

حساب كمية الإشعاع الشمسي الساعي المباشر الوارد على أسطح مائلة وأفقية وعمودية في مدينة اللاذقية

الدكتور رزق محمد قرفول*

تاريخ الإيداع 14 / 4 / 2019. قُبل للنشر في 23 / 5 / 2019

□ ملخص □

تمت في هذا البحث وضع طريقة رياضية بمساعدة الحاسوب لحساب كمية الإشعاع الشمسي الساعي الوارد على أسطح مائلة وأفقية وعمودية لمدينة اللاذقية، والتي يمكن تطبيقها على أرض الواقع بهدف استخدام ألواح الخلايا الفوتو فولتية للحصول على الطاقة الكهربائية اللازمة لتغذية الاحمال المطلوبة، تمّ الاعتماد على بعض البيانات الخاصة مثل: الارتفاع عن سطح البحر، وزاويتي خط العرض وخط الطول، وزاوية المنحدر. وقد أظهرت النتائج أنّ كمية الإشعاع الشمسي المباشر الواردة على مدينه اللاذقية كانت تتراوح بين $[0-945] \text{ W/m}^2$. كما بيّنت الدراسة أنّ قيم زاوية المنحدر تؤثر على كمية الإشعاع المباشر الساعي بشكل عكسي.

الكلمات المفتاحية: الإشعاع الشمسي المباشر، الزوايا الشمسية، الخلايا الفوتو فولتية، أسطح مائلة وافقيه وعمودية، زاوية ميل السطح المدروس.

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

The calculation of the hourly direct solar radiation incident on tilted, horizontal and vertical surfaces in Lattakia city

Dr. Rizek Karfoul*

(Received 14 / 4 / 2019. Accepted 23 / 5 /2019)

□ ABSTRACT □

In this research, a mathematical method was established by means of a computer to calculate the quantity of the hourly solar radiation incident on tilted, horizontal and vertical surfaces in Lattakia city, which can be applied for the unit area to use the photovoltaic cell panels in order to produce electrical energy required to provide energy the loaded needed. Some special data is considered as the height above sea level, the longitude, the latitude and the slope angles, and the order of the days in the year. The results showed that the direct radiation quantity incident on Lattakia city was rating between [945-0] W/m². The study also proves that the slope angle affects reflexively on the hourly direct radiation quantity.

Key Words: Direct Solar Radiation, Solar Angles, Photovoltaic Cells, Tilted, horizontal and vertical surfaces, Slope Angle.

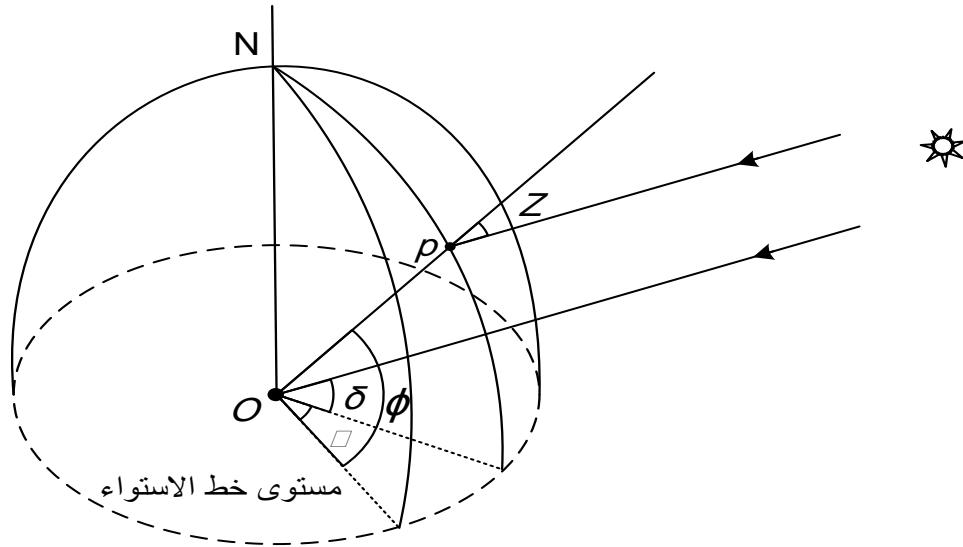
* Assistant Professor, Department of Physics, Faculty of science, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

تستقبل الأرض كمية كبيرة جداً من الطاقة على شكل اشعاع شمسي بمعدل $8 \times 10^{16} W$ وهذه الكمية تزيد 10000 ضعف عن حاجة العالم الحالية من الطاقة. من هنا تأتي أهمية دراسة وحساب كمية الاشعاع الشمسي الساعي المباشر وغير المباشر كونه يدخل في عملية تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية أو استخدامها في الخلايا الفوتو فولتية [1]، لا يمكن التحكم بكمية الاشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأرض فهي متغيرة بصورة مستمرة وتؤثر بها عدة عوامل أهمها:

(1) الثابت الشمسي extraterrestrial solar radiation : هو معدل الطاقة الشمسية على وحدة المساحة الواردة على سطح موضوع بشكل عمودي على مسار الأشعة الشمسية خارج الغلاف الجوي للأرض وكانت أول قيمة مقياس لهذا الثابت هي $1353 W / m^2$ [2]، لكن وباستخدام المركبات الفضائية تم قياس هذا الثابت من قبل باحثين آخرين ووجدوا أن قيمه هي $1373 W / m^2$ [2]، و $1368 W / m^2$ أما المركز العالمي للاشعاع فقد تبنت قيمة $1367 W / m^2$ [2]، وهي ما زالت معتمدة حتى الآن.

(2) زاوية خط العرض (ϕ): وهي الموضع الزاوي للمنطقة المدروسة بالنسبة إلى مستوي خط الاستواء شكل (1) وقيمها تتراوح في المجال $(-90^\circ) \leq \phi \leq (+90^\circ)$.



الشكل (1) الزوايا الشمسية δ و ϕ و ω و Z .

(3) زاوية الارتفاع الشمسي (β): وهي الزاوية بين الشعاع الشمسي ومستوي السطح المدروس شكل (2) وقيمها تتراوح في المجال $(0^\circ) \leq \beta \leq (90^\circ)$ وتعطى بدلالة زاوية خط العرض (ϕ) وزاوية ميل الشمس (δ) وزاوية الوقت (ω) وفق العلاقة التالية [3]:

$$\sin(\beta) = \cos(\delta) \cos(\phi) \cos(\omega) + \sin(\delta) \sin(\phi) \quad (1)$$

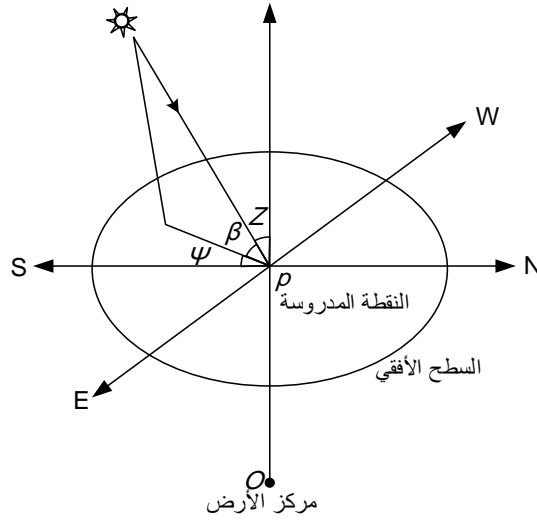
(4) زاوية السمات الشمسي الرأسية (Z): وهي الزاوية بين الشعاع الشمسي والناظم على سطح الأرض شكل (2) وترتبط بزاوية الارتفاع الشمسي (β) بالعلاقة التالية $Z = 90 - \beta$ [3]:

(5) زاوية خط الطول (L) وهي الموضع الزاوي للمنطقة المدروسة بالنسبة إلى مستوى خط الطول الرئيسي غرينتش وقيمها تتراوح في المجال $(-180^\circ) \leq L \leq (+180^\circ)$.

(6) زاوية ميل الشمس (δ): وهي الزاوية عند الظهر وتقع بين الشعاع الشمسي ومستوى خط الاستواء شكل (1) وقيمها تتراوح في المجال $(-23.45^\circ) \leq \delta \leq (+23.45^\circ)$ وتعطى بالعلاقة [3] التالية:

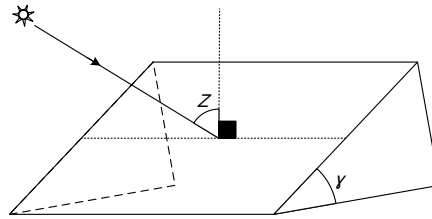
$$\delta = +23.45 \sin\left(\frac{N - 80}{370} \times 360\right) \quad (2)$$

N : رقم اليوم في السنة ويأخذ القيم من (1) إلى (365).



الشكل (2) الزوايا الشمسية ψ و β و Z .

(7) زاوية ميل السطح المدروس (المنحدر) (γ) وهي الزاوية بين السطح الذي يتلقى الإشعاع الشمسي ومستوى الأرض شكل (3) وقيمها تتراوح في المجال $(0^\circ) \leq \gamma \leq (180^\circ)$. [3].



الشكل (3) زاوية ميل السطح المدروس (المنحدر) γ وزاوية السمات الرأسية

(8) زاوية السمات الشمسية الأفقية (ψ): هي الزاوية المقاسة في المستوي الأفقي بين الجنوب ومسقط أشعة الشمس وقيمها تتراوح في المجال $(-180^\circ) \leq \psi \leq (+180^\circ)$ وتعطى بالعلاقة [3] التالية:

$$\sin(\psi) = \frac{\cos(\delta) \sin(\omega)}{\cos(\beta)} \quad (3)$$

(9) زاوية الورود (السقوط) الشمسي (θ): وهي الزاوية بين الشعاع الشمسي الوارد على السطح المدروس والناظم المقام على هذا السطح شكل (3) وتترواح قيمها في المجال $(0^\circ) \leq \theta \leq (180^\circ)$ وتعطى بالمعادلة [3,4] التالية:

$$\cos(\theta) = \cos(\beta)\cos(\psi)\sin(\gamma) + \sin(\beta)\cos(\gamma) \quad (4)$$

(10) زاوية الوقت الشمسي (ω): وهي من أهم الزوايا الشمسية المستخدمة في حساب الاشعاع الشمسي وتعرّف على أنّها الزاوية الواجب أن تدورها الأرض لتصبح النقطة المدروسة تحت الشمس مباشرةً وهي الزاوية المقاسة على مستوى خط الاستواء بين مسقط خط الطول ومسقط الخط الواصل بين مركزي الأرض والشمس شكل (1) وتحسب بدلالة الوقت الشمسي المحلي (LST) الذي يقاس بالساعات وتعطى بالمعادلة التالية [3,4]:

$$\omega = 15^\circ (LST - 12) \quad (5)$$

ويعطى الوقت الشمسي المحلي (LST) بالعلاقة التالية:

$$LST = LT + \frac{TC}{60} \quad (6)$$

حيث LT هو الوقت المحلي للمنطقة المدروسة ويعطى بالساعات.

و TC معامل تصحيح الزمن بالدقائق ويعطى بالمعادلة:

$$TC = 4(L - LSTM) + EOT \quad (7)$$

يُمثل L هنا خط الطول الجغرافي للمنطقة المدروسة.

و $LSTM$ خط الطول القياسي للوقت المحلي ويعطى بالمعادلة:

$$LSTM = 15(\Delta T_{GMT}) \quad (8)$$

ΔT_{GMT} : الفرق بين التوقيت المحلي للمنطقة المدروسة وتوقيت غرينتش بالساعات.

EOT : معادلة الوقت (الوحدة بالدقيقة) ويتم حسابها كما يلي:

$$EOT = 9.87 \sin(2D) - 7.53 \cos(D) - 1.5 \sin(D) \quad (9)$$

D : مقدار ثابت ودالة في رقم اليوم من السنة وواحدتها بالدرجات وتعطى بالعلاقة التالية:

$$D = \frac{360}{365}(N - 80) \quad (10)$$

■ الاشعاع الشمسي المباشر I_D

يتأثر الاشعاع الشمسي عند دخوله الغلاف الجوي للأرض بالزوايا الشمسية التي تمّ شرحها ويطلق عليه عند وصوله مباشرة إلى سطح الأرض دون أن يعاني أي انعكاس أو تشتت بالإشعاع الشمسي المباشر ويعرّف بأنه كمية الاشعاع في وحدة المساحة الواردة على سطح مائل موجود في مكان ما، ويعطى بالعلاقة التالية [5,6]:

$$I_D = \frac{A \times \cos \theta}{\exp\left(\frac{P_L}{P_0} \frac{B}{\sin \beta}\right)} \quad (11)$$

حيث أنّ $\frac{P_L}{P_0}$ هي النسبة بين الضغط الجوي في الموقع المدروس إلى الضغط الجوي النظامي ويعط بدلالة ارتفاع

الموقع عن سطح البحر h :

$$\frac{P_L}{P_0} = \exp(-0.0001184h) \quad (12)$$

A شدة الاشعاع الشمسي وتعطى بالمعادلة [7] التالية:

$$A = 1158 \left[1 + 0.066 \cos \left(\frac{360N}{370} \right) \right] \quad (13)$$

B معامل تلاشي الاشعاع في الغلاف الجوي ويعطى بالمعادلة التالية [7,8] :

$$B = 0.175 [1 - 0.2 \cos(0.93N)] - 0.045 [1 - \cos(1.95N)] \quad (14)$$

يسمى الاشعاع الشمسي المعرف بالعلاقة (11) بالإشعاع الشمسي المباشر الوارد على سطح مائل وعندما يكون هذا السطح أفقياً تصبح زاوية المنحدر (ميل السطح) $\gamma = 0$ وبالتالي تصبح علاقة زاوية السقوط الشمسي θ المعرفة بالعلاقة (4) كما يلي: $\cos \theta_H = \sin \beta$ وتؤول المعادلة (11) إلى الشكل التالية:

$$I_{DH} = \frac{A \times \sin \beta}{\exp \left(\frac{P_L}{P_0} \frac{B}{\sin \beta} \right)} \quad (15)$$

يسمى الاشعاع الشمسي المعرف بالعلاقة السابقة بالإشعاع الشمسي الوارد على سطح أفقي. وعندما يكون السطح المستخدم عمودياً على سطح الأرض تكون زاوية المنحدر $\gamma = \frac{\pi}{2}$ وعليه تصبح العلاقة (4) كما يلي:

$$\cos(\theta_v) = \cos(\beta) \cos(\psi) \quad (16)$$

وبعد التعويض عن ذلك في المعادلة (11) تصبح العلاقة التي يحسب من خلالها الشعاع الشمسي الوارد على سطح عمودي كما يلي [9]:

$$I_{DV} = \frac{A \times \cos \beta \times \cos \psi}{\exp \left(\frac{P_L}{P_0} \frac{B}{\sin \beta} \right)} \quad (17)$$

أهمية البحث وأهدافه:

- نظراً للدور البارز الذي يلعبه الاشعاع الشمسي المباشر الوارد على سطح في الكثير من التطبيقات الخاصة بالطاقة الشمسية مثل توليد الكهرباء بوساطة الخلايا الفوتو فولتية لذلك كان الهدف من هذا البحث
1. إيجاد طريقة رياضية خاصة من أجل حساب الاشعاع الشمسي المباشر الوارد على أسطح مائلة وأفقية وعمودية في مدينة اللاذقية والتي يمكن تطبيقها باستخدام ألواح الخلايا الفوتو فولتية بهدف الحصول على الطاقة الكهربائية اللازمة لتغذية الأحمال المطلوبة.
 2. تحليل ودراسة تأثير الاشعاع الشمسي في الحسابات المتعلقة بالمنظومات الشمسية التي تستخدم في عمليات توليد الكهرباء من الخلايا الفوتو فولتية.
 3. دراسة وتحليل تأثير زاوية الانحدار على كمية الاشعاع الشمسي المباشر الوارد بهدف اختيار الزاوية المثلى.

طرائق البحث ومواده:

أُجريت هذه الدراسة على أسطح مائلة وأفقية وعمودية في مدينة اللاذقية حيث تمّ حساب الاشعاع الشمسي الساعي المباشر الوارد بالاعتماد على الحاسوب على مدار أربعة أشهر كاملة منفصلة يمثّل كل منها فصلاً مستقلاً من الفصول الأربعة من العام لمدينة اللاذقية.

وتمّ أيضاً حساب الاشعاع الشمسي المباشر الوارد على سطح مائل بدلالة زاوية المنحدر (γ) خلال ساعات النهار من كل شهر من الأشهر الأربعة الممثلة للفصول الأربعة وذلك على مدار ساعات النهار.

النتائج والمناقشة:

إنّ النتائج التي تمّ التّوصل إليها اعتمدت على بعض الفرضيات ومن أهمها أنّ الحسابات جرت في يوم مشمس لا تتخلله الغيوم ولا وجود لتأثير ظلال الأشجار والأبنية على المكان المدروس.

أولاً حساب الاشعاع الشمسي المباشر على أسطح مائلة وأفقية وعمودية:

فُمنّا بحساب الاشعاع الشمسي المباشر على أسطح مائلة وأفقية وعمودية في مدينة اللاذقية الواقعة على خط عرض $\phi = 35.51^\circ$ ، وخط طول $L = 35.78^\circ$ كما ونظراً لكونها مدينة ساحلية تقع على شاطئ البحر الأبيض المتوسط مباشرة فإنّ ارتفاع الموقع المدروس $h = 0$.

نشير أنّه تمّ ادخال الكثير من المعلومات الأخرى إلى الحاسب وهي:

ترتيب اليوم في العام $N = 1-31$ لشهر كانون الثاني و $N = 91-120$ لشهر نيسان و $N = 182-212$ لشهر تموز و $N = 274-304$ لشهر تشرين الأول.

عند حساب كمية الاشعاع الشمسي الساعي المباشر على السطح المائل فرضنا زاوية ميل السطح $\gamma = 35^\circ$ وأنّه موجّه باتجاه الجنوب حيث تكون زاوية قوس السماء للسطح المدروس $\alpha = 0$ (وهي الزاوية بين مسقط الناظم على السطح المائل والجنوب)، وتمّ اختيار ساعات النهار ابتداءً من الساعة السادسة صباحاً إلى الساعة الخامسة مساءً.

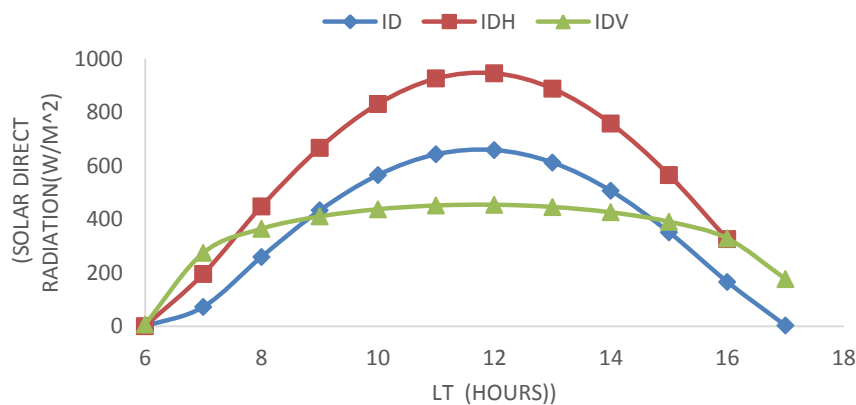
أُجريت الحسابات على مدار أربع أشهر كاملة منفصلة تمثّل فصول العام وهي كانون الثاني ونيسان وتموز وتشرين الأول. يبيّن الجدول (1) كمية الاشعاع الشمسي الوارد لكل m^2 بشكل ساعي ومباشر على سطح مائل I_D و سطح أفقي I_{DH} و سطح عمودي I_{DV} لشهر كانون الثاني الذي يمثّل فصل الشتاء ويوضّح الشكل (4) تغيّرات هذا الاشعاع الوارد خلال ساعات النهار ابتداءً من الساعة السادسة صباحاً وحتى الساعة الخامسة مساءً.

الجدول (1) كمية الاشعاع الشمسي المباشر الوارد على الأسطح المدروسة عن شهر كانون الثاني

LT (hours)	I_D (W / m^2)	I_{DH} (W / m^2)	I_{DV} (W / m^2)
6	0	0.46	4.7
7	69.6	191.7	272.2
8	256.5	444.7	363.6
9	430.8	664.7	410.0
10	563.8	829.3	437.2
11	642.2	925.6	451.4

12	659.1	946.3	454.3
13	613.2	890.0	446.2
14	508.3	760.8	426.3
15	354.0	568.4	391.3
16	168.8	329.4	329.8
17	4.1	77.9	180.6

يُشير الجدول (1) إلى أنّ قيم كمية الاشعاع الشمسي تكون أقل ما يمكن في ساعات النهار الأولى (صفر عند ساعات الشروق) ويعود السبب في ذلك إلى اختلاف موقع الشمس بالنسبة إلى سطح الأرض أي تأثير زاوية الورود الشمسي θ وبالتالي مقدار الأشعة الواردة في حين نجد أنّ أعظم قيم لكمية الاشعاع تحدث عند منتصف النهار (حوالي الساعة الثانية عشرة) ولجميع الأسطح المائلة والأفقية وعمودية حيث أنّ الأشعة الشمسية المارة خلال الغلاف الجوّي تعبره بأقصر طريق لها في حين يكون طريقها أطول ما يمكن عند ساعات الشروق والغروب مما يعرضها إلى الامتصاص والتشتت بواسطة مكونات الغلاف الجوّي عند تلك المسارات الطويلة. كذلك يتّضح من المنحني البياني أنّ قيم الاشعاع الشمسي المباشر الوارد على سطح أفقي هي أكبر من الاشعاع الوارد على سطح مائل أمّا قيم الاشعاع الشمسي الوارد على سطح عمودي فكانت متواضعة جداً وهذا ما يتفق مع المراجع [10,11].



الشكل (4) الاشعاع الشمسي الساعي المباشر الوارد على أسطح مائلة وأفقية وعمودية عن شهر كانون الثاني

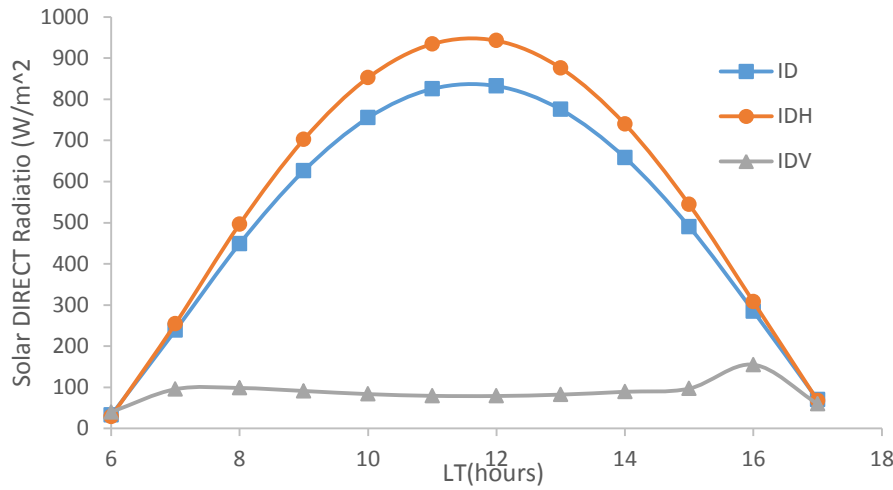
بيّن الجدول (2) كمية الطاقة الشمسية المباشرة الواردة لكل m^2 للأسطح المذكورة لشهر نيسان الذي يمثّل فصل الربيع

الجدول (2) كمية الاشعاع الشمسي المباشر الوارد على الأسطح المدروسة عن شهر نيسان

LT (hours)	I_D (W / m^2)	I_{DH} (W / m^2)	I_{DV} (W / m^2)
6	32.3	28.46	39.97
7	238.53	254.58	95.48
8	448.99	496.53	98.45
9	626.28	702.36	91.16
10	754.88	852.26	83.54
11	825.24	934.31	79.34
12	832.13	942.34	78.96
13	775.04	875.74	82.3

14	658.15	739.51	89.21
15	490.2	544.3	96.93
16	284.97	307.75	155.05
17	69.75	67.84	59.74

ويوضّح الشكل (5) تغيّرات هذا الاشعاع الوارد خلال ساعات النهار ابتداءً من الساعة السادسة صباحاً وحتى الساعة الخامسة مساءً، حيث يُلاحظ أنّ قيم الاشعاع الشمسي للسطح العمودي انخفضت بنسبة 75% عما كانت عليه في شهر كانون الثاني، وارتفعت للسطح المائل بنسبة 25%. بينما بقيت ثابتة تقريباً للسطح الأفقي، يعود ذلك إلى انخفاض مقدار الاشعاع الشمسي الخارجي، وتغير زاوية ميل الشمس δ من قيم سالبة إلى قيم موجبة ما أدى إلى زيادة زاوية الورود الشمسي θ .



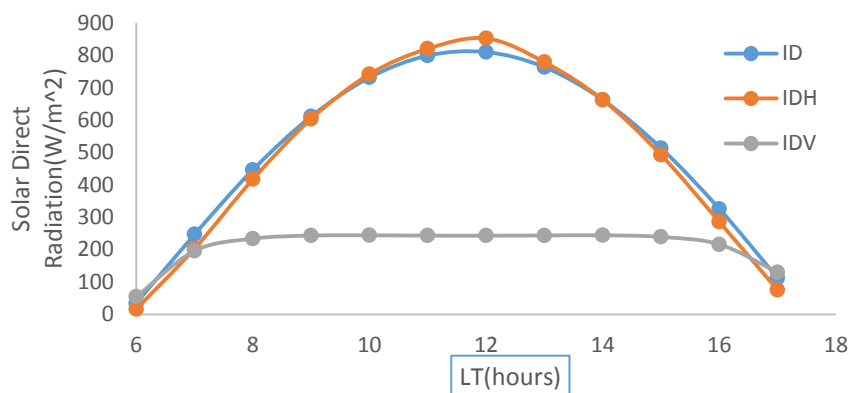
الشكل (5) الاشعاع الشمسي الساعي المباشر الوارد على أسطح مائلة وأفقية وعمودية عن شهر نيسان

يبين الجدول (3) كمية الاشعاع الشمسي الوارد لكل m^2 بشكل ساعي ومباشر على سطح مائل I_D و سطح أفقي I_{DH} و سطح عمودي I_{DV} لشهر تموز الذي يمثل فصل الصيف ويوضّح الشكل (3) تغيّرات هذا الاشعاع الوارد خلال ساعات النهار ابتداءً من الساعة السادسة صباحاً وحتى الساعة الخامسة مساءً، ويُلاحظ أنّ قيم الاشعاع الشمسي على السطحين المائل والأفقي متقاربة جداً بينما قيم هذا الاشعاع على السطح العمودي صغيرة نسبياً ويعود ذلك كون زاوية سمت الشمس الرأسية Z تتغير تباعاً مع تغير تسلسل اليوم حيث لوحظ أنّ أكبر تغير هي تلك القيم الواقعة في شهر تموز وتتراوح هذه القيم من 70° إلى 10° عند ساعات الظهر وبالتالي فإنّ طول المسار الضوئي سيكون أصغر ما يمكن وبالتالي ستكون الخسائر الحاصلة في الطاقة الشمسية أصغر ما يمكن في فصل الصيف.

الجدول (3) كمية الاشعاع الشمسي المباشر الوارد على الأسطح المدروسة عن شهر تموز

LT (hours)	$I_D (W / m^2)$	$I_{DH} (W / m^2)$	$I_{DV} (W / m^2)$
6	34.49	16.70	54.91
7	247.26	203.15	196.30

8	446.55	417.41	234.00
9	611.34	603.69	243.44
10	731.43	741.95	244.28
11	799.14	820.52	243.31
12	810.08	852.34	243.07
13	763.54	779.17	243.92
14	662.54	662.45	244.24
15	513.58	492.60	239.30
16	325.98	285.66	216.34
17	112.32	75.09	130.33

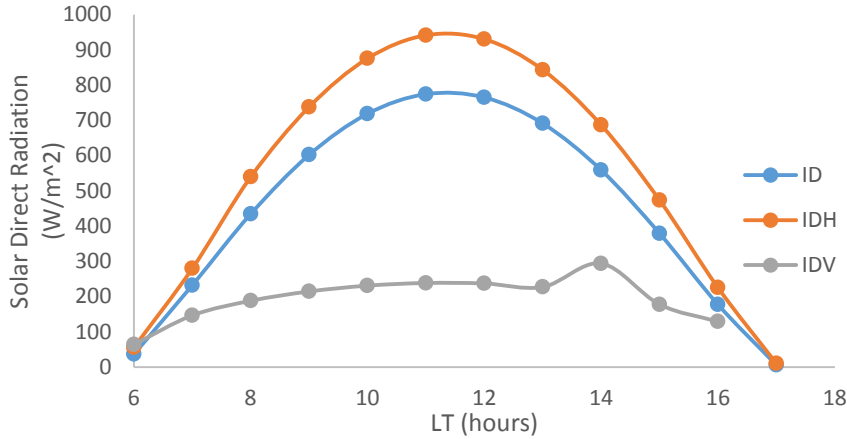


الشكل (6) الإشعاع الشمسي الساعي المباشر الوارد على أسطح مائلة وأفقية وعمودية عن شهر تموز

يبين الجدول (4) والشكل (7) الطاقة الشمسية الواردة لكل m^2 لشهر تشرين الأول الذي يمثل فصل الخريف حيث نلاحظ كمية الإشعاع الشمسي للسطحين المائل والأفقي هي أكبر مما كانت عليه في تموز ان وهذا يعود للتغير الحاصل في زاوية ميل الشمس.

الجدول (4) كمية الإشعاع الشمسي المباشر الوارد على الأسطح المدروسة عن شهر تشرين الأول

$LT (hours)$	$I_D (W / m^2)$	$I_{DH} (W / m^2)$	$I_{DV} (W / m^2)$
6	36.65	55.6	64.32
7	232.32	279.99	146.74
8	434.53	539.49	188.15
9	602.23	738.16	214.66
10	718.75	875.78	231.14
11	774.47	941.52	238.64
12	765.09	930.44	237.37
13	691.33	843.37	227.29
14	558.98	686.88	294.04
15	379.31	473.65	177.92
16	177.49	225.23	129.03
17	5.8	10.21	19.7



الشكل (7) الاشعاع الشمسي الساعي المباشر الوارد على أسطح مائلة وأفقية وعمودية عن شهر تشرين الأول

وبالنتيجة نجد أن السطح الأفقي يتلقى أكبر كمية اشعاع شمسي مباشر من السطحين الآخرين المائل والعمودي خلال الأشهر الأربعة التي تم حساب هذا الاشعاع عندها وبالتالي يكون استخدام الألواح الشمسية في الوضعية الأفقية أفضل من استخدامها في باقي الأوضاع.

ثانياً حساب الاشعاع الشمسي المباشر عند تغيير زاوية ميل السطح المدروس.

تم حساب الاشعاع الشمسي المباشر الوارد على سطح مائل عند قيم مختلفة لزوايا المنحدر γ في اليوم الخامس عشر من الأشهر كانون الثاني ونيسان وتموز وتشرين الأول في أوقات الصبح والظهر والعصر وحصلنا على القيم المبينة في الجداول (5) و(6) و(7) و(8) على الترتيب.

الجدول (5) الاشعاع الشمسي في 15 كانون الثاني

$\gamma(^{\circ})$	8 صباحاً	11 ظهراً	14 مساءً
5	93.2	240.9	49.1
10	89.8	234.9	46.4
15	84.1	225.1	42.1
20	76.2	211.2	36
25	66.1	193.7	28.5
30	53.9	172.5	19.3
35	39.8	147.8	8.7
40	23.8	119.9	0
45	6.1	88.9	0
50	0	55.1	0
55	0	18.6	0
60	0	0	0

الجدول(6) الاشعاع الشمسي في 15 نيسان

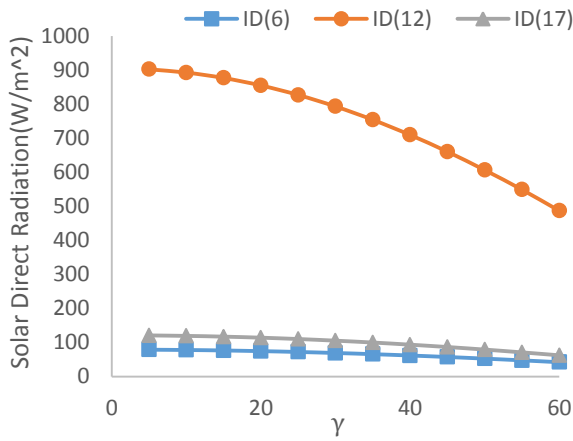
$\gamma(^{\circ})$	6 صباحاً	12 ظهراً	17 مساءً
5	79.25	901.98	121.2
10	78.4	892.46	119.8
15	77	876.7	117.6
20	75.07	854.7	114.5
25	72.6	826.8	110.6
30	69.62	793.1	105.8
35	66.16	753.9	100.3
40	62.23	709.5	94
45	57.87	660.3	87.1
50	53.11	606.3	79.6
55	47.99	548.9	71.4
60	42.55	486.9	62.8

الجدول(8) الاشعاع الشمسي في 15 تشرين الأول

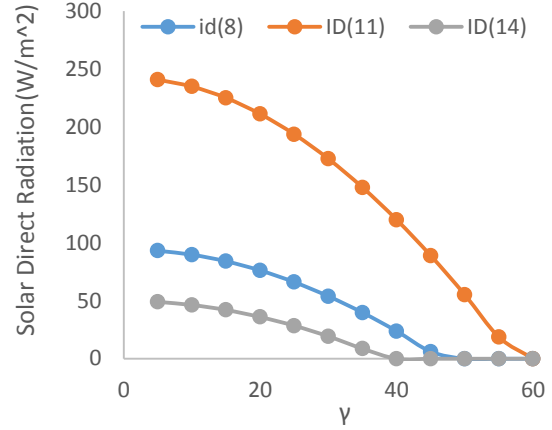
$\gamma(^{\circ})$	7 صباحاً	11 ظهراً	16 مساءً
5	106.42	549.08	66.3
10	104.64	541.68	65.27
15	102.22	529.43	63.56
20	98.58	512.4	61.2
25	93.95	490.72	58.19
30	88.36	464.57	54.55
35	81.85	434.13	50.32
40	74.48	399.65	45.53
45	66.3	361.38	40.21
50	57.37	319.62	34.4
55	47.77	274.68	28.16
60	37.56	226.9	21.52

الجدول(7) الاشعاع الشمسي في 15 تموز

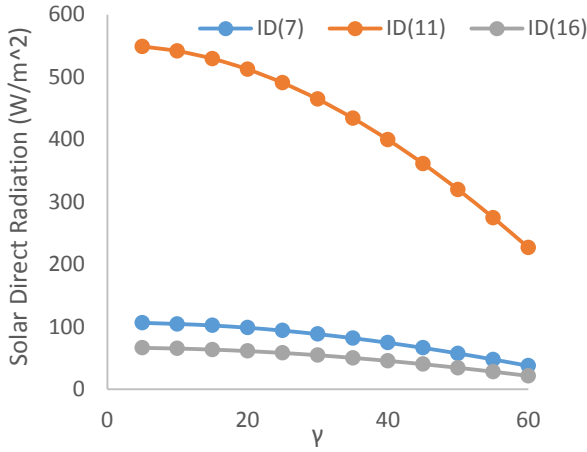
$\gamma(^{\circ})$	6 صباحاً	12 ظهراً	18 مساءً
5	183.39	917.74	79.66
10	181.84	908.13	79.16
15	179.27	892.21	78.32
20	175.7	870.08	77.16
25	171.15	841.91	75.68
30	165.67	807.93	73.9
35	159.28	768.39	71.82
40	152.05	723.59	69.47
45	144.02	673.87	66.86
50	135.26	619.61	64.01
55	125.84	561.21	60.95
60	115.82	499.13	57.69



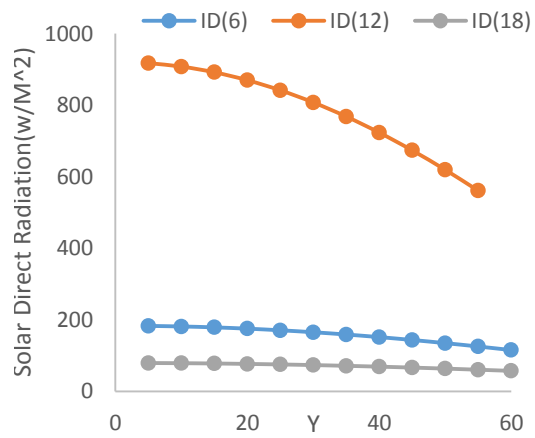
الشكل(9) الاشعاع الشمسي في (15) نيسان



الشكل(8) الاشعاع الشمسي في 15 كانون الثاني



الشكل(11) الاشعاع الشمسي في (15) تشرين الأول



الشكل(10) الاشعاع الشمسي في 15 تموز

يوضّح الشكل (8) تغيرات قيم الاشعاع الشمسي بدلالة زاوية المنحدر يوم الخامس عشر من شهر كانون الثاني حيث يُلاحظ أنّ أكبر قيمة لشدة الاشعاع كانت بحدود $I_D = 240.9 \text{ W/m}^2$ عند الساعة الحادية عشرة ظهراً وزاوية المنحدر $\gamma = 5^\circ$ ومن الشكل (9) لُوحظ أنّ أكبر قيمة لشدة الاشعاع في الخامس عشر من شهر نيسان كانت $I_D = 901.98 \text{ W/m}^2$ عند الساعة الثانية عشرة ظهراً وزاوية المنحدر $\gamma = 5^\circ$ أما الشكل (10) فيظهر أنّ أكبر قيمة لشدة الاشعاع هذه في شهر تموز كانت $I_D = 917.74 \text{ W/m}^2$ عند الساعة الحادية عشرة ظهراً وزاوية المنحدر $\gamma = 5^\circ$ وأخيراً يظهر الشكل (11) أنّ أكبر قيمة لشدة الاشعاع كانت $I_D = 549.08 \text{ W/m}^2$ عند الساعة الثانية عشرة ظهراً وزاوية المنحدر $\gamma = 5^\circ$.

تبيّن أيضاً أنّ قيم شدّات الاشعاع الشمسي المباشر تتغير بشكل واضح عكسياً مع زاوية المنحدر ابتداءً من الزاوية 5° وحتى الزاوية 60° عدد أوقات الصباح والظهر والعصر وهذا ما تؤكده الجداول (5) و(6) و(7) و(8).

الاستنتاجات والتوصيات:

- تمّ من خلال هذه الدراسة التوصل إلى الاستنتاجات التي يمكن تلخيصها بالنقاط التالية:
1. تتأثر شدة الإشعاع الشمسي المباشر الوارد على مدينة اللاذقية بموقعها الجغرافي وبزاوية السقوط الشمسي.
 2. تبين أنّ قيم شدة الإشعاع الشمسي كانت هي الأكبر بالنسبة للسطح الأفقي يليها السطح المائل وأخيراً السطح العمودي، لذلك ينصح باستخدام الأسطح الأفقية عند تجهيز مجمعات شمسية بهدف الحصول على الكهرباء.
 3. كلما انتقلنا بالتوقيت من فصل الشتاء إلى فصل الربيع فالخريف فالصيف فإنّ قيم شدة الإشعاع الشمسي المباشر الوارد تزداد للسطحين الأفقي والمائل بينما تكون أكبر قيم شدة الإشعاع الشمسي المباشر الوارد على السطح العمودي في شهر كانون الثاني.
 4. عند مقارنة قيم شدة الإشعاع الشمسي الوارد على سطح مائل بدلالة زاوية الميل وُجد أنّ هذه القيم تنخفض إلى ما دون النصف عند الانتقال من الزاوية الأصغر إلى الزاوية الأكبر في أغلب فصول السنة.
 5. لوحظ أنّه لم تُسجل قيم لشدة الإشعاع الشمسي عند زوايا ميل أكبر من القيمة 35° درجة بعد الساعة الرابعة عشرة شتاءً.
 6. سُجلت أكبر قيم للإشعاع الشمسي الوارد على سطح مائل عند الساعة الحادية عشرة في شهري كانون الثاني وتشرين الأول بينما كانت أكبر قيم الإشعاع الشمسي عند الساعة الثانية عشرة في شهري نيسان وتموز.
 7. يمكن تطبيق المعادلات المستخدمة في هذه الدراسة لأي منطقة من مناطق الجمهورية العربية السورية بعد ادخال القيم الخاصة بالموقع الجغرافي والبيانات المناخية.
 8. يمكن استكمال هذه الدراسة بإجراء حسابات للإشعاع الشمسي الكلي الوارد على أسطح مختلفة وفي مناطق ترتفع عن سطح البحر بغية المقارنة.

المراجع:

- [1] 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).
- [2] JUAN, F.; ORAN, R.; Peter, A. Fox. *Calculation of Solar Irradiances I. Synthesis of the solar Spectrum* the Astrophysical Journal, June 10 (1999)
- [3] د. كاميليا يوسف محمد، د. محمد صلاح السبكي-جمهورية مصر العربية، الطاقة الكهرو شمسية، وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، (2016)، ص (39-50).
- [4] رسول رمضان عتاب، "حساب وتحليل كمية الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على السطح الأفقي لمدينة الناصرية" مجلة علوم ذي قار المجلد (2) العدد (1)، (2010).
- [5] SHUKLA, K.N.; SUDHAKAR, K.; RANGNEKAR, S. *Estimation and Validation of Solar Radiation Incident on Horizontal and Tilted Surface at Bhopal, Madhya Pradesh, India*. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci., 15 (1): 129-139, (2015)
- [6] ISLAM, M.A.; ALAM, M.S.; SHARKER, K.K.; NANDI, S.K. S. *Estimation of Solar Radiation on Horizontal and Tilted Surface over Bangladesh*. Computational Water, Energy, and Environmental Engineering, (2016), 5, 54-69 Published Online April (2016) in SciRes.

- [7] EMANUELE, C. *An Algorithm to Determine the Optimum Tilt Angle of a Solar Panel from Global Horizontal Solar Radiation*. Hindawi Publishing Corporation Journal of Renewable Energy Volume12, (2013).
- [8] 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).
- [9] AGGARWAL, R.K. *Estimation of Total Solar Radiation on Tilted Surface*. Journal of Environmental Engineering and Technology vol. 2, N. 1, January (2013)
- [10] HANIF, M.; KHATTAK, M.K.; RAHMAN, M. *Modeling the Solar Irradiance at Different Tilts in Peshawar, Pakistan*". ISESCO JOURNAL of Science and Technology Vol. 10, N. 17, May (56-60) (2014).