بشمالي المنطقة، بينما بلغ المعدل ذاته ٤٩,٥ درجة مئوية بمحطة أسوان بجنوبي مصر، كما ينخفض المعدل بالجهات الساحلية الشرقية مقارنة بالمناطق الصحراوية الداخلية، ويتضح ذلك من مقارنة المعدلات السنوية لمحطات الغردقة والقصير ورأس بناس (٤٣، ٤٤,٦، ٤٧,٩ درجة مئوية) بالمعدلات ذاتها بمحطات الفرافرة والداخلة وأسوان (٤٦,٣، ٤٧,١، ٤٩,٥ درجة مئوية) على الترتيب.

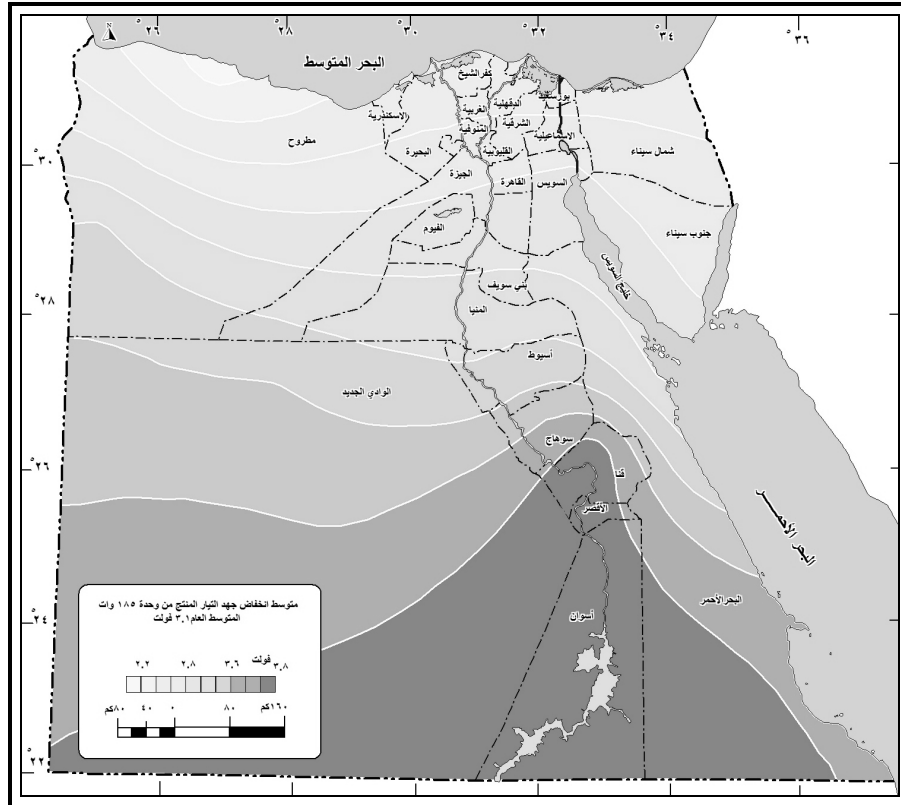
وبناءً على ما سبق فإن قيم الإشعاع الشمسي الكلي ودرجة حرارة الهواء مجتمعة، ترفع من درجة حرارة الخلايا الكهروضوئية إلى معدلات تفوق درجة الحرارة القياسية (٢٥ درجة مئوية)، مما يشكل عوائق حرارية لأدائها، وينعكس ذلك سلباً على جهد التيار الكهربائي الذي تنتجه الخلايا الكهروضوئية وعلى كميته.

## سادساً - التباين الزمني والمكاني لأداء الخلايا الكهروضوئية :

### (١) انخفاض جهد التيار الكهربائي المنتج :

- من خلال الدراسة التحليلية لملاحق (٥) وشكل (١٤) يمكن استخلاص الحقائق التالية :
- يتسم التوزيع الشهري لانخفاض جهد التيار الكهربائي بفعل المعوقات الحرارية بجهات مصر بالتذبذب؛ فبحساب الانحراف المعياري لانخفاض جهد التيار الكهربائي المنتج بمواقع محطات الأرصاد الجوية، تبين أنه لا ينخفض في أي منها عن ١,٢ فولت (محطة رأس بناس) ويشكل ذلك نسبة اختلاف قدرها ٣٣% في المحطة نفسها، بينما وصل التفاوت الشهري لحدوده القصوى في محطة قنا؛ حيث بلغ الانحراف المعياري ١,٧ فولت، بينما بلغت نسبة الاختلاف ٤٢,٤% في المحطة ذاتها.

- تتفاوت الاختلافات المكانية لانخفاض جهد التيار الكهربائي المنتج خلال كل شهر من شهور السنة على حده، فيحساب الانحراف المعياري للمعدلات الشهرية لانخفاض جهد التيار الكهربائي المنتج بمواقع محطات الأرصاد الجوية كل شهر على حده، تبين أنه يصل لأعلى مستوى له خلال شهر ابريل (٠,٧ فولت)، ويشكل ذلك نسبة اختلاف قدرها ١٩,٧%، بينما بلغ الانحراف المعياري للمعدل ذاته أدنى مستوى له في شهر نوفمبر (٠,٥ فولت)، ويشكل ذلك نسبة اختلاف قدرها ٢٥,٦%.



**شكل (١٤) : التوزيع الجغرافي لمتوسط انخفاض جهد التيار الكهربائي المنتج**

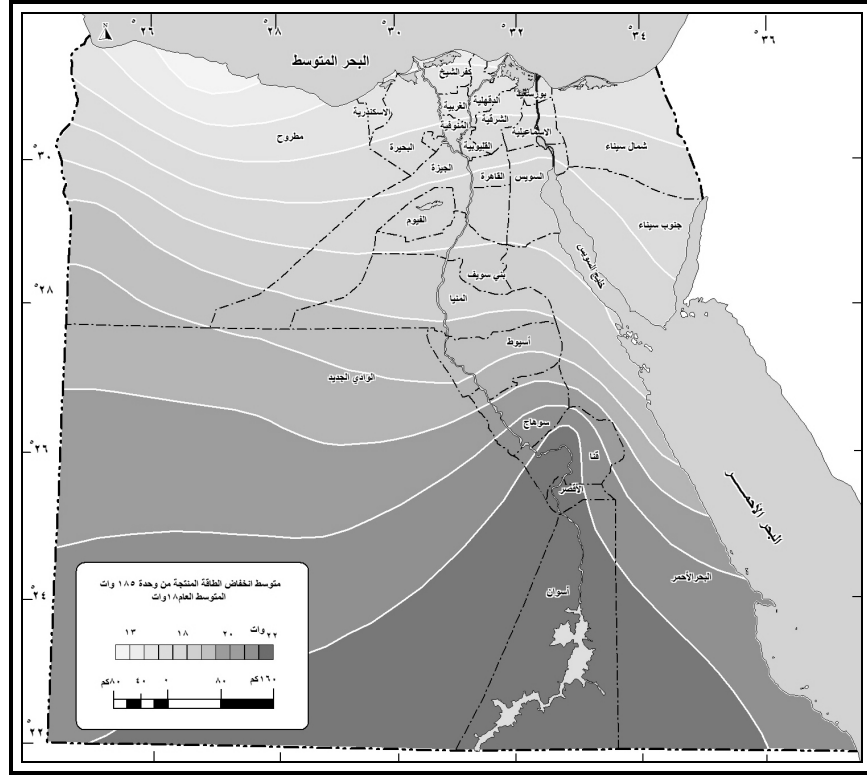
من وحدة خلايا كهروضوئية في مصر.

- ترتفع المعدلات الفصلية لانخفاض جهد التيار الكهربائي المنتج إبان فصل الصيف لتصل إلى أعلى معدل فصلي لها خلال العام، كما هو الحال في محطتي أسوان وقنا (٥,٨ فولت)

- بجنوبي مصر، بينما تنخفض المعدلات نفسها خلال فصل الشتاء لتصل إلى أدنى معدل فصلي لها خلال العام، كما هو الحال في محطة مطروح (٠,٢ فولت) بشمالي غرب مصر.
- ترتفع المعدلات الشهرية لانخفاض جهد التيار الكهربائي المنتج إبان شهر يوليو لتصل إلى أعلى معدل شهري لها خلال العام، كما هو الحال في محطتي أسوان وقنا (٥,٩ فولت) بجنوبي مصر، في حين تنخفض المعدلات ذاتها إبان شهر يناير لتصل إلى أدنى معدل شهري لها خلال العام، كما هو الحال في محطة مطروح (٠ فوات) بشمالي غرب مصر.
  - تنخفض المعدلات السنوية لانخفاض جهد التيار الكهربائي المنتج بالاتجاه من جنوبي مصر صوب شمالها؛ فقد بلغ المعدل ٢,١ فولت بمحطة مطروح بشمالي المنطقة، بينما بلغ المعدل ذاته ٤ فولت بمحطة أسوان بجنوبي مصر، كما ينخفض المعدل بالجهات الساحلية الشرقية مقارنة بالمناطق الصحراوية الداخلية، ويتضح ذلك من مقارنة المعدلات السنوية لمحطات الغردقة والقصر ورأس بناس (٢,٩، ٣,٢، ٣,٧ فولت) بالمعدلات ذاتها بمحطات الفرافرة والداخلة وأسوان (٣,٤، ٣,٦، ٤ فولت) على الترتيب.

## ٢) الفقد في التيار الكهربائي المنتج :

- من خلال الدراسة التحليلية لملاحق (٦) وشكل (١٥) يمكن استخلاص الحقائق التالية :
- يتسم التوزيع الشهري الفقد في التيار الكهربائي المنتج بفعل المعوقات الحرارية بجهات مصر بالتذبذب؛ فبحساب الانحراف المعياري للفقد في التيار الكهربائي المنتج بمواقع محطات الأرصاد الجوية، تبين أنه لا ينخفض في أي منها عن ٧ وات (محطة رأس بناس)، ويشكل ذلك نسبة اختلاف قدرها ٣٢,٩% في المحطة نفسها، بينما وصل التفاوت الشهري لحدوده القصوى في محطة سيوة؛ حيث بلغ الانحراف المعياري ١٠,١ وات، بينما بلغت نسبة الاختلاف ٥٤,٢% في المحطة ذاتها.
  - تتفاوت الاختلافات المكانية الفقد في التيار الكهربائي المنتج خلال كل شهر من شهور السنة على حده، فبحساب الانحراف المعياري للمعدلات الشهرية الفقد في التيار الكهربائي المنتج بمواقع محطات الأرصاد الجوية كل شهر على حده، تبين أنه يصل لأعلى مستوى له خلال شهر ابريل (٤,١ وات)، ويشكل ذلك نسبة اختلاف قدرها ٢٠,٢%، بينما بلغ الانحراف المعياري للمعدل ذاته أدنى مستوى له في شهر نوفمبر (٢,٩ وات)، ويشكل ذلك نسبة اختلاف قدرها ٢٦,٤%.



شكل (١٥) : التوزيع الجغرافي لمتوسط انخفاض الطاقة المنتجة

من وحدة خلايا كهروضوئية في مصر .

- ترتفع المعدلات الشهرية للفقء في التيار الكهربائي المنتج إبان فصل الصيف لتصل إلى أعلى معدل فصلي لها خلال العام، كما هو الحال في محطة قنا (٣٣,٩ وات) بجنوبي مصر، بينما تنخفض المعدلات نفسها خلال فصل الشتاء لتصل إلى أدنى معدل فصلي لها خلال العام، كما هو الحال في محطة مطروح (١,٤ وات) بشمالي غرب مصر.
- ترتفع المعدلات الشهرية للفقء في التيار الكهربائي المنتج إبان شهر يونيو لتصل إلى أعلى معدل شهري لها خلال العام، كما هو الحال في محطتي قنا (٣٤,٢ وات) بجنوبي مصر، في حين تنخفض المعدلات نفسها إبان شهر يناير لتصل إلى أدنى معدل شهري لها خلال العام، كما هو الحال في محطة مطروح (٠,١ وات) بشمالي غرب مصر.
- تنخفض المعدلات السنوية للفقء في التيار الكهربائي المنتج بالاتجاه من جنوبي مصر صوب شمالها؛ فقد بلغ المعدل ١٢ وات بمحطة مطروح بشمالي المنطقة، بينما بلغ المعدل ذاته

٢٢,٧ وات بمحطة أسوان بجنوبي مصر، كما ينخفض المعدل بالجهات الساحلية الشرقية مقارنة بالمناطق الصحراوية الداخلية، ويتضح ذلك من مقارنة المعدلات السنوية لمحطات الغردقة والقصير ورأس بناس (١٦,٦، ١٨,١، ٢١,٢ وات) بالمعدلات ذاتها بمحطات الفرافرة والداخلة وأسوان (١٩,٧، ٢٠,٣، ٢٢,٧ وات) على الترتيب.

### سابعاً - تصنيف شهور السنة تبعاً للمعوقات الحرارية علي الخلايا الكهروضوئية :

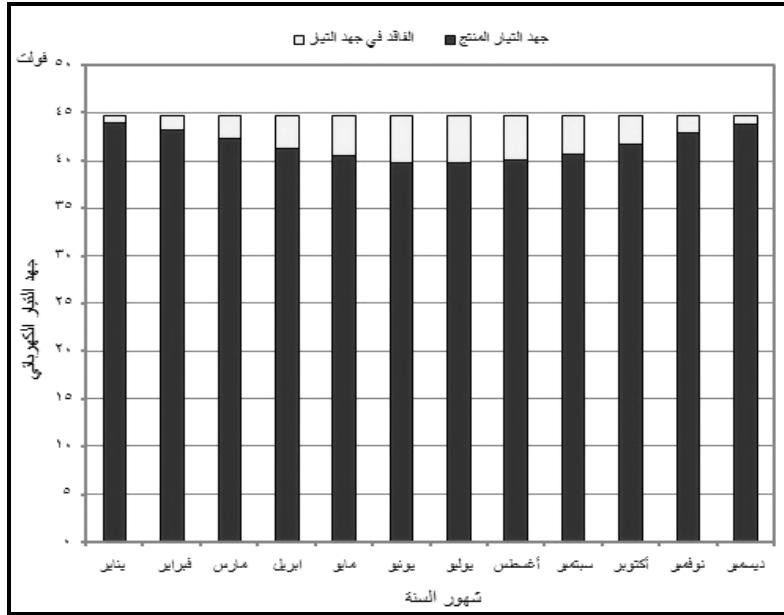
يتباين مستوى أداء الخلايا الكهروضوئية في مصر خلال شهور السنة بفعل التغيرات التي تنتاب درجة حرارتها؛ والتي ترجع إلى تباين قيم الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الهواء (المعوقات الحرارية)؛ ومن خلال الدراسة التحليلية لجدول (٣) وشكلي (١٦) و (١٧) يمكن تقسيم شهور السنة وفقاً لأداء الخلايا الكهروضوئية والملاءمة الحرارية إلى ما يلي :

جدول (٣) : التوزيع الشهري لدرجة حرارة الخلايا الكهروضوئية وتأثر أدائها الحراري بالمعوقات الحرارية.

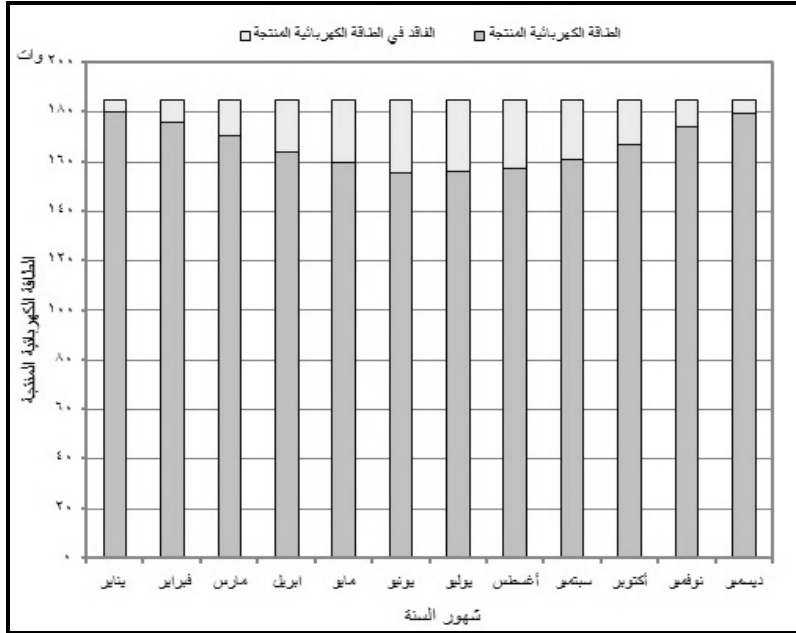
الشهر	حرارة الخلية (منوية)	انخفاض جهد تيار الوحدة (٤٤,٨) فولت		انخفاض الكهرباء المنتجة من الوحدة (١٨٥ وات)		الملاءمة الحرارية
		(فوات)	%	(وات)	%	
يناير	٣٠,٢	٠,٨	١,٨	٥,١	٢,٨	مرتفع
فبراير	٣٤,٢	١,٥	٣,٣	٨,٩	٤,٨	مرتفع
مارس	٤٠,١	٢,٤	٥,٤	١٤,٤	٧,٨	مرتفع
ابريل	٤٦,٩	٣,٥	٧,٨	٢٠,٩	١١,٣	متوسط
مايو	٥١,٨	٤,٣	٩,٦	٢٥,٤	١٣,٧	منخفض
يونيو	٥٦,١	٥	١١,٢	٢٩,٣	١٥,٨	منخفض
يوليو	٥٥,٩	٥	١١,٢	٢٩	١٥,٧	منخفض
أغسطس	٥٤,٤	٤,٧	١٠,٥	٢٧,٦	١٤,٩	منخفض
سبتمبر	٥٠,٣	٤,١	٩,٢	٢٣,٩	١٢,٩	متوسط
أكتوبر	٤٤,٢	٣,١	٦,٩	١٨,٢	٩,٨	متوسط
نوفمبر	٣٦,٧	١,٩	٤,٢	١١,٢	٦,١	مرتفع
ديسمبر	٣٠,٦	٠,٩	٢	٥,٦	٣	مرتفع

المصدر: من إعداد الباحث.





شكل (١٦) : الانخفاض الشهري في جهد التيار الكهرديني المنتج من وحدة خلايا كهروضوئية بفعل المعوقات الحرارية في مصر.



شكل (١٧) : الانخفاض الشهري في كمية الطاقة الكهردينية المنتجة من وحدة خلايا كهروضوئية بفعل المعوقات الحرارية في مصر.

**(١) شهور تتعرض الخلايا الكهروضوئية فيها لمعوقات حرارية منخفضة :**

تتمثل في شهور نوفمبر وديسمبر ويناير وفبراير ومارس، لا يتجاوز الانخفاض في جهد التيار الكهربائي لوحدة الخلايا قيد الدراسة في أي من هذه الشهور عن ٢,٤ فولت (شهر مارس) ولا يتعدى ذلك نحو ٥,٤% من إجمالي جهد التيار (٤٤,٨ فولت)، ولا يتجاوز الانخفاض في الطاقة المنتجة من الوحدة ذاتها عن ١٤,٤ وات (شهر مارس)، ولا يتعدى ذلك نحو ٧,٨% من إجمالي الطاقة القصوى للوحدة (١٨٥ وات).

**(٢) شهور تتعرض الخلايا الكهروضوئية فيها لمعوقات حرارية متوسطة :**

تتمثل في شهري أبريل وأكتوبر، لا يتجاوز الانخفاض في جهد التيار الكهربائي لوحدة الخلايا قيد الدراسة في أي من هذين الشهرين عن ٣,٥ فولت (شهر ابريل)، ولا يتعدى ذلك ٧,٨% من إجمالي جهد التيار (٤٤,٨ فولت)، ولا يتجاوز الانخفاض في الطاقة المنتجة من الوحدة ذاتها عن ٢٠,٩ وات (شهر ابريل)، ولا يتعدى ذلك ١١,٣% من إجمالي الطاقة القصوى للوحدة (١٨٥ وات).

**(٣) شهور تتعرض الخلايا الكهروضوئية فيها لمعوقات حرارية مرتفعة :**

يصل التأثير السلبي لدرجة الحرارة على أداء الخلايا الكهروضوئية إبان هذه الشهور أعلى مستوى له، وتتمثل في شهور مايو ويونيو ويوليو وأغسطس وسبتمبر، لا يقل انخفاض جهد التيار الكهربائي لوحدة الخلايا قيد الدراسة في أي من هذه الشهور عن ٤,١ فولت (شهر سبتمبر)، بينما بلغ الانخفاض أقصى مدى له في شهر يونيو (٥ فولت)، ويشكل ذلك ١١,٢% من إجمالي جهد التيار (٤٤,٨ فولت)، ولا يقل انخفاض الطاقة المنتجة من الوحدة ذاتها عن ٢٣,٩ وات (شهر سبتمبر) بينما بلغ الانخفاض أقصى مدى له في شهر يونيو (٢٩,٣ وات) ويشكل ذلك ١٥,٨% من إجمالي الطاقة القصوى للوحدة (١٨٥ وات).

تحتاج وحدات الخلايا الكهروضوئية إبان هذه الشهور إلى عملية تبريد بغية خفض درجة حرارتها، الأمر الذي يترتب عليه رفع مستوى أدائها.

**ثامناً - تصنيف مصر تبعاً لتعرض الخلايا الكهروضوئية للمعوقات الحرارية :**

من خلال الدراسة التحليلية لشكل (١٨) يمكن تقسيم مصر وفقاً لدرجات تعرض الخلايا الكهروضوئية فيها للمعوقات الحرارية إلى النطاقات التالية :



مئوية عن درجة حرارة الخلية القياسية، وتعد هذه المناطق أفضل جهات مصر ملائمة من الناحية الحرارية لأداء الخلايا الكهروضوئية.

## ٢) مناطق تتعرض الخلايا الكهروضوئية فيه للمعوقات الحرارية بدرجة متوسطة :

تقع هذه المناطق إلى الجنوب من المناطق السابقة، ويبلغ إجمالي مساحتها ٢٤٩,٣ ألف كيلومتر مربع، وتقع داخل الحدود الإدارية لمحافظة : جنوب سيناء والسويس و بني سويف والمنيا وأسيوط والقطاع الشمالي من محافظتي البحر الأحمر والوادي الجديد والقطاع الجنوبي من محافظة مطروح. تصل المعوقات الحرارية على أداء الخلايا الكهروضوئية في هذه المناطق لمستوى سنوي متوسط مقارنة بباقي جهات مصر؛ حيث يبلغ المتوسط السنوي لانخفاض جهد وحدة الخلايا نحو ٣,١ فولت، بينما بلغ المتوسط السنوي لانخفاض الطاقة الكهربائية المنتجة من الوحدة ١٧,٦ وات ويعود ذلك إلى ارتفاع المتوسط السنوي لدرجة حرارة الخلية (٤٤,١ درجة مئوية) بنحو ١٩,١ درجة مئوية عن درجة حرارة الخلية القياسية. تقع محطة توليد سيوه بمحافظة مطروح، والمحطات الجاري إنشائها في الغردقة بمحافظة البحر الأحمر ومحطات جنوبي سيناء في هذه المناطق.

## ٣) مناطق تتعرض الخلايا الكهروضوئية فيه للمعوقات الحرارية بدرجة مرتفعة :

تقع هذه المناطق في الأطراف الجنوبية لمصر، ويبلغ إجمالي مساحتها ٥٨٤,٨ ألف كيلومتر مربع، وتقع داخل الحدود الإدارية لمحافظة : قنا وسوهاج والأقصر وأسوان والبحر الأحمر والوادي الجديد. ترتفع المعوقات الحرارية على أداء الخلايا الكهروضوئية في هذه المناطق لأعلى مستوى سنوي لها مقارنة بباقي جهات مصر؛ حيث يبلغ المتوسط السنوي لانخفاض جهد وحدة الخلايا نحو ٣,٧ فولت، بينما بلغ المتوسط السنوي لانخفاض الطاقة الكهربائية المنتجة من الوحدة ٢١,٣ وات، ويعود ذلك إلى ارتفاع المتوسط السنوي لدرجة حرارة الخلية (٤٨ درجة مئوية) بنحو ٢٣ درجة مئوية عن درجة حرارة الخلية القياسية.

تتواجد مواقع محطات : الفرافرة وأبو منقار ودرج الأربعين وكوم أمبو ومرسى علم وشلاتين وأبورماد وحلايب في هذه المناطق، حيث تبتعد تلك المناطق عن الشبكة الكهربائية الموحدة، ومعظمها إما محروم من الكهرباء أو يعتمد على مولدات الديزل، وسوف تتعرض تلك المحطات لدرجات مرتفعة من المعوقات الحرارية مما يهدد بنقص كفاءتها، ومن ثم يجب استخدام أنظمة تبريد للخلايا ومن هذه الأنظمة : أنظمة التبريد المائي عن طريق رش الماء على الخلايا الكهروضوئية لتقليل حرارتها عندما

تصل إلى درجة حرارة ٤٥ درجة مئوية وهي الحرارة المثلى لبدء التبريد<sup>(١)</sup>، ومع مراعاة أن تكون دورة التبريد مغلقة حفاظاً على المياه في تلك المناطق الصحراوية، والتبريد الهوائي؛ من خلال السماح للهواء بالنفوذ أسفل ألواح الخلايا مما يعمل على انخفاض درجة حرارتها مقارنة بوجود الخلايا ملاصقة لسطح الأرض<sup>(٢)</sup>، أو استخدام **تكنولوجيا (Phase change materials, PCM)**؛ والتي تتمثل في إضافة مواد كيميائية في السطح السفلي لألواح الخلايا الكهروضوئية، تلك المواد قادرة على تغيير حالتها من الحالة الصلبة إلى السائلة واحتفاظها بحرارة كامنة، ومن ثم تقلص من درجة حرارة الخلية، وعندما تتحول من الحالة السائلة للصلبة تعكس العملية وتفقد الحرارة الممتصة، مما يقلل من حرارة الخلية بنسبة تصل إلى نحو ١٠%<sup>(٣)</sup>.

أختيار نوعية مناسبة من ألواح الخلايا الكهروضوئية؛ بحيث تكون الخلايا مدعمة بألواح زجاجية من نوع السيكوريت المقوي ذو السطح الخشن، والذي يسمح بامتصاص أكبر قدر من الإشعاع الشمسي، علاوة على قدرته الكبيرة على فقد الحرارة مقارنة بالزجاج العادي، والتأكد من انخفاض درجة تأثر الألواح بدرجة الحرارة المرتفعة (معامل الجهد والمعامل الحراري للطاقة المنتجة) من خلال لوحة بيانات الألواح المرفقة data sheet.

## النتائج والتوصيات :

### (١) النتائج :

خلصت الدراسة إلى مجموعة من النتائج أهمها :

١. تستقبل مصر من الإشعاع الشمسي سنوياً ما يؤهلها لأن تنتجاً مركزاً متقدماً على مستوى العالم في توليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية؛ حيث بلغ متوسط ما تستقبله ٢١٥٠ كيلوات ساعة/متر مربع/العام، وتعد محافظات البحرا الأحمر وأسوان والوادي الجديد أكثر محافظات الجمهورية استقبال للإشعاع الشمسي مقارنة بباقي محافظات مصر.

- (1) Moharram, K., et al., Enhancing the performance of photovoltaic by water cooling, Ain shams Engineering journal, 2013, p. 873.
- (2) Dorazio, M., et al., performance assessment of different roof integrated photovoltaic modules under Mediterranean climate, the Mediterranean green energy forum (2013), Energy procedia. Vol. 33, 2013, p. 192, available online at <http://www.Science direct.com>, accessed on, 9/3/2017.
- (3) Anna, M., et al., effect of transition temperature of efficiency of PV/PCM panels. 6<sup>th</sup> International Building Physics Conference IBPC (2015), Energy procedia. Vol. 78, 2015, p. 1685, available online at <http://www.Science direct.com>, accessed on, 9/3/2017.

٢. تتسم التباينات الشهرية للإشعاع الشمسي بمصر بالانخفاض، مما يضمن استمرارية لتوليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية في كافة جهات مصر بكفاءة عالية طوال العام، حيث لم يتجاوز الانحراف المعياري للتوزيع الشهري للإشعاع الشمسي في كافة الجهات عن ١,٩ كيلوات ساعة/متر مربع/اليوم.
٣. تتراوح زوايا ميل الإشعاع الشمسي في مصر بين ٢٢,٣ درجة عند دائرة عرض ٢٢ درجة بجنوبي مصر و ٣١,١ درجة عند دائرة عرض ٣١ درجة شمالاً بشمالي مصر، كما يتراوح المتوسط السنوي لكثافة الإشعاع الشمسي بين ٨٨,٨% و ٨٢,١% عند نفس دائرتي العرض.
٤. يمكن حساب أفضل زوايا توجيه رأسي لألواح الخلايا الكهروضوئية الثابتة (زاوية الميل) على مدار العام باستخدام المعادلة التالية :
- زاوية التوجيه الرأسي المثلى = (٠,٩٨٤ × دائرة عرض المكان) + ٠,٥٥٩
٥. يؤدي زيادة الإشعاع الشمسي الكلي ودرجة حرارة الهواء بالاتجاه من شمالي مصر نحو جنوبيها، إلى رفع درجة حرارة الخلايا الكهروضوئية لمعدلات تفوق درجة الحرارة القياسية (٢٥ ° مئوية)، حيث بلغت ٣٧,٩ درجة مئوية بمحطة مطروح بشمالي مصر، بينما بلغ المعدل ذاته ٤٩,٥ درجة مئوية بمحطة أسوان بجنوبي مصر مما يشكل عوائق حرارية لأدائها، وينعكس ذلك سلباً على جهد التيار الكهربائي الذي تنتجه الخلايا الكهروضوئية وعلى كميته الكهرباء المنتجة.
٦. ترتبط التغيرات التي تنتاب درجة حرارة الخلايا الكهروضوئية، وبالتالي مستوى أدائها في مصر، بالتغيرات التي تنتاب درجة حرارة الهواء العظمى، بدرجة تفوق ارتباطها بالتغيرات التي تنتاب كمية الإشعاع الشمسي الكلي؛ فبحساب معامل الارتباط بين المعدل السنوي لدرجة الحرارة الهواء العظمى كمتغير مستقل، ودرجة حرارة الخلية الكهروضوئية وكمية الانخفاض في الطاقة المنتجة والانخفاض في جهد التيار الكهربائي كمتغيرات تابعة؛ تبين وجود ارتباط طردي قوي (٠,٩٨)، بينما بحساب معامل الارتباط بين كمية الإشعاع الشمسي السنوي الكلي بمحطات الدراسة كمتغير مستقل، ودرجة حرارة الخلية الكهروضوئية وكمية الانخفاض في الطاقة المنتجة والانخفاض في جهد التيار الكهربائي كمتغيرات تابعة تبين وجود ارتباط طردي متوسط (٠,٦٦).
٧. يزداد التأثير السلبي للمعوقات الحرارية على أداء الخلايا الكهروضوئية إبان شهور مايو ويونيو ويوليو وأغسطس وسبتمبر، لتصل إلى أعلى مستوى شهري لها خلال العام، حيث تصل نسبة انخفاض جهد التيار الكهربائي لوحدة الخلايا الكهروضوئية إلى ١١,٢%، بينما تصل نسبة انخفاض الطاقة المنتجة من وحدة الخلايا الكهروضوئية إلى ١٥,٨%، ومن ثم تحتاج وحدات الخلايا الكهروضوئية إبان هذه الشهور إلى عملية تبريد بغية خفض درجة حرارتها وبخاصة في جنوبي مصر.

٨. تتعرض الخلايا الكهروضوئية لمعوقات حرارية بدرجة مرتفعة في الأطراف الجنوبية لمصر مقارنة بباقي جهاتها، وبخاصة محافظات : قنا وسوهاج والأقصر وأسوان والبحر الأحمر والوادي الجديد، حيث ينخفض جهد وحدة الخلايا بنحو ٣,٧ فولت (٣,٨%)، وتنخفض الطاقة الكهربائية المنتجة بنحو ٢١,٣ وات (١١,٥%)، ويعود ذلك إلى ارتفاع المتوسط السنوي لدرجة حرارة الخلية (٤٨ ° مئوية) بنحو ٢٣ درجة مئوية عن درجة حرارة الخلية القياسية.

## (٢) التوصيات :

١. الحرص على توجيه ألواح الخلايا الكهروضوئية جيداً وفقاً للمعادلة المرفقة، لتحقيق الاستفادة القصوى من أشعة الشمس.
٢. ضرورة استخدام إحدى أنظمة تبريد للخلايا الكهروضوئية (التبريد المائي، التبريد الهوائي، تكنولوجيا PCM)، في محطات توليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية الموجودة أو الجاري إنشاؤها في محافظات قنا وسوهاج والأقصر وأسوان والبحر الأحمر والوادي الجديد.
٣. الحرص على انتقاء نوعية من ألواح الخلايا الكهروضوئية تتسم بمواصفات تلائم درجات الحرارة المرتفعة ، كاحتوائها على زجاج من نوع السيكوريت المقوي ذو السطح الخشن واحتوائها على ثلاث صمامات (Bypass Diodes) على الأقل، وبخاصة في المحافظات التي يتعرض أداء الخلايا بها لمعوقات حرارية كما هو الحال في جنوبي مصر.
٤. إلزام الشركات الموردة لألواح الخلايا الكهروضوئية بتقديم بيانات تفصيلية للألواح ( data sheet) تحتوي على معاملات الكفاءة الحرارية.
٥. ضرورة التوسع في نشر منظومات توليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية في كافة جهات مصر، وبخاصة شمالي مصر وسواحل البحر الأحمر.
٦. نقل تكنولوجيا صناعة الألواح الكهروضوئية وكافة مكونات منظومة التوليد إلى مصر الأمر الذي يؤدي تدريجياً إلى خفض تكلفة الإنشاء.
٧. ضرورة مراجعة المواصفات الفنية للمحطات الجاري تنفيذها في محافظات مصر الجنوبية حيث تزداد المعوقات الحرارية، بهدف تعديل أوجه القصور بها.
٨. إحلال محطات التوليد التي تعمل بتكنولوجيا التجميع الحراري محل المحطات الكهروضوئية في المناطق التي تشكل المعوقات الحرارية خطراً على كفاءتها.
٩. ضرورة سن قوانين تشجع الأفراد على الاستثمار في مجال توليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية، وبخاصة تحديد تعريفة مجزية لشراء الكهرباء من المنتجين.

الملاحق

ملحق (١) : المعدلات الشهرية والفصلية والسوية للإشعاع الشمسي الكلي الذي يستقبله سطح الأرض بمواقع محطات منطقة الدراسة (كيلوات ساعة/متر مربع /اليوم).

المحطة	الشهر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	الشتاء	الربيع	الصيف	الخريف	السنوي	
٤,٥	٤,٣	٤,٢	٣,٩	٤	٣,٩	٣,٥	٣,٩	٣,٢	٣,٢	٣,٥	٣,٢	٣,٥	٣,٢	٣,٢	٣,٥	٣,٢	٣,٢	٣,٢	٣,٢
٥,٤	٥,٣	٥,٣	٤,٨	٥	٤,٦	٤,٦	٤,٦	٣,٩	٤,٦	٤,٦	٤,٦	٤,٦	٤,٦	٤,٦	٤,٦	٤,٦	٤,٦	٤,٦	٤,٦
٦,٢	٦,٣	٦,٤	٦	٦	٦,١	٦	٦,١	٥,٦	٥,٦	٥,٦	٥,٦	٥,٦	٥,٦	٥,٦	٥,٦	٥,٦	٥,٦	٥,٦	٥,٦
٦,٩	٧,٢	٧,٢	٦,٩	٦,٨	٧,١	٧	٧,١	٦,٨	٦,٣	٦,٨	٦,٨	٦,٨	٦,٨	٦,٨	٦,٨	٦,٨	٦,٨	٦,٨	٦,٨
٧,١	٧,٤	٧,٥	٧,٢	٧,٤	٧,٨	٧,٥	٧,٨	٧	٧	٧,٦	٧,٨	٧,٨	٧,٨	٧,٨	٧,٨	٧,٨	٧,٨	٧,٨	٧,٨
٧,٥	٧,٩	٨,٣	٨	٨,١	٨,٥	٨,٢	٨,٥	٨,١	٧,٧	٨,٤	٨,٤	٨,٤	٨,٤	٨,٤	٨,٤	٨,٤	٨,٤	٨,٤	٨,٤
٧,٢	٧,٧	٨,١	٧,٨	٧,٨	٨,٢	٨	٨,٢	٧,٩	٧,٣	٨,٢	٨,٢	٨,٢	٨,٢	٨,٢	٨,٢	٨,٢	٨,٢	٨,٢	٨,٢
٦,٦	٧,٢	٧,٦	٧,٣	٧,٣	٧,٧	٧,٥	٧,٧	٧,٣	٦,٨	٧,٥	٧,٥	٧,٥	٧,٥	٧,٥	٧,٥	٧,٥	٧,٥	٧,٥	٧,٥
٦,١	٦,٧	٦,٨	٦,٤	٦,٥	٦,٨	٦,٦	٦,٨	٦,٣	٥,٩	٦,٥	٦,٥	٦,٥	٦,٥	٦,٥	٦,٥	٦,٥	٦,٥	٦,٥	٦,٥
٥,٢	٥,٥	٥,٦	٥,١	٥,٥	٥,٧	٥,٢	٥,٧	٤,٨	٤,٥	٥,٢	٥,٢	٥,٢	٥,٢	٥,٢	٥,٢	٥,٢	٥,٢	٥,٢	٥,٢
٤,٥	٤,٧	٤,٥	٤	٤,٣	٤,٢	٣,٨	٤,٢	٣,٦	٣,٥	٣,٩	٣,٩	٣,٩	٣,٩	٣,٩	٣,٩	٣,٩	٣,٩	٣,٩	٣,٩
٤,١	٤	٤	٣,٥	٣,٧	٣,٥	٣,١	٣,٥	٣	٣	٣,٢	٣,٢	٣,٢	٣,٢	٣,٢	٣,٢	٣,٢	٣,٢	٣,٢	٣,٢
٤,٧	٤,٥	٤,٥	٤,١	٤,٢	٤,١	٣,٧	٤,١	٣,٥	٣,٤	٣,٨	٣,٤	٣,٤	٣,٤	٣,٤	٣,٤	٣,٤	٣,٤	٣,٤	٣,٤
٦,٧	٧	٧	٦,٧	٦,٧	٧	٦,٨	٧	٦,٦	٦,١	٦,٧	٦,٧	٦,٧	٦,٧	٦,٧	٦,٧	٦,٧	٦,٧	٦,٧	٦,٧
٧,١	٧,٦	٨	٧,٧	٧,٧	٨,١	٧,٩	٨,١	٧,٨	٧,٣	٨	٨	٨	٨	٨	٨	٨	٨	٨	٨
٥,٣	٥,٦	٥,٦	٥,٢	٥,٤	٥,٦	٥,٢	٥,٦	٤,٩	٤,٦	٥,٢	٤,٩	٤,٩	٤,٩	٤,٩	٤,٩	٤,٩	٤,٩	٤,٩	٤,٩
٥,٩	٦,٢	٦,٣	٥,٩	٦	٦,٢	٥,٩	٦,٢	٥,٧	٥,٤	٥,٩	٥,٤	٥,٧	٥,٤	٥,٤	٥,٩	٥,٨	٥,٩	٥,٩	٥,٩

المصدر : من إعداد الباحث اعتماداً على : <http://www.Eosweb.larc.nasa.gov>، available on line at



ملحق (٢) : زوايا ارتفاع الإشعاع الشمسي وكثافته في منتصف كل شهر عند بعض دوائر العرض الرئيسية في مصر

الشهر	دائرة عرض التعامد	٢٠٢٢		٢٠٢٤		٢٠٢٦		٢٠٢٨		٢٠٣٠		٢٠٣١	
		زاوية الارتفاع	الكثافة %	زاوية الارتفاع	الكثافة %	زاوية الارتفاع	الكثافة %	زاوية الارتفاع	الكثافة %	زاوية الارتفاع	الكثافة %	زاوية الارتفاع	الكثافة %
يناير	٢١,٧° جنوباً	٤٦,٣	٧٢,٣	٤٤,٣	٦٩,٨	٤٢,٣	٦٧,٣	٤٠,٣	٦٤,٧	٣٨,٣	٦١,٩	٣٧,٣	٦٠,٦
فبراير	١٣,٣° جنوباً	٥٤,٧	٨١,٦	٥٢,٧	٧٩,٥	٥٠,٧	٧٧,٤	٤٨,٧	٧٥,١	٤٦,٧	٧٢,٨	٤٥,٧	٧١,٦
مارس	٢,٨° جنوباً	٦٥,٢	٩٠,٨	٦٣,٢	٨٩,٣	٦١,٢	٨٧,٦	٥٩,٢	٨٥,٩	٥٧,٢	٨٤	٥٦,٢	٨٣,١
أبريل	٩,٤° شمالاً	٧٧,٤	٩٧,٩	٧٥,٤	٩٦,٨	٧٣,٤	٩٥,٨	٧١,٤	٩٤,٨	٦٩,٤	٩٣,٦	٦٨,٤	٩٢,٩
مايو	١٨,٨° شمالاً	٨٦,٨	٩٩,٨	٨٤,٨	٩٩,٦	٨٢,٨	٩٩,٢	٨٠,٨	٩٨,٧	٧٨,٨	٩٨	٧٧,٨	٩٧,٧
يونيو	٢٣,٣° شمالاً	٨٨,٧	٩٩,٩	٨٩,٣	٩٩,٩	٨٧,٣	٩٩,٨	٨٥,٣	٩٩,٧	٨٣,٣	٩٩,٣	٨٢,٣	٩٩,١
يوليو	٢١,٥° شمالاً	٨٩,٥	١٠٠	٨٧,٥	٩٩,٩	٨٥,٥	٩٩,٧	٨٣,٥	٩٩,٤	٨١,٥	٩٨,٩	٨٠,٥	٩٨,٦
أغسطس	١٣,٨° شمالاً	٨١,٨	٩٩	٧٩,٨	٩٨,٤	٧٧,٨	٩٧,٧	٧٥,٨	٩٦,٩	٧٣,٨	٩٦	٧٢,٨	٩٥,٥
سبتمبر	٧,٢° شمالاً	٧٠,٢	٩٤,١	٦٨,٢	٩٢,٨	٦٦,٢	٩١,٥	٦٤,٢	٩٠	٦٢,٢	٨٨,٥	٦١,٢	٨٧,٦
أكتوبر	٩,٦° جنوباً	٥٨,٤	٨٥,٢	٥٦,٤	٨٣,٣	٥٤,٤	٨١,٣	٥٢,٤	٧٩,٢	٥٠,٤	٧٧,١	٤٩,٤	٧٥,٩
نوفمبر	١٩,١° جنوباً	٤٨,٩	٧٥,٤	٤٦,٩	٧٣	٤٤,٩	٧٠,٦	٤٢,٩	٦٨,١	٤٠,٩	٦٥,٥	٣٩,٩	٦٤,١
ديسمبر	٢٣,٣° جنوباً	٤٤,٧	٧٠,٣	٤٢,٧	٦٧,٨	٤٠,٧	٦٥,٢	٣٨,٧	٦٢,٥	٣٦,٧	٥٩,٨	٣٥,٧	٥٨,٤
المتوسط السنوي		٦٧,٧	٨٨,٨	٦٥,٩	٨٧,٥	٦٣,٩	٨٦,١	٦١,٩	٨٤,٦	٥٩,٩	٨٢,٩	٥٨,٩	٨٢,١

المصدر: من إعداد الباحث.

ملحق (٣) : المعدلات الشهرية والقصصية والسنوية لدرجة حرارة الهواء العظمى بمحطات منطقة الدراسة خلال المدة من ١٩٧٠م - ٢٠٠٠م (درجة مئوية).

المحطة	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	الشتاء	الربيع	الصيف	الخريف	السنوي
٢٤,٨	٢٢,٦	٢٢,٥	٢٣,٥	٢١,٤	٢١	١٩,٥	٢٠,٤	١٩,٢	١٩	١٨,١	١٨,٣	١٨	١٨,٨	١٨,٨	٢٠,٤	٢٠,٤	٢٠,٤
٢٦,١	٢٥,٢	٢٢,٩	٢٥,٦	٢٣,٨	٢١,٦	٢١,٦	٢٢,٧	٢١,٤	٢٠,٧	٢١,٨	٢١,٨	١٨,٨	١٨,٨	١٨,٨	٢٠,٤	٢٠,٤	٢٠,٤
٢٨,٦	٢٩,٢	٢٤,٧	٢٩,٨	٢٧,٨	٢٣,٨	٢٥,٣	٢٦,٥	٢٣,٤	٢٣,٩	٢٥,١	٢٥,٤	٢٠,٤	٢٠,٤	٢٠,٤	٢٠,٤	٢٠,٤	٢٠,٤
٣٢	٣٥,٢	٢٧,٢	٣٥,٦	٣٢,٨	٢٦,٧	٣١,٣	٣١,٤	٢٨,١	٢٨,٣	٢٩,٨	٢٢,٦	١٤,١	٢٢,٧	٢٢,٧	٢٢,٧	٢٢,٧	٢٢,٧
٣٥,٤	٣٩,١	٣٠,١	٣٩,٥	٣٦,٧	٣٠	٣٥,٢	٣٤,٥	٣١	٣٢,١	٣٤,١	٣٤,١	٣٤,٤	٢٥,٤	٢٥,٤	٢٥,٤	٢٥,٤	٢٥,٤
٣٨	٤١,١	٣٢,٢	٤١,١	٣٨,٧	٣٢,٢	٣٦,٤	٣٧,٦	٣٣,٧	٣٤,٧	٣٧,٣	٣٧,٣	٢٨,١	٢٨,١	٢٨,١	٢٨,١	٢٨,١	٢٨,١
٣٨,٤	٤١,١	٣٢,٩	٤١,١	٣٨,٤	٣٣	٣٦,٤	٣٧,٣	٣٤,٥	٣٤,٩	٣٧,٧	٣٧,٧	٢٩,١	٢٩,١	٢٩,١	٢٩,١	٢٩,١	٢٩,١
٣٨,٨	٤٥,٦	٣٣,٤	٤٥,٥	٣٨,٤	٣٣,٣	٣٥,٧	٣٧,٣	٣٤,٦	٣٤,٣	٣٧,٥	٣٧,٥	٢٩,٧	٢٩,٧	٢٩,٧	٢٩,٧	٢٩,٧	٢٩,٧
٣٧,٢	٣٩,١	٣١,٧	٣٩,٧	٣٥,٧	٣١,٢	٣٤,٢	٣٤,٩	٣١,٨	٣٢,٥	٣٤,٩	٣٤,٩	٢٨,٦	٢٨,٦	٢٨,٦	٢٨,٦	٢٨,٦	٢٨,٦
٣٤,١	٣٥,٧	٢٩,٩	٣٦,٥	٣٢,٣	٢٩,١	٣١,٦	٣١,٣	٢٩,٢	٢٩,٨	٣١,٣	٣١,٣	٢٦,٩	٢٦,٩	٢٦,٩	٢٦,٩	٢٦,٩	٢٦,٩
٢٩,٤	٢٨,٥	٢٧	٢٩,٩	٢٧,٤	٢٥,٩	٢٥,٦	٢٥,٧	٢٤,٦	٢٥	٢٥,٩	٢٣,٩	٢٣,٢	٢٣,٢	٢٣,٢	٢٣,٢	٢٣,٢	٢٣,٢
٢٦,١	٢٣,٨	٢٣,٨	٢٤,٤	٢٣	٢٢,٥	٢٥,٥	٢١,٢	٢٠,٣	٢٠,٥	٢١,١	١٩,٩	١٩,٥	١٩,٥	١٩,٥	١٩,٥	١٩,٥	١٩,٥
٢٥,٧	٢٣,٩	٢٣,١	٢٤,٥	٢٢,٧	٢١,٧	٢٠,٥	٢١,٤	٢٠,٣	٢٠,١	٢٠,٨	١٨,٩	١٨,٨	١٨,٨	١٨,٨	١٨,٨	١٨,٨	١٨,٨
٣٢	٣٤,٥	٢٧,٣	٣٥	٣٢,٤	٢٦,٨	٣٠,٦	٣٠,٨	٢٧,٥	٢٨,١	٢٩,٧	٢٢,٩	٢٢,٨	٢٢,٨	٢٢,٨	٢٢,٨	٢٢,٨	٢٢,٨
٣٨,٤	٤٠,٩	٣٢,٨	٤٠,٩	٣٨,٥	٣٢,٨	٣٦,٢	٣٧,٤	٣٤,٣	٣٤,٦	٣٧,٥	٣٠	٢٩,٥	٢٩,٥	٢٩,٥	٢٩,٥	٢٩,٥	٢٩,٥
٣٣,٦	٣٤,٤	٢٩,٥	٣٥,٤	٣١,٨	٢٨,٧	٣٠,٥	٣٠,٦	٢٨,٥	٢٩,١	٣٠,٧	٢٦,٩	٢٦,٨	٢٦,٨	٢٦,٨	٢٦,٨	٢٦,٨	٢٦,٨
٣٢,٤	٣٣,٤	٢٨,٢	٣٣,٩	٣١,٤	٢٧,٥	٢٩,٤	٣٠,١	٢٧,٧	٢٨	٢٩,٧	٢٤,٧	٢٤,٢	٢٤,٢	٢٤,٢	٢٤,٢	٢٤,٢	٢٤,٢

المصدر: الهيئة العامة للأرصاد الجوية، بيانات غير منشورة للمدة من ١٩٧٠م - ٢٠٠٠م.



ملحق (٤) : الاختلافات الشهرية والفصلية و السنوية في درجة الحرارة التشغيلية للخلايا الكهروضوئية بمواقع محطات منطقة الدراسة (درجة مئوية).

المحطة الشهر	مطروح	الإسكندرية	بورسعيد	سيوة	القاهرة	السويس	الغرافة	أسيوط	الغردقة	الداخلة	قنا	القصير	أسوان	رأس بناس
يناير	٢٥,١	٢٦,٧	٢٦,٥	٢٨,٨	٢٧,٤	٢٧,٦	٣٠,٦	٢٨,٧	٣١,٦	٣١,٧	٣٣,٦	٣٣,٥	٣٣,٨	٣٦,٦
فبراير	٢٨,٣	٢٩,٦	٢٩,٤	٣٣,٨	٣٠,٩	٣٢,٣	٣٥,٧	٣٣,٧	٣٤,٥	٣٦,٨	٣٨,٢	٣٦,٦	٣٩,١	٣٩,١
مارس	٣٣,٤	٣٥,١	٣٤,٦	٣٩,٦	٣٧,٢	٣٨	٤٢,٤	٤١	٣٩,٤	٤٣,٤	٤٥,٣	٤١,٣	٤٥,٧	٤٤,٧
أبريل	٣٩	٤٢,١	٤٠,٣	٤٧,٤	٤٤,٧	٤٥,٧	٤٩,٩	٤٩,٤	٤٤,٦	٥٠,٦	٥٣,٥	٤٦	٥٣,٩	٥٠
مايو	٤٣,٣	٤٦,٧	٤٥,٩	٥٣,٨	٥٠,٣	٥٠,٥	٥٤,٨	٥٤,٨	٤٩	٥٦	٥٨,٣	٤٩,٨	٥٨,٣	٥٣,٨
يونيو	٤٨,٧	٥٠,٨	٥٠,٦	٥٩,٢	٥٤,٧	٥٤,٩	٥٩,٨	٥٧,٩	٥٣,٢	٥٩,٩	٦٢	٥٣,٨	٦١,٦	٥٧,٨
يوليو	٤٩,٥	٥١,٤	٥١,٥	٥٩,٢	٥٤	٥٥	٥٨,٧	٥٧,١	٥٣,٥	٥٨,٨	٦١,٣	٥٤	٦١	٥٧,٢
أغسطس	٤٨,٣	٥٠,٢	٥٠,٥	٥٧,١	٥٢,١	٥٣,٦	٥٧,٣	٥٥,٢	٥٢	٥٧,٤	٥٩,٥	٥٣,١	٥٩,٢	٥٦
سبتمبر	٤٤	٤٦,٧	٤٦,٥	٥٢	٤٧,٨	٤٨,١	٥٢,٦	٥١,٣	٤٧,٥	٥٢,٧	٥٦,٢	٤٩,٤	٥٦,٤	٥٣,١
أكتوبر	٣٨,٢	٤٠,٥	٤٠,٥	٤٤,٧	٤١,٥	٤١,٨	٤٦,١	٤٥,١	٤٢,٣	٤٦,٦	٤٩,٧	٤٤,٤	٥٠,١	٤٧,٦
نوفمبر	٣١,٣	٣٣	٣٣,٥	٣٦	٣٤	٣٤	٣٦,٨	٣٩,٤	٣٦,٥	٣٨,٥	٤٠,٣	٣٨,٨	٤٠,٧	٤١,٢
ديسمبر	٢٥,٩	٢٧,٥	٢٧,٦	٢٩,٥	٢٨,٣	٢٨,٢	٣٠,٤	٢٨,٦	٣١,٩	٣٢,٥	٣٣,٤	٣٤,١	٣٤,٢	٣٦,٩
الشتاء	٢٦,٤	٢٧,٩	٢٧,٨	٣٠,٧	٢٨,٩	٢٩,٤	٣٢,٢	٣٠,٣	٣٣,٧	٣٣,٧	٣٥,١	٣٤,٧	٣٥,٧	٣٧,٩
الربيع	٣٨,٦	٤١,٣	٤٠,٣	٤٦,٩	٤٤,١	٤٤,٧	٤٩	٤٨,٤	٤٤,٣	٥٠	٥٢,٤	٤٥,٧	٥٢,٦	٤٩,٥
الصيف	٤٨,٨	٥٠,٨	٥٠,٩	٥٨,٥	٥٣,٦	٥٤,٥	٥٨,٦	٥٦,٧	٥٢,٩	٥٨,٧	٦٠,٩	٥٣,٦	٦٠,٦	٥٧
الخريف	٣٧,٨	٤٠,١	٤٠,٢	٤٤,٢	٤١,١	٤١,٣	٤٥,٢	٤٥,٣	٤٢,١	٤٥,٩	٤٨,٧	٤٤,٢	٤٩,١	٤٧,٣
السنوي	٣٧,٩	٤٠	٣٩,٨	٤٥,١	٤١,٩	٤٢,٥	٤٦,٣	٤٥,٧	٤٣	٤٧,١	٤٩,٣	٤٤,٦	٤٩,٥	٤٧,٩

المصدر: من إعداد الباحث.

ملحق (٥) : المعدلات الشهرية والفصلية والسوية لانخفاض الجهد الكهربائي للخلايا الكهروضوئية بمواقع محطات منطقة الدراسة (فولت).

المحطة	شهر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	الشتاء	الربيع	الصيف	الخريف	السنوي
١	١,٩	١,٤	١,١	١,١	١,١	١,١	١,١	١,١	١,١	١,١	١,١	١,١	١,١	١,٤	١,٤	١,٤	١,٤	١,٤
٢	٢,٤	٢,٣	١,٩	١,٩	١,٩	١,٩	١,٩	١,٩	١,٩	١,٩	١,٩	١,٩	١,٩	١,٩	١,٩	١,٩	١,٩	١,٩
٣	٣,٢	٣,٣	٢,٦	٣,٣	٣	٢,٣	٢,٣	٢,٣	٢,٣	٢,٣	٢,٣	٢,٣	٢,٣	٢,٣	٢,٣	٢,٣	٢,٣	٢,٣
٤	٤	٤,٧	٣,٤	٤,٦	٤,١	٣,٢	٢,٩	٢,٩	٢,٩	٢,٩	٢,٩	٢,٩	٢,٩	٢,٩	٢,٩	٢,٩	٢,٩	٢,٩
٥	٤,٦	٥,٤	٤	٥,٤	٥	٤,٨	٤,٨	٤,٨	٤,٨	٤,٨	٤,٨	٤,٨	٤,٨	٤,٨	٤,٨	٤,٨	٤,٨	٤,٨
٦	٥,٣	٥,٩	٤,٦	٤,٦	٥,٦	٥,٣	٥,٣	٥,٣	٥,٣	٥,٣	٥,٣	٥,٣	٥,٣	٥,٣	٥,٣	٥,٣	٥,٣	٥,٣
٧	٥,٢	٥,٩	٤,٧	٤,٦	٥,٤	٥,٢	٥,٢	٥,٢	٥,٢	٥,٢	٥,٢	٥,٢	٥,٢	٥,٢	٥,٢	٥,٢	٥,٢	٥,٢
٨	٥	٥,٥	٤,٥	٤,٤	٥,٢	٤,٤	٤,٤	٤,٤	٤,٤	٤,٤	٤,٤	٤,٤	٤,٤	٤,٤	٤,٤	٤,٤	٤,٤	٤,٤
٩	٤,٥	٥,١	٣,٩	٤,٥	٤,٥	٣,٦	٤,٢	٤,٢	٣,٧	٤,٥	٣,٧	٤,٣	٣,٥	٤,٣	٣,٥	٤,١	٤,١	٣,١
١٠	٣,٦	٤,١	٣,١	٣,٥	٣,٥	٢,٨	٣,٢	٣,٢	٢,٧	٣,٤	٢,٧	٣,٢	٢,٥	٣,٢	٢,٥	٢,٥	٢,٥	٢,١
١١	٢,٦	٢,٥	٢,٢	٢,٥	٢,٢	١,٩	٢,٣	١,٩	١,٥	١,٩	١,٥	١,٥	١,٥	١,٥	١,٥	١,٥	١,٥	١
١٢	١,٩	١,٥	١,٥	١,٤	١,٢	١,١	١,٦	١,٦	١,٢	١,٩	١,٢	١,٢	١,٢	١,٢	١,٢	١,٢	١,٢	١,٢
١٣	٢,١	١,٧	١,٦	١,٦	١,٤	١,٢	١,٢	١,٢	١,٢	١,٢	١,٢	١,٢	١,٢	١,٢	١,٢	١,٢	١,٢	١,٢
١٤	٣,٩	٤,٥	٣,٣	٤,٤	٤	٣,١	٣,٨	٣,٩	٣,٢	٣,٩	٣,٢	٣,٢	٣,٢	٣,٥	٣,٥	٣,٥	٣,٥	٢,٢
١٥	٥,٢	٥,٨	٤,٦	٥,٨	٥,٤	٤,٥	٥,١	٥,٤	٤,٧	٥,٤	٤,٧	٤,٦	٤,٦	٤,٦	٤,٦	٤,٦	٤,٦	٣,٨
١٦	٣,٦	٣,٩	٣,١	٣,٨	٣,٤	٢,٨	٣,٢	٣,٣	٢,٦	٣,٣	٢,٦	٢,٦	٢,٦	٣,١	٢,٥	٢,٥	٢,٥	٢,١
١٧	٣,٧	٤	٣,٢	٣,٩	٣,٦	٢,٩	٣,٣	٣,٤	٢,٨	٣,٤	٢,٨	٢,٨	٢,٨	٣,٢	٢,٤	٢,٤	٢,٤	٢,١

المصدر: من إعداد الباحث.

ملحق (٦) : المعدلات الشهرية والفصلية والشهرية لإجمالي انخفاض الكهرباء المنتجة من الخلايا الكهروضوئية بمواقع محطات منطقة الدراسة (الوات).

المحطة الشهر	مطروح	الإسكندرية	بورسعيد	سيوة	القاهرة	السويس	الغرافة	أسيوط	الغردقة	الداخلة	قنا	القصير	أسوان	رأس بناس
يناير	٠,١	١,٥	١,٤	٣,٥	٢,٢	٢,٤	٥,٢	٣,٤	٦,١	٦,٢	٧,٩	٧,٩	٨,١	١٠,٨
فبراير	٣,١	٤,٢	٤,١	٨,١	٥,٥	٦,٧	٩,٩	٨,١	٨,٨	١٠,٩	١٢,٢	١٠,٧	١٣,١	١٤
مارس	٧,٨	٩,٣	٨,٩	١٣,٥	١١,٣	١٢	١٦,١	١٤,٨	١٣,٣	١٧,١	١٨,٨	١٥	١٩,١	١٨,٢
أبريل	١٢,٩	١٥,٨	١٤,١	٢٠,٨	١٨,٢	١٩,٢	٢٣	٢٢,٦	١٨,١	٢٣,٧	٢٢,٣	١٩,٥	٢٢,٨	٢٣,١
مايو	١٧,٤	٢٠,١	١٩,٤	٢٦,٦	٢٣,٤	٢٣,٦	٢٧,٥	٢٧,٥	٢٢,٢	٢٨,٧	٣٠,٨	٢٢,٩	٣٠,٨	٢٦,٧
يونيو	٢١,٩	٢٣,٩	٢٣,٧	٣١,٧	٢٧,٥	٢٧,٧	٣٢,٢	٣٠,٤	٢٦,١	٣٢,٢	٣٤,٢	٢٦,٧	٣٣,٨	٣٠,٤
يوليو	٢٢,٦	٢٤,٤	٢٤,٥	٣١,٦	٢٦,٨	٢٧,٨	٣١,٢	٢٩,٧	٢٦,٣	٣١,٢	٣٣,٦	٢٦,٩	٣٣,٣	٢٩,٨
أغسطس	٢١,٥	٢٣,٣	٢٣,٦	٢٩,٧	٢٥,١	٢١,٤	٢٩,٨	٢٨	٢٥	٣٠	٣١,٩	٢٦	٣١,٧	٢٨,٧
سبتمبر	١٧,٦	٢٠,١	١٩,٩	٢٤,٩	٢١,١	٢١,٤	٢٥,٥	٢٤,٣	٢٠,٨	٢٥,٧	٢٨,٩	٢٢,٥	٢٩,١	٢٦
أكتوبر	١٢,٢	١٤,٤	١٤,٣	١٨,٢	١٥,٢	١٥,٦	١٩,٥	١٨,٦	١٦	٢٠	٢٢,٩	١٧,٩	٢٣,٣	٢٠,٩
نوفمبر	٥,٨	٧,٤	٧,٨	١٠,١	٨,٣	٨,٣	١٠,٩	١٣,٣	١٠,٦	١٢,٥	١٤,١	١٢,٨	١٤,٥	١٥
ديسمبر	٠,٩	٢,٣	٢,٤	٤,٢	٣,١	٢,٩	٥	٣,٣	٦,٤	٧	٧,٨	٨,٥	٨,٥	١١
الشتاء	١,٤	٢,٧	٢,٦	٥,٣	٣,٦	٤	٦,٧	٤,٩	٧,١	٨	٩,٣	٩	٩,٩	١١,٩
الربيع	١٢,٧	١٥,١	١٤,١	٢٠,٣	١٧,٦	١٨,٣	٢٢,٢	٢١,٦	١٧,٩	٢٣,٢	٢٥,٣	١٩,١	٢٥,٦	٢٢,٧
الصيف	٢٢	٢٣,٩	٢٣,٩	٣١	٢٦,٥	٢٧,٣	٣١,١	٢٩,٤	٢٥,٨	٣١,١	٣٣,٣	٢٦,٥	٣٢,٩	٢٩,٦
الخريف	١١,٩	١٤	١٤	١٧,٧	١٤,٩	١٥,١	١٨,٦	١٨,٧	١٥,٨	١٩,٤	٢٢	١٧,٧	٢٢,٣	٢٠,٦
السفوي	١٢	١٣,٩	١٣,٧	١٨,٦	١٥,٦	١٦,٢	١٩,٧	١٨,٧	١٦,٦	٢٠,٣	٢٢,٥	١٨,١	٢٢,٧	٢١,٢

المصدر: من إحصاء الباحث.

## المراجع والمصادر

## أولاً - المراجع والمصادر العربية :

١. ابن منظور محمد بن مكرم، لسان العرب، الطبعة الثالثة، الجزء العاشر، دار صابر، بيروت - لبنان ١٤١٤هـ.
٢. الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، دراسة مستقبل الطاقة الشمسية في مصر، ٢٠١٥م.
٣. حسن يونس عبد الرحمن، الإشعاع الشمسي والرياح كمصادر للطاقة الجديدة والمتجددة في مصر - دراسة في المناخ التطبيقي، ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب - جامعة طنطا، ٢٠٠٩م.
٤. ستيفان كراوتر، توليد القدرة الكهربائية من الطاقة الشمسية أنظمة الطاقة الفولتضوئية، ترجمة عبدالباسط على كرمان ومحمد عبد الستار الشخلي، المنظمة العربية للترجمة - مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت، ٢٠١١م .
٥. مسعد سلامة مندور، الإشعاع الشمسي في مصر - دراسة في الجغرافيا المناخية، دكتوراه غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب - جامعة المنصورة، ٢٠٠٢م.
٦. هبة محمود عبد الرازق، طاقة الشمس والرياح في شبه جزيرة سيناء - دراسة في المناخ التطبيقي باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب - جامعة القاهرة، ٢٠١٧م.
٧. الهيئة العامة للأرصاد الجوية، المتوسطات الشهرية لدرجة الحرارة، بيانات غير منشورة، المدة من ١٩٧٠-٢٠٠٠م.
٨. الهيئة المصرية العامة للمساحة، خريطة مصر الطبوغرافية مقياس رسم ١:٢٠٠٠٠٠٠٠م. ٢٠١٦م.
٩. وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، هيئة تنمية واستخدام الطاقة الجديدة والمتجددة، التقرير السنوي ٢٠١٥م.
١٠. ياسر محمد عبد الموجود، إمكانات الطاقة الشمسية في مصر مع التطبيق على محطة الكريما - دراسة في جغرافية الطاقة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، دكتوراه غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب - جامعة أسيوط، ٢٠١٧م.
١١. ياسمين جاد الرب، الطاقة المتجددة في مصر - دراسة في الجغرافيا الاقتصادية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS، دكتوراه غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب - جامعة الزقازيق، ٢٠١٣م.

## ثانياً - المراجع والمصادر الأجنبية :

1. Agroui, K., In door and out door characterization of photovoltaic module based on multicrystalline solar cells, Energy procedia, Vol. 18 , 2012.
2. Anasuya, G., and Hippus, S., institutional Roof to solar NIAS experience with A100kw solar system , national institute of Advanced studies, Indian institute of science campus, INDIA, 2017.
3. Anasuya, G., and Hippus, S., Institutional Roof to solar NIAS experience with A100kw solar system, national institute of Advanced studies, Indian institute of science campus, INDIA, 2017.
4. Anna, M., et al., effect of transition temperature of efficiency of PV/PCM panels. 6<sup>th</sup> international Building physics conference IBPC (2015), Energy procedia. Vol. 78, 2015.
5. Catalin, G., et al., Efficiency improvement of photovoltaic panels by using air cooled heatsinks, Energy procedia, Vol. 85, 2016.
6. Chenming, H., and Richard, M., Solar cells from Basics to Advanced systems ,Mc Graw-Hill Book Company, USA,1983.
7. Dorazio, M., et al., performance assessment of different roof integrated photovoltaic modules under Mediterranean climate, the Mediterranean green energy forum (2013), Energy procedia. Vol. 33, 2013.
8. Effendy, M., et al., Performance test conditions for direct temperature elements of multiple PV array configurations in Malaysia,the 6<sup>th</sup> international conference on applied Energy (2014), Energy procedia, Vol. 61, 2014.
9. El-tantawy, H, Investigation of temperature and inclination Angles effects on the performance of photovoltaic cells, Ph.D., Department of Mechanics, Faculty of Engineering –Banha University, 2016.
10. Gilbert, M., Renewable and Efficient Electric power systems, A John Wiley& Sons, Inc, USA, 2004.
11. Goswami, D., et al., Principles of Solar Engineering, 2<sup>nd</sup> Edition, Taylor & Francis, USA, 2000.
12. Hafez, M., Increasing the efficiency of photovoltaic systems, M.Sc, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Fayoum University, 2014.
13. [http:// www .ar.wikipedia.org](http://www.ar.wikipedia.org) .
14. [http:// www. Eosweb.larc.nasa.gov](http://www.Eosweb.larc.nasa.gov).
15. [http:// www.Sciencedirect.com](http://www.Sciencedirect.com).
16. [http:// www.e-books directory.com](http://www.e-books directory.com).
17. [http:// www.elsevier.com](http://www.elsevier.com).
18. [http:// www.Esrl.noaa.gov](http://www.Esrl.noaa.gov).
19. [http:// www.ipcc.ch/index.htm](http://www.ipcc.ch/index.htm)
20. [http:// www.ipcc.ch/index.htm](http://www.ipcc.ch/index.htm).
21. [http:// www.mapsgoogle.com](http://www.mapsgoogle.com).
22. [http:// www.Nasrsolar.com](http://www.Nasrsolar.com)
23. [http:// www.Nrea.gov.eg](http://www.Nrea.gov.eg).
24. [http:// www.Unep.org](http://www.Unep.org).
25. Jane, E., and Walter, V., Climate impact on Energy systems-key issues for energy sector Adaptation, world bank ,Washington, USA, 2011.

26. Khalifa, M., A study for the physical properties of some solar cell, M.Sc., Department of Physics, Faculty of Science, Mansoura university, 2015.
27. Mesude, B., et al., Temperature Dependent power modeling of photovoltaics, Energy procedia, Vol. 57, 2014 .
28. Michael, P., Fundamentals of Physical Geography , 2<sup>nd</sup> Ed., e-books directory, 1999.
29. Michael, K., and Markus, H., Modeling of nominal operating cell temperature based on outdoor weathering , Journal of solar energy material & solar cells, Vol. 95, 2011.
30. Moharram, K., et al., Enhancing the performance of photovoltaic by water cooling, Ain Shams Engineering journal, 2013.
31. Renewable capacity statistics, international Renewable energy Agency (IRENA), 2017
32. Renewable energy and energy efficiency in developing countries: contributions to reducing global emissions – second Report, united nations Environment programme, 2016.
33. Richard, S. et al., the future of solar Energy ,an inter disciplinary mit study, Massachusetts institute of technology, USA, 2015.
34. Robert, F., et al., solar Energy – Renewable energy and the Environment, Taylor & Francis Group, USA, 2010.
35. Subhash, C., et al., A study on photovoltaic parameters of mono-crystalline solar cell with cell temperature, Energy Reports, Vol. 1, 2015.
36. Swapnil, D., et al., temperature dependent photovoltaic (PV) efficiency and its effect on pv production in the world –are view, Energy procedia. Vol. 33, 2013.
37. Tiwari, G., and Swapnil, D., Fundamentals of photovoltaic modules and their Applications , RSC publishing, UK, 2010.
38. Tuza, A., Mahieddiine, E., A comparative Analysis of PV module temperature models, 6th international conference on sustainability in Energy and buildings, Energy procedia, Vol. 62, 2014.
39. Wurfel, B., Physics of solar cells from Basic to advanced concepts, second Edition , Wiley-VCH, Germany, 2009.
40. Zekai, S., solar Energy fundamentals and modeling techniques, springers – verlage, British, 2008.



## **The Thermal Constraints on the Photovoltaic Performance in Egypt " Study in Applied Climatology "**

### **ABSTRACT**

Recently, interest in photovoltaic cells has increased, because it is a clean and renewable source of electricity from sunlight, but the performance of photovoltaic cells is negatively affected by increasing its temperature above the optimal limits (25 °C). This results in low power output and reduced voltage, Sun radiation and air temperature affect the cell's temperature and then its level of performance, the research aims to determine the degree of the impact of climate elements, especially solar radiation and air temperature in the performance of PV cells, identify the months and areas in which thermal Constraints focus on the performance of photovoltaic cells in Egypt. Identify ways to reduce the negative impact of heat Constraints such as cooling processes as well as ideal cell orientation. The negative impact of thermal Constraints increases during the months: May, June, July, August and September, with a voltage reduction of 11.2%, and the energy produced by 15.8%. Therefore, the PV cells during these months need to be cooled in order to reduce their temperature. The thermal constraints are increasing in the southern regions of Egypt compared to the rest of them, especially the governorates: Qena, Sohag, Luxor, Aswan, Red Sea and New Valley, where the cell voltage drops by about 3.7 volts (8.3%). The electricity produced drops about 21.3 watts (11.5%) The average annual temperature of the cell to (48 °C) is higher about (23 °C) than the standard cell temperature.

**Key Words:** Thermal constraints - Photovoltaic cells - Applied climatology - Renewable energy