

دراسة تجريبية لحساب مردود اللاقط الشمسي ذو الأنابيب الزجاجية المفرغة المتوفر في الأسواق المحلية وتحديد كمية الماء الساخن التي يؤمنها يومياً في شروط مدينة اللاذقية .

فادي طوفي*

(تاريخ الإيداع 18 / 9 / 2014. قُبل للنشر في 8 / 1 / 2015)

□ ملخص □

تناول البحث حساب مردود اللاقط الشمسي ذو الأنابيب المفرغة من نوع "النور" ، طول الأنبوب 1500mm ، قطره الخارجي 58mm ، قطره الداخلي 47mm ، سمك الزجاج 1,6mm ، مادة الطلاء AL/AL-N ، مع خزان حراري بعازل من الصوف الزجاجي سماكة 30mm وله 10 أنابيب المتوفر في الأسواق المحلية ، بهدف تحديد الكفاءة الفعلية في شروط مدينة اللاذقية ، وتحديد كمية الماء الساخن التي يؤمنها يومياً في كل فصل من فصول السنة ، تم وضع اللاقط على قاعدة متحركة يمكن تغيير اتجاهها وتغيير زاوية ميل أنابيب اللاقط لتتبع حركة الشمس ، واستخدم جهاز قياس شدة الإشعاع الشمسي ماركة GENERAL DBTU1300 لمعرفة شدة الإشعاع الشمسي الوسطية خلال كل ساعة ، وتم حساب ثوابت مردود اللاقط على اعتبار أن الإشعاع الشمسي عمودي على اللاقط ، ورسم العلاقة بين المردود والفرق الحراري عند قيم مختلفة لشدة الإشعاع الشمسي ، ثم تم أخذ زوايا ميول مختلفة طولية وعرضية من أجل حساب معاملات الميلان الطولية والعرضية له، ورسم علاقة معاملات الميل الطولية والعرضية مع زاوية ميل الشعاع الشمسي، وبالاعتماد على شروط مدينة اللاذقية، ومن الأرصاد الجوية تم تحديد مردود اللاقط الوسطي في كل فصل من فصول السنة ، وتحديد كمية الماء الساخن بدرجة حرارة 60 °مئوية التي يعطيها يومياً .

الكلمات المفتاحية : سخان شمسي ، مردود ، أنابيب مفرغة

*مشرف على الأعمال - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية سورية.

An experimental study to calculate the efficiency of the solar heater with a solar evacuated glass tubes, available in local markets and determine the amount of hot water per day, which secured in terms of the city of Lattakia.

Fadi Toffi *

(Received 18 / 9 / 2014. Accepted 8 / 1 / 2015)

□ ABSTRACT □

This study deals with calculation the efficiency of the solar heater with a solar evacuated glass tubes of the type "ALNOR" Tube length 1500mm outer diameter 58mm inner diameter of 47mm thickness glass 1,6mm coating material AL / AL-N tank with thermal insulation of glass wool 30mm thickness with ten tubes available in local markets, in order to determine the efficiency of the actual conditions of the city of Lattakia, and determine the amount of hot water that secures it a day in each season of the year, where I put the solar heater on the base Animations can change direction and change the angle of inclination pipe detector to track the movement of the sun and use the device to measure the intensity of solar radiation by Solar Power Meter brand GENERAL DBTU1300 to see the intensity of solar radiation moderation during each hour, that solar radiation is perpendicular to the detector, and draw a relationship between the efficiency and the difference of thermal at different values of the intensity of solar radiation and then was taken corners Preference different longitudinal and transverse to calculate coefficients inclination longitudinal and latitudinal and draw a relationship slope coefficients longitudinal and lateral with the tilt angle of solar radiation, and depending on the conditions city of Lattakia, and meteorology have been identified in the average return on the detector each season of the year and determine the amount of hot water at 60 Celsius dgrees that gives per day.

Keywords: solar heater, efficiency, vacuum tubes

*Work Supervisor– Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering , Tishreen University , Lattakia, Syria.

مقدمة:

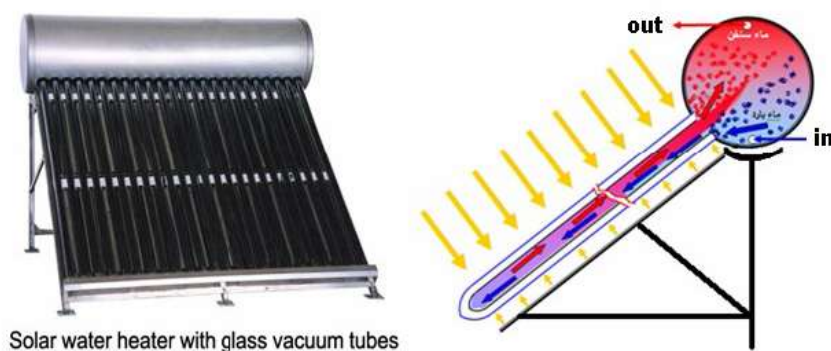
إن الحاجة الكبيرة إلى توفير في استهلاك الطاقة الكهربائية التي تستخدم في تسخين المياه المنزلية الصحية ، والتوجه العام إلى استخدام الطاقة الشمسية كطاقة بديلة نظيفة ، وزيادة الطلب أدى إلى ظهور شركات مصنعة عديدة للسخانات الشمسية وتجهيزاتها في الأسواق ، ومن البديهي أن هذه المنتجات تختلف فيما بينها من حيث الجودة والكفاءة لذلك ظهرت الحاجة إلى وجوب اختبار هذه المنتجات لتحديد كفاءتها الفعلية ، وتحديد مردودها ، وذلك في شروط مدينة اللاذقية ، ومن أجل مقارنتها بغيرها من المنتجات ، واختيار الأفضل منها .

أهمية البحث وأهدافه:

يمكن اعتبار هذه الدراسة كدراسة مرجعية يمكن أن يستخدمها المصممون والمنفذون لمشاريع الطاقة الشمسية التي تستخدم النوع المدروس ، وتعتبر أساساً يمكن الاعتماد عليه لعمل دراسات شبيهة على منتجات أخرى في الأسواق للمقارنة بين أنواع متعددة من اللواقط الشمسية ، واختيار الأكثر جودة وكفاءة وتحديد الأنواع الجيدة والأنواع الأخرى التجارية من أجل حماية المستهلك ، ويهدف البحث لحساب ثوابت مردود اللاقط الشمسي ذو الأنابيب الزجاجية المفرغة المتوفر في الأسواق المحلية وتحديد كمية الماء الساخن التي يؤمنها يومياً في شروط مدينة اللاذقية .

طرائق البحث ومواده:

إن اللاقط المستخدم في هذا البحث هو السخان المنزلي العامل بالسيرموسيفون (الحمل الحراري)، حيث الماء يتلامس مع الزجاج (Water in side glass) ، وتكون الأنابيب المفرغة باتجاه الجنوب والمجمع في الأعلى باتجاه شرق - غرب، في هذا النوع تكون الأنابيب مائلة بزاوية 35-40 درجة على الأفق باتجاه الجنوب وهو مبين بالشكل (1) .



شكل (1): نوع السخان الشمسي المستخدم في هذا البحث

حساب مردود اللاقط الشمسي:

يحسب مردود اللاقط الشمسي بالعلاقة التالية [1] :

$$\left[x = \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right) \right] \text{ حيث } \eta(x) = \eta_0 - a_1 \cdot (x) - a_2 \cdot G(x)^2$$

حيث: $\eta(x)$ مردود اللاقط .

η_0 مردود اللاقط النظري بدون أخذ الضياعات بعين الاعتبار .

a_1 معامل فقد الحرارة الأول الخطي . [W/(m²K)]

a_2 معامل فقد الحرارة اللاخطي الثاني . [W/(m²K²)]

x معامل يعبر عن نسبة الفرق الحراري في درجة الحرارة بين درجة حرارة الماء الوسطية ودرجة حرارة الوسط المحيط إلى شدة الإشعاع الشمسي .

t_m درجة حرارة الماء الوسطية داخل الخزان . [°C]

t_a درجة حرارة الوسط المحيط . [°C]

G متوسط شدة الإشعاع الشمسي في الفترة المدروسة . [Wh/m²]

إن هذا المردود المحسوب سابقاً هو على افتراض أن اللاقط مواجه تماماً للإشعاع الشمسي ، ولذلك ندخل

معامل الميلان الزاوي K على العلاقة السابقة ، وتصبح على الشكل التالي :

$$\eta(X) = K \cdot \eta_0 - a_1 \cdot (X) - a_2 \cdot G \cdot (X)^2$$

إن معامل الميلان الزاوي الكلي K ناتج عن الميلان الطولي $K_{\theta L}$ وعن الميلان العرضي $K_{\theta T}$ ، ويحسب

$$K = K_{\theta L} \cdot K_{\theta T} \quad \text{بالعلاقة التالية :}$$

الدراسة التجريبية :

لحساب ثوابت اللاقط علينا جعل اللاقط مواجهاً للشمس بشكل كامل ، أي أن يكون الإشعاع الشمسي عمودي

على مستوي اللاقط ، أي أن تكون زاويتا الميل الطولية والعرضية معدومتان ، ومن أجل ذلك تم تصميم القاعدة المبينة

بالشكل (1) ، حيث نستطيع التحكم بواسطتها باتجاه اللاقط بتدوير القاعدة كلها باتجاه الشمس ، ونستطيع تغيير زاوية اللاقط باستخدام الرافعة المبينة .



الشكل (1) يبين القاعدة التي نتحكم بواسطتها باتجاه اللاقط وزاويته

ويتم معرفة الزاوية الطولية والعرضية للشعاع الشمسي الساقط على اللاقط الشمسي بواسطة التركيبة المبينة بالشكل (2) ، حيث الوضع العلوي لحساب زاوية الميل الطولية $K_{\theta L}$ ، والوضع السفلي لحساب زاوية الميل العرضية $K_{\theta T}$ ، ويتم قياس شدة الإشعاع الشمسي خلال الفترة المدروسة بواسطة جهاز قياس شدة الإشعاع الشمسي المبين بالشكل (3) ، حيث يثبت بنفس مستوي اللاقط ، ويتم أخذ قراءات درجة حرارة الماء داخل الخزان بعد تدوير الماء في الخزان بواسطة مضخة تدوير لتحقيق التجانس في درجة حرارة الخزان الحراري ومن أجل عدم وجود تدرج حراري.



الشكل (2) يبين طريقة حساب زاويتي الميلان الطولية والعرضية



الشكل (3) يبين جهاز قياس شدة الإشعاع الشمسي وهو مركب بنفس مستوي اللاقط

النتائج والمناقشة:

تم أخذ قراءة درجات حرارة الخزان الحراري ساعة بساعة t_1 , t_2 حيث أخذت القراءة من حساس لدرجة الحرارة وضع ضمن الخزان ولضمان عدم وجود تدرج حراري تم وضع مضخة تدوير لتدوير الماء للحفاظ على تجانس في درجة الحرارة ضمن الخزان ورمز t_1 لدرجة الحرارة عند بدء الساعة و t_2 لدرجة الحرارة عند انتهاء الساعة ، مع أخذ متوسط درجة حرارة الجو المحيط t_a ، ومتوسط شدة الإشعاع الشمسي في تلك الساعة ، وتم ترتيب النتائج في الجدول (1) :

الجدول (1) يبين القيم المقاسة لدرجة حرارة الماء ودرجة حرارة الوسط المحيط وشدة الإشعاع الشمسي الوسطية ساعة بساعة اعتباراً من الساعة العاشرة صباحاً وحتى الساعة الرابعة عصراً .

التاريخ : 2011-4-28

الزمن	t_1 [°c]	t_2 [°c]	t_a [°c]	G W/m ²
10-11	26,8	30,8	20,8	913,1
11-12	30,8	38	19,7	980,3
12-1	38	43,8	22,5	979
1-2	43,8	48,7	22,1	939,4
2-3	48,7	54,6	20,6	993,3
3-4	54,6	62,6	22,4	892

التاريخ : 2011-4-27

الزمن	t_1 [°c]	t_2 [°c]	t_a [°c]	G W/m ²
10-11	23,2	27,2	21,2	899,1
11-12	27,2	34	22,3	950,7
12-1	34	40,2	22,5	959,2
1-2	40,2	44,3	23,7	900,6
2-3	44,3	50,6	24,8	943,3
3-4	50,6	56	22,2	851,6

التاريخ : 2011-4-30

الزمن	t_1 [°c]	t_2 [°c]	t_a [°c]	G W/m ²
10-11	25,8	30	22	901,5
11-12	30	38,6	20	980,2
12-1	38,6	41,7	23	1037,5
1-2	41,7	47	22,8	959,4
2-3	47	52,5	21,4	1016,6
3-4	52,5	60,7	22,6	893,3

التاريخ : 2011-4-29

الزمن	t_1 [°c]	t_2 [°c]	t_a [°c]	G W/m ²
10-11	24,2	28	20	910,7
11-12	28	33,4	22	970,7
12-1	33,4	42,3	22	900,7
1-2	42,3	46	23	880,6
2-3	46	52,7	24	920,6
3-4	52,7	57,9	22	850,3

التاريخ : 2011-5-2

الزمن	t_1 [°c]	t_2 [°c]	t_a [°c]	G W/m ²
10-11	25,8	29,8	21	912,4
11-12	29,8	36,3	20	970
12-1	36,3	44	22,3	987,5
1-2	44	48,5	22,1	939,5
2-3	48,5	54,5	20,6	988,7
3-4	54,5	62,6	21,9	882,9

التاريخ : 2011-5-1

الزمن	t_1 [°c]	t_2 [°c]	t_a [°c]	G W/m ²
10-11	24,2	28,2	21	899,8
11-12	28,2	35,7	22	950
12-1	35,7	40	22,7	950,7
1-2	40	44,5	23,7	900,5
2-3	45,5	50,7	24,8	948,5
3-4	50,7	56	22,7	860,7

التاريخ : 2011-5-4

الزمن	t ₁ [°c]	t ₂ [°c]	t _a [°c]	G W/m ²
10-11	26	30	22	891,9
11-12	30	37,3	19,7	957,6
12-1	37,3	41,8	22,3	978,2
1-2	41,8	46,3	22,3	959,4
2-3	46,3	52,5	20,8	977,2
3-4	52,5	60,7	22,6	890

التاريخ : 2011-5-3

الزمن	t ₁ [°c]	t ₂ [°c]	t _a [°c]	G W/m ²
10-11	24	28	20	920,3
11-12	28	34,7	22,3	990
12-1	34,7	42,2	22,7	960
1-2	42,2	46,7	23,5	880,6
2-3	46,7	52,7	24,6	960
3-4	52,7	57,9	22	853,6

التاريخ : 2011-5-8

الزمن	t ₁ [°c]	t ₂ [°c]	t _a [°c]	G W/m ²
10-11	26,8	30,8	20,8	913,1
11-12	30,8	38	19,7	980,3
12-1	38	43,8	22,5	979
1-2	43,8	48,7	22,1	939,4
2-3	48,7	54,6	20,6	993,3
3-4	54,6	62,6	22,4	892

التاريخ : 2011-5-7

الزمن	t ₁ [°c]	t ₂ [°c]	t _a [°c]	G W/m ²
10-11	23,2	27,2	21,2	899,1
11-12	27,2	34	22,3	950,7
12-1	34	40,2	22,5	959,2
1-2	40,2	44,3	23,7	900,6
2-3	44,3	50,6	24,8	943,3
3-4	50,6	56	22,2	851,6

التاريخ : 2011-5-11

الزمن	t ₁ [°c]	t ₂ [°c]	t _a [°c]	G W/m ²
10-11	25,8	30	22	901,5
11-12	30	38,6	20	980,2
12-1	38,6	41,7	23	1037,5
1-2	41,7	47	22,8	959,4
2-3	47	52,5	21,4	1016,6
3-4	52,5	60,7	22,6	893,3

التاريخ : 2011-5-10

الزمن	t ₁ [°c]	t ₂ [°c]	t _a [°c]	G W/m ²
10-11	24,2	28	20	910,7
11-12	28	33,4	22	970,7
12-1	33,4	42,3	22	900,7
1-2	42,3	46	23	880,6
2-3	46	52,7	24	920,6
3-4	52,7	57,9	22	850,3

التاريخ : 2011-5-15

الزمن	t ₁ [°c]	t ₂ [°c]	t _a [°c]	G W/m ²
10-11	25,8	29,8	21	912,4
11-12	29,8	36,3	20	970
12-1	36,3	44	22,3	987,5
1-2	44	48,5	22,1	939,5
2-3	48,5	54,5	20,6	988,7
3-4	54,5	62,6	21,9	882,9

التاريخ : 2011-5-13

الزمن	t ₁ [°c]	t ₂ [°c]	t _a [°c]	G W/m ²
10-11	24,2	28,2	21	899,8
11-12	28,2	35,7	22	950
12-1	35,7	40	22,7	950,7
1-2	40	44,5	23,7	900,5
2-3	45,5	50,7	24,8	948,5
3-4	50,7	56	22,7	860,7

التاريخ : 2011-5-17

الزمن	t ₁ [°c]	t ₂ [°c]	t _a [°c]	G W/m ²
10-11	26	30	22	891,9
11-12	30	37,3	19,7	957,6
12-1	37,3	41,8	22,3	978,2
1-2	41,8	46,3	22,3	959,4
2-3	46,3	52,5	20,8	977,2
3-4	52,5	60,7	22,6	890

التاريخ : 2011-5-16

الزمن	t ₁ [°c]	t ₂ [°c]	t _a [°c]	G W/m ²
10-11	24	28	20	920,3
11-12	28	34,7	22,3	990
12-1	34,7	42,2	22,7	960
1-2	42,2	46,7	23,5	880,6
2-3	46,7	52,7	24,6	960
3-4	52,7	57,9	22	853,6

التاريخ : 2011-5-21

الزمن	t ₁ [°c]	t ₂ [°c]	t _a [°c]	G W/m ²
10-11	26,8	30,8	20,8	913,1
11-12	30,8	38	19,7	980,3
12-1	38	43,8	22,5	979
1-2	43,8	48,7	22,1	939,4
2-3	48,7	54,6	20,6	993,3
3-4	54,6	62,6	22,4	892

التاريخ : 2011-5-20

الزمن	t ₁ [°c]	t ₂ [°c]	t _a [°c]	G W/m ²
10-11	23,2	27,2	21,2	899,1
11-12	27,2	34	22,3	950,7
12-1	34	40,2	22,5	959,2
1-2	40,2	44,3	23,7	900,6
2-3	44,3	50,6	24,8	943,3
3-4	50,6	56	22,2	851,6

التاريخ : 2011-5-24

الزمن	t ₁ [°c]	t ₂ [°c]	t _a [°c]	G W/m ²
10-11	25,8	30	22	901,5
11-12	30	38,6	20	980,2
12-1	38,6	41,7	23	1037,5
1-2	41,7	47	22,8	959,4
2-3	47	52,5	21,4	1016,6
3-4	52,5	60,7	22,6	893,3

التاريخ : 2011-5-23

الزمن	t ₁ [°c]	t ₂ [°c]	t _a [°c]	G W/m ²
10-11	24,2	28	20	910,7
11-12	28	33,4	22	970,7
12-1	33,4	42,3	22	900,7
1-2	42,3	46	23	880,6
2-3	46	52,7	24	920,6
3-4	52,7	57,9	22	850,3

التاريخ : 2011-5-26

الزمن	t ₁ [°c]	t ₂ [°c]	t _a [°c]	G W/m ²
10-11	25,8	29,8	21	912,4
11-12	29,8	36,3	20	970
12-1	36,3	44	22,3	987,5
1-2	44	48,5	22,1	939,5
2-3	48,5	54,5	20,6	988,7
3-4	54,5	62,6	21,9	882,9

التاريخ : 2011-5-25

الزمن	t ₁ [°c]	t ₂ [°c]	t _a [°c]	G W/m ²
10-11	24,2	28,2	21	899,8
11-12	28,2	35,7	22	950
12-1	35,7	40	22,7	950,7
1-2	40	44,5	23,7	900,5
2-3	45,5	50,7	24,8	948,5
3-4	50,7	56	22,7	860,7

التاريخ : 2011-5-29

التاريخ : 2011-5-28

الزمن	t ₁ [°c]	t ₂ [°c]	t _a [°c]	G W/m ²
10-11	26	30	22	891,9
11-12	30	37,3	19,7	957,6
12-1	37,3	41,8	22,3	978,2
1-2	41,8	46,3	22,3	959,4
2-3	46,3	52,5	20,8	977,2
3-4	52,5	60,7	22,6	890

الزمن	t ₁ [°c]	t ₂ [°c]	t _a [°c]	G W/m ²
10-11	24	28	20	920,3
11-12	28	34,7	22,3	990
12-1	34,7	42,2	22,7	960
1-2	42,2	46,7	23,5	880,6
2-3	46,7	52,7	24,6	960
3-4	52,7	57,9	22	853,6

الحسابات :

$$\tilde{m} = 55 \text{ Kg}$$

إذا علمنا أن وزن الماء الموجود في الخزان الحراري

$$A = 0,555 \text{ m}^2$$

وأن مساحة السطح الماص الفعلية للاقط بعشر أنابيب هي

وبأخذ قيم وسطية للقراءات السابقة خلال فترات زمنية مدتها ساعتين من 10 صباحاً - 4 عصراً [2] [3] ،

وبإجراء الحسابات بالنسبة للقيم الوسطية خلال شهري نيسان وأيار نستطيع ترتيب القيم في الجدول (2)

الجدول(2) يبين الحسابات بالنسبة للقيم الوسطية خلال شهري نيسان وأيار المأخوذة خلال فترات زمنية مدتها ساعتين

من 10 صباحاً - 4 عصراً

الساعة (12 - 10) في شهري نيسان وأيار

$\Delta t =$	$t_2 - t_1$ (خلال فترة ساعتين)	11 C°
$Q =$	$\tilde{m} \cdot C_p \cdot \Delta t \cdot 10^3$ [J]	703,48Wh
$Q_m =$	Q/A	$1267,53 \text{ Wh/m}^2$
$\sum G =$		$1879,9 \text{ Wh/m}^2$
$\eta =$	$Q_m / \sum G$	0,6743
$t_m =$	$t_1 + t_2 / 2$ (درجة الحرارة الوسطية خلال ساعتين)	$30,5 \text{ C}^\circ$
$t_a =$		21 C°
$G =$		$939,95 \text{ W/m}^2$
$X =$	$t_m - t_a / G$	0,01011
$G \cdot (x)^2 =$		0,09602
$\eta(x) =$	$\eta_0 - a_1 \cdot x - a_2 \cdot G \cdot (x)^2$	$0,6743 = \eta_0 - a_1 \cdot 0,01011 - a_2 \cdot 0,09602$

الساعة (2 - 12) في شهري نيسان وأيار

$\Delta t =$	$t_2 - t_1$ (خلال فترة ساعتين)	$10,5 C^\circ$
$Q =$	$\tilde{m} \cdot C_p \cdot \Delta t \cdot 10^3$ [J]	671,5Wh
$Q_m =$	Q/A	1209,9 Wh/m ²
$\sum G =$		1889,1 Wh/m ²
$\eta =$	$Q_m / \sum G$	0,6405
$t_m =$	$t_1 + t_2 / 2$ (درجة الحرارة الوسطية خلال ساعتين)	$41,25 C^\circ$
$t_a =$		$22,7 C^\circ$
$G =$		944,55W/m ²
$X =$	$t_m - t_a / G$	0,01964
$G \cdot (x)^2 =$		0,3643
$\eta(x) =$	$\eta_0 - a_1 \cdot x - a_2 \cdot G \cdot (x)^2$	$0,6405 = \eta_0 - a_1 \cdot 0,01964 - a_2 \cdot 0,3643$

الساعة (2 - 4) في شهري نيسان وأيار

$\Delta t =$	$t_2 - t_1$ (خلال فترة ساعتين)	$9,5 C^\circ$
$Q =$	$\tilde{m} \cdot C_p \cdot \Delta t \cdot 10^3$ [J]	607,6Wh
$Q_m =$	Q/A	1094,77 Wh/m ²
$\sum G =$		1840,4 Wh/m ²
$\eta =$	$Q_m / \sum G$	0,5949
$t_m =$	$t_1 + t_2 / 2$ (درجة الحرارة الوسطية خلال ساعتين)	$51,85 C^\circ$
$t_a =$		$22,9 C^\circ$
$G =$		920,2W/m ²
$X =$	$t_m - t_a / G$	0,03146
$G \cdot (x)^2 =$		0,91078
$\eta(x) =$	$\eta_0 - a_1 \cdot x - a_2 \cdot G \cdot (x)^2$	$0,5949 = \eta_0 - a_1 \cdot 0,03146 - a_2 \cdot 0,91078$

حساب ثوابت اللاقط:

ينتج لدينا ثلاثة معادلات بثلاثة مجاهيل وهي :

- 1- $0,6743 = \eta_0 - a_1 \cdot 0,01011 - a_2 \cdot 0,09602$
- 2- $0,6405 = \eta_0 - a_1 \cdot 0,01964 - a_2 \cdot 0,3643$
- 3- $0,5949 = \eta_0 - a_1 \cdot 0,03146 - a_2 \cdot 0,91078$

وبحل جملة المعادلات حلاً مشتركاً ، ينتج لدينا ثابت اللاقط بالشكل التالي :

$\eta_0 = 0,706912$	المردود النظري
$a_1 = 3,06225 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	معامل فقد الحرارة الأول الخطي
$a_2 = 0,0172086 \text{ W/(m}^2\text{K}^2)$	معامل فقد الحرارة الثاني
وتصبح علاقة المردود النهائية :	
$\eta(x) = 0,706912 - 3,06225 \cdot (x) - 0,0172086 \cdot G(x)^2$	

حساب علاقة المردود مع Δt عند شدة إشعاع مختلفة :

بتطبيق العلاقة السابقة عند شدة إشعاع مختلفة وعند قيم Δt مختلفة ينتج الجدول (3):

الجدول (3) يبين تطبيق لعلاقة المردود التي حصلنا عليها تجريبياً عند قيم مختلفة لـ Δt

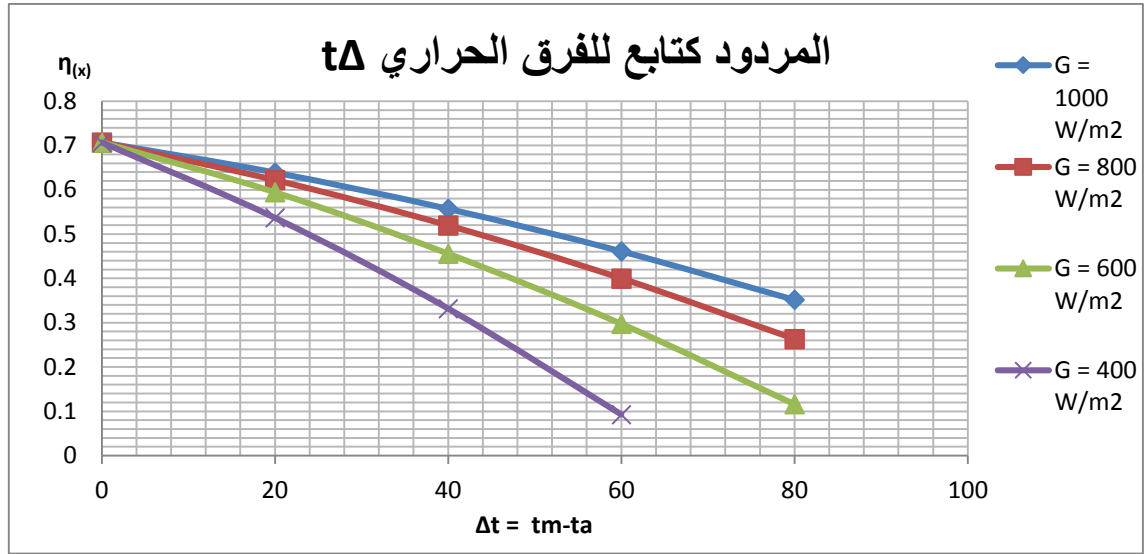
$G = 1000 \text{ W/m}^2$					
$\Delta t = t_m - t_a$	0	20	40	60	80
$X = t_m - t_a / G$	0	0,02	0,04	0,06	0,08
$G \cdot (x)^2 =$	0	0,4	1,6	3,6	6,4
$\eta(x) =$	0,7069	0,6388	0,5569	0,4612	0,3518

$G = 800 \text{ W/m}^2$					
$\Delta t = t_m - t_a$	0	20	40	60	80
$X = t_m - t_a / G$	0	0,025	0,05	0,075	0,1
$G \cdot (x)^2 =$	0	0,5	2	4,5	8
$\eta(x) =$	0,7069	0,6218	0,5194	0,3998	0,263

$G = 600 \text{ W/m}^2$					
$\Delta t = t_m - t_a$	0	20	40	60	80
$X = t_m - t_a / G$	0	0,033	0,067	0,1	0,133
$G \cdot (x)^2 =$	0	0,667	2,667	6	10,667
$\eta(x) =$	0,7069	0,5944	0,4558	0,2974	0,1161

$G = 400 \text{ W/m}^2$					
$\Delta t = t_m - t_a$	0	20	40	60	80
$X = t_m - t_a / G$	0	0,05	0,1	0,15	0,2
$G \cdot (x)^2 =$	0	1	4	9	16
$\eta(x) =$	0,7069	0,5366	0,3319	0,0927	0,18-

ويرسم العلاقة ينتج الشكل (4)

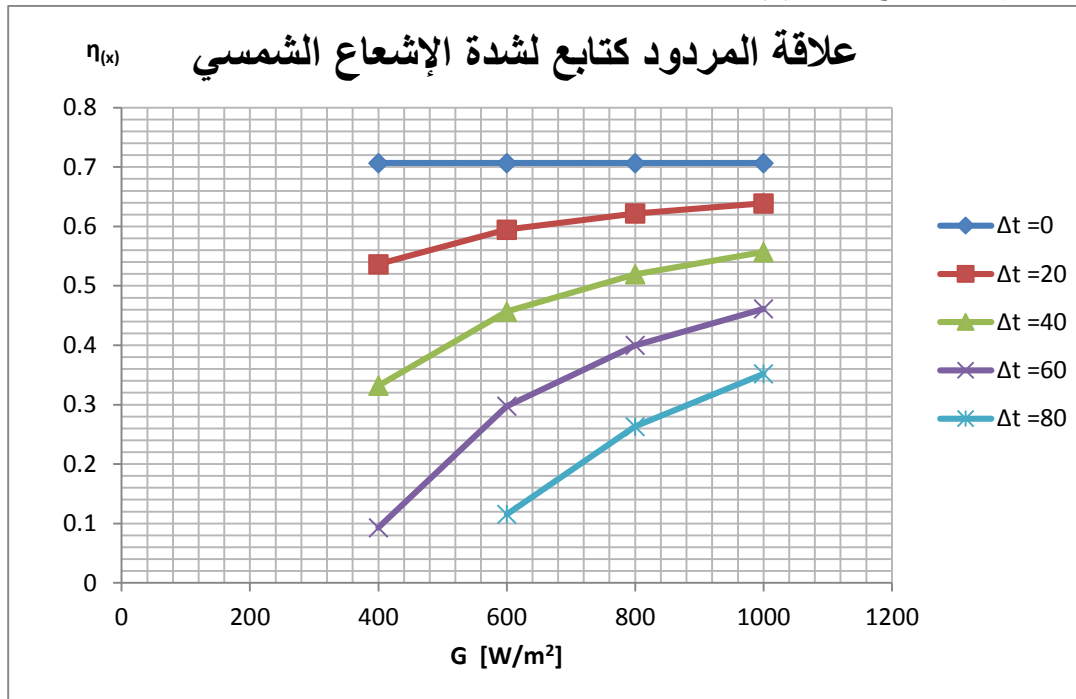


الشكل (4) يبين نتائج الدراسة التجريبية ويوضح تغير المردود كتابع لفرق درجات الحرارة

حساب علاقة المردود مع G عند قيم Δt مختلفةبتطبيق العلاقة السابقة للمردود عند شدة إشعاع مختلفة وعند قيم Δt مختلفة ينتج الجدول (4):الجدول (4) يبين تطبيق لعلاقة المردود التي حصلنا عليها تجريبياً عند قيم مختلفة لـ G

$\Delta t = t_m - t_a = 0$				
G	400	600	800	1000
$X = t_m - t_a / G$	0	0	0	0
$\eta(x) =$	0,7069	0,7069	0,7069	0,7069
$\Delta t = t_m - t_a = 20$				
G	400	600	800	1000
$X = t_m - t_a / G$	0,05	0,033	0,025	0,02
$\eta(x) =$	0,5366	0,5946	0,6218	0,6388
$\Delta t = t_m - t_a = 40$				
G	400	600	800	1000
$X = t_m - t_a / G$	0,1	0,0667	0,05	0,04
$\eta(x) =$	0,3319	0,4568	0,5194	0,5569
$\Delta t = t_m - t_a = 60$				
G	400	600	800	1000
$X = t_m - t_a / G$	0,15	0,1	0,075	0,06
$\eta(x) =$	0,0928	0,2975	0,3999	0,4613
$\Delta t = t_m - t_a = 80$				
G	400	600	800	1000
$X = t_m - t_a / G$	0,2	0,1333	0,1	0,08
$\eta(x) =$	0	0,1154	0,2631	0,3519

ويرسم العلاقة ينتج الشكل (5) :



الشكل (5) يبين نتائج الدراسة التجريبية ويوضح تغير المردود כתابع لشدة الإشعاع الشمسي

حساب معاملات الميل الطولية والعرضية

ندور اللاقط بشكل مستمر بحيث يكون مواجهاً للشمس بشكل دائم ، عندها تكون الزاوية العرضية θ_T معدومة ونغير الزاوية الطولية باستخدام الرافعة وتغيير زاوية ميل اللاقط وينتج الجدول (5):

الجدول (5) يبين النتائج التي حصلنا عليها بتغيير زاوية الميل الطولية فقط مع الحفاظ على زاوية الميل العرضية معدومة .

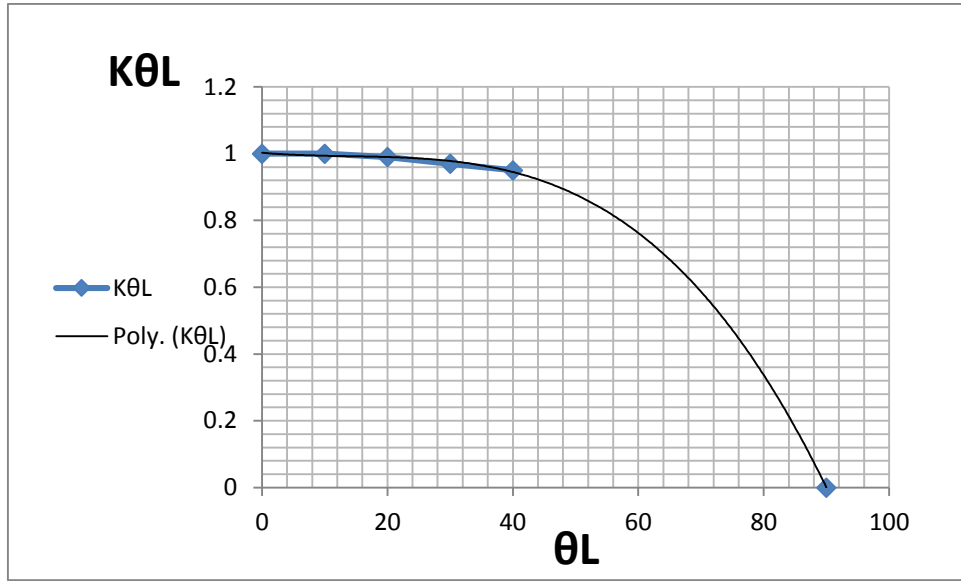
θ_L	θ_T	t_1	t_2	t_a	G
10	0	34,1	39	22,5	890,5
20	0	39,1	43,9	23	880,3
30	0	44,2	48,9	24	910
40	0	48,9	52,7	24,1	795,3

وبإجراء الحسابات حيث نحسب المردود الجديد بناءً على القراءات الجديدة ونقارنها مع المردود بدون ميلان ونحسب معامل الميل الذي هو معامل ميل طولي فقط ينتج الجدول (6) مع ملاحظة بعض الزوايا الغير محسوبة بسبب عدم المقدرة على انجازها بواسطة منصة تثبيت اللاقط ولكن بإجراء تمثيل رياضي نستطيع الحصول على نتائج مقبولة

الجدول (6) يبين معامل الميل الطولي المحسوب تجريبياً

θ_L	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$K_{\theta L}$	1	1	0,99	0,97	0,95	?	?	?	?	0

ويرسم هذه العلاقة ينتج لدينا الشكل (6)

الشكل (6) يبين علاقة معامل الميل الطولي $K\theta_L$ كتابع لزاوية الميل الطولية ويظهر المنحنى المعياري

بأخذ عدة وضعيات للاقط مع الإشعاع الشمسي عند زوايا ميول مختلفة ينتج لدينا الجدول (7)

الجدول (7) يبين القراءات عند وضعيات مختلفة لزوايا الميول الطولية والعرضية

θ_T	θ_L	t_1	t_2	t_a	G
20	15	27,9	34,2	26,3	974,5
40	35	34	40,8	27,2	865,4
50	20	41,6	47	27,3	693,3
60	20	47,9	51,1	27,1	473,4

نستطيع حساب المردود وبمعرفة المردود بدون ميلان نستطيع حساب معامل الميلان الكلي وبمعرفة معامل

الميل الطولي السابق نستطيع حساب معامل الميل العرضي وينتج الجدول (8)

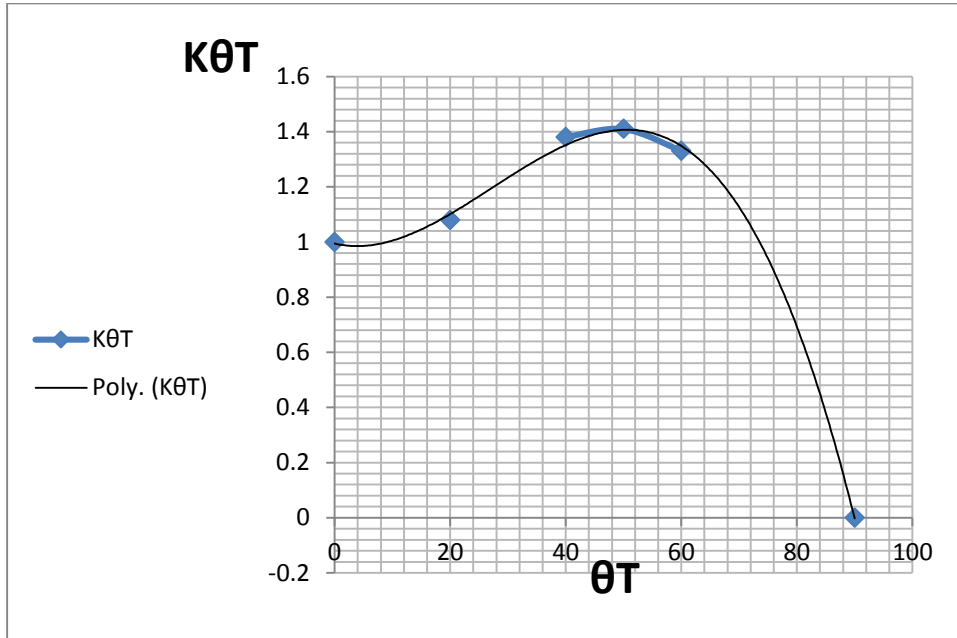
الجدول (8) يبين معامل الميل العرضي عند الوضعيات المنفذة تجريبياً

θ_T	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
K_{θ_T}	1	?	1,08	?	1,38	1,41	1,33	?	?	0

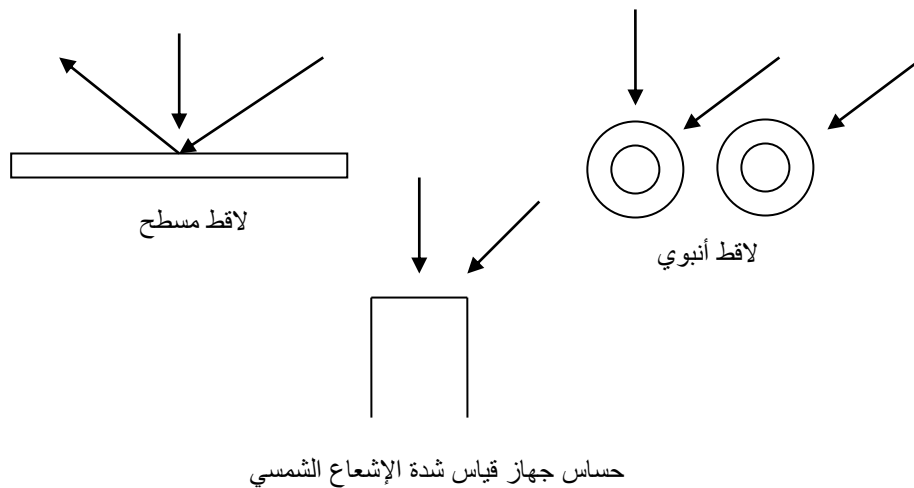
وينتج لدينا الشكل (7) ، نلاحظ ازدياد معامل الميل العرضي K_{θ_T} بزيادة الزاوية حتى نصل تقريباً إلى الزاوية

50° ، ثم يبدأ بالانخفاض، والسبب هو شكل الأنابيب الدائري الذي يتتبع حركة الشمس بشكل غير مباشر الشكل (8) حيث يبقى الشعاع الشمسي عمودياً على السطح الماص، أي كأننا ندور لاقطاً مسطحاً باتجاه الشمس بشكل مباشر

وبالتالي يزداد معامل الميل العرضي $K_{\theta T}$ الذي يزيد المردود بالمقارنة مع لاقط مسطح مثبت على اتجاه ثابت باتجاه الجنوب وبزاوية $35,5^\circ$



الشكل (7) يبين تغير معامل الميل العرضي كتابع لزاوية الميل العرضية ويظهر المنحني المعبر عن النتائج التي حصلنا عليها تجريبياً.



الشكل (8) يبين سبب زيادة معامل الميل العرضي وهو شكل الأنابيب الدائري الذي يتتبع حركة الشمس

عند ميلان الشمس عن اتجاه الجنوب، ستخفض قراءة مقياس شدة الإشعاع الشمسي المثبت باتجاه الجنوب ، ولكن ستكون كمية الحرارة المستفاد منها ثابتة تقريباً في اللاقط الأنبوبي لأن الشعاع الشمسي يبقى عمودياً على السطح

$$\eta = Q/G$$

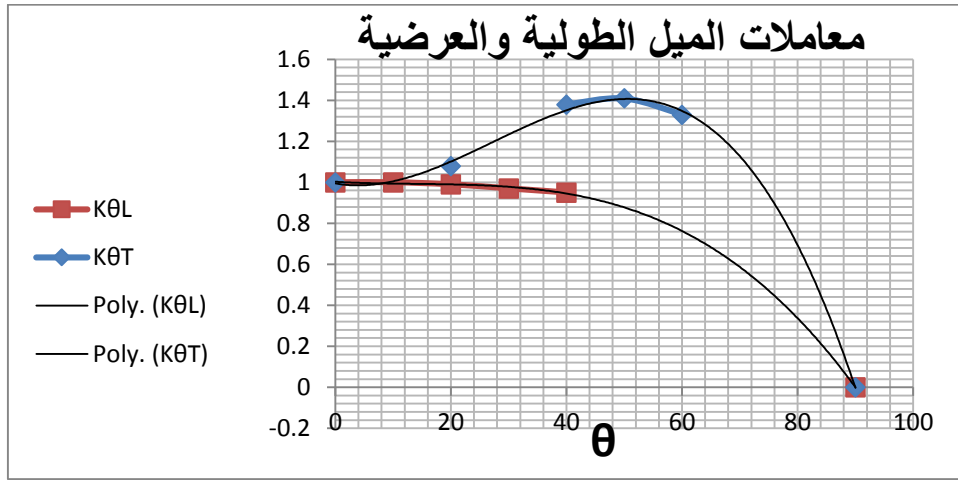
حيث Q هي كمية الحرارة التي ينتجها اللاقط و G هي متوسط شدة الإشعاع الشمسي

إن انخفاض قراءة مقياس شدة الإشعاع الشمسي بسبب ميلان الشمس، وبقاء كمية الحرارة المأخوذة من اللاقط ثابتة تقريباً بسبب تتبع الأنابيب لحركة الشمس الغير مباشرة سيؤدي إلى زيادة المردود ونعبر عن هذه الزيادة بزيادة معامل الميلان العرضي $K_{\theta T}$ ويزداد معامل الميلان العرضي حتى الزاوية 50° تقريباً ثم يبدأ بالانخفاض السريع والسبب في ذلك هو تظليل الأنابيب لبعضها البعض حتى يصبح التظليل تاماً عند الزاوية 90° . [4].
بأخذ التوابع الرياضية المعبرة السابقة يمكننا كتابة الجدول (9) :

الجدول (9) يبين معاملات الميلان الطولية والعرضية عند مختلف الزوايا التي حصلنا عليها تجريبياً و من خلال المنحنيات

الزاوية	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$K_{\theta L}$	1	1	0,99	0,97	0,95	0,93	0,82	0,69	0,45	0
$K_{\theta T}$	1	1,02	1,08	1,18	1,38	1,41	1,33	1,22	0,9	0

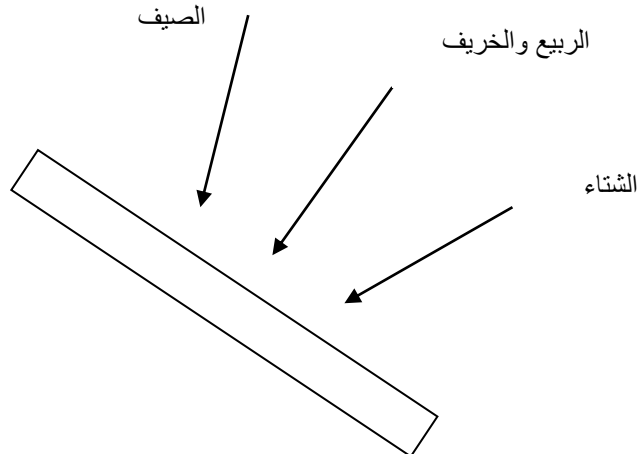
ويرسم هذه القيم ينتج لدينا الشكل (8)



الشكل (8) يبين معاملات الميل الطولية والعرضية كتابع لزاوية الميل مع المنحنيات الموافقة

علينا حساب زوايا الميل للإشعاع الشمسي الوسطية في كل فصل من فصول السنة وحساب معاملات الميل

الوسطية أيضاً نستطيع تمثيل الأنابيب في اللاقط المدروس في الشكل (9)



الشكل (9) يمثل وضعية الأنابيب مع الإشعاع الشمسي وذلك في كل فصل من فصول السنة

بإجراء الحسابات ينتج لدينا الجدول (10)

الجدول (10) يبين زوايا الميل الطولية والعرضية خلال كل فصل من فصول السنة

الصيف	الربيع والخريف	الشتاء	
$\theta_L = 23,5^\circ$	0	$\theta_L = 23,5^\circ$	θ_L
$\theta_T = 32,5^\circ$	$\theta_T = 32,5^\circ$	$\theta_T = 32,5^\circ$	θ_T
0,985	1	0,985	K_{θ_L}
1,23	1,23	1,23	K_{θ_T}
1,2116	1,23	1,2116	$K = K_{\theta_L} \cdot K_{\theta_T}$

لمعرفة كمية الحرارة التي يعطيها 1 متر مربع من مساحة اللاقط يكفي معرفة شدة الإشعاع الشمسي الوسطي للمنطقة المدروسة خلال يوم وضربها بالمرود فنتج كمية الحرارة وباستخدام العلاقة

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

نستطيع كتابة التالي وذلك من أجل النوع المدروس والمركب في مدينة اللاذقية وبناء على معطيات الأرصاد الجوية والشروط التصميمية المراعية لشروط عمل اللاقط وذلك في الأيام المشمسة وخلال ساعات النهار فقط وبفرض درجة حرارة الماء الساخن المطلوبة هي $35^\circ C$ و $60^\circ C$ واللاقط مثبت بزوايا ميلان 35° وباتجاه الجنوب، وبأخذ معاملات تصحيح ميلان الإشعاع الشمسي الطولية والعرضية الوسطية K المحسوبة في الجدول (10) على سطح مائل بزوايا 35° باتجاه الجنوب وفي كل فصل من فصول السنة نستطيع كتابة الجدول (11)

الجدول (11) يبين الشروط التصميمية المأخوذة لمدينة اللاذقية ومعامل الميل الكلي

ومردود اللاقط الشمسي وكمية الحرارة التي يعطيها اللاقط في يوم واحد خلال كل فصل من فصول السنة

الشتاء	الربيع	الصيف	الخريف	
751	908	905	894	G [Wh/m ²]
13	22	34	22	t _a [c ⁰]
1,2116	1,23	1,2116	1,23	K
0,06258	0,04185	0,02873	0,04251	x
0,61424	0,71398	0,74071	0,71152	$\eta(x)$
6012	7269	7244	7157	G [(Wh/m ²)/day]
3692,81	5189,92	5365,7	5092,35	Q [(Wh/m ²)/day]

حيث Q هي كمية الحرارة الفعلية التي يأخذها اللاقط يومياً ويعطيها للماء وتحسب بالقانون : $Q = \eta(x) \cdot G$

$$\dot{m} = \frac{Q}{c_p \cdot \Delta T}$$

ونحسب كمية الماء الساخن التي نؤمنها يومياً بالعلاقة

تم أخذ مساحة مسقط الأنابيب في الاعتبار في هذه الدراسة، وتم إجراء هذه الدراسة خلال فصل الربيع على اعتبار أن الشروط الجوية تكون في هذا الفصل معتدلة وتمثل شروط وسطية بالنسبة للعام وتم تعميم باقي النتائج على مدار فصول السنة بالاستعانة بمعطيات الأرصاد الجوية للطقس المحلي لشروط مدينة اللاذقية .

وبحساب كمية الماء الساخن ينتج الجدول (12)

الجدول (12) يبين كمية الماء الساخن التي يعطيها النوع المدروس في يوم واحد خلال كل فصل من فصول السنة

الشتاء	الربيع	الصيف	الخريف	
لاقط 10 أنبوب له مساحة ماصة 0,555 m ²	65,2 ليتر ماء ساخن يومياً	98,5 ليتر ماء ساخن يومياً	63,97 ليتر ماء ساخن يومياً	
لاقط 20 أنبوب له مساحة ماصة 1,11 m ²	130,4 ليتر ماء ساخن يومياً	197 ليتر ماء ساخن يومياً	127,93 ليتر ماء ساخن يومياً	
لاقط 30 أنبوب له مساحة ماصة 1,665 m ²	195,6 ليتر ماء ساخن يومياً	295,5 ليتر ماء ساخن يومياً	191,9 ليتر ماء ساخن يومياً	
لاقط 40 أنبوب له مساحة ماصة 2,22 m ²	260,8 ليتر ماء ساخن يومياً	394 ليتر ماء ساخن يومياً	255,86 ليتر ماء ساخن يومياً	

ويبين الجدول (13) التالي جدول بالوحدات والترميز المستخدمة في هذا البحث .

الجدول (13) يبين الواحدات والترميز للقيم المستخدمة في هذا البحث

الواحدة	الرمز	القيمة
-	η	المردود
-	η_0	المردود النظري
W/(m ² K)	a_1	معامل فقد الحرارة الأول الخطي
W/(m ² K ²)	a_2	معامل فقد الحرارة اللاخطي الثاني
°C	t_m	درجة الحرارة الوسطية خلال ساعة واحدة
°C	t_a	درجة حرارة الوسط المحيط
Wh/m ²	G	شدة الإشعاع الشمسي
°	θ_L	زاوية الميلان الطولية
°	θ_T	زاوية الميلان العرضية
-	$K_{\theta L}$	معامل الميلان الطولي
-	$K_{\theta T}$	معامل الميلان العرضي

-	K	معامل الميلان الكلي
m ²	A	مساحة مسقط السطح الماص
(Wh/m ²)/day	Q	كمية الحرارة يومياً

الاستنتاجات والتوصيات :

- يزداد المردود مع ازدياد شدة الإشعاع الشمسي وينخفض مع ازدياد فرق درجات الحرارة بين الماء داخل الخزان الحراري والوسط المحيط
- إن ثوابت اللاقط موضوع التجربة والدراسة هي :

- $\eta_0 = 0,706912$	المردود النظري
- $a_1 = 3,06225 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	معامل فقد الحرارة الأول الخطي
- $a_2 = 0,0172086 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^2)$	معامل فقد الحرارة الثاني

وتصبح بالتالي علاقة المردود

$$- \eta(x) = K.0,706912 - 3,06225.(x) - 0,0172086.G(x)^2$$

حيث K تؤخذ حسب كل فصل من فصول السنة كما ورد في الجدول (10)

- إن اللاقط موضوع الدراسة جيد من الناحية الفنية ، وقيم ثوابت مردوده تقع ضمن القيم المقبولة عالمياً لهذا النوع. [6] ، [7]

-نوصي لتحسين المردود دراسة تأثير زيادة سماكة العازل في الخزان الحراري ، لتقليل الضياعات الحرارية .
-يمكن تحديد قياس اللاقط المناسب حسب الحاجة ، فلأغراض المنزلية نستطيع التحديد حسب عدد الأشخاص في المنزل ، فكل شخص يحتاج وسطياً في اليوم إلى 50 ليتر ، فبالنسبة لعائلة مكونة من ثلاث أو أربع أشخاص يكون اللاقط ذو 30 أنبوب كافياً ، ولعائلة مكونة من خمس إلى ست أشخاص يكون اللاقط ذو 40 أنبوب كافياً ما عدا في فصل الشتاء حيث يجب الاستعانة بمصدر مساعد آخر للطاقة .

المراجع :

- [1] – MICHELS,T.K. *Solar Energy Utilization*. 3rd ed., Van Nostrand Reinhold, Germany, 1998, 253.
- [2]- GALLOWAY,T.A. *Solar House*, 2nd ed., Routedge, U.K., 2012,240.
- [3] – باكير، محمد. عبده . *الجدوى الاقتصادية لاستخدام تقنية الأنابيب الزجاجية المفرغة لتسخين المياه* ، جامعة البعث ، 2008 ، 113 .
- [4] – SCHAEFFER J.D.; PRATT,D.H. *The Real Goods Solar Living Source Book* , Real Goods Trading Corporation ,U.S.A. , 1999, 562 .
- [5] – تقلا، جوني. *التدفئة وتكييف الهواء* ، جامعة تشرين ، 1998 ، 160 .
- [6]- WILSON,A.G. *Green Building Products* . 3rd ed., New Society Publishers ,Canada, 2013,352.
- [7]- RAMLOW,B.B. *Solar Water Heating*. 2nd ed., New Society Publishers ,Canada, 2013,256.