

تحليل الأداء الحراري لنظام تسخين الماء الشمسي الحر

الدكتور رامي جورج*

(تاريخ الإيداع 7 / 6 / 2010. قُبِل للنشر في 20 / 2 / 2011)

□ ملخص □

يهدف هذا البحث إلى تحليل الأداء الحراري لنظام تسخين الماء الشمسي الحر وذلك باستخدام برنامج المحاكاة TRNSYS. فقد تم تحليل الأداء الحراري لنظام التسخين الشمسي الحر باستخدام الشروط المناخية اللحظية لمدينة اللاذقية كمعطيات لبرنامج المحاكاة لدراسة تأثير بعض المتغيرات (حجم وشكل الخزان الحراري ومساحة اللاقط الشمسي وموضع السخان المساعد ضمن الخزان الحراري) على مردود اللاقط الشمسي ونسبة التغطية الشمسية. لقد أظهر هذا البحث أنه لا يوجد فرق في مردود اللاقط الشمسي عند استخدام خزان حراري أفقي أو خزان شاقولي مها كان حجم الخزان الحراري بينما هناك فرق بسيط في نسبة التغطية الشمسية لا يتعدى 2%. يزداد مردود اللاقط الشمسي بمقدار 3.6% وتزداد نسبة التغطية الشمسية بمقدار 6% عند وضع السخان المساعد في الربع العلوي من الخزان الحراري مقارنة في حالة وضعه في الربع السفلي للخزان من أجل مساحة لاقط شمسي $2[m^2]$.

الكلمات المفتاحية: نظام تسخين حر، خزان حراري، طاقة شمسية، برنامج محاكاة TRNSYS

* أستاذ مساعد - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

Analysis of Thermal Performance of Thermosyphon Solar Water Heating System

Dr. Rami George*

(Received 7 / 6 / 2010. Accepted 20 / 2 / 2011)

□ ABSTRACT □

The objective of this investigation is to study the effect of several parameters on the thermal performance of thermosyphon solar water heating system using TRNSYS simulation program. Analysis of thermosyphon solar water heating system was carried out using hourly weather data as data input to the simulation program to study the influence of several parameters (shape and volume of storage tank, auxiliary heater position) on solar collector efficiency and solar fraction. The investigation shows that there is no difference in solar collector efficiency by using vertical or horizontal storage tank, whereas the difference in solar fraction is less than 2[%]. The solar collector efficiency increases about 3.6[%] and the solar fraction increases about 6[%] when the auxiliary heater is supplied in the top of storage tank instead of bottom for solar collector area 2[m²].

Key words: Solar thermosyphon system, Storage tank, Solar energy, Simulation program TRNSYS

* Assistant Professor, Mechanical Power Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

إن تخفيض استهلاك الطاقة الكهربائية المستخدمة لتسخين الماء في قطاع البنية السكنية أدى إلى دخول أنظمة تسخين الماء الشمسي الحرة في السنوات القليلة الماضية وحتى الوقت الحاضر بكثرة حيز التطبيق في قطرنا والتي تعتبر أكثر أنظمة التسخين الشمسي شيوعاً واستخداماً في مجال تسخين الماء المنزلي. فقد انتشر تركيب أنواع وأشكال مختلفة من هذه الأنظمة في الفترة الماضية نظراً لسهولة تركيبها وصيانتها بالإضافة لدعم وتشجيع السلطات المختصة في الدولة لهذه المشاريع.

سوف يتم إنجاز محاكاة نظام تسخين الماء الشمسي الحر من أجل دراسة تأثير بعض المتغيرات الهامة (مساحة اللاقط الشمسي، حجم وشكل الخزان الحراري، موضع سخان المساعد ضمن الخزان الحراري) على الأداء الحراري لهذه الأنظمة باستخدام برنامج المحاكاة TRNSYS، إذ يتأثر كل من مردود اللاقط الشمسي ونسبة التغطية الشمسية بهذه المتغيرات.

هناك أبحاث عديدة متعلقة بأنظمة التسخين الشمسي الحرة، بعضها تناول أداء واختبار أنظمة تسخين الماء الشمسي الحرة [1] و[2] و[3] و[4] و[5]. ومنها من درس تأثير نوع الصفيحة الماصة للاقط الشمسي المسطح على الأداء الحراري لنظام التسخين الشمسي الحر [6] أو التحليل الحراري والاقتصادي لنظام التسخين الشمسي الحر [7]. وبعضها الآخر بحث في تغيير درجة حرارة وتدفق الوسيط العامل ضمن اللاقط الشمسي لنظام التسخين الشمسي الحر [8] و[9].

تم في هذا البحث إجراء محاكاة لنظام تسخين الماء الشمسي الحر باستخدام لاقط شمسي مسطح مواصفاته ($F_{R\tau\alpha}=0.73$, $F_{RU_c}=5.96[W/m^2\text{ }^\circ\text{C}]$) ويميل بزواوية مساوية لزواوية خط العرض من أجل تأمين الماء الساخن لبناء سكني لعائلة واحدة مؤلفة من أربعة أفراد حيث استهلاك الفرد الواحد من الماء الساخن في اليوم 50[lit] ويقع البناء في مدينة اللاذقية حيث خط العرض هو 35.5° .

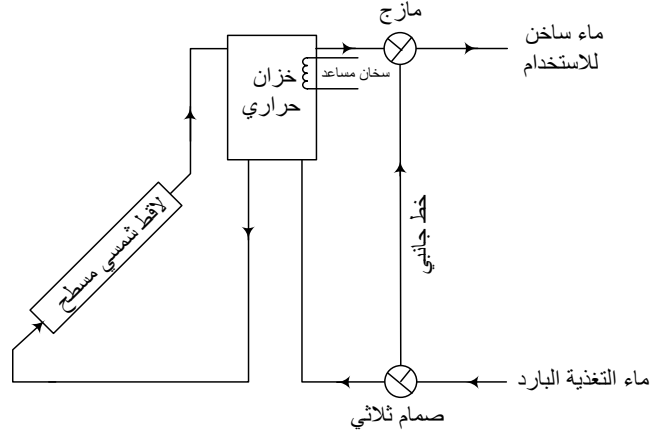
وصف نظام تسخين الماء الشمسي

يبين الشكل (1) نظام تسخين الماء الشمسي الحر المستخدم في هذا البحث، إذ يتكون هذا النظام من العناصر التالية (لاقط شمسي مسطح، خزان حراري، سخان مساعد). يحدث دوران وسيط نقل الحرارة في نظام التسخين الحر من اللاقط الشمسي إلى الخزان الحراري بواسطة فرق الكثافة الناتجة عن ارتفاع درجة حرارة وسيط نقل الحرارة في اللاقط الشمسي نتيجة امتصاص الإشعاع الشمسي الساقط على اللاقط. حيث ارتفاع درجة حرارة وسيط نقل الحرارة في اللاقط الشمسي يؤدي إلى انخفاض كثافته فيتحرك نحو الأعلى إلى الخزان الحراري وبالمقابل ينزل بدلاً عنه وسيط بارد من أسفل الخزان الحراري. لضمان عمل النظام بفعالية جيدة يجب أن يوضع الخزان الحراري للنظام الشمسي في مكان أعلى من حقل اللواقط. لا يستخدم في هذه الأنظمة مضخات تسريع ولا أنظمة تحكم لتأمين حركة وسيط نقل الحرارة، نتيجة لذلك فإن التكاليف التأسيسية وتكاليف التشغيل لأنظمة تسخين الماء الحر منخفضة مقارنة مع أنظمة التسخين القسرية علاوة على ذلك تعمل أنظمة التسخين الحر بشكل فعال كما هو الحال بالنسبة لأنظمة التسخين القسرية [10].

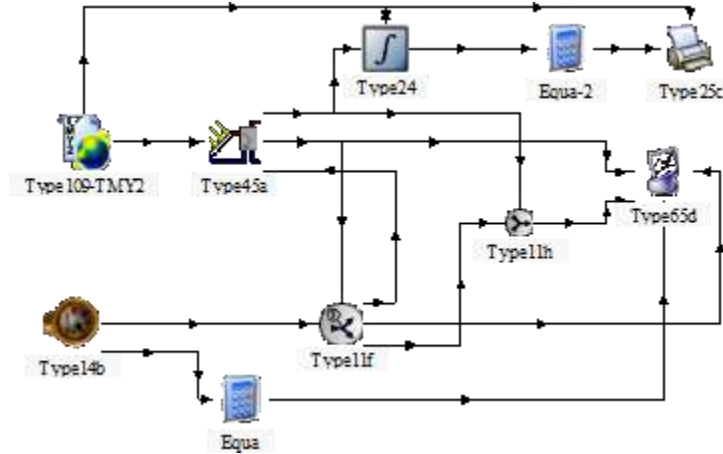
من أجل تأمين كامل الحمل الحراري للبناء السكني تم تزويد النظام الشمسي بسخان إضافي لمساعدة مصدر الطاقة الشمسية عندما تكون درجة الحرارة في الخزان أقل من درجة الحرارة الدنيا المطلوبة عند الحمل. بينما عندما تكون درجة الحرارة في الخزان الحراري أعلى من درجة الحرارة المطلوبة عند الحمل عندئذ يتم تمرير جزء من ماء

التغذية البارد عبر الخط الجانبي ليتم مزجه مع الماء الخارج من الخزان الحراري من أجل الحصول على درجة الحرارة المطلوبة.

يبين الشكل (2) مخطط لمكونات نظام تسخين الماء الشمسي الحر وفق برنامج المحاكاة TRNSYS ورقم كل مكون وعملية ربط هذه المكونات مع بعضها البعض من أجل محاكاة نظام التسخين الحر.



الشكل (1) نظام تسخين الماء الشمسي الحر المقترح



الشكل (2) لوحة محاكاة نظام تسخين الماء الشمسي الحر وفق برنامج TRNSYS

أهمية البحث وأهدافه:

بعض الأنظمة الشمسية الحرة المركبة في قطرنا سواء المصنعة محلياً أو المستوردة تحتوي على خزان حراري شاقولي وبعضها الآخر يحتوي على خزان أفقي كما هو موضح في الشكل (3) وفي كلا النظامين يتم اختيار حجم الخزان الحراري كحلاً ويعتمد على الشخص المستثمر للنظام ويتم وضع السخان المساعد في القسم السفلي من الخزان الحراري كحل لمشكلة الخزان الحراري وموضع السخان المساعد.

1

لية الشمسية لذ



الشكل (3) نظام تسخين الماء الشمسي الحر ذو خزان أفقي (على اليمين) وآخر ذو خزان شاقولي (على اليسار)

طرائق البحث ومواده:

تم استخدام برنامج المحاكاة TRNSYS [11] الذي يعتبر أكثر برامج المحاكاة استخداماً وشيوعاً لتقييم الأداء الحراري اللحظي لأنظمة الطاقة الشمسية، حيث يقوم هذا البرنامج بمحاكاة نظام التسخين الشمسي الحر المعتمد في هذا البحث انطلاقاً من قيم المتغيرات المتعلقة بمكونات النظام والمعطيات المناخية للموقع المدروس. تم الحصول على قيم الإشعاع الشمسي اللحظي الساقط على سطح أفقي والمعطيات المناخية للمنطقة المدروسة باستخدام برنامج Meteonorm [12]. حيث يتم الحصول على ملف المعطيات المناخية بالتنسيق المعياري TMY والذي تتم قراءته من قبل برنامج المحاكاة TRNSYS باستخدام مكون معين (Type109-TMY2) ثم يقوم بحساب شدة الإشعاع الشمسي الساقط على اللاقط الشمسي المسطح المواجه للجنوب مباشرة والمائل بزاوية مساوية لزاوية خط العرض للموقع المدروس.

مردود اللاقط الشمسي

يعبر عن مردود اللاقط الشمسي بالنسبة بين كمية الطاقة المفيدة المزودة من اللاقط الشمسي Q_u إلى كمية الإشعاع الشمسي H_t الساقط على لاقط شمسي مساحته A_c . يتم حساب مردود اللاقط الشمسي الشهري والسنوي من العلاقة التالية:

$$\eta_c = \frac{\sum Q_u}{A_c \sum H_t} \quad [\%] \quad (1)$$

نسبة التغطية الشمسية

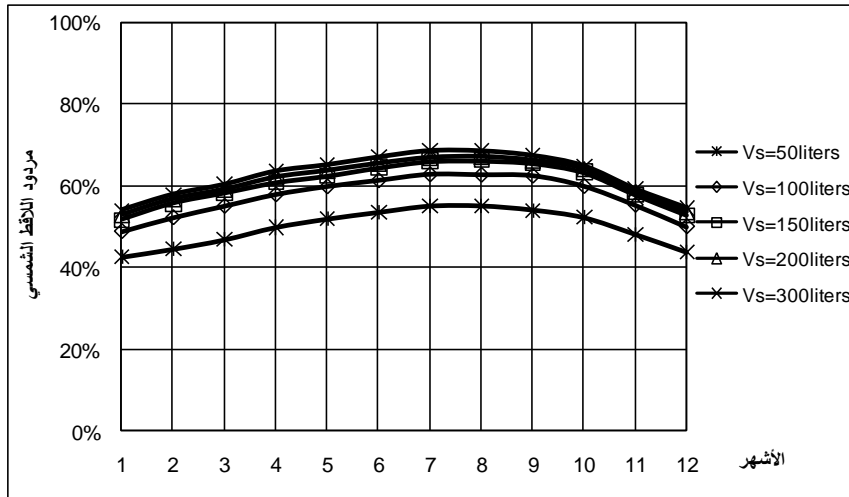
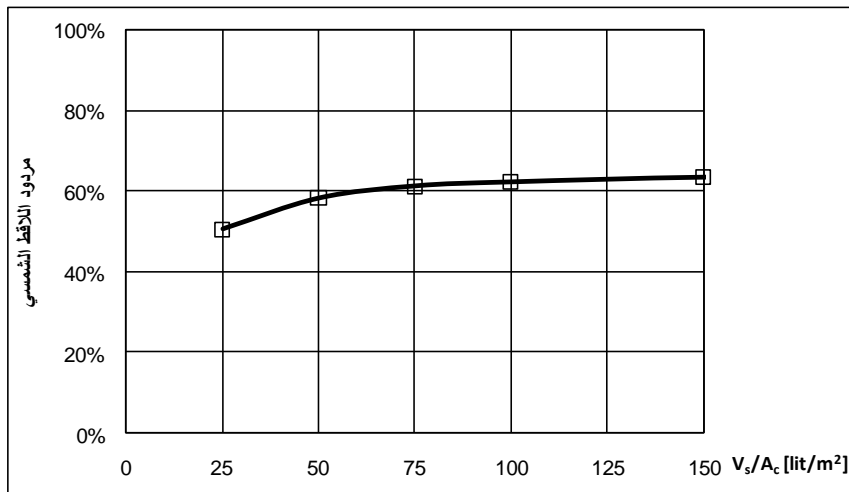
وهي تعبر عن مقدار مساهمة الطاقة الشمسية في تأمين الحمل الحراري لمعرفة كمية الطاقة التقليدية المطلوبة من الساخن المساعد. يمكن التعبير عن مساهمة نظام الطاقة الشمسية بنسبة التغطية الشمسية f التي تمثل النسبة بين حمل الماء الساخن المزود من قبل نظام الطاقة الشمسية $Q_{w,s}$ إلى حمل الماء الساخن للبناء $Q_{w,L}$ ويتم حساب نسبة التغطية الشهرية والسنوية من العلاقة التالية:

$$f = \frac{\sum Q_{w,s}}{\sum Q_{w,L}} \quad [\%] \quad (2)$$

النتائج والمناقشة:

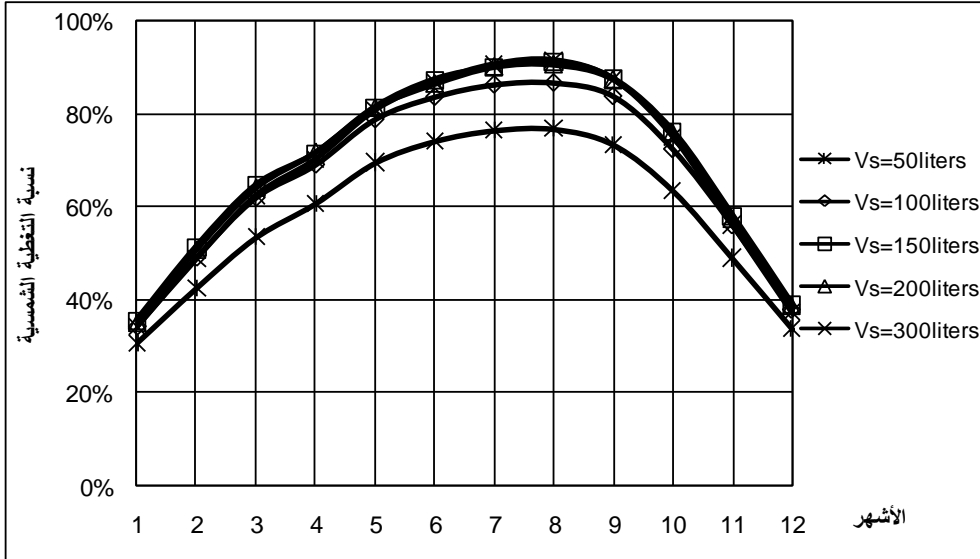
تأثير حجم الخزان الحراري على مردود اللاقط الشمسي

يبين الشكل (4) تغير المردود الشهري للاقط الشمسي عند مساحة لاقط شمسي تساوي $2[m^2]$ من أجل حجوم مختلفة للخزان الحراري، نلاحظ من الشكل أنه عند زيادة حجم الخزان الحراري فإن مردود اللاقط السنوي يزداد وهذه الزيادة تكون واضحة عند الحجوم الصغيرة حتى الحجم $150[liters]$ إذ يكون بعد هذه القيمة لزيادة حجم الخزان الحراري تأثير طفيف على مردود اللاقط الشمسي. إن هذه الزيادة في المردود ناتجة عن دخول الماء ذو درجة حرارة الأخفض إلى اللاقط الشمسي. إن التحليل السابق ينطبق على تغير المردود السنوي للاقط الشمسي مع تغير حجم الخزان بالنسبة لواحدة مساحة اللاقط الشمسي والموضح في الشكل (5). حيث نلاحظ زيادة المردود السنوي مع زيادة حجم الخزان الحراري فعند زيادة حجم الخزان من $25[lit/m^2]$ إلى $75[lit/m^2]$ يزداد المردود السنوي بمقدار $11[\%]$ وبعد الحجم $75[lit/m^2]$ يكون لزيادة حجم الخزان الحراري تأثير طفيف على المردود السنوي.

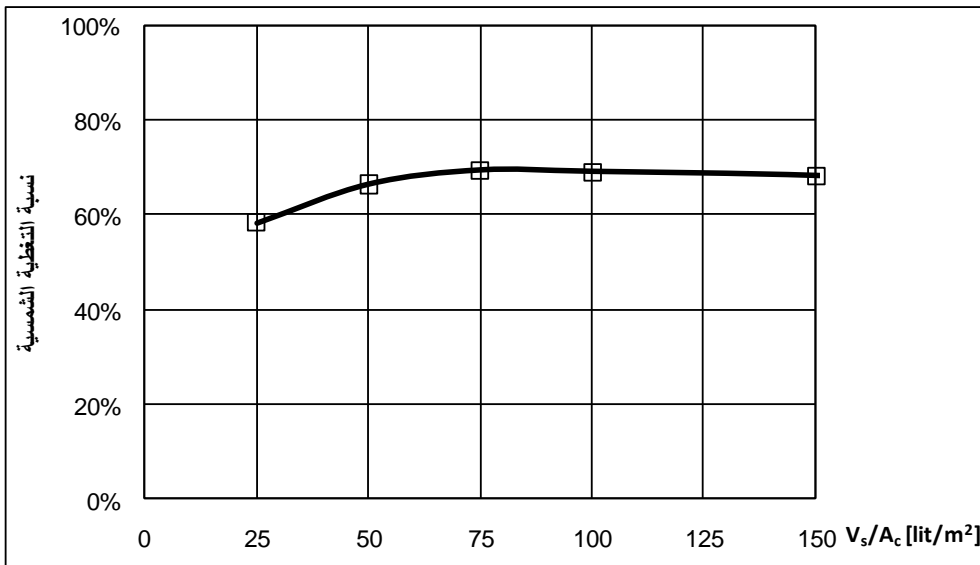
الشكل (4) تأثير حجم الخزان الحراري على مردود اللاقط الشمسي الشهري من أجل مساحة لاقط شمسي $2[m^2]$ الشكل (5) تأثير حجم الخزان الحراري على مردود اللاقط الشمسي السنوي من أجل مساحة لاقط شمسي $2[m^2]$

تأثير حجم الخزان الحراري على نسبة التغطية الشمسية

يبين الشكل (6) تغير نسبة التغطية الشمسية عند مساحة لاقط شمسي تساوي $2[m^2]$ من أجل حجوم مختلفة للخران الحراري، بينما يوضح الشكل (7) تغير نسبة التغطية الشمسية مع تغير حجم الخزان بالنسبة لواحدة مساحة اللاقط الشمسي. نجد من الشكلين السابقين أنه مع زيادة حجم الخزان الحراري تزداد نسبة التغطية الشمسية وهذه الزيادة تكون واضحة حتى الحجم $75[lit/m^2]$ حيث مع زيادة حجم الخزان الحراري عن القيمة السابقة تبقى نسبة التغطية ثابتة وقد تتخفف قليلاً وهذا يعود إلى زيادة الضياعات الحرارية من الخزان الحراري مقارنة مع زيادة الطاقة المفيدة المقدمة من اللاقط الشمسي. فعند زيادة حجم الخزان من $25[lit/m^2]$ إلى $75[lit/m^2]$ تزداد نسبة التغطية السنوية بمقدار 11% .



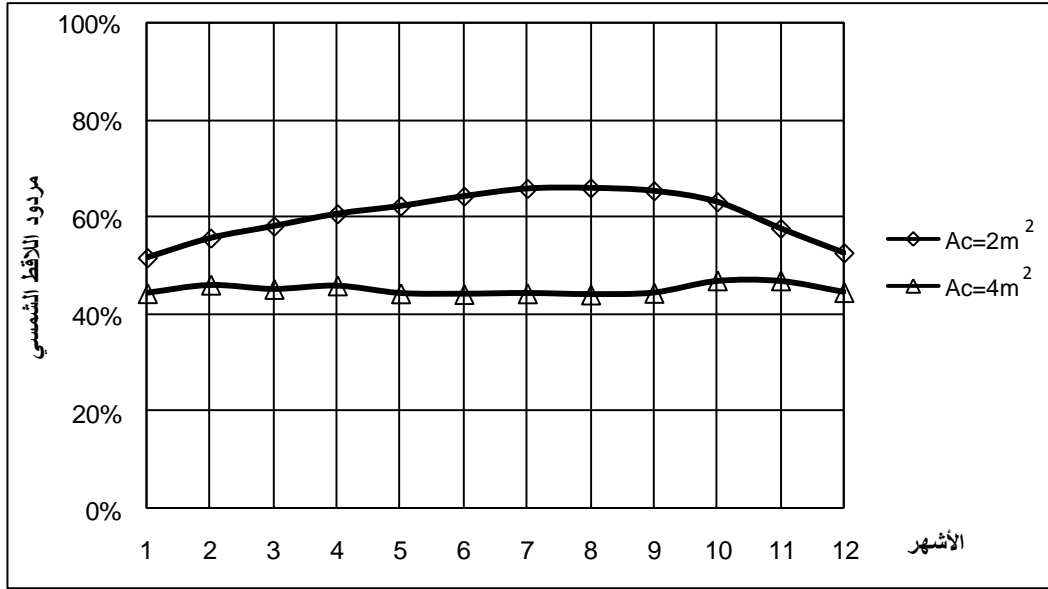
الشكل (6) تأثير حجم الخزان الحراري على نسبة التغطية الشمسية الشهري من أجل مساحة لاقط شمسي $2[m^2]$



الشكل (7) تأثير حجم الخزان الحراري على نسبة التغطية الشمسية السنوي من أجل مساحة لاقط شمسي $2[m^2]$

تأثير مساحة اللاقط الشمسي على مردود اللاقط الشمسي

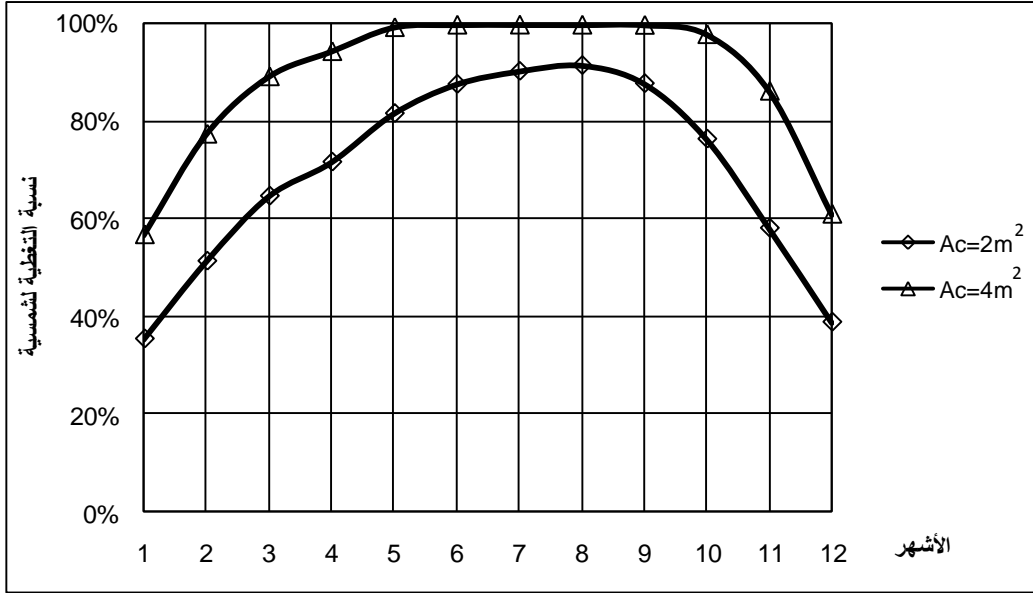
يبين الشكل (8) تغير المردود الشهري للاقط الشمسي من أجل مساحتين للاقط الشمسي $2[m^2]$ و $4[m^2]$. نلاحظ من الشكل أنه مع زيادة مساحة اللاقط الشمسي ينخفض مردود اللاقط الشمسي وهذا ناتج عن ارتفاع درجة حرارة الماء في الخزان الحراري مع زيادة مساحة اللاقط الشمسي وبالتالي ارتفاع درجة حرارة الماء الداخل إلى اللاقط وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة الضياعات الحرارية من اللاقط الشمسي وبالتالي انخفاض مردود اللاقط الشمسي وهذا واضح من العلاقة (1). وعند حساب مردود اللاقط السنوي نلاحظ أنه ينخفض بمقدار 16% عند زيادة مساحة اللاقط الشمسي من $2[m^2]$ إلى $4[m^2]$.



الشكل (8) تأثير مساحة اللاقط الشمسي على مردود اللاقط الشمسي الشهري

تأثير مساحة اللاقط الشمسي على نسبة التغطية الشمسية

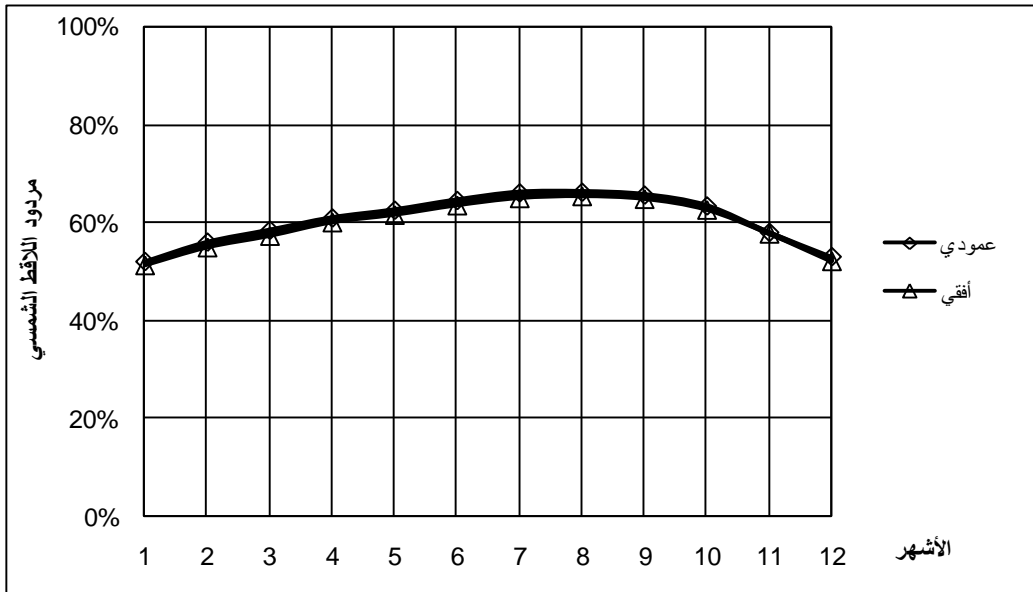
يبين الشكل (9) تغير نسبة التغطية الشمسية الشهرية من أجل مساحتين للاقط الشمسي $2[m^2]$ و $4[m^2]$. نلاحظ من الشكل أنه مع زيادة مساحة اللاقط الشمسي تزداد نسبة التغطية الشمسية وهذا ناتج عن ارتفاع درجة حرارة الماء في الخزان الحراري مع زيادة مساحة اللاقط الشمسي وبالتالي زيادة الطاقة الحرارية. نلاحظ من الشكل (9) أنه عند استخدام لاقط شمسي مساحته $4[m^2]$ نجد أن النظام يؤمن كامل الحمل الحراري تقريباً من الشهر الخامس إلى العاشر. تزداد نسبة التغطية الشمسية السنوية بمقدار 20% عند زيادة مساحة اللاقط الشمسي من $2[m^2]$ إلى $4[m^2]$.



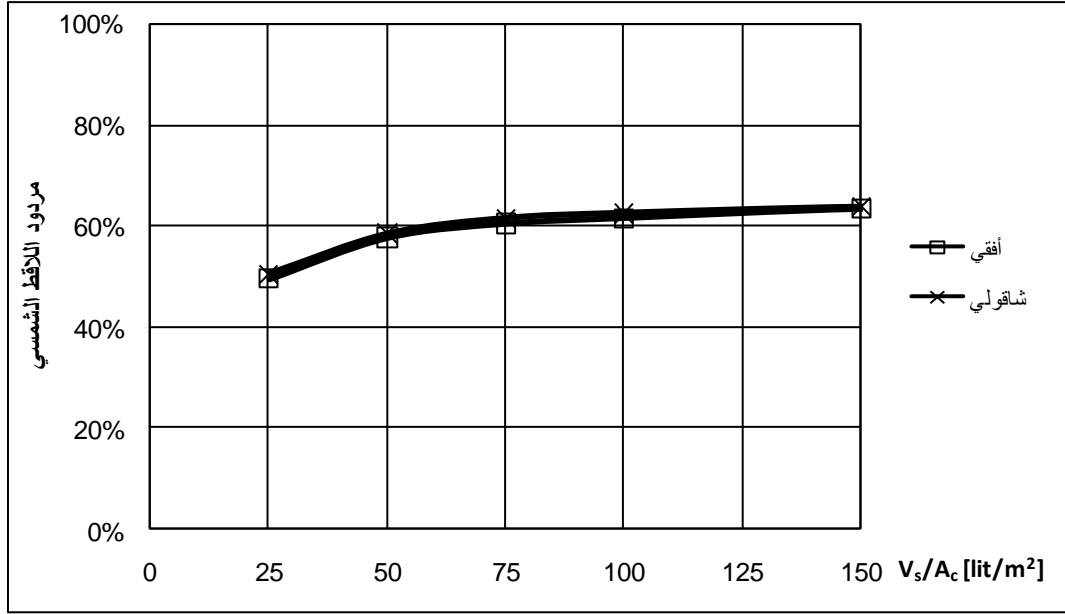
الشكل (9) تأثير مساحة اللاقط الشمسي على نسبة التغطية الشمسية الشهرية

تأثير شكل الخزان الحراري على مردود اللاقط الشمسي

يبين الشكل (10) تأثير شكل الخزان الحراري على مردود اللاقط الشمسي الشهري من أجل مساحة لاقط شمسي $2[m^2]$ وحجم خزان حراري $150[lit]$. نلاحظ من الشكل أن مردود اللاقط الشمسي لا يتأثر عند استخدام خزان حراري أفقي أو خزان شاقولي. يبين الشكل (11) تغير مردود اللاقط الشمسي السنوي من أجل مساحة لاقط شمسي $2[m^2]$ مع تغير حجم الخزان الحراري من أجل خزان حراري أفقي وآخر شاقولي، وكما هو واضح من الشكل نجد أيضاً أنه لا يوجد فرق في مردود اللاقط الشمسي عند استخدام خزان حراري أفقي أو خزان شاقولي مها كان حجم الخزان الحراري. والنتيجة ذاتها تم الحصول عليها من أجل مساحة لاقط شمسي $4[m^2]$.



الشكل (10) تأثير شكل الخزان الحراري على مردود اللاقط الشمسي الشهري من أجل مساحة لاقط شمسي $2[m^2]$

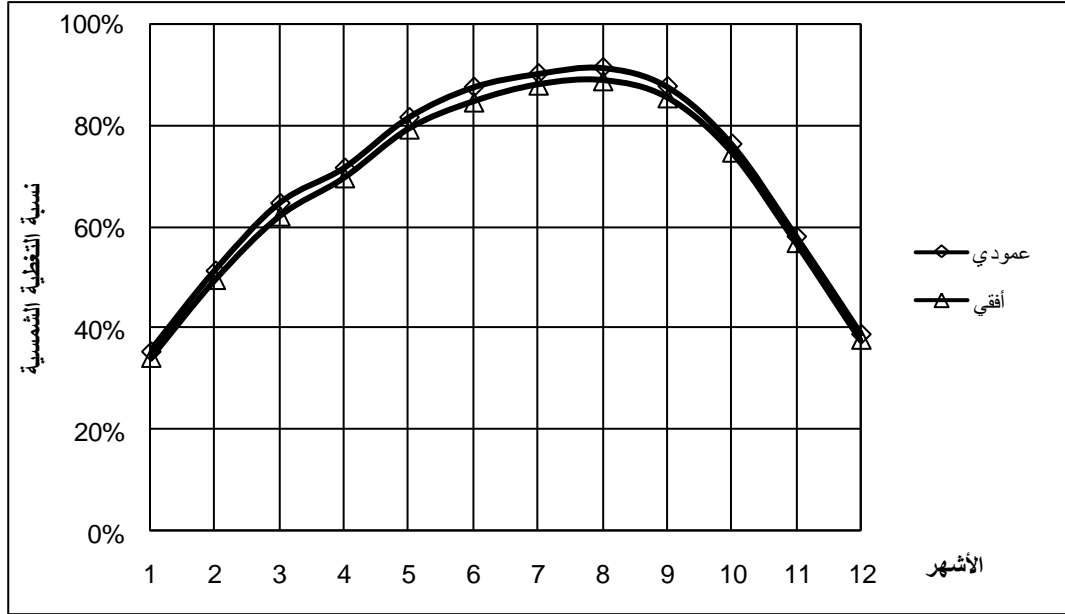


الشكل (11) تأثير شكل الخزان الحراري في مردود اللاقط الشمسي السنوي من أجل مساحة لاقط شمسي $2[m^2]$

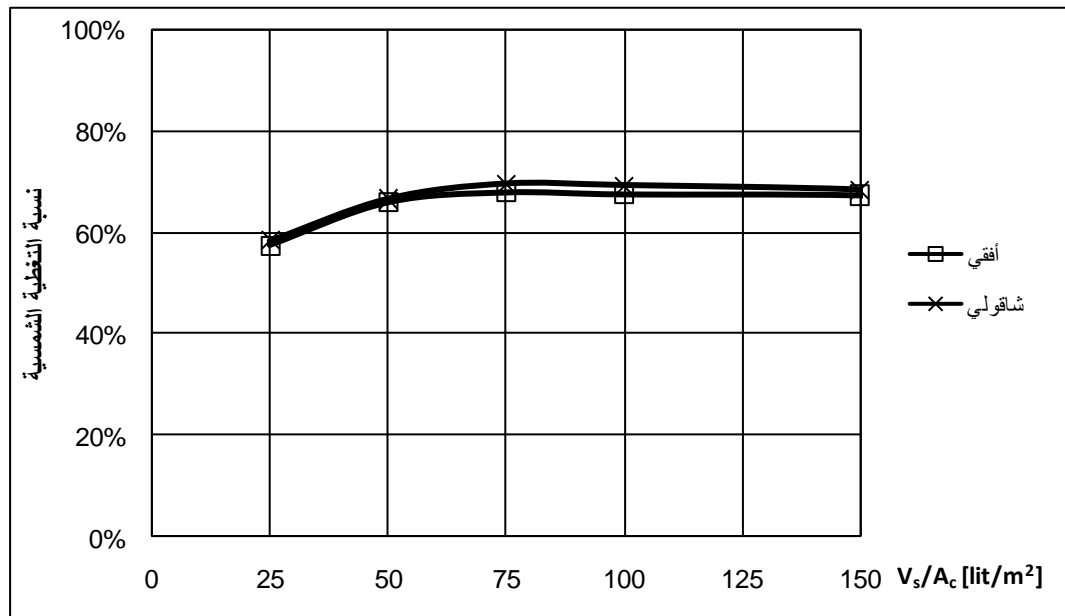
تأثير شكل الخزان الحراري في نسبة التغطية الشمسية

يبين الشكل (12) تأثير شكل الخزان الحراري في نسبة التغطية الشهرية من أجل مساحة لاقط شمسي $2[m^2]$ وحجم خزان حراري 150[lit] بينما يبين الشكل (13) تغير مردود اللاقط الشمسي السنوي من أجل مساحة لاقط شمسي $2[m^2]$ مع تغير حجم الخزان الحراري من أجل خزان حراري أفقي وآخر شاقولي. نلاحظ من الشكلين أن نسبة التغطية تتحسن بمقدار بسيط أقل من 2% عند استخدام خزان حراري شاقولي من أجل نسبة طول الخزان إلى قطره تساوي $L/D=2$. وعند مقارنة نظامين أحدهم ذو خزان حراري أفقي حيث $L/D=1$ والآخر ذو خزان حراري شاقولي حيث $L/D=2$ في هذه الحالة لا يوجد فرق في نسبة التغطية الشمسية لكلا النظامين. نستنتج من ذلك أنه عند استخدام خزان حراري شاقولي يجب أن تكون نسبة طوله إلى قطره تساوي $L/D=2$ بينما عند استخدام خزان حراري أفقي يجب أن تكون النسبة تساوي $L/D=1$.

عند دراسة تأثير قيم مختلفة للنسبة L/D (1, 1.5, 2) على مردود اللاقط الشمسي ونسبة التغطية الشمسية وجدنا أنه هناك تأثير طفيف لهذه النسبة على كل من مردود اللاقط ونسبة التغطية الشمسية حيث إن مقدار التحسن في المردود ونسبة التغطية لا يتعدى 1.5% بين النسبتين $L/D=1$, $L/D=2$ عند استخدام خزان شاقولي أو خزان أفقي. والمناقشة السابقة والنتيجة ذاتها تم الحصول عليها من أجل مساحة لاقط شمسي $4[m^2]$.



الشكل (12) تأثير شكل الخزان الحراري على نسبة التغطية الشمسية الشهرية من أجل مساحة لاقط شمسي $2[m^2]$

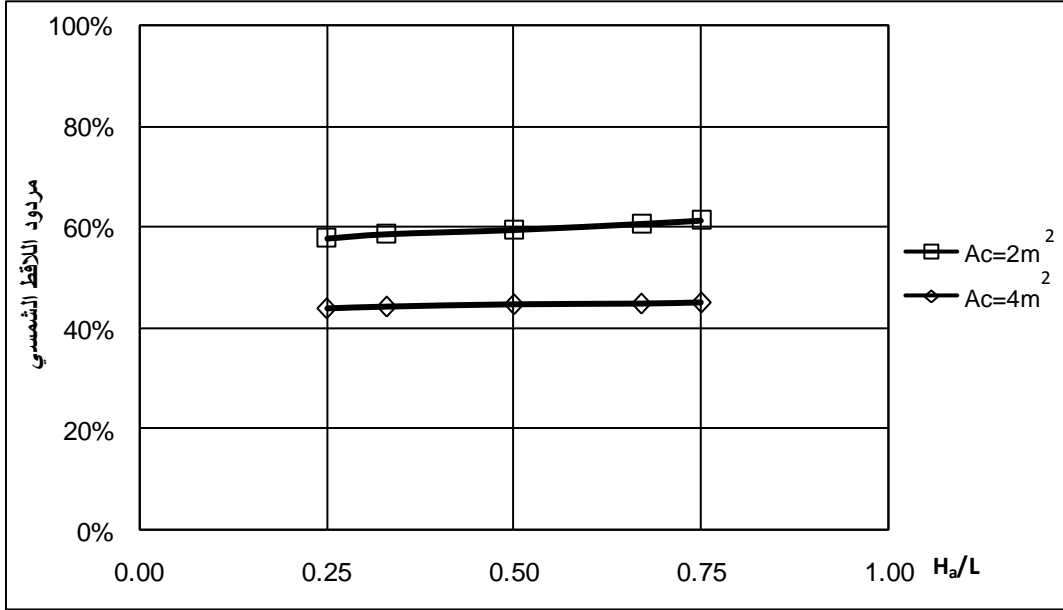


الشكل (13) تأثير شكل الخزان الحراري على نسبة التغطية الشمسية السنوية من أجل مساحة لاقط شمسي $2[m^2]$

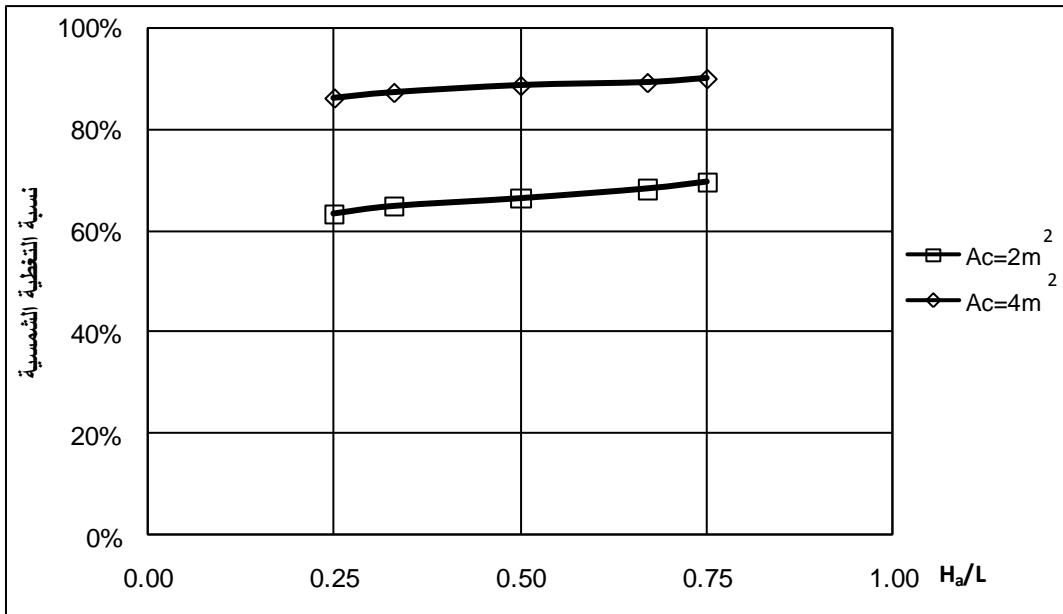
تأثير موضع السخان المساعد على مردود اللاقط الشمسي ونسبة التغطية الشمسية

يبين الشكل (14) تغير مردود اللاقط الشمسي السنوي بتغير الارتفاع النسبي للسخان المساعد بالنسبة لارتفاع الخزان الحراري (H_a/L) بينما يبين الشكل (15) تغير نسبة التغطية الشمسية السنوية بتغير الارتفاع النسبي للسخان المساعد بالنسبة لارتفاع الخزان الحراري لأجل مساحتين للاقط الشمسي. نلاحظ من الشكلين أنه مع زيادة الارتفاع النسبي للسخان المساعد يزداد مردود اللاقط الشمسي وكذلك نسبة التغطية الشمسية نتيجة تسخين أقل حجم من الخزان الحراري عن طريق السخان المساعد والذي يسمح بالاستفادة العظمى من الطاقة الشمسية حيث يتم تسخين أكبر حجم

ممکن من الخزان الحراري بوساطة اللاقط الشمسي. نستنتج من ذلك أنه يفضل وضع السخان المساعد في الربع العلوي من الخزان الحراري حيث يزداد المردود بمقدار 3.6% وتزداد نسبة التغطية بمقدار 6% مقارنة في حالة وضع السخان المساعد في الربع السفلي للخزان من أجل مساحة لاقط شمسي $2[m^2]$ ، بينما من أجل مساحة لاقط $4[m^2]$ يكون مقدار الزيادة أقل بسبب تغطية الجزء الأكبر من الحمل بالطاقة الشمسية وبالتالي لا يعمل السخان المساعد فترة طويلة.



الشكل (14) تأثير موضع السخان المساعد على مردود اللاقط الشمسي السنوي لأجل مساحتين لاقط شمسي



الشكل (15) تأثير موضع السخان المساعد على نسبة التغطية الشمسية السنوية لأجل مساحتين لاقط شمسي

الاستنتاجات والتوصيات:

- بعد تحليل الأداء الحراري لنظام التسخين الشمسي الحر باستخدام برنامج المحاكاة TRNSYS نستنتج ما يلي:
1. عند استخدام لاقط شمسي مساحته $4[m^2]$ وحجم خزان حراري $300[m^3]$ نجد أن النظام يؤمن كامل الحمل الحراري تقريباً من الشهر الخامس إلى العاشر، إذ تزداد نسبة التغطية الشمسية السنوية بمقدار 20% عند زيادة مساحة اللاقط الشمسي من $2[m^2]$ إلى $4[m^2]$.
 2. لا يوجد فرق في مردود اللاقط الشمسي عند استخدام خزان حراري أفقي أو خزان شاقولي مها كان حجم الخزان الحراري.
 3. تزداد نسبة التغطية الشمسية بمقدار بسيط أقل من 2% عند استخدام خزان حراري شاقولي من أجل نسبة طول الخزان إلى قطره تساوي $L/D=2$.
 4. تأثير النسبة L/D طفيف على كل من مردود اللاقط ونسبة التغطية الشمسية حيث إن مقدار التحسن في المردود ونسبة التغطية لا يتعدى 1.5% بين النسبتين $L/D=1$, $L/D=2$ عند استخدام خزان شاقولي أو خزان أفقي. حيث نجد أنه من أجل خزان حراري شاقولي يجب أن تساوي النسبة $L/D=2$ بينما عند استخدام خزان حراري أفقي يجب أن تساوي $L/D=1$.
 5. عند وضع السخان المساعد في الربع العلوي من الخزان الحراري يزداد مردود اللاقط الشمسي بمقدار 3.6% وتزداد نسبة التغطية الشمسية بمقدار 6% مقارنة في حالة وضع السخان المساعد في الربع السفلي للخزان من أجل مساحة لاقط شمسي $2[m^2]$.

المراجع:

- [1]. NAHAR, M. N. *Year round performance and potential of a natural circulation type of solar water heater in India*. Energy an buildings Vol. 35, 2003, 239-247.
- [2]. ZERROUKI, A., BOUMEDIEN, A., SAID. N., TEDJIZA, B. *Input/output test results and long-term performance prediction of a domestic thermosyphon solar water heater in Algiers, Algeria*. Renewable Energy, Vol. 25, 2002, 153-161.
- [3]. CHANG, M. J., SHEN, C. M., HUANG, J. B. *A criterion study of solar irradiation for the performance testing of thermosyphon solar water heaters*. Solar Energy, Vol. 73, 2002, 287-292.
- [4]. BELESSIOTIS, V., MATHIOULAKIS, E. *Analytical approach of thermosyphon solar domestic hot water system performance*. Solar Energy, Vol. 72, No. 4, 2002, 307-315.
- [5]. ANDRES, C. A., LOPEZ, C. J. *TRNSYS model of thermosyphon solar domestic water heater with a horizontal store and mantle heat exchanger*. Solar Energy, Vol. 72, No. 2, 2002, 89-98.
- [6]. NAHAR, M. N. *Capital cost and economic viability of thermosyphon solar water heaters manufactured from alternate materials in India*. Renewable Energy, Vol. 26, 2002, 623-635.
- [7]. KALOGIROU, S. *Thermal performance, economic and environmental life cycle analysis of thermosyphon solar water heaters*. Solar Energy Vol. 83, 2009, 39-48.
- [8]. CHUAWITTAYAWUTH, K., KUMAR. S. *Experimental investigation of temperature and flow distribution in a thermosyphon solar water heating system*. Renewable Energy, Vol. 26, 2002, 431-448.
- [9]. ZERROUKI, A., BOUMEDIEN, A., BOUHADEF, K. *The natural circulation solar water heater model with linear temperature distribution*. Renewable Energy, Vol. 26, 2002, 549-559.
- [10]. NORTON, B., EAMES, C. P., LO, G. N. S. *Alternative approaches thermosyphon solar- energy water heater performance analysis and characterisation*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 5, 2001, 79-96.
- [11]. KLEIN, S. A. et al., TRNSYS – a transient simulation program, version 16.1, *User Manual*. University of Wisconsin-Madison, USA. 2006.
- [12]. Meteonorm, 4.00, Global Meteorological Database for Solar Energy Applied Meteorology. Nov 1999.