

## حساب وتحليل كميّة الإشعاع الشمسي الكلي الوارد على سطح مائل في منطقة مرتفعة عن سطح البحر

الدكتور رزق محمد قرفول\*

(تاريخ الإيداع 30 / 5 / 2019. قُبل للنشر في 20 / 8 / 2019)

### □ ملخص □

تضمنت هذه الدراسة الطرق الرياضية الخاصة لحساب كمية الإشعاع الشمسي الكلي الوارد على سطح مائل في منطقة صلنفة المرتفعة عن سطح البحر بمقدار  $800\text{ m}$  بمساعدة الحاسوب، والتي يمكن تطبيقها على أرض الواقع في أي بقعة من الجمهورية العربية السورية أو غيرها من سطح الأرض بعد معرفة الاحداثيات الجغرافية الخاصة بها، وقد كان ذلك بهدف استخدام ألواح الخلايا الفوتو فولتية للحصول على الطاقة الكهربائية اللازمة لتغذية الاحمال المطلوبة. بيّنت هذه الدراسة أنّ كميّة الإشعاع الشمسي الكلي الوارد على المنطقة المدروسة كانت تتراوح  $(0-1258)\text{ W / m}^2$ . وأنّ عدد ساعات السطوع الشمسي تراوحت (8-12) ساعة، وقد لوحظ أنّ الإشعاع الشمسي الكلي في أغلبه يتكوّن من الإشعاع الشمسي المباشر. علاوة على ذلك قمنا بمقارنة هذه الكميات مع الكميات المحسوبة وفق دراسات أخرى في أماكن متفرقة من العالم حيث وجدنا أنّها متشابهة.

**الكلمات المفتاحية:** الإشعاع الشمسي الكلي، الإشعاع الشمسي المباشر، الإشعاع الشمسي المنتشت، الإشعاع الشمسي المنعكس، الزوايا الشمسية، الخلايا الفوتو فولتية، السطح المائل.

\*أستاذ مساعد - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## **The calculation and the analysis of the quantity of the total solar radiation incident on tilted surface on a high region above sea level**

**Dr. Rizek Karfoul\***

**(Received 30 / 5 / 2019. Accepted 20 / 8 /2019)**

### **□ ABSTRACT □**

In this study, special mathematical methods are used to calculate the quantity of the total solar radiation incident on tilted surface on a high area, which is 800m above sea level by means of a computer. This study can be applied for the unit area on any area in Syria or on other areas around the world if the special co-ordinates are known. This is done in order to use the photovoltaic panels to produce electrical energy required to provide energy to the whole loaded needed. The study showed that the total solar radiation quantity was rating between  $(0-1258) W / m^2$ . In addition, the time of the solar radiance measured in hours is rating between  $(8-12)$  hours. It is also noticed that the total solar radiation almost consists of the direct solar radiation. Moreover, a comparison of these quantities and the quantities recorded on other studies was done on different places around the world and we found that they were the same.

**Key Words:** Total Solar Radiation, Diffused Solar Radiation, Direct Solar Radiation, Reflective Solar Radiation, Solar Angles, Photovoltaic Cells, And Tilted Surface.

---

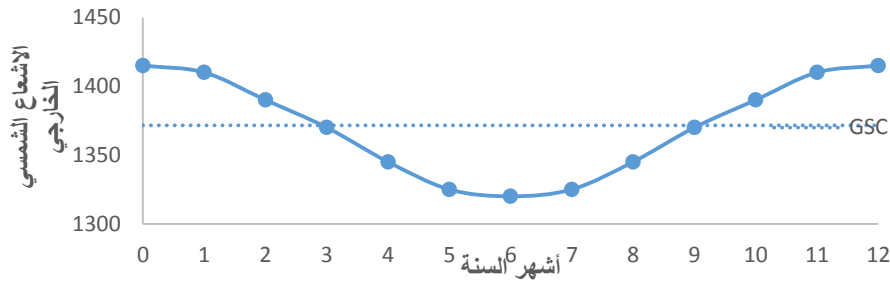
\* Assistant Professor, Department of Physics, Faculty of science, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**مقدمة:**

يختلف الإشعاع الشمسي الواصل الى سطح الأرض في الكمية والخصائص عن الإشعاع الشمسي الخارجي ( $G_{sc}$ ) extraterrestrial solar radiation [1] الذي يعطى وفق المعادلة التالية:

$$G_{on} = G_{sc} \left[ 1 + 0.034 \cos \frac{360}{365} N \right] \quad (1)$$

حيث ( $N$ ) رقم اليوم في العام و ( $G_{sc}$ ): الثابت الشمسي ويعرّف على أنه مقدار الطاقة القادمة من الشمس لوحده الزمن الواردة عمودياً على وحدة المساحة على سطح مستوي خارج الغلاف الجوي وأن أفضل قيمة مقاسة ومعتمدة للثابت الشمسي من قبل المركز العالمي للإشعاع World Radiation Center [2] كانت ( $1367 \text{ W / m}^2$ ) ويبين الشكل (1) تغير قيم الإشعاع الشمسي الخارجي خلال أشهر السنة:



الشكل (1) تغير الإشعاع الشمسي الخارجي خلال أشهر السنة.

تتناقص شدة الإشعاع الشمسي الخارجي أثناء مروره بالغلاف الجوي للأرض [3]. ويعود السبب في تناقص شدة الإشعاع الشمسي الخارجي في الشهر السادس كون الأرض تقع في نقطة الأوج بالنسبة للشمس وهي أبعد نقطة للأرض عن الشمس، أما ارتفاعه في الشهرين الأول والثاني عشر فيعود لكون الأرض تقع في نقطة الحضيض وهي أقرب نقطة من الشمس. ويصل إلى الأرض ثلاثة أنواع من الإشعاعات تمثل 50% من الأشعة الشمسية وهي:

**أولاً: الإشعاع الشمسي المباشر Direct Solar Radiation:**

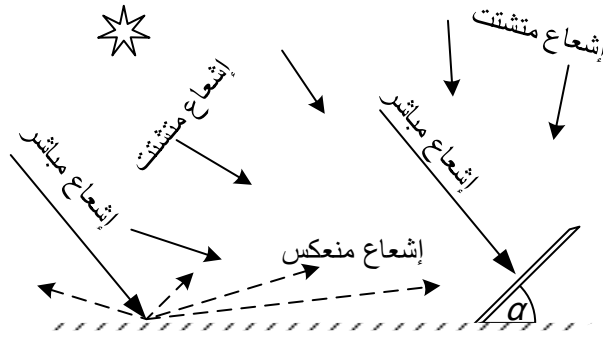
وهو عبارة عن الأشعة التي تصل بشكل مباشر من الشمس إلى الأرض وتمثل نسبة كبيرة في الأيام المشمسة حوالي 27%، أما في الأيام الغائمة فإن الشمس تكون محجوبة بالغيوم وعندئذ يكون الإشعاع تقريباً معدوماً يمثل عندئذ الإشعاع الشمسي المبعثر الأغلبية العظمى في هذه الحالة [4].

**ثانياً: الإشعاع الشمسي المشتت (المبعثر) والمتاير في الجو Diffused Solar Radiation:**

يأتي هذا الإشعاع من أنحاء متفرقة من السماء بسبب وجود الغيوم وبخار الماء والغازات المنتشرة وطبقة الأوزون وغيرها... وتكون كميته هذا الإشعاع 10% في الحالة عندما تكون السماء الصافية و100% عندما تكون السماء غائمة [4,5].

**ثالثاً: الإشعاع الشمسي المنعكس عن سطح الأرض Reflected Solar Radiation:**

إن كميّة الإشعاع المنعكس عن الأرض والواصل إلى سطح ألواح الخلايا الشمسية يعتمد على معامل انعكاس الأرض والذي يعرف بالألبيدو albedo وتراوح قيمته بين 0.2 للحالة العادية و0.7 عند تواجد الثلوج وتشكل هذه الكمية 13% من مجمل الإشعاع الشمسي الوارد [4,5] ويوضح الشكل (2) أنواع الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح لوح شمسي مائل.



الشكل (2): أنواع الإشعاع الشمسي.

تتأثر بشكل عام كمية وشدة الإشعاع الشمسي لجميع الأنواع السابقة بعدة عوامل منها: حالة السماء من حيث صفائها وتلبدتها بالغيوم، الفصول الأربعة، الارتفاع فوق سطح البحر، موقع الشمس في السماء، وزاوية ميل الشمس وسماكة الغلاف الجوي بالإضافة الى جملة من الزوايا الشمسية التي سنأتي إلى تعريف كل منها.

### أهميه البحث وأهدافه:

تعتبر الطاقة الشمسية إحدى أهم صور الطاقة المتجددة والتي أصبحت تشكل جزءاً كبيراً من اهتمام دول العالم لما لها من أهمية كبيرة في توفير نسبة عالية من الطاقة التقليدية علاوة على كونها طاقة نظيفة لا تحدث أي تلوث للبيئة وهي أقل تكلفة من جميع الطاقات المستخدمة الآن. بدأ استغلال الطاقة الشمسية منذ زمن بعيد إلا أن الدراسات العملية لهذا النوع من الطاقات المتجددة لم تحقق تقدماً إلا في السنوات القليلة الماضية وما زالت تحظى باهتمام المهندسين والباحثين العلميين في مختلف دول العالم بهدف الوصول إلى أفضل الطرائق لتجميع وتخزين الطاقة الشمسية النظيفة ورخيصة التكاليف.

انطلاقاً من ذلك كان هدف هذا البحث تطوير طريقه حديثة لحساب كمية الأشعة الشمسية الكلية الواردة كل ساعة من الشروق وحتى الغروب على سطح مائل بالاعتماد على الحاسب واستخدام العديد من العلاقات الرياضية. إن الأشعة الشمسية الكلية القصيرة الطول الموجي ( $I_T$ ) والتي تصل إلى مستوى سطح أفقي هي عبارة عن مجموع الأشعة الشمسية المباشرة ( $I_D$ ) والأشعة الشمسية المشتتة من السماء ( $I_d$ ) والأشعة الشمسية المنعكسة من الأرض والسطوح المحيطة ( $I_r$ ).

### طرائق البحث وموارده:

تعتمد الطريقة المستخدمة من قبلنا في حساب الإشعاع الشمسي الكلي على مجموعة من العوامل، منها ما هو متعلق بالموقع الجغرافي للمكان المدروس كزاوية خط الطول، والعرض، والارتفاع عن سطح البحر. ومنها ما هو مرتبط بالزوايا الشمسية، كزاوية ارتفاع الشمس، وزاويتي سمت الشمس الرأسية والأفقية وزاوية السقوط الشمسي وزاوية الوقت الشمسي.

أولاً: حساب الإشعاع الشمسي المباشر ( $I_D$ ):

يعطى الإشعاع الشمسي المباشر ( $I_D$ ) بالعلاقة التالية [6]

$$I_D = I_{DN} \cos \theta \quad (2)$$

حيث تمثل ( $I_{DN}$ ) الأشعة الشمسية المباشرة العمودية، وتعزف على أنها معدّل الإشعاع الشمسي لوحدة المساحة الواردة عمودياً على سطح موجود داخل الغلاف الجوي وتحسب من العلاقة:

$$I_{DN} = A \exp\left(-\frac{P}{P_0} \frac{B}{\sin h}\right) \quad (3)$$

( $\frac{P}{P_0}$ ) هو نسبة الضغط الجوي في المكان قيد الدراسة إلى الضغط الجوي النظامي ويعطى بالعلاقة: [8]

$$\frac{P}{P_0} = \exp(-0.0001184 H) \quad (4)$$

حيث ( $H$ ) ارتفاع المكان المدروس المراد حساب الإشعاع الشمسي الكلي عنده عن سطح البحر.

و ( $B$ ) معامل كسوف الطقس ويعطى بالعلاقة: [6,7]

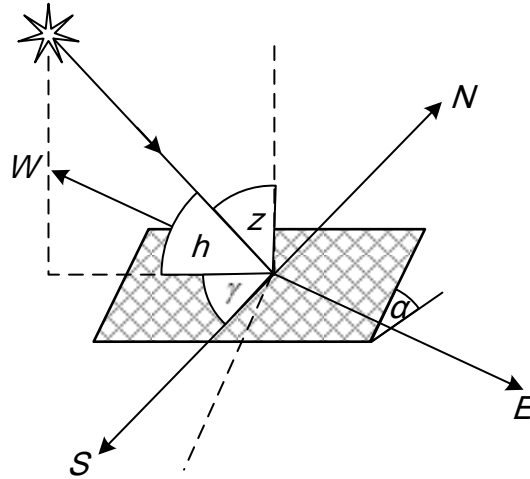
$$B = 0.175[1 - 0.2 \cos(0.93N)] \quad (5)$$

( $A$ ) الإشعاع الشمسي المرئي عندما تكون كتلة الهواء الجوي تساوي صفر ويعطى بالعلاقة: [6,7]

$$A = 1158 \left[ 1 + 0.066 \cos\left(\frac{360}{365} N\right) \right] \quad (6)$$

حيث أن ( $h$ ) زاوية ارتفاع الشمس Solar altitude angle وهي الزاوية بين الأشعة الشمسية الواردة والمستوي الأفقي

لسطح الأرض الشكل (3)



الشكل (3) زاوية ارتفاع الشمس وزاويتي السمت الشمسي العمودية والأفقية

تتزايد زاوية ارتفاع الشمس تدريجياً من الصفر عند الشروق إلى أقصى قيمة لها عند الظهر ثم تأخذ بالتناقص التدريجي حتى تصل إلى الصفر عند الغروب وتقع في المجال  $0^\circ \leq h \leq 90^\circ$  ويمكن حساب قيمة هذه

الزاوية بدلالة زاوية خط العرض ( $\phi$ ) وزاوية انحراف الشمس عن خط الاستواء ( $\delta$ ) وزاوية الوقت الشمسي ( $\omega$ ) من العلاقة [8]

$$\sin(h) = \cos(\phi)\cos(\delta)\cos(\omega) + \sin(\phi)\sin(\delta) \quad (7)$$

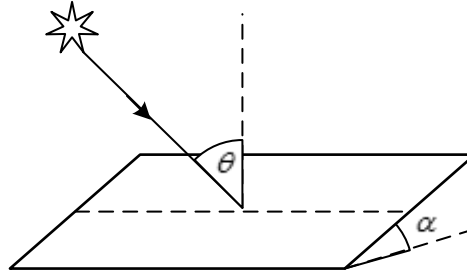
\* زاوية السميت الشمسي الراسية ( $z$ ): هي الزاوية بين الأشعة الشمسية الواردة والناظم على المستوي الأفقي لسطح الأرض الشكل (3)، وهي تمثل الزاوية المتممة لزاوية الارتفاع الشمسي ( $h$ ) أي أن:  $z = 90 - h$  وتقع في المجال  $0^\circ \leq z \leq 90^\circ$  [8].

\* زاوية السميت الشمسي الأفقية ( $\gamma$ ) Solar azimuth angle: هي الزاوية الأفقية الكائنة بين مسقط الاشعاع الشمسي على المستوي الأفقي واتجاه الجنوب الجغرافي الشكل (3)، وهذه الزاوية تكون قيمتها سالبة قبل الظهر وموجبة بعد الظهر وتساوي الصفر عند الظهر وتقع في المجال ( $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$ )، ويمكن تحديد وحساب قيمة هذه الزاوية بدلالة زاوية انحراف الشمس ( $\delta$ )، وزاوية الوقت الشمسي ( $\omega$ )، وزاوية الارتفاع الشمسي ( $h$ )، من العلاقة [10]

$$\sin(\gamma) = \frac{\cos(\delta)\sin(\omega)}{\cos(h)} \quad (8)$$

\* زاوية السقوط الشمسي ( $\theta$ ) Solar incident angle هي الزاوية الكائنة بين الأشعة الشمسية الواردة والناظم على السطح المستقبل لهذه الأشعة، الشكل (4)، وتُحسب بدلالة زاوية الارتفاع الشمسي ( $h$ )، وزاوية والسميت الشمسي الأفقية ( $\gamma$ )، وزاوية ميل السطح المستقبل للأشعة الشمسية ( $\alpha$ ) من العلاقة [9].

$$\cos(\theta) = \cos(\gamma)\sin(\alpha) + \sin(h)\cos(\alpha) \quad (9)$$



الشكل (4) زاوية السقوط الشمسي وزاوية ميل السطح المستقبل

\* زاوية الساعة (الوقت) الشمسي ( $\omega$ ) Solar hour angle

وهي تمثل الازاحة الزاوية للشمس شرق أو غرب خط غرينتش نتيجة دوران الأرض حول محورها بمقدار ( $15^\circ$ ) كل ساعة فتكون سالبة قبل الظهر وموجبة بعد الظهر وتساوي الصفر عند الظهر، وتقع في المجال ( $-180^\circ \leq \omega \leq 180^\circ$ ) ويمكن تحديد وحساب قيمة هذه الزاوية وفق العلاقة: [10]

$$\omega = 15(LST - 12) \quad (10)$$

حيث: ( $LST$ ) مُعامل الوقت الشمسي المحلي Local solar time factor، ويحسب كما يلي:

$$LST = LT + \frac{TC}{60}$$

Time correction Local time بالساعات  $(LT)$  و  $(TC)$  مُعامل تصحيح الزمن القياسي factor ويحسب من العلاقة  $TC = 4(L - LSTM) + EOT$ ، حيث  $LSTM = 15(\Delta T_{GMT})$ ، وأن  $(\Delta T_{GMT}) = 2(h)$  الفرق بين التوقيت المحلي للمنطقة المدروسة وتوقيت غرينتش بالساعات وفي هذه الدراسة يكون  $(\Delta T_{GMT}) = 2(h)$  وعليه يكون  $LSTM = 30^\circ$  و  $(L)$  خط الطول للمنطقة قيد الدراسة Longitude، و  $(EOT)$  معادلة الوقت Equation of time،

وتعطى بالعلاقة  $EOT = 9.87 \sin(2D) - 7.53 \cos(D) - 1.5 \sin(D)$ ، حيث  $(D)$  مقدار يرتبط برقم اليوم

$$D = \frac{360}{365}(N - 80) \quad \text{من السنة الواحدة ويقدر بالدرجات، ويعطى كما يلي}$$

\* زاوية الانحراف (الميل) الشمسي solar declination angle هي الزاوية بين أشعة الشمس وقت الظهيرة المحلي ومستوي خط الاستواء، أي هي الزاوية بين مركزي الأرض والشمس ومسقط هذا الخط على مستوي خط الاستواء، شمالاً تفرض موجبة وجنوباً تفرض سالبة، ومجالها هو  $(-23.45^\circ \leq \delta \leq +23.45^\circ)$  وتحسب بالعلاقة التالية:

$$\delta = 23.45 \sin[0.9863(284 + N)] \quad (11)$$

ثانياً: حساب الإشعاع الشمسي المتشتت في السماء  $I_d$

يعطى الإشعاع الشمسي المتشتت بالعلاقة التالية: [9,10]

$$I_d = C I_{DN} F_{SS} \quad (12)$$

حيث  $(C)$  معامل الإشعاع المتشتت Diffused radiation factor،

$$C = 0.0965 \left[ 1 - 0.42 \cos\left(\frac{360N}{365}\right) \right] - 0.0075 [1 - \cos(1.95N)]$$

و  $(F_{SS})$  معامل الزاوية بين سطح المستقبل للأشعة الشمسية، ويعطى بالعلاقة:  $F_{SS} = \frac{1 + \cos(\alpha)}{2}$

وبالتالي يكون الإشعاع الشمسي المتشتت مساوياً:

$$I_d = C I_{DN} \frac{1 - \cos(\alpha)}{2} \quad (13)$$

ثالثاً: حساب الإشعاع الشمسي المنعكس من الأرض والأسطح المحيطة بالسطح المدروس  $I_r$

يمكن تحديد وحساب الإشعاع الشمسي المنعكس من العلاقة التالية: [9,10]

$$I_r = I_{TH} \rho F_{sg} \quad (14)$$

حيث أن  $(\rho)$  هي مُعامل انعكاس الأشعة الشمسية عن سطح الأرض و  $(I_{TH})$  هي الأشعة الشمسية الواردة على السطح العاكس (الأرض) ويعرّف بالعلاقة:  $I_{TH} = I_{DN} (C + \sin(h))$  وأن  $(F_{sg})$  هو مُعامل الزاوية بين السطح

المستقبل للأشعة المنعكسة و سطح الانعكاس ويمكن تحديدها من العلاقة:  $F_{sg} = \frac{1 - \cos(\alpha)}{2}$  وبصبح لدينا

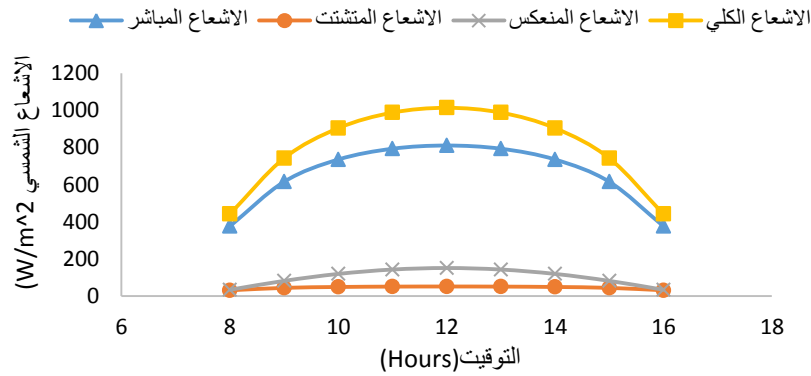
$$I_r = I_{TH} \rho \left( \frac{1 - \cos(\alpha)}{2} \right)$$

وأخيراً يكون الإشعاع الكلي الوارد على سطح مائل هو:

$$I_T = I_D + I_d + I_r \quad (15)$$

## النتائج والمناقشة:

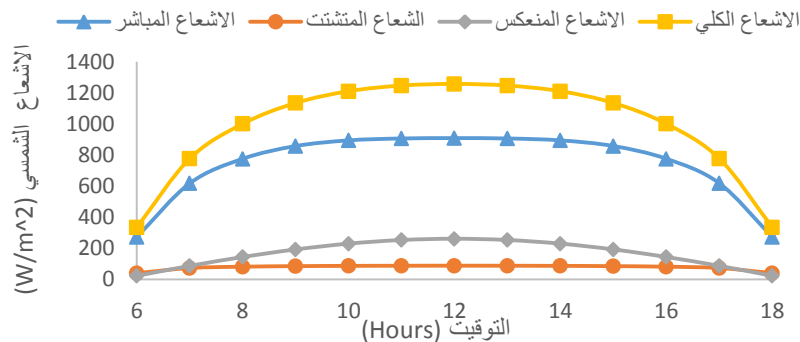
إنّ النتائج التي حصلنا عليها اعتمدت على فرضية أنّ الحسابات تمت في يوم مشمس لا تتخلله الغيوم ولا وجود لظلال الأشجار والأبنية على السطح المدروس الذي يميل على الأفق بزاوية  $\alpha = 30^\circ$  ومتمّجه تماماً نحو الجنوب وهذا السطح يوجد في منطقة مرتفعة عن سطح البحر بمقدار  $H = 800m$  ويقع على خط عرض  $\phi = 36^\circ$  وخط طول  $L = 35.5^\circ$ . يوضح الشكل (1) تغيرات قيم الإشعاع الشمسي المباشر  $I_D$ ، والمنتشنت  $I_d$ ، والمنعكس  $I_r$ ، والكلية  $I_T$  في اليوم السابع عشر من شهر كانون الثاني والذي يمثّل منتصف فصل الشتاء.



الشكل (5) الإشعاعات الشمسية في شهر كانون الثاني

يُلاحظ من الشكل أنّ السطح المدروس بدأ يتلقّى كافة الإشعاعات الشمسية بدءاً من الساعة الثامنة صباحاً ويستمر استقبال هذه الإشعاعات حتى الساعة الرابعة بعد الظهر أي أنّ عدد ساعات السطوع في اليوم ثمان ساعات فقط وهو أقل عدد ساعات سطوع خلال العام، وأن قيم كل من الإشعاع الشمسي المنتشنت والمنعكس صغيرة بدرجة كبيرة حيث بلغت أكبر قيمة للإشعاع المنتشنت  $(52 \text{ W/m}^2)$  وأكبر قيمة للإشعاع المنعكس  $(152 \text{ W/m}^2)$  بينما تكون قيم الإشعاع المباشر كبيرة حيث بلغت أعظم قيمة  $(812 \text{ W/m}^2)$ ، وبذلك يكون الإشعاع الكلي في مجمله إشعاعاً مباشراً.

يبين الشكل (6) تغيرات قيم الإشعاعات الشمسية الأربعة المحسوبة في اليوم الخامس عشر من شهر نيسان الذي يمثّل فصل الربيع.

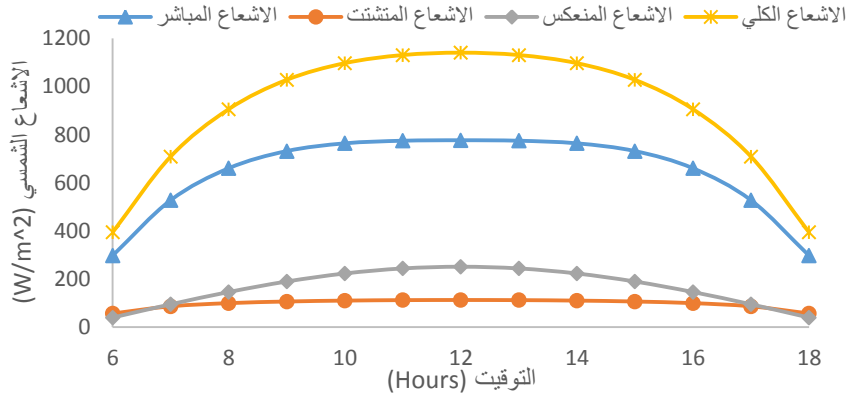


الشكل (6) الإشعاعات الشمسية في شهر نيسان



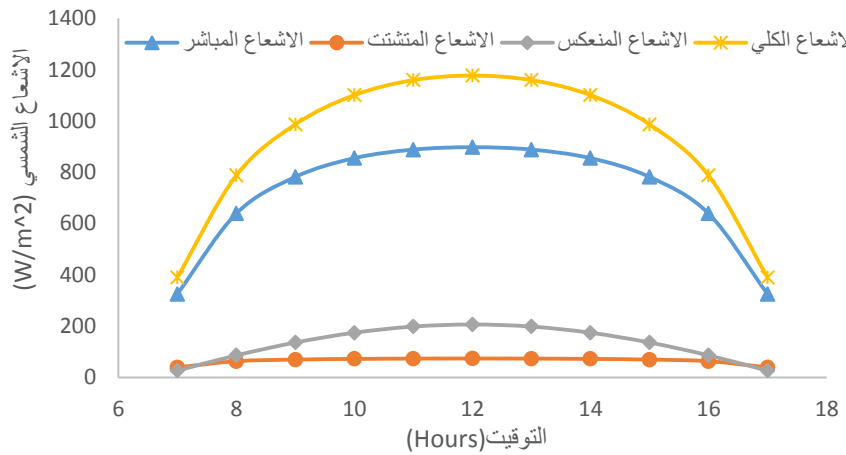
يُضَح من الشكل (6) أنّ عدد ساعات السطوع الشمسي قد زاد عن شهر كانون الثاني بمقدار 4 ساعات وكمية الإشعاع الشمسي الأعظمي الكلي قد زاد من  $988(W / m^2)$  إلى  $1258(W / m^2)$ ، وأعظم قيمة للإشعاع المتشتت  $87.5(W / m^2)$ ، وللإشعاع المنعكس  $260(W / m^2)$ ، أي أنّ الإشعاع الكلي في معظمه أيضاً يتكوّن من الإشعاع المباشر الوارد على السطح المائل المدروس.

وبيّن الشكل (7) التغيرات في الإشعاعات الشمسية المباشرة، والمتشتتة، والمنعكسة، والكليّة خلال شهر تمّوز الذي يمثّل فصل الصيف، ويلاحظ منه أنّ عدد ساعات السطوع الشمسي حافظت على عددها في هذا الفصل بينما بلغت



الشكل (7) الإشعاعات الشمسية في شهر تمّوز

القيمة العظمى للإشعاع المتشتت  $113(W / m^2)$ ، وللإشعاع المنعكس  $251(W / m^2)$ ، وللإشعاع المباشر  $777(W / m^2)$ ، وللإشعاع الكلي  $1140(W / m^2)$ ، أي أنّ كمية الإشعاع الكلي قد تناقصت بمقدار  $100(W / m^2)$  عمّا كانت عليه في الربيع وبقي الشعاع المباشر الوارد يمثّل القسم الأعظمي من الإشعاع الكلي الذي يستقبله السطح المائل المدروس.



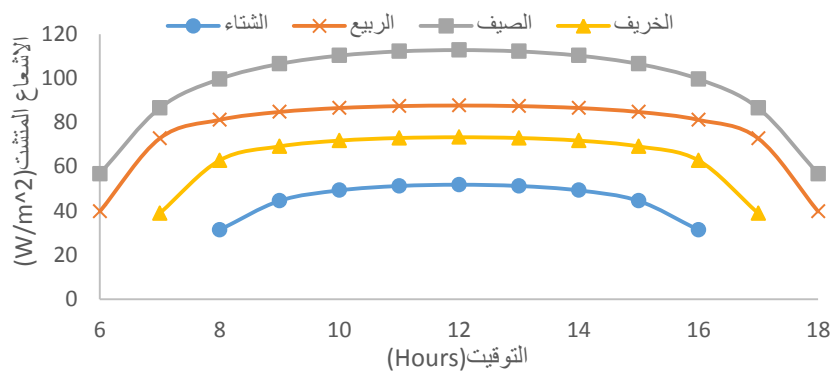
الشكل (8) الإشعاعات الشمسية في شهر تشرين الأول

وأخيراً بيّن الشكل (8) التغيرات التي سُجّلت لمختلف الإشعاعات الشمسية التي ترد على السطح المائل المدروس خلال شهر تشرين الأول الذي يمثّل فصل الخريف، وقد لوحظ أنّ عدد ساعات السطوع الشمسي انخفضت بمقدار ساعتين في اليوم ساعة واحدة عند الشروق وساعة عند الغروب.

كما ويُلاحظ أنّ القيم العظمى لمختلف أنواع الاشعاعات قد بلغت للإشعاع المتشتت ( $73.3 (W / m^2)$ ، وللإشعاع المنعكس ( $206 (W / m^2)$ ، وللإشعاع المباشر ( $897 (W / m^2)$ ، وللإشعاع الكلي ( $1176 (W / m^2)$ ، أي بزيادة طفيفة على الكميات التي سجلت في الصيف مع بقاء الإشعاع المباشر هو المسيطر على الإشعاع الكلي.

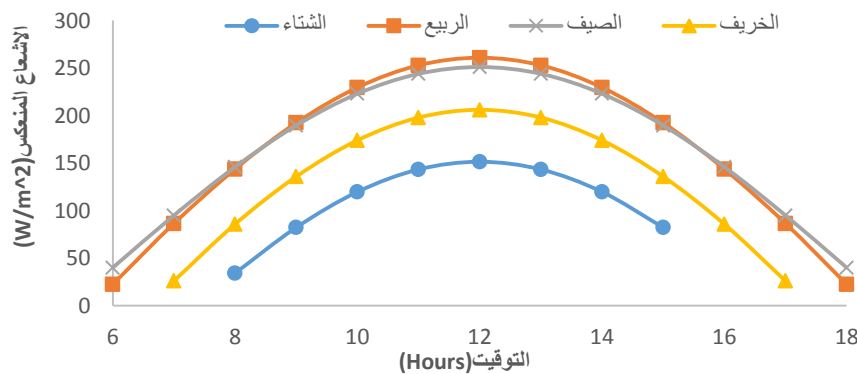
تبيّن مقارنة الكميات المحسوبة خلال الفصول المختلفة أنّ أكبر كمية للإشعاع الكلي سجلت في فصل الربيع يليها فصل الخريف ثمّ الصيف وأخيراً الشتاء. وأكبر عدد ساعات سطوع كانت في فصل الصيف والربيع بمعدّل 12 ساعة سطوع شمسي يليها فصل الخريف بمقدار 10 ساعات وأخيراً فصل الشتاء بمقدار 8 ساعات.

يبين الشكل (9) الفرق في كميات الإشعاع الشمسي المتشتت المسجلة في فصول السنة الأربعة المختلفة، حيث يتّضح أنّ أكبر كمية لهذا الإشعاع بلغت ( $113 (W / m^2)$  في فصل الصيف يليها فصل الربيع ثمّ الخريف وأصغر كمية كانت ( $52 (W / m^2)$  في فصل الشتاء.



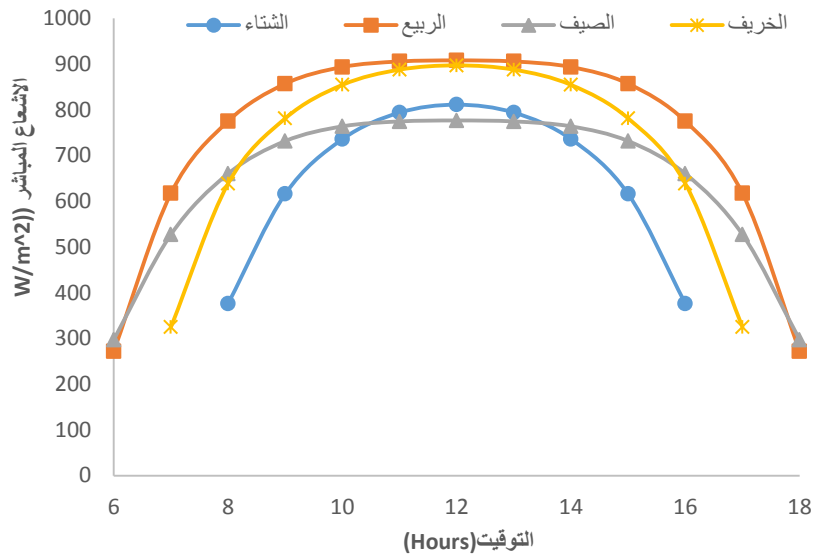
الشكل (9) الإشعاع الشمسي المتشتت في فصول السنة الأربعة

كذلك يوضّح الشكل (10) كميات الإشعاع الشمسي المنعكس الذي تلقاه السطح المدروس خلال الفصول الأربعة حيث نلاحظ أنّ أكبر كمية للإشعاع المنعكس ( $260 (W / m^2)$  كانت في فصلي الربيع والصيف يليها فصل الخريف وأخيراً كانت أصغر قيمة ( $152 (W / m^2)$  في فصل الشتاء.



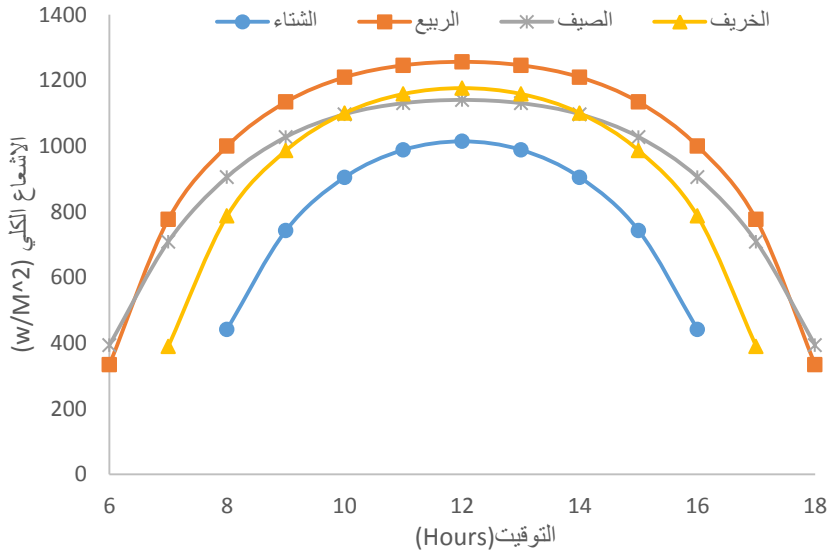
الشكل (10) الإشعاع الشمسي المنعكس في فصول السنة الأربعة

ويتبيّن من الشكل (11) أنّ أكبر قيم الإشعاع الشمسي المباشر كانت في فصل الربيع حيث بلغت ( $908 (W / m^2)$  وقد استمر السطح المدروس بتلقي هذه الكمية لأكثر من سبع ساعات من ساعات السطوع الشمسي، تكرر الأمر في فصل الصيف لكن قيم الإشعاع المباشر كانت أقل، وكانت أصغر تلك القيم تلك التي سجلت في فصل الشتاء.



الشكل (11) الإشعاع الشمسي المباشر في فصول السنة الأربعة

وفي النهاية نعرض في الشكل (12) قيم الإشعاع الشمسي الكلي المسجلة خلال الفصول الأربعة حيث نلاحظ أنّ القيم العظمى للإشعاع الشمسي الكلي كانت في فصل الربيع وتحديداً في شهر نيسان بالإضافة إلى عدد ساعات سطوع شمسي أطول من باقي الفصول ويلاحظ أيضاً تساوي قيم هذا الإشعاع في فصلي الصيف والخريف مع فارق بعدد ساعات السطوع الشمسي التي انخفضت في الخريف بمقدار ساعتين وكانت أصغر القيم المسجلة وأقل عدد ساعات سطوع في فصل الشتاء.



الشكل (12) الإشعاع الشمسي الكلي في فصول السنة الأربعة

## الاستنتاجات والتوصيات:

- تمّ التوصل من خلال هذه الدراسة إلى مجموعة من الاستنتاجات يمكن تلخيصها بالنقاط الآتية:
1. إنّ السطح المائل يتلقّى الإشعاعات الشمسية المختلفة في فصل الشتاء بدءاً من الساعة الثامنة صباحاً ويستمر بذلك حتى الساعة الرابعة بعد الظهر حيث بلغت أعظم شدة للإشعاع الشمسي الكلي  $1014 W / m^2$ .
  2. يزداد عدد ساعات السطوع الشمسي في فصل الربيع والصيف إلى 12 ساعة بدلاً من 8 ساعات في فصل الشتاء وبلغت أكبر كمية للإشعاع الشمسي الكلي في فصل الربيع  $1256 W / m^2$  وفي فصل الصيف  $1140 W / m^2$ .
  3. سُجلت زيادة واضحة في كمية الإشعاع الشمسي المنعكس في فصل الصيف حيث وصلت إلى  $251 W / m^2$  وانخفاض ملحوظ في كمية الإشعاع المباشر حيث وصل إلى  $776 W / m^2$  بدلاً من  $908 W / m^2$  في فصل الربيع، يعود ذلك لانحراف الشمس باتجاه الجنوب مما يتطلب تركيب أجهزة تتبع للسطح المائل المدروس وتغيير زوايا الميل  $\alpha$  بما يضمن زيادة كمية الإشعاع الشمسي المباشر الذي يتلقاه هذا السطح.
  4. انخفض عدد ساعات السطوع الشمسي في فصل الخريف بمقدار ساعتين وأصبحت 10 ساعات، كذلك انخفض عدد ساعات السطوع الشمسي في فصل الشتاء بمقدار أربع ساعات حيث أصبحت 8 ساعات عمّا كانت عليه في فصلي الربيع والصيف وهو 12 ساعة.
  5. بلغت أكبر كمية اشعاع مُشَتَّت خلال العام في فصل الصيف  $113 W / m^2$  يليها فصل الربيع  $87.5 W / m^2$  ثم فصل الخريف  $73.3 W / m^2$  وأخيراً كان فصل الشتاء  $52 W / m^2$ .
  6. بلغت أكبر كمية اشعاع مباشر في فصلي الربيع والخريف  $908 W / m^2$  يليها فصل الشتاء  $811 W / m^2$  وأخيراً فصل الصيف  $774 W / m^2$ .
  7. سُجلت أعظم قيم الإشعاع الشمسي الكلي في فصل الربيع حيث بلغت  $1256 W / m^2$  يليه فصل الخريف  $1158 W / m^2$  ثم فصل الصيف  $1140 W / m^2$  وأخيراً كان فصل الشتاء  $1014 W / m^2$ .

## المراجع:

- [1] TARISH, O. J. *A Study of the Changes of the Total Solar Radiation above Baghdad City by Using Satellite Antenna Data*. Ibn Al-Haitham Journal for pure & appl. Sci. vol. 22, N3 (2009).
- [2] Lee, K.; LEVERMORE, G. *Estimation of surface solar irradiation using sky view factor, sunshine factor and solar irradiation models according to geometry and buildings*. International Conference on Building Energy, Environment (2018).
- [3] LI, D.H.W.; LOU, S.W.; LAM, J.C. *An Analysis of Global, Direct and Diffused Solar radiation*. In Energy Procedia; Elsevier B.V.; Amsterdam, The Netherlands, volume 75, pp. 388-393, (2015).
- [4] MUZATHIK, A. M. *Daily Global Radiations Estimate Based on Sunshine Hours*. International Journal of Mechanical and Materials Engineering volume 6 N 1 (2011).
- [5] AYODELE, T. R. OGUNJUYIGBE, A. S. O. *Prediction of Monthly Average Global Solar Radiation Based on Statistical Distribution of Clearness Index*. Energy (2015), volume 90, pp. 1733-1742.

- [6] ENGERER, N. A. *Minute Resolution Estimates of the Diffuse Fraction of Global Irradiance for southeastern Australia*. Sol. Energy (2015), volume 116, pp. 215-237
- [7] SOUZA, A. P.; ESCOBEDO, G. F. *Estimates of Hourly Diffuse Radiation on Tilted Surfaces in Southeast of Brazil*. Int. J. Renew. Energy Res. (2013) volume 3, pp. 207-221.
- [8] LEE, K.; UYOO, H.; LEVERMORE, G. J. *Quality Control and Estimation Hourly Solar Irradiation of Inclined Surfaces in South Korea*. Renew. Energy (2013), volume 57, pp. 190-199
- [9] JAFARKAZEMI, F.; SAADABADI, S.A. *Optimum Tilt Angle and Orientation of Solar Surfaces in Abu Dhabi, UAE*. Renew. Energy (2013), volume 56, pp. 44-49.
- [10] RYAD, M.; MARTIN, H.; SIEFAN, R.; GUNTHER, S. *Comparison of Modelled and Measured Tilted Solar Irradiance for Photovoltaic Applications*. MDPI, ENERGIES, Received: 9 August 2017; Accepted: 16 October 2017; Published: 25 October (2017).