

دراسة تجريبية للاقط شمسي مسطح في مدينة دمشق

د. م. محمد صادق الجوهري* و د. م. نصر ياسين**

الملخص

يحدّد الأداء الحراري للاقط الشمسي تجريبياً باختباره على منصة اختبار تعمل وفق إجراءات احدى المواصفات القياسية العالمية المعتمدة وغالباً ما تجرى هذه الاختبارات في الحالة المستقرة، وعند معدل تدفق ثابت للماء المار في اللاقط بعد توجيهه واختيار زاوية الميل عن الأفق بشكل مناسب. تصبح الاختبارات التجريبية ضرورية عند تصنيع لاقط جديد، أو عند مقارنة الأداء الحراري لعدة لواقط. تضمّن هذا البحث دراسة تجريبية للأداء الحراري للاقط شمسي مسطح تم صنّع محلياً واختبر في مدينة دمشق بالحالة المستقرة وفق إجراءات المواصفة القياسية EN12975-2,2001 واستنتجت الثوابت الحرارية له، واقترحت معايير للمقارنة عند اختيار اللاقط المسطح.

الكلمات المفتاحية: لاقط شمسي مسطح، اختبار الأداء الحراري، الحالة المستقرة.

* باحث، هندسة الطاقة الشمسية والطاقات المتجددة، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق.

** أستاذ مساعد، قسم الميكانيك العام، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق.

Experimental Study of the Flat Plate Solar Collector in Damascus City

Dr. Eng. Mohamad Sadek Jouhari*

Dr. Eng. Naser Yasein**

Abstract

The thermal performance of the solar collector is determined experimental by testing on the test platform procedures according to one of the based international standards and often these tests are in steady state condition and at a constant flow of water flowing in the collector after directing and choosing tilt angle on the proper rate.

Experimental tests become necessary when manufacturing a new collector or when compared thermal performance to several collector. In this research:

Experimental study of the thermal performance of flat plate solar flat collector was manufactured locally and tested in the city of Damascus in steady state situation in accordance with the standard procedures EN12975-2,2001 and conclusion his thermal constants, and proposed standards for comparison when choosing the flat plate collector.

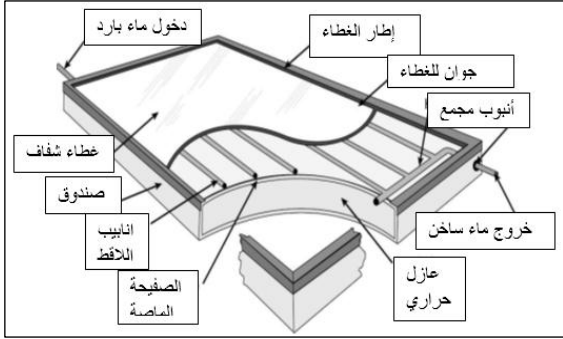
Key words: Flat Plate Solar Collector, Thermal Performance Test, Steady-state.

*Researcher in Solar and Renewable Energies Engineering, Lecturer at Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University, Syria.

**Ass Professor, Department of Mechanics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University, Syria.

1-المقدمة:

يستخدم أنبوباً واحداً متعرجاً بشكل زكزاك. والغطاء الشفاف يسمح للإشعاع الشمسي قصير الموجة بالعبور إلى الصفيحة الماصة، ويقلل من الضياع بالحمل والإشعاع إلى الجو المحيط، ويصنع من الزجاج قليل نسبة الحديد، أو البلاستيك الشفاف ذي النفاذية العالية ويمكن أن يكون من طبقة واحدة أو عدة طبقات. يقلل العازل الحراري الخلفي من الضياع الحراري بالتوصيل إلى الجو المحيط، ويصنع من المواد العازلة المعروفة مثل الصوف الزجاجي، أو البولي ريثان، أو الصوف الصخري. يبدو في الشكل (1) مكونات اللاقط المسطح التقليدي.



الشكل (1) مكونات اللاقط المسطح

يتم في اللاقط الشمسي المسطح التقاط الطاقة المحمولة مع أشعة الشمس ذات طول الموجة $0.29 \sim 2.5 [\mu\text{m}]$ وتحويلها إلى طاقة حرارية مفيدة دون الحاجة إلى تركيز لهذه الأشعة. وتفيد اللواقط من الأشعة الشمسية المباشرة والمبعثرة، وتتعامل مع شدة اشعاع شمسي وارد حتى حدود $100 \sim 1100 [\text{W}/\text{m}^2]$ وتفيد من قيمة دنيا للإشعاع الشمسي بحدود $200 \sim 250 [\text{W}/\text{m}^2]$ [1]. يستخدم اللاقط المسطح لتسخين المياه بالطاقة الشمسية في التطبيقات التي تحتاج إلى درجة حرارة بحدود $100 [^\circ\text{C}]$. أجريت في هذا البحث دراسة تجريبية للأداء الحراري للاقط شمسي مسطح صنع محلياً واختبر في مدينة دمشق، واستتجت الثوابت الحرارية له، واقتُرحت معايير للمقارنة عند اختيار اللاقط المسطح.

2-تعريف اللاقط الشمسي المسطح

يعدّ اللاقط الشمسي المسطح (Flat Plate Solar Collector) نوعاً خاصاً من المبادل الحراري اذ يقوم بتحويل الطاقة المحمولة مع الإشعاع الشمسي إلى حرارة تنتقل إلى السائل العامل ضمن اللاقط، ويمكن أن تصل درجة الحرارة الناتجة منه إلى $100 [^\circ\text{C}]$ يحتاج إلى قليل من الصيانة، وهو أبسط من اللواقط المركزة، ويستخدم في تطبيقات تسخين المياه والتدفئة والتكييف وبعض العمليات الصناعية [2]. تتكون التصاميم التقليدية منه من الصفيحة الماصة التي تقوم بنقل الطاقة الممتصة إلى السائل العامل الذي يكون الماء غالباً، تصنع من مواد ذات ناقلية حرارية عالية كالنحاس والالمنيوم، ويوجد منها أشكال مختلفة أوسعها انتشاراً عبارة عن شرائح طولية تطلّى بطلاء أسود، أو طلاء انتقائي ذي امتصاصية عالية يساعد على امتصاص أكبر كمية من الإشعاع الشمسي، ويزيد من الأداء الحراري للاقط. وشبكة الانابيب الطولية التي تنقل السائل العامل، وتصنع عادة من النحاس، وفي اللواقط الرخيصة تصنع من الفولاذ، ويمكن أن تلحم فوق الصفيحة الماصة أو تحتها أو تكون مدمجة معها، كما يوجد نوع

3- معادلات الأساس النظري

أجريت الاختبارات على منصة اختبار تعمل وفق المواصفات الأوروبية EN-12975-2,2001 [3] التي تستخدم المعادلات الآتية للحساب الحراري للاقط الشمسي:

$$Q_u = m \cdot C_p \Delta T \quad (1)$$

$$Q_u = A_c \cdot G \cdot \eta \quad (2)$$

$$T_m = T_i + \frac{\Delta T}{2} \quad (3)$$

$$\Delta T = T_e - T_i \quad (4)$$

$$T_m^* = \frac{T_m - T_a}{G} \quad (5)$$

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot T_m^* \quad (6)$$

$$U_L = a_1 + a_2 (T_m - T_a) \quad (7)$$

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot T_m^* - a_2 \cdot G (T_m^*)^2 \quad (8)$$

$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{T_m - T_a}{G} - a_2 \cdot G \left(\frac{T_m - T_a}{G} \right)^2 \quad (9)$$

[mm]	28.5	D_{Co}	قطر خارجي	النحاسي المجمع
[mm]	0.4	d_{abs}	سماكة	الصفیحة الماصة من النحاس
[-]	0.92	α_p	امتصاصية الطلاء	
[-]	0.92	ε_p	اصدارية الطلاء	
[-]	0.08	ρ_p	انعكاسية الطلاء	
[mm]	40	d_g	السماكة	اللوح الزجاجي
[-]	0.9	τ_g	النفاذية	
[-]	0.08	ρ_g	الانعكاسية	
[-]	0.02	α_g	الامتصاصية	
[-]	0.88	ε_g	الاصدارية	
[mm]	24	l_{pc}	الفراغ بين الصفیحة الماصة وأسفل اللوح الزجاجي	
[mm]	25.4	D_{Ei}	قطر داخلي	المخارج
[mm]	33	D_{Eo}	قطر داخلي	والمداخل فولاذ مغلفن
[mm]	1990	L_G	الارتفاع الكلي	أبعاد اللاقط
[mm]	590	W_G	العرض الكلي	
[m ²]	1.174	A_G	مساحة اجمالية	
[m ²]	1.043	A_a	مساحة الفتحة	
[m ²]	0.903	A_A	مساحة السطح الماص	
[m ³]	0.002	V	سعة الماء	

4-2-التصنيع: صنع اللاقط المسطح مشابهاً للشكل (1): الإطار الخارجي من الألمنيوم النقي المؤكسد ومطلي باللون البرونزي، السطح السفلي من الصفیح المغلفن المطلی حرارياً العازل لأسفل اللاقط وجوانبه من الصوف الزجاجي، شبكة الأنابيب الطولية وعددها ستة أنابيب، والمجمع العلوي والسفلي من النحاس الأحمر وفقاً للمواصفة (ASTM B88 TUBE) ملحومة مع بعضها بلحام الفضة. الصفیحة الماصة من النحاس الأحمر مشكلة بطريقة الدرفلة تثبت شبكة الأنابيب النحاسية على الصفیحة الماصة النحاسية بواسطة نقاط لحام متلاحقة منقطة، الطلاء بلون أسود من مواد كربونية وشبه فحمية، الغطاء الزجاجي لوح زجاجي شفاف، الإطار المطاطي يعمل على إحكام اللوح الزجاجي مع جسم اللاقط، المخارج والمداخل من الطرفين من الفولاذ المغلفن وفق المواصفة (ASME B 36) ملحومة على المجمع العلوي والسفلي.

$$Q_u = A_c \cdot G \left[\eta_0 - a_1 \frac{T_m - T_a}{G} - a_2 \cdot G \left(\frac{T_m - T_a}{G} \right)^2 \right] \quad (10)$$

الإشعاع الشمسي الحرج G_{cr} هو قيمة الإشعاع الشمسي الذي يجعل قيمة الحد بين القوسين في المعادلة (10) يساوي الصفر، ويكون عندها قيمة الإشعاع الممتص والفقد الحراري متساويين أي:

$$\left[\eta_0 - a_1 \frac{T_m - T_a}{G} - a_2 \cdot G \left(\frac{T_m - T_a}{G} \right)^2 \right] = 0 \quad (11)$$

بحل هذه المعادلة نكتب قيمة الإشعاع الشمسي الحرج بالمعادلة:

$$G_{cr} = \frac{(T_m - T_a) \cdot (a_1 + a_2(T_m - T_a))}{\eta_0} \quad (12)$$

4- الدراسة التجريبية

4-1- البارامترات التصميمية: في الشكل (2) يظهر تصميم اللاقط المسطح وفي الجدول (1) الأبعاد التصميمية الأساسية له [5].

الجدول (1) الأبعاد التصميمية الأساسية للاقط المسطح [5]

الوحدات	القياسات	الرمز	اسم الجزء	
[mm]	35	d_z	سماكة	العازل
[Kg/m ³]	38~40	ρ_z	كثافة	الحراري
[W/m.K]	0.045	λ_z	عامل التوصيل الحراري	صوف
[mm]	11.3	D_i	قطر داخلي	الأنبوب
[mm]	12.7	D_e	قطر خارجي	النحاسي الطولي
[mm]	75	$d_{c1.2} = W$	المسافة بين محوري انبوين نحاسيين متتاليين، أو عرض الزعنفة (الريشة) للصفیحة الماصة	
[mm]	26	D_{Ci}	قطر داخلي	الانبوب

$\frac{W}{m^2K}$	0.11	معامل الفقد الحراري من الجوانب	U_b
$\frac{W}{m^2K}$	8.095	معامل الفقد الحراري الكلي للاقط	U_L
[-]	0.98	مردود الزعنفة او الريشة	F
[-]	0.96	عامل تدفق اللاقط	F''
[-]	0.93	عامل كفاءة اللاقط	F'
[-]	0.89	عامل إزاحة الحرارة من اللاقط	F_R

5-الاختبارات

5-1-منهجية الاختبارات

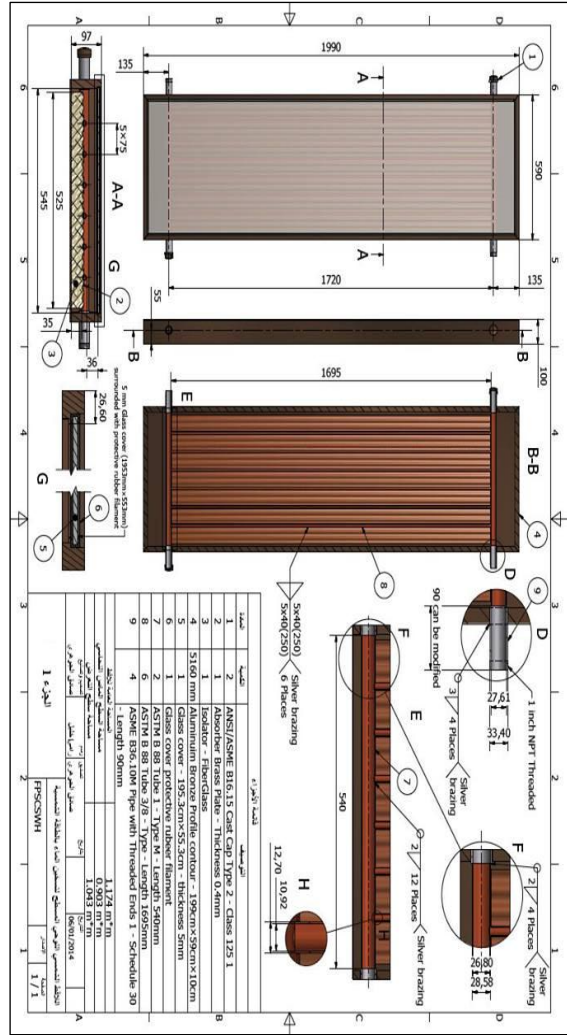
أجريت الاختبارات في فصل الربيع من (3/15) الى (4/15)، منصة الاختبار وتجهيزات القياس المذكورة حسب [5]. اختبر الأداء الحراري للاقط في الحالة المستقرة وفق [4]. بمعدل تدفق ثابت للماء المار به، وعند الشروط المناخية في مدينة دمشق، ودرس تأثير تغيير زاوية الميل عن الأفق. أظهرت النتائج تطابقاً مع الأساس النظري، ووفرت بيانات حقيقية عن الأداء الحراري للاقط المسطح في منطقة الاختبار بناء على شدة الاشعاع الشمسي، وطبيعة المناخ وفروقات درجات الحرارة العاملة، وعامل الكلفة [5]. الذي يمثل مردود واحدة رأس المال من كلفة اللاقط. اعتمدت مساحة الفتحة (Aperture) كمساحة مرجعية حسب [6] بالعلاقة:

$$A_a = L_g \cdot W_g \quad (13)$$

اذ: L_g طول و W_g عرض الغطاء الزجاجي المكشوف.

5-2-نتائج القياس والثوابت الحرارية

في اظهار النتائج استخدمت المعادلات حسب [3]. تبدو في الجدول (3) قيم الثوابت الحرارية للاقط من الدرجة الأولى والدرجة الثانية عند مساحة الفتحة، وزاوية ميل عن الأفق $\beta = 30^\circ \text{ و } 45^\circ$ وهذه الثوابت الأساسية هي: المردود البصري η_0 ، ومعامل الضياع الحراري الصفري



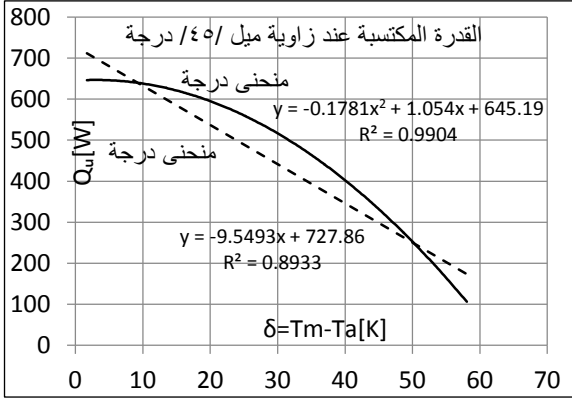
الشكل (2) تصميم اللاقط المسطح [5]

4-3-البارامترات الحسابية للاقط

بالاستعانة ببرنامج Matlab نجد البارامترات الحسابية للاقط المسطح بالجدول (2):

الجدول (2) البارامترات الحسابية للاقط المسطح

الرمز	البارامتر المحسوب	القيمة	الوحدة
h_w	معامل انتقال الحرارة بالحمل بين الغطاء الزجاجي والوسط المحيط عند سرعة هواء 2.5 [m/sec]	10.68	$\frac{W}{m^2K}$
U_p	معامل الفقد الحراري من الزجاج	6.7	$\frac{W}{m^2K}$
U_z	معامل الفقد الحراري من الخلف	1.285	$\frac{W}{m^2K}$



الشكل (5) منحى القدرة المكتسبة من الدرجة الأولى والثانية زاوية 45° .

في الشكل (5) يظهر منحى من الدرجة الأولى والثانية للقدرة المكتسبة للاقط المقاسة في أثناء الاختبارات في الحالة المستقرة عند زاوية ميل 45° لمساحة الفتحة بدلالة $T_m - T_a$.

3-5- النتائج الحسابية

القيم الواردة في الجداول (4) و (5) هي قيم حسابية تعرف بعد تحديد الثوابت الحرارية للاقط. يُلاحظ أنه عند قيمة مرتفعة نسبياً $T_m - T_a = 50^\circ\text{C}$ فإن قدرة خرج اللاقط تكون سالبة عند شدة اشعاع شمسي $G = 400[\text{W}/\text{m}^2]$ بسبب الاشعاع الشمسي الحرج.

الجدول (4) يبين القدرة المنتجة من اللاقط عند شدات إشعاع شمسي مختلفة وزاوية ميل عن الأفق 45° والقدرة العظمى المنتجة من اللاقط W_{peak} عند شدة إشعاع شمسي $G = 1000[\text{W}/\text{m}^2]$

$\beta = 45^\circ$	شدة الاشعاع الشمسي $G[\text{W}/\text{m}^2]$			$W_{\text{peak}}[\text{W}/\text{collector}]$
	400	700	1000	
$T_m - T_a$	400	700	1000	784.6
0	313.8	549.2	784.6	
10	243.1	478.5	713.9	
30	88	323.3	558.7	
50	-85.5*	149.8	385.2	

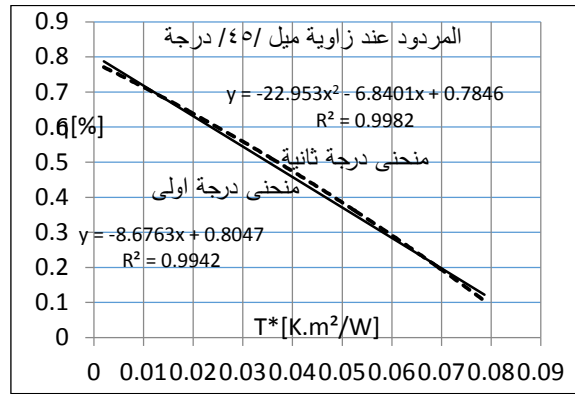
$T_m - T_a = 0$

a_1 ، ومعامل الضياع الحراري كتابع لدرجة الحرارة a_2 ، الذي يظهر في منحى المردود اللحظي من الدرجة الثانية.

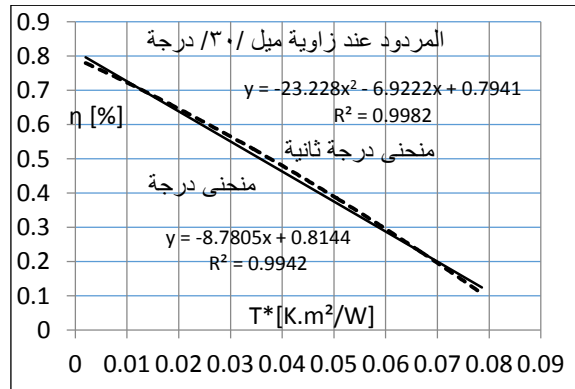
الجدول (3) الثوابت الحرارية للاقط عند مساحة الفتحة كمساحة مرجعية A_a .

منحى المردود اللحظي	$\beta = 45^\circ$	$\beta = 30^\circ$
من الدرجة الثانية	$\eta_0 = 0.7846$	$\eta_0 = 0.7941$
	$a_1 = 6.8401$	$a_1 = 6.9222$
	$a_2 = 0.022953$	$a_2 = 0.023228$
من الدرجة الأولى	$\eta_0 = 0.8047$	$\eta_0 = 0.8144$
	$a = 8.6763$	$a = 8.7805$

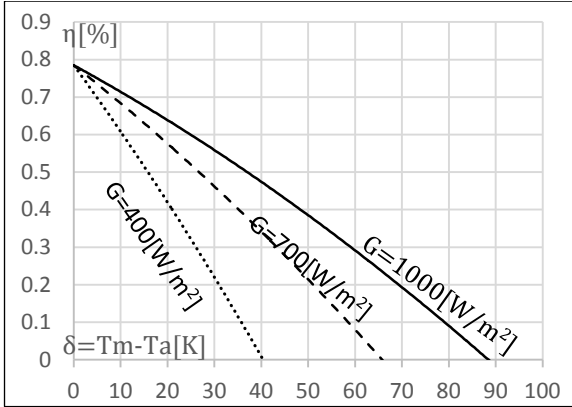
في الشكل (3) والشكل (4) منحى المردود اللحظي للاقط المسطح من الدرجة الأولى والثانية بدلالة درجة الحرارة المختزلة $T^* = (T_m - T_a)/G$ عند مساحة الفتحة وزاوية ميل $45, 30^\circ$.



الشكل (3) منحى المردود اللحظي من الدرجة الأولى والثانية زاوية 45°

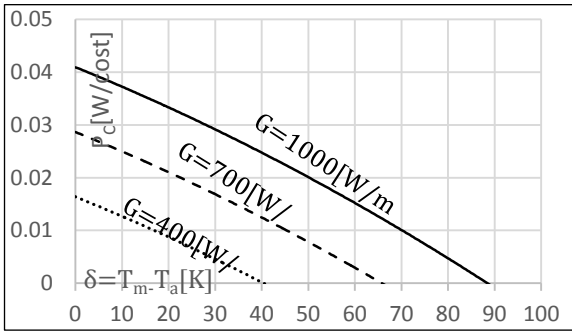


الشكل (4) منحى المردود اللحظي من الدرجة الأولى والثانية زاوية 30° .



الشكل (7) منحنيات المردود للاقط زاوية 45° بدلالة δ

يظهر في الشكل (8) منحنى عامل الكلفة P_c للاقط عند زاوية 45° بدلالة قيم $\delta = T_m - T_a$ عند $G = 1000, 700, 400 [W/m^2]$ يمثل عامل الكلفة القدرة المنتجة من اللاقط مقسوما على كلفته".



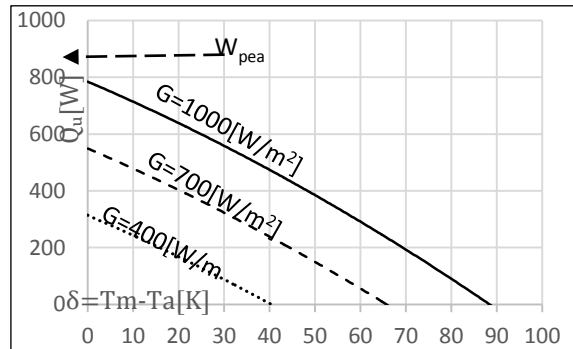
الشكل (8) منحنيات عامل الكلفة للاقط زاوية 45° بدلالة $\delta = T_m - T_a$

يظهر في الشكل (9) منحنى المردود وفي الشكل (10) منحنى القدرة المنتجة للاقط عند 45° ولمساحة الفتحة بدلالة قيم مختلفة لشدة الإشعاع الشمسي وقيمة $\delta = T_m - T_a = 10, 30, 50 [^\circ C]$

الجدول (5) يبين القدرة المنتجة من كل لاقط عند شدات إشعاع شمسي مختلفة وزاوية ميل عن الأفق 30° والقدرة العظمى المنتجة من كل لاقط W_{peak} عند شدة إشعاع شمسي $G = 1000 [W/m^2]$

$\beta = 30^\circ$	شدة الإشعاع الشمسي $G [W/m^2]$			$W_{peak} [W / collector]$
$T_m - T_a$	400	700	1000	794.1 القدرة العظمى المنتجة $T_m - T_a = 0$
0	317.6	555.9	794.1	
10	246	484.3	722.5	
30	89	327.3	565.5	
50	-86.5*	151.7	390	

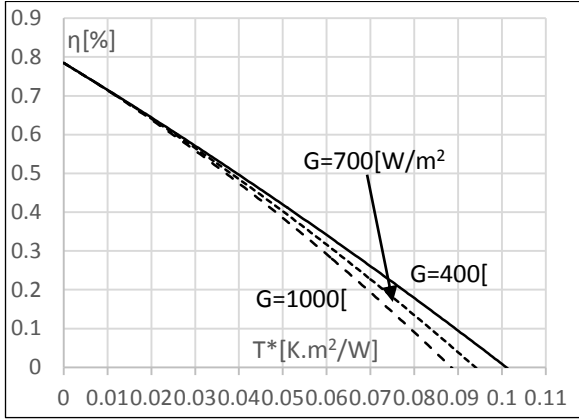
وفي الشكل (6) تبدو منحنيات القدرة المنتجة من اللاقط عند زاوية ميل 45° لقيم مختلفة $G = 1000, 700, 400 [W/m^2]$ بدلالة $\delta = T_m - T_a$ منحنيات من الدرجة الثانية.



الشكل (6) منحنيات قدرة خرج اللاقط والقدرة الناتجة العظمى زاوية 45° .

تظهر في الشكل (7) منحنيات مردود اللاقط لمساحة الفتحة وزاوية 45° لقيم مختلفة $G = 400, 700, 1000 [W/m^2]$ بدلالة $\delta = T_m - T_a$ منحنيات من الدرجة الثانية.

يظهر في الشكل (12) منحنى المردود للاقط المسطح لمساحة الفتحة وزاوية ميل 45° لقيم مختلفة لشدة الاشعاع الشمسي $G = 400, 700, 1000 [W/m^2]$ بدلالة قيم T^* منحنيات من الدرجة الثانية.

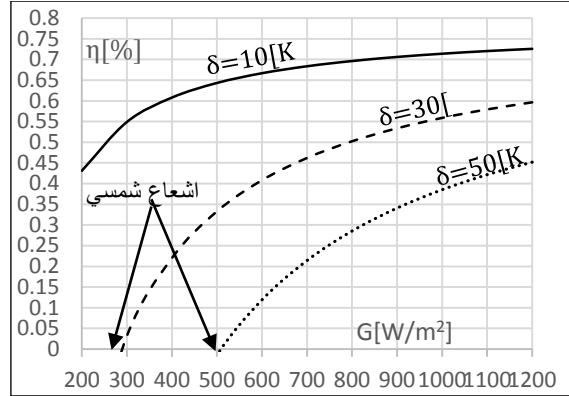


الشكل (12) منحنى المردود درجة ثانية للاقط المسطح عند 45° لقيم مختلفة من الاشعاع الشمسي.

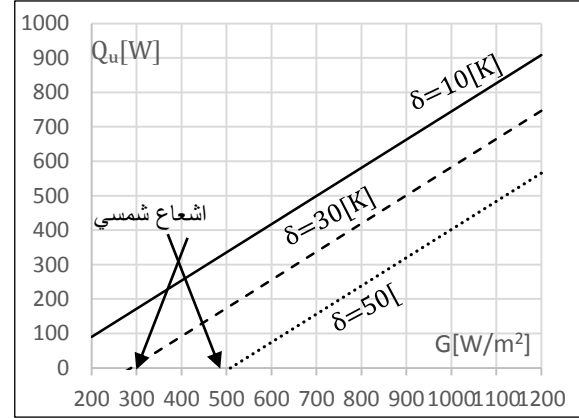
4-5- نتائج المحاكاة

4-5-1- نتائج الاشعاع الشمسي الحرج

بمعرفة متوسط معدلات الاشعاع الشمسي اليومي الوارد في منطقة الاختبار $G_{day} [Wh/m^2 \cdot day]$ ودرجة حرارة الجو المحيط من [7] وزاوية ميل اللاقط عن الأفق $\beta = 45^\circ$ وثابت تصحيح الميل بين السطح الافقي المائل، أجريت المحاكاة باستخدام برنامج T-SOL [8]، إذ حسبت قيمة درجة الحرارة الوسطية للماء داخل اللاقط من خلال تحديد درجة حرارة الدخول الى اللاقط من البرنامج. يظهر في الشكل (13) علاقة الاشعاع الشمسي الحرج G_{cr} مع فرق درجات الحرارة δ للاقط.

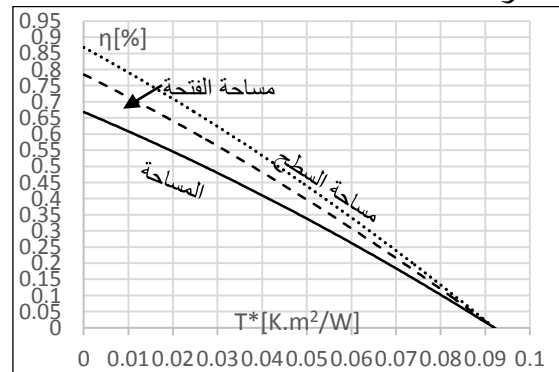


الشكل (9) منحنى المردود للاقط عند 45° وقيم مختلفة لشدة الإشعاع الشمسي عند $T_m - T_a = 10, 30, 50 [^\circ C]$

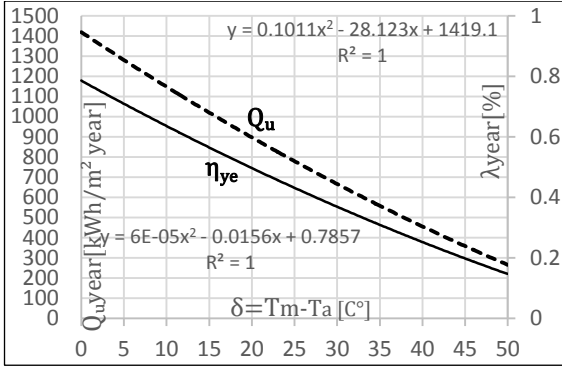


الشكل (10) منحنى القدرة المنتجة من اللاقط عند 45° و $T_m - T_a = 10, 30, 50 [^\circ C]$ وشدات إشعاع شمسي مختلفة.

يظهر في الشكل (11) منحنى المردود للاقط المسطح عند المساحات المرجعية الثلاث وزاوية ميل 45° وشدة اشعاع شمسي $G = 800 [W/m^2]$ بدلالة درجة الحرارة المختزلة T^* .



الشكل (11) منحنى المردود اللحظي للاقط المسطح للمساحات المرجعية الثلاث عند 45° و $800 [W/m^2]$.



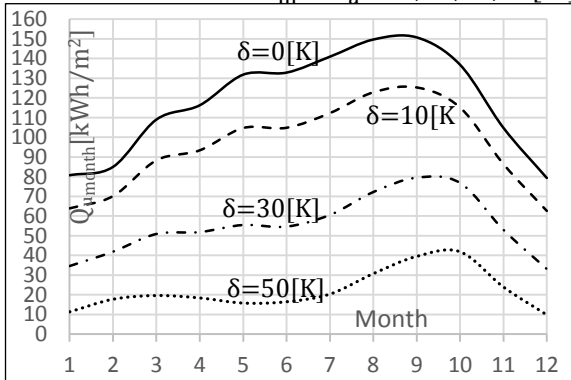
الشكل (14) الطاقة السنوية المنتجة والمردود السنوي للاقط بدلالة فرق درجات الحرارة العاملة.

ونستنتج المعادلات التجريبية لحساب الطاقة السنوية والمردود السنوي من اللاقط كما يأتي:

$$Q_{u,year} = 1419.2 + 0.1013\delta^2 - 28.144\delta \quad (49)$$

$$\eta_{year} = 0.7857 + 6 \times 10^{-5}\delta^2 - 0.0156\delta \quad (50)$$

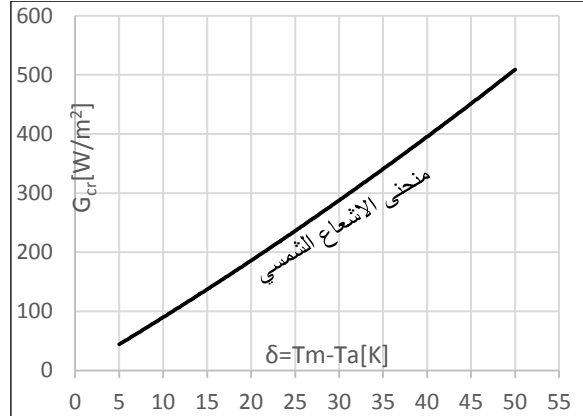
في الشكل (15) تبدو منحنيات الطاقة المنتجة من اللاقط بدلالة أشهر السنة عند $Q_{u,month}$ عند $\delta = T_m - T_a = 0,10,30,50[^\circ\text{C}]$



الشكل (15) منحنيات الطاقة المنتجة بدلالة أشهر السنة عند قيم مختلفة δ .



الشكل (16) اللاقط المسطح على منصة الاختبار



الشكل (13) علاقة الإشعاع الشمسي الحرج مع فرق درجات الحرارة δ .

ونستنتج المعادلة التجريبية لحساب قيمة الإشعاع الشمسي الحرج بدلالة فرق درجات الحرارة العاملة $\delta = T_m - T_a$ من المعادلة:

$$G_{cr} = 0.0289\delta^2 + 8.7344\delta - 0.35 [W/m^2] \quad (48)$$

5-4-2- نتائج الطاقة المنتجة خلال اشهر السنة

استنتجت الطاقة الشهرية المنتجة $Q_{u,month}$ والطاقة السنوية المنتجة $Q_{u,year}$ من اللاقط المسطح عند معدلات إشعاع شمسي وارد في منطقة الدراسة على سطح يميل على الأفق بزاوية $45[^\circ]$ حسب المعلومات المناخية التي وفرها [7]، وحسب اجراءات [11] وباستخدام برنامج المحاكاة T-SOL [8].

الجدول (6) مجموع الطاقة السنوية المنتجة والمردود السنوي للاقط بدلالة فرق درجات الحرارة العاملة.

$Q_{u,year} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{year}} \right]$	$\eta_{year} [\%]$	$T_m - T_a [^\circ\text{C}]$
1418	0.785	0
1150	0.637	10
665	0.368	30
266	0.147	50

يظهر في الشكل (14) الطاقة السنوية المنتجة، والمردود السنوي للاقط بدلالة فرق درجات الحرارة العاملة.

6- نتائج الدراسة التجريبية

6-1 تأثير زاوية ميل اللاقط عن الأفق

بمعادلة من الدرجة الثانية ولمساحة الفتحة، وزاوية ميل $45[^\circ]$ يكون المرود البصري للاقط $K[\eta_{0.45^\circ} = 0.7846]$ ولزاوية ميل $30[^\circ]$ يكون المرود البصري للاقط $[\eta_{0.30^\circ} = 0.7941]$ أي يزداد بنسبة 1.21%. وبمعادلة من الدرجة الأولى فإن المرود البصري للاقط $[\eta_{0.45^\circ} = 0.8047]$ ، $[\eta_{0.30^\circ} = 0.8144]$ يزداد بنسبة 1.2%. القدرة العظمى الناتجة بزاوية ميل $45[^\circ]$ $W_{peak} = 784.6[W]$ ولزاوية ميل $30[^\circ]$ $W_{peak} = 794.1[W]$ ، أي يزداد بنسبة 1.21%. إن تفسير هذه النتائج المتعلقة بزاوية الميل هو كون التجارب أجريت في شهري آذار ونيسان، ونجد حسب [7] قيم معدل المتوسط الشهري اليومي للإشعاع الشمسي الوارد في منطقة الاختبار في وقت اجراء التجارب وعند زاوية ميل عن الأفق $30[^\circ]$ أكبر من القيم عند زاوية ميل $45[^\circ]$ في المدة نفسها.

6-2 تأثير المساحة المرجعية المعتمدة

بمعادلة من الدرجة الثانية وزاوية ميل $45[^\circ]$ عن الأفق فإن قيمة المرود البصري تتغير وفق المساحة المرجعية المعتبرة، فعند مساحة الفتحة تكون $[\eta_{0.45^\circ} = 0.7846]$ وعند مساحة السطح الماص تكون $[\eta_{0.45^\circ} = 0.8689]$ ، وعند المساحة الكلية $[\eta_{0.45^\circ} = 0.6684]$. ومن الدرجة الأولى عند مساحة الفتحة $[\eta_{0.45^\circ} = 0.8047]$ وعند مساحة السطح الماص $[\eta_{0.45^\circ} = 0.8912]$ وعند المساحة الكلية $[\eta_{0.45^\circ} = 0.6855]$ ويُلاحظ أن الزيادة في قيم المرود البصري تتناسب عكساً مع المساحات المرجعية المعتبرة، المعادلة (2).

6-3 تأثير المعادلة من الدرجة الأولى أو من الدرجة الثانية

عند مساحة الفتحة كمساحة مرجعية وزاوية ميل $45[^\circ]$ عن الأفق فإن المرود البصري يتغير وفق نوع

المعادلة المعتمدة، فبمعادلة من الدرجة الثانية نجد $[\eta_{0.45^\circ} = 0.7846]$ وبمعادلة من الدرجة الأولى نجد $[\eta_{0.45^\circ} = 0.8047]$ ونسبة الفرق 2.56%. أما القدرة المكتسبة من اللاقط فتتغير وفق نوع المعادلة المعتمدة، فبمعادلة من الدرجة الثانية نجد $Q_{u1} = 645.19[W]$ وبمعادلة من الدرجة الأولى نجد $Q_{u2} = 727.86[W]$ ونسبة الفرق نحو 12.8% ويُلاحظ أن منحنى المرود والقدرة المكتسبة يتعلقان بنوع المعادلة المعتمدة. إن نسبة تأثر اللاقط المسطح بنوع المعادلة المعتمدة كبيرة، لذلك تتصح [3] باستخدام أنسب منحنى إحصائي من الدرجة الثانية لرسم المنحنيات.

6-4 تأثير شدة الإشعاع الشمسي

يتغير شكل منحنى المرود مع تغير قيم الإشعاع الشمسي الوارد إذا رُسم بدلالة $T_m - T_a$ أما إذا رُسم بدلالة درجة الحرارة المختزلة فلا يتغير شكل منحنى المرود بتغير قيم شدة الإشعاع الشمسي إذا كان المنحنى من الدرجة الأولى ويتغير بشكل بسيط إذا كان المنحنى من الدرجة الثانية، وتفسير ذلك لأنه في معادلة الدرجة الثانية يدخل حد إضافي a_2 يعبر عن الضياع الحراري مع تغير درجة الحرارة والذي يزداد مع تزايد شدة الإشعاع الشمسي. كما يتغير شكل منحنى القدرة المنتجة بتغير قيم شدة الإشعاع الشمسي من الدرجة الأولى والثانية. وتفسير ذلك أن القدرة المنتجة تتناسب طردياً مع شدة الإشعاع الشمسي الوارد على اللاقط، وعادة تجري المقارنة عند شدة إشعاع شمسي $1000[W/m^2]$ بالنسبة إلى المرود والقدرة المنتجة العظمى، وترسم منحنيات القدرة المنتجة عند شهادات إشعاع شمسي مختلفة $G = 400, 700, 1000[W/m^2]$.

6-5 تأثير قيمة الفرق في درجة الحرارة $T_m - T_a$

عند مساحة الفتحة كمساحة مرجعية، وعند زاوية ميل $45[^\circ]$ عن الأفق فإن المرود والقدرة المنتجة تتغير عند تغير فرق درجات حرارة $T_m - T_a$ ، ويُلاحظ أنه تتناقص قيمة المرود والقدرة المنتجة من اللاقطين عند تزايد الفرق بين درجة الحرارة الوسطية للماء داخل اللاقط ودرجة حرارة الجو المحيط.

6-6- منحنى المردود اللحظي

لوحظ أن اللاقط المسطح يتمتع بقيمة مردود لحظي مرتفع عند قيم قليلة لدرجة الحرارة المختزلة T^* إذ أنّ قيمة المردود البصري η_0 أو جداء النفاذية بالامتصاصية $F_R(\tau\alpha)$ يكون عادة مرتفعاً للمسطح [10]. اللاقط المسطح الذي يكون معزولاً بعازل حراري خلفي تبدأ عازليته بالانهيار مع ازدياد درجات الحرارة العاملة باللاقط [9]. إن ميل منحنى المردود اللحظي يعبر عن مقدار الضياع الحراري الكلي F_{RUL} الذي يكون كبيراً للمسطح.

6-7- منحنى القدرة المكتسبة اللحظية

لوحظ أن القدرة المكتسبة للمسطح تكون مرتفعة عند قيم قليلة لفرق درجات الحرارة $T_m - T_a$ ثم تبدأ بالانخفاض مع زيادة $T_m - T_a$.

6-8- منحنى قدرة خرج اللاقط

يُلاحظ في اليوم المشمس فإن قدرة الخرج من اللاقط المسطح تكون مرتفعة حتى فرق درجات حرارة $T_m - T_a = 30[^\circ\text{C}]$ وفي اليوم شبه الغائم فإن قدرة خرج اللاقط المسطح تكون مرتفعة حتى فرق حرارة $T_m - T_a = 23[^\circ\text{C}]$ وفي اليوم الغائم فإن قدرة خرج اللاقط المسطح تكون مرتفعة حتى فرق حرارة $T_m - T_a = 15[^\circ\text{C}]$.

6-9- منحني عامل الكلفة

يُلاحظ في اليوم المشمس أنّ عامل الكلفة للاقط المسطح يكون جيداً حتى فرق درجات حرارة $T_m - T_a = 58[^\circ\text{C}]$ وفي اليوم شبه الغائم عامل الكلفة للاقط المسطح يكون جيداً حتى فرق درجات حرارة $T_m - T_a = 44[^\circ\text{C}]$ وفي اليوم الغائم عامل الكلفة للاقط المسطح يكون جيداً حتى فرق درجات حرارة $T_m - T_a = 27[^\circ\text{C}]$.

6-10- منحنيات المردود والقدرة المنتجة بدلالة تغير

شدة الاشعاع الشمسي

لوحظ أنه عند $T_m - T_a = 10[^\circ\text{C}]$ يكون المردود والقدرة المنتجة للاقط المسطح جيداً عند مجال شدات إشعاع شمسي $G = 300 \sim 1200[\text{W}/\text{m}^2]$ وعند $T_m - T_a = 30[^\circ\text{C}]$ يكون المردود والقدرة المنتجة للاقط المسطح جيداً عند مجال شدات إشعاع شمسي $G = 900 \sim 1200[\text{W}/\text{m}^2]$ وعند $T_m - T_a = 50[^\circ\text{C}]$ يكون المردود والقدرة المنتجة للاقط المسطح نتائج سلبية.

6-11- الاستنتاج المتعلق باللاقط المسطح

من منحنيات المردود يعمل اللاقط المسطح أفضل عند قيم قليلة لدرجة الحرارة المختزلة، ومن منحنيات القدرة يعمل اللاقط المسطح أفضل عند فرق قليل لدرجات الحرارة العاملة. الأداء الحراري للاقط المسطح يكون جيداً كلما كان المناخ السائد مشمساً. عامل الكلفة للاقط المسطح يكون أفضل كلما كان المناخ السائد مشمساً ومجال فروقات درجات الحرارة عامله منخفضة. ويكون الأداء الحراري للاقط المسطح عالياً عند مجال شدات اشعاع شمسي مرتفعاً وفروقات حرارة عامله منخفضة، وهو مناسب في الصيف لمنطقتنا.

6-12- معايير مقترحة للمقارنة بين اللواقط

عند مقارنة عدة لواقط شمسية لتطبيق معين نقترح ما يأتي:

- 1- أن تتم ضمن الشروط الجوية نفسها.
- 2- أن تتم عند زاوية الميل عن الأفق نفسها.
- 3- أن تتم عند المساحة المرجعية نفسها.
- 4- أن يعتمد منحنى المردود اللحظي من الدرجة الثانية.
- 5- أن ترسم منحنيات النتائج للمردود والقدرة عند شدات اشعاع شمسي متساوية.
- 6- أن تجرى المقارنة عند قيم محددة لفرق درجات الحرارة العاملة δ .
- 7- أن تؤخذ القدرة المنتجة من اللاقط بالحسبان.
- 8- أن يؤخذ عامل الكلفة بعين الاعتبار.
- 9- أن يؤخذ تأثير الاشعاع الشمسي الحرج بالحسبان.
- 10- أن تحسب الطاقة المنتجة اليومية والشهرية والسنوية والمردود اليومي والشهري والسنوي.

لرموز والوحدات

الشرح	الرمز	الوحدات
درجة حرارة الجو المحيط	T_a	[°C]
القدرة المكتسبة المفيدة من اللاقط	Q_u	[W]
مساحة اللاقط المرجعية المعتمدة	A_c	[m ²]
معدل التدفق للسائل العامل داخل اللاقط	m'	$\left[\frac{kg}{sec}\right]$
السعة الحرارية للسائل العامل داخل اللاقط	C_p	$\left[\frac{J}{kg \cdot K}\right]$
فرق درجات الحرارة بين مخرج اللاقط ومدخله	ΔT	[°C], [K]
مردود اللاقط نسبة القدرة المكتسبة المفيدة المنقولة بواسطة السائل العامل خلال مدة زمنية محددة dt مقسوماً على شدة الإشعاع الشمسي الواردة على مساحة اللاقط في مستوى ميلانه في المدة نفسها.	η	[%]
وسطي درجة حرارة السائل العامل في اللاقط	T_m	[°C]
درجة حرارة السائل العامل الداخل الى اللاقط	T_i	[°C]
زاوية ميل اللاقط عن الافق	β	[°]
شدة الإشعاع الشمسي الوارد على سطح اللاقط	G	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
درجة حرارة السائل العامل الخارج من اللاقط	T_e	[°C]
عدد الاغطية الزجاجية في اللاقط	N	[-]
طول (ارتفاع) اللاقط	L	[mm]
طول الغطاء الزجاجي المكشوف	L_g	[mm]
عرض الغطاء الزجاجي المكشوف	W_g	[mm]
مساحة التعرض أو مساحة الفتحة	A_a	[m ²]
المردود البصري للاقط ويمثل القيمة العظمى للمردود اللحظي عند درجة حرارة مختزلة $T^* = 0$	η_0	[%]
معامل ضياع الحرارة الصفري عند $T_m - T_a = 0$	a_1	$\left[\frac{W}{m^2 K}\right]$
معامل ضياع الحرارة كتابع لدرجة الحرارة	a_2	$\left[\frac{W}{m^2 K^2}\right]$
درجة الحرارة المختزلة	T^*	$\left[\frac{m^2 \cdot K}{W}\right]$
المجموع السنوي للطاقة المنتجة من اللاقط	$Q_{u,year}$	$\left[\frac{kWh}{m^2 year}\right]$
الطاقة المنتجة اليومية	$Q_{u,day}$	$\left[\frac{Wh}{m^2 day}\right]$
المردود السنوي للاقط	η_{year}	[%]
المردود اليومي للاقط	η_{dy}	[%]

References

- [1] Rami George, Wajih Naimeh, Talal Kassem, Marderos Ara Sayegh, Radwan Al Masri, Salman Ajib, Principles of Thermal Solar Energy and Applications, Albaath University, 2009.
- [2] John A. D Duffie & William A. Beckman. 2000. Solar engineering of thermal processes, second edition, John Wiley & Sonce, INC. 2000.
- [3] Thermal solar systems and components, solar collector part 2: test methods, EN12975-2:2001.
- [4] Thermal solar systems and components, solar collector part 2: test methods. SASMO 3432-2-2009, SASMO Organization, Damascus.
- [5] Jouhari. M. S. *et al.*, 2014. Thermal performance test of two types of solar collectors and compare them under climatic conditions of the city of Damascus, Damascus University, Journal for Engineering science, paper approved for publishing (1574), 14-9-2014.
- [6] Solar Energy – Vocabulary, SASMO 3381-2008, SASMO Organization, Damascus.
- [7] General Directorate of Meteorology Syria., 1993, Atlas of solar radiation in Syria.
- [8] T*SOL Expert., V4. 5. Valentin, Energy Software. <http://www.valentin-software.com>. [159]-General Directorate of Meteorology Syria., 1993, Atlas of solar radiation in Syria.
- [9] E. Zambolin *et al.*, 2010, Experimental analysis of thermal performance of flat plate and evacuated tube solar collectors in stationary standard and daily conditions, Solar Energy 84 -1382–1396 2010.
- [10] A. Alvarez *et al.*, 2010, Experimental and numerical investigation of a flat-plate solar collector, Energy 35 (2010) 3707e3716.
- [11] Solar collector energy output calculator., 2012, Datum. V3.08 rele ased, 14-5-2012. www.sp.se.

Received	2015/08/11	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2016/03/14	قبول البحث للنشر