

تحليل الأداء الحراري لنظام التسخين الشمسي الفعال

الدكتور رامي جورج*

(تاريخ الإيداع 11 / 6 / 2009. قُبل للنشر في 29/10/2009)

□ ملخص □

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير بعض المتغيرات على الأداء الحراري لنظام التسخين الشمسي الفعال وذلك باستخدام برنامج المحاكاة TRNSYS. فقد تم تحليل الأداء الحراري لنظام التسخين الشمسي باستخدام حمل الماء الساخن والشروط المناخية، كمعطيات لبرنامج المحاكاة، من أجل تحديد تأثير بعض المتغيرات (حجم الخزان الحراري ومساحة اللاقط الشمسي والتدفق ضمن اللاقط ودرجة حرارة الماء الساخن عند الحمل) على مردود اللاقط الشمسي ونسبة التغطية الشمسية. أظهرت هذه الدراسة الحصول على قيم منخفضة لمساحة اللاقط تتراوح ما بين [شخص-0.36) ($m^2/1.4$) من أجل تأمين نسبة تغطية شمسية ما بين [% (50-90).

الكلمات المفتاحية: طاقة شمسية، نظام تسخين شمسي، برنامج محاكاة TRNSYS.

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

Analysis of the Thermal Performance of Active Solar Water Heating System

Dr. Rami George*

(Received 11 / 6 / 2009. Accepted 29 / 10 / 2009)

□ ABSTRACT □

The objective of this investigation is to study the effect of several parameters on the thermal performance of active water heating system using TRNSYS simulation program. system was analyzed using hot water loads and hourly weather data as data input to the simulation program to reveal the impact of several parameters (storage volume, collector area, collector water flow and temperature of hot water) on collector efficiency and solar fraction. The investigation shows low values of collector area ranges (0.36-1.4) [m²/person] for solar fraction ranges (50-90) [%].

Key words: Solar energy, Water heating system, Simulation program TRNSYS.

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

مقدمة:

تعتمد جميع بلدان العالم على الوقود التقليدي من أجل تأمين حاجاتها من الطاقة. على أي حال فإن الالتزام والعمل على تخفيض انبعاث غاز CO₂ وغازات أخرى يعتبر السبب الرئيسي الذي جعل البلدان تتحول إلى استخدام مصادر الطاقة المتجددة والنظيفة.

في البلدان المتطورة يعتبر استهلاك الطاقة في قطاع الأبنية الجزء الأكبر من مخزون الطاقة الكلي. في الاتحاد الأوروبي، هذا الاستهلاك يصل تقريباً إلى نحو 40% من إجمالي استهلاك الطاقة [1]. النسبة الأكبر من هذه الكمية تستنفذ من أجل تأمين الماء الساخن. والسبيل الوحيد لتخفيض هذه الكمية من الطاقة هو باستخدام الطاقة الشمسية. يعتبر تأمين الماء الساخن للاستخدامات المنزلية بالطاقة الشمسية واحداً من التطبيقات الناجحة والعملية للطاقة الشمسية في الوقت الحاضر، ويعود هذا إلى الطلب اليومي المتزايد للماء الساخن عند درجات حرارة متوسطة. أجريت الكثير من الأبحاث في بلدان العالم بهدف تحسين الأداء الحراري لأنظمة التسخين الشمسي وفقاً للشروط المناخية لتلك البلدان. فقد تم دراسة تأثير كمية الماء المستهلك يومياً، وكذلك تأثير تصاميم مختلفة للخران الحراري على كمية الطاقة المزودة من النظام الشمسي [2]. تأثير الخزانات الحرارية ذات مداخل الماء البارد المختلفة على نسبة التغطية الشمسية لنظام تسخين الماء الشمسي [3]. تأثير مواضع سحب الماء الساخن المختلفة من الخزان الحراري على الأداء الحراري لنظام التسخين الشمسي [4]. تأثير كميات وأنماط استهلاك الماء الساخن المختلفة على الأداء الحراري [5].

توضح هذه الدراسة التحليل الحراري لنظام الطاقة الشمسية من أجل تأمين الماء الساخن لبناء سكني لعائلة واحدة مؤلفة من أربعة أفراد، ثم تمت مقارنة النتائج مع بناء متعدد العائلات ومجموع عدد القاطنين فيه هو 24 شخصاً، ويقع هذا البناء في مدينة اللاذقية حيث خط العرض هو 35.5°.

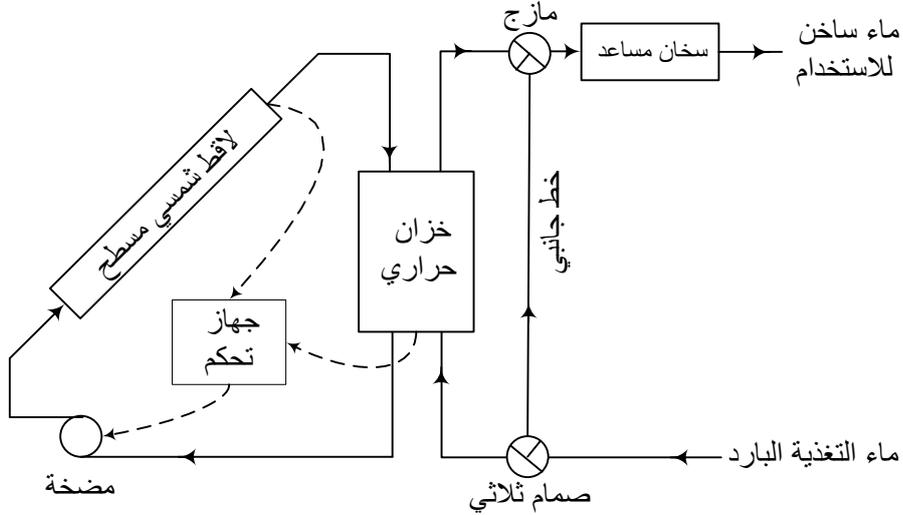
وصف نظام التسخين الشمسي:

إن النظام المستخدم في هذا البحث موضح في الشكل (1)، حيث يتكون هذا النظام من العناصر التالية (اللاقط الشمسي المسطح، الخزان الحراري، سخان إضافي، مضخات التسريع، صمامات تنفيس ونظام التحكم الأوتوماتيكي).

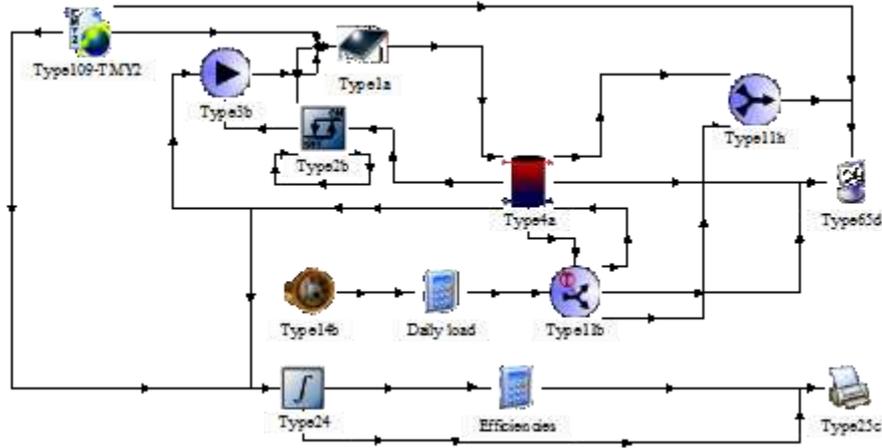
عندما يزداد فرق درجات الحرارة بين الماء الخارج من اللاقط الشمسي، والماء الموجود في أسفل الخزان الحراري عن قيمة محددة، فإن جهاز التحكم ينشط المضخة اللازمة لتدوير الماء في اللاقط والخزان الحراري. يمتص الماء الحرارة في اللاقط الشمسي، ويعود إلى الخزان الحراري حيث يتم تخزين الحرارة فيه وبعدئذ يسحب الماء الساخن من الخزان لتغطية الحمل الحراري المطلوب.

من أجل تأمين حمل حراري مناسب وثابت للماء الساخن يتم تزويد النظام بسخان إضافي لمساعدة مصدر الطاقة الشمسية، عندما تكون درجة الحرارة في الخزان أقل من درجة الحرارة الدنيا المطلوبة، حيث يرفع من درجة حرارة الماء إلى الدرجة المطلوبة. 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) مخططاً لمكونات نظام تسخين الماء الشمسي وفق برنامج المحاكاة TRNSYS ورقم كل مكون وعملية ربط هذه المكونات مع بعضها البعض، من أجل محاكاة نظام تسخين الماء الشمسي.



الشكل (1) نظام التسخين الشمسي



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

أهمية البحث وأهدافه:

لقد كثرت في الآونة الأخيرة عمليات تركيب أنظمة تسخين شمسي متعددة في بلدنا وفق أسس غير مدروسة وغير علمية ودون معرفة مسبقة عن أداء هذه الأنظمة، لهذا فإن أهمية هذا البحث تكمن في دراسة تأثير بعض

المتغيرات الأساسية على الأداء الحراري لنظام التسخين الشمسي، لإعطاء صورة واضحة عن كيفية وأهمية اختيار قيم هذه المتغيرات لتقييم أداء النظام لتكون عملية تصميم هذه الأنظمة موثقة بشكل علمي وأكاديمي.

طرائق البحث ومواده:

تم استخدام برنامج المحاكاة TRNSYS [6] الذي يعتبر أكثر برامج المحاكاة استخداماً وشيوعاً لتقييم الأداء الحراري اللحظي لأنظمة الطاقة الشمسية، حيث يقوم هذا البرنامج بمحاكاة نظام التسخين الشمسي انطلاقاً من قيم المتغيرات المتعلقة بمكونات النظام والمعطيات المناخية للموقع المدروس، وبالتالي دراسة تأثير هذه المتغيرات على الأداء الحراري للنظام الشمسي.

تم الحصول على قيم الإشعاع الشمسي اللحظي الساقط على سطح أفقي والمعطيات المناخية للمنطقة المدروسة باستخدام برنامج Meeonorm [7]. أما شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح مائل فيحسب وفق نموذج Perez [8] الذي يأخذ بعين الاعتبار ثلاثة مركبات للإشعاع المبعثر من العلاقة التالية:

$$H_t = H_B R_B + H_d (1 - F_1) \left(\frac{1 + \cos s}{2} \right) + H_d F_1 \frac{a}{b} + H_d F_2 \sin s + (H_B + H_d) \rho_g \left(\frac{1 - \cos s}{2} \right) \quad [W/m^2] \quad (1)$$

حيث:

H_B : الإشعاع الشمسي المباشر الساقط على سطح أفقي.

H_d : الإشعاع الشمسي المبدد الساقط على سطح أفقي.

$$R_B = \frac{\cos i}{\sin \alpha} \quad \text{معامل ميل الإشعاع المباشر ويعطى بالعلاقة}$$

i : زاوية سقوط الإشعاع الشمسي على اللاقط الشمسي.

α : زاوية ارتفاع الشمس.

s : زاوية ميل اللاقط الشمسي.

ρ_g : معامل انعكاس الأرض للإشعاع الشمسي.

F_1, F_2 : معامل الصفاة ويحسب من [8].

تحسب كمية الطاقة الساعية المفيدة التي يتم الحصول عليها من اللاقط الشمسي المسطح من معادلة التوازن الحراري للاقط الشمسي، حيث أن معدل الكسب الحراري المفيد هو الفرق بين الطاقة الشمسية الممتصة وكمية الحرارة الضائعة من اللاقط إلى الجو المحيط. إن كمية الطاقة المفيدة المزودة من قبل اللاقط الشمسي إلى الخزان الحراري تحسب من العلاقة التالية [9, 10, 11]:

$$Q_u = A_c F_R [(\tau \alpha) H_t - U_c (T_i - T_a)] \quad [W] \quad (2)$$

مردود اللاقط الشمسي:

يعبر عن مردود اللاقط الشمسي بالنسبة بين كمية الطاقة المفيدة المزودة من اللاقط الشمسي إلى كمية الإشعاع الشمسي الساقط على اللاقط ويحسب من العلاقة التالية:

$$\eta_c = \frac{Q_u}{A_c H_t} = F_R \tau \alpha - F_R U_c \frac{(T_i - T_a)}{H_t} \quad [\%] \quad (3)$$

حيث:

- A_c : مساحة اللاقط الشمسي [m^2].
 T_i : درجة حرارة الماء الداخل إلى اللاقط الشمسي [$^{\circ}C$].
 T_a : درجة حرارة الوسط الخارجي [$^{\circ}C$].
 $F_R U_c$: معامل الفقد الحراري للاقط الشمسي [$W/m^2 \cdot ^{\circ}C$] يؤخذ من الجدول [1].
 $F_R \tau \alpha$: المرود النظري للاقط الشمسي يؤخذ من الجدول [1].

يعطى حمل الماء الساخن الشهري بالعلاقة التالية:

$$Q_{w,L} = N_d N_p V_p \rho c_p (T_w - T_m) \quad [J] \quad (4)$$

حيث:

- N_d : عدد الأيام في الشهر.
 N_p : عدد الأشخاص القاطنين في المبنى.
 V_p : حجم الماء الساخن الذي يحتاجه كل شخص في اليوم [شخص. يوم/lit] تؤخذ من الجدول [1].
 ρ : كثافة الماء [kg/L].
 T_w : درجة حرارة الماء الساخن عند الحمل [$^{\circ}C$].
 T_m : درجة حرارة ماء التغذية الرئيسي [$^{\circ}C$] تؤخذ من الجدول [1].
 أما الضياع الحراري Q_{TL} من الخزان الحراري فيعتمد على شكل الخزان، وطريقة عزله ومواد العزل المستخدمة، ويعطى بالعلاقة التالية:

$$Q_{TL} = (UA)_s (T_s - T_a) \quad [W] \quad (5)$$

حيث:

- U_s : معامل الفقد الحراري للخزان الحراري [$W/m^2 \cdot ^{\circ}C$] تؤخذ من الجدول [1].
 A_s : المساحة الكلية للخزان الحراري [m^2].

نسبة التغطية الشمسية:

وهي تعبر عن مقدار مساهمة الطاقة الشمسية في تأمين الحمل الحراري لمعرفة كمية الطاقة التقليدية الواجب شراؤها. يمكن التعبير عن مساهمة نظام الطاقة الشمسية بنسبة التغطية f (الساعية، اليومية، الشهرية، السنوية)، أي الجزء من متطلبات أحمال الماء الساخن للبناء التي تزود من قبل نظام الطاقة الشمسية والذي يعطى بالعلاقة التالية [1,12]:

$$f = \frac{Q_{w,s}}{Q_{w,L}} \quad [\%] \quad (6)$$

حيث:

- $Q_{w,s}$: حمل الماء الساخن المزود من نظام الطاقة الشمسية [W].
 $Q_{w,L}$: حمل الماء الساخن للبناء السكني [W].

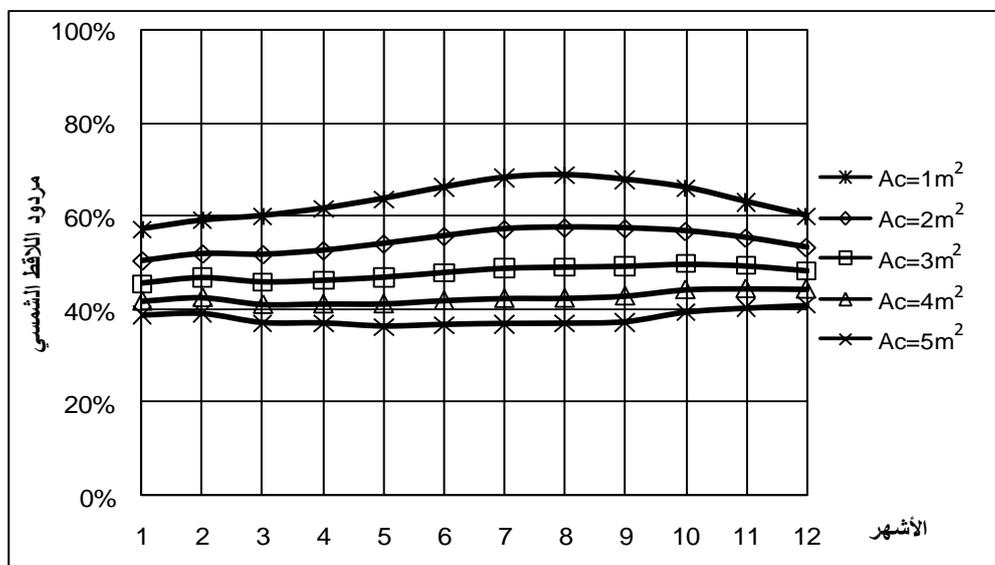
الجدول (1) القيم العددية للثوابت المعتمدة في حسابات نظام التسخين الشمسي

| البارامترات | القيم | الواحدة |
|-------------------|-------|------------------|
| s | 35.5° | - |
| $F_R(\tau\alpha)$ | 0.73 | - |
| $F_R U_c$ | 5.96 | $W/m^2\text{°C}$ |
| T_m | 11 | °C |
| V_p | 50 | شخص. يوم / lit |
| U_s | 1 | $W/m^2\text{°C}$ |

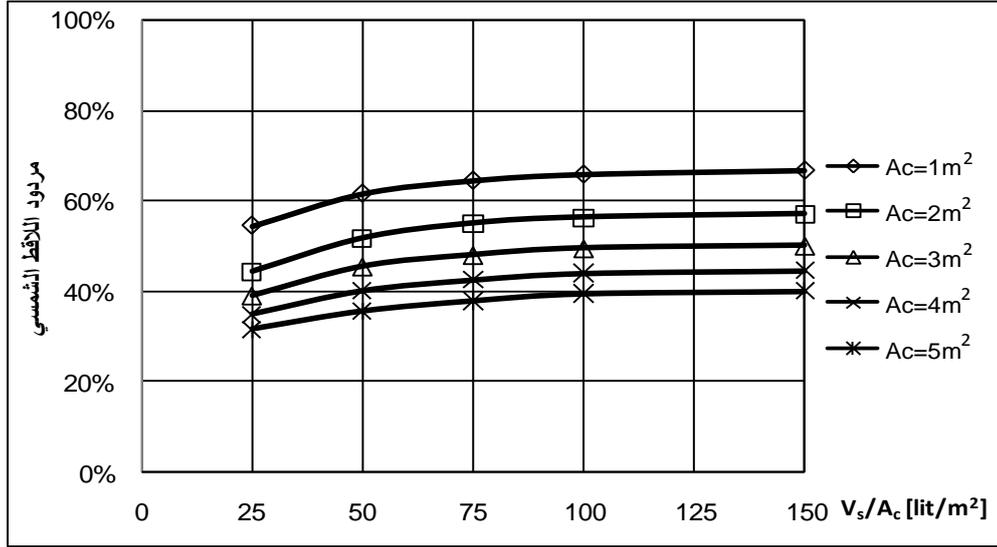
النتائج والمناقشة:

1. تأثير مساحة اللاقط الشمسي وحجم الخزان الحراري على مردود اللاقط الشمسي

تمت هذه الدراسة على نظام تسخين شمسي، يستخدم لاقطاً شمسياً مسطحاً، مواصفاته مبينة في الجدول (1)، ويميل بزواوية ميل مساوية لزواوية خط العرض، لالتقاط أعظم كمية من الإشعاع الشمسي. يبين الشكل (3) تغير المردود الشهري للاقط الشمسي عند حجم خزان حراري بالنسبة لواحدة مساحة اللاقط قدره $75 [\text{lit}/\text{m}^2]$ من أجل مساحات مختلفة للاقط الشمسي، نلاحظ من الشكل (3) أن مردود اللاقط الشمسي الشهري يزداد بانخفاض مساحة اللاقط، وهذا ناتج عن انخفاض درجة حرارة الماء في الخزان الحراري، وبالتالي انخفاض درجة حرارة الماء الداخل إلى اللاقط، وهذا بدوره يؤدي إلى انخفاض الضياعات الحرارية من اللاقط الشمسي كما هو مبين من العلاقة (4). يبين الشكل (4) تأثير حجم الخزان الحراري بالنسبة لواحدة مساحة اللاقط الشمسي على المردود السنوي للاقط من أجل مساحات مختلفة للاقط. من الواضح من الشكل أن المردود السنوي للاقط عند أي مساحة للاقط يزداد مع زيادة حجم الخزان الحراري، وهذا ناتج أيضاً عن انخفاض درجة حرارة الماء في الخزان الحراري، حيث نلاحظ زيادة كبيرة للمردود وسطياً من 41% إلى 49% عند زيادة حجم الخزان من $25 [\text{lit}/\text{m}^2]$ إلى $75 [\text{lit}/\text{m}^2]$ وبعد ذلك يكون مقدار الزيادة قليلاً لا يتعدى 2%.



الشكل (3) المردود الشهري للاقط الشمسي لأجل مساحات مختلفة

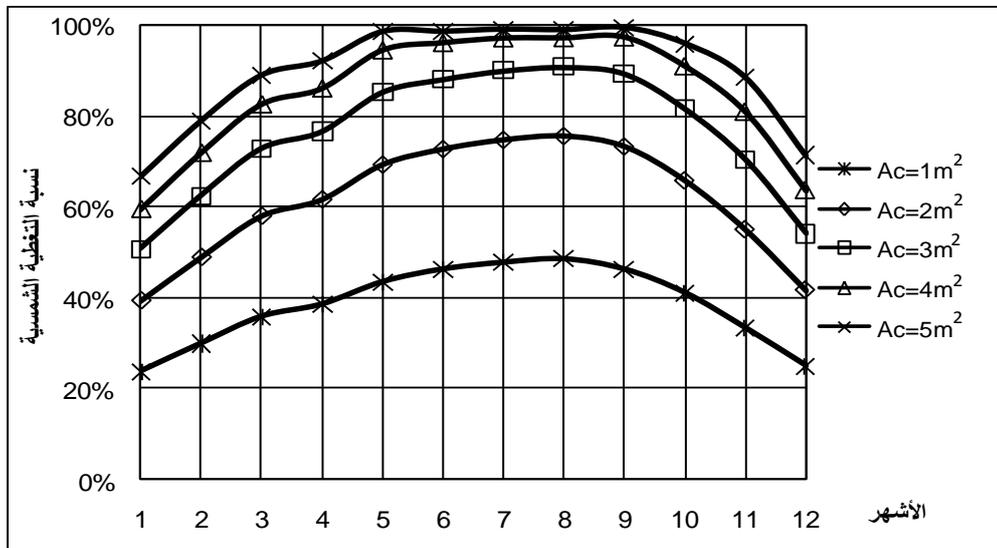


الشكل (4) تأثير حجم الخزان الحراري على مردود اللاقط الشمسي السنوي لأجل مساحات مختلفة للاقط

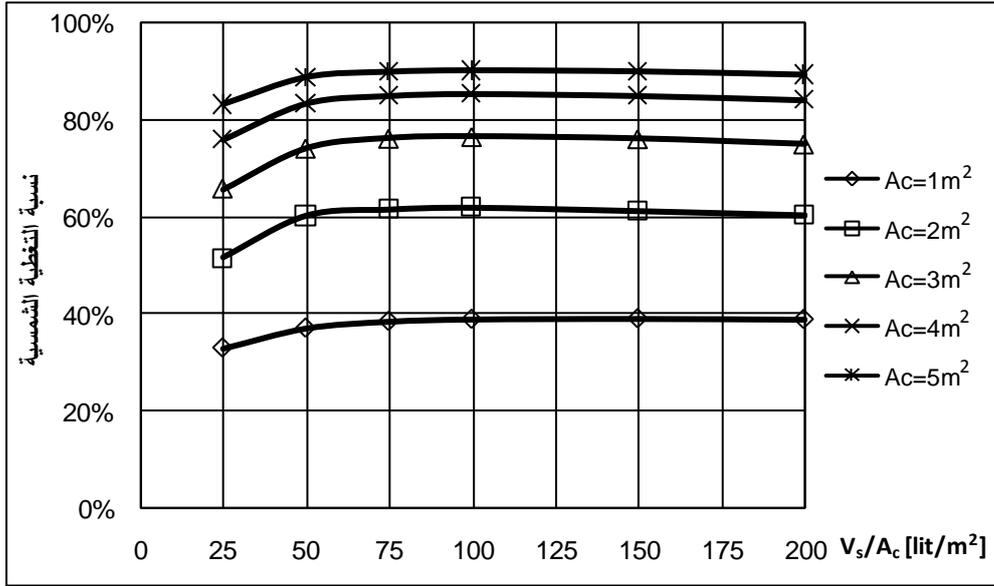
2. تأثير مساحة اللاقط الشمسي وحجم الخزان الحراري على نسبة التغطية الشمسية

يبين الشكل (5) نسبة التغطية الشمسية الشهرية لمساحات مختلفة للاقط الشمسي، حيث نلاحظ من الشكل ازدياد نسبة التغطية الشمسية في جميع الأشهر مع زيادة مساحة اللاقط الشمسي، وهذه الزيادة تكون واضحة أكثر في أشهر الصيف. نلاحظ من الشكل عند زيادة مساحة اللاقط إلى $5[m^2]$ نجد أن النظام يؤمن كامل الحمل الحراري تقريباً من الشهر الخامس إلى التاسع فقط.

يبين الشكل (6) تأثير حجم الخزان الحراري بالنسبة لواحدة مساحة اللاقط الشمسي على نسبة التغطية السنوية من أجل مساحات مختلفة للاقط. نلاحظ من الشكل أن نسبة التغطية السنوية عند أي مساحة للاقط تزداد بشكل واضح مع زيادة حجم الخزان الحراري حتى القيمة $75 [lit/m^2]$ تأخذ عندها نسبة التغطية الشمسية القيمة العظمى، وبعدها نلاحظ استقرار المنحني عند نسبة تغطية ثابتة تقريباً مع زيادة حجم الخزان الحراري. نلاحظ من الشكل (6) أنه عند زيادة حجم الخزان من $25 [lit/m^2]$ إلى $75 [lit/m^2]$ تزداد نسبة التغطية بمقدار 8%.



الشكل (5) تأثير حجم الخزان الحراري على نسبة التغطية الشمسية الشهرية لأجل مساحات مختلفة للاقط

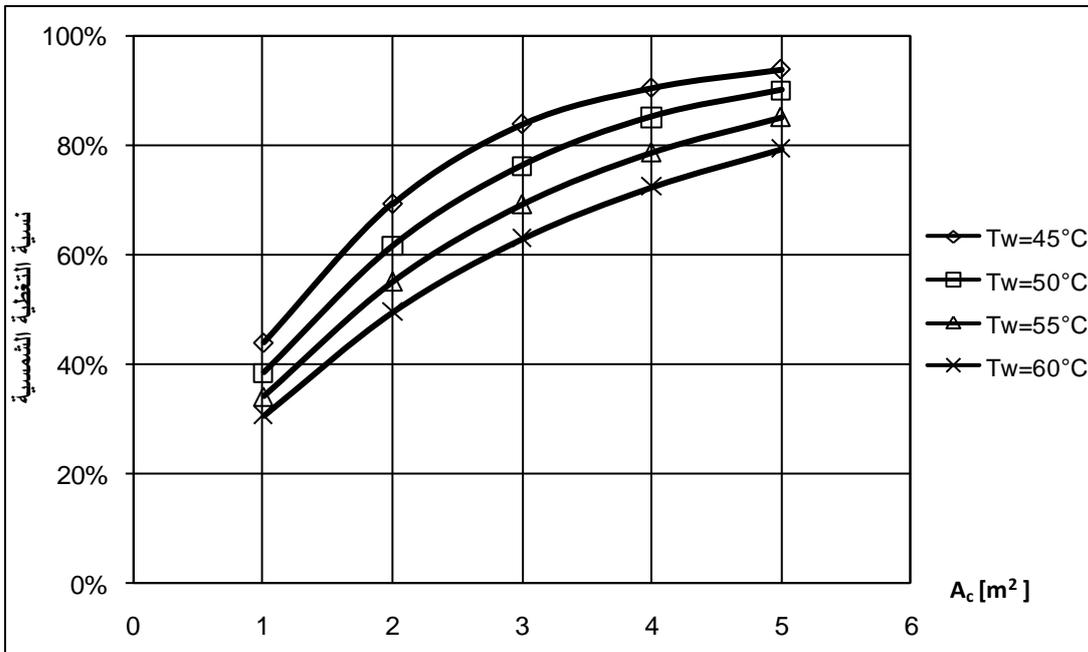


الشكل (6) تأثير حجم الخزان الحراري على نسبة التغطية الشمسية السنوية لأجل مساحات مختلفة للاقط

3. تأثير درجة حرارة الماء الساخن عند الحمل على نسبة التغطية الشمسية

يبين الشكل (7) تأثير قيم مختلفة لدرجة حرارة الماء الساخن المطلوبة عند الحمل على نسبة التغطية الشمسية.

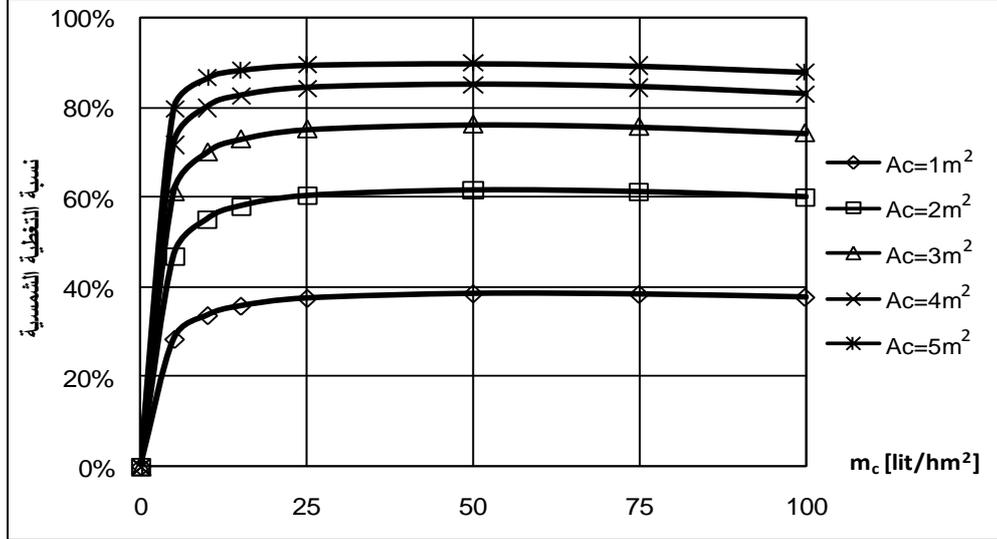
نلاحظ من الشكل أنه عند انخفاض درجة الحرارة من 60°C إلى 45°C تزداد نسبة التغطية وسطياً بمقدار 17% عند أية مساحة للاقط الشمسي.



الشكل (7) تأثير درجة حرارة الماء الساخن عند الحمل على نسبة التغطية الشمسية

4. تأثير التدفق في اللاقط الشمسي على نسبة التغطية الشمسية

يبين الشكل (8) تأثير التدفق في اللاقط الشمسي على نسبة التغطية السنوية لأجل مساحات مختلفة للاقط الشمسي. نلاحظ من الشكل أنه عند مساحة ثابتة للاقط الشمسي، فإن نسبة التغطية الشمسية تزداد مع ازدياد التدفق ضمن اللاقط الشمسي حتى التدفق $50 \text{ [lit/hm}^2\text{]}$ حيث نحصل على القيمة العظمى لنسبة التغطية، وزيادة التدفق عن القيمة السابقة، يكون له أثر سلبي على نسبة التغطية الشمسية (تنخفض نسبة التغطية).

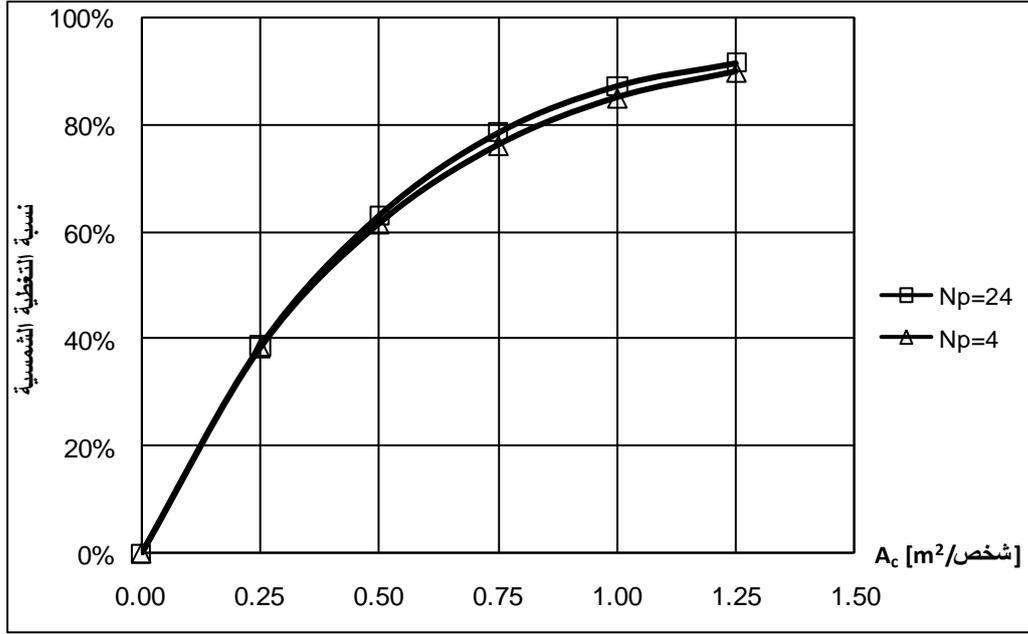


الشكل (8) تأثير التدفق في اللاقط الشمسي على نسبة التغطية الشمسية لأجل مساحات مختلفة للاقط الشمسي

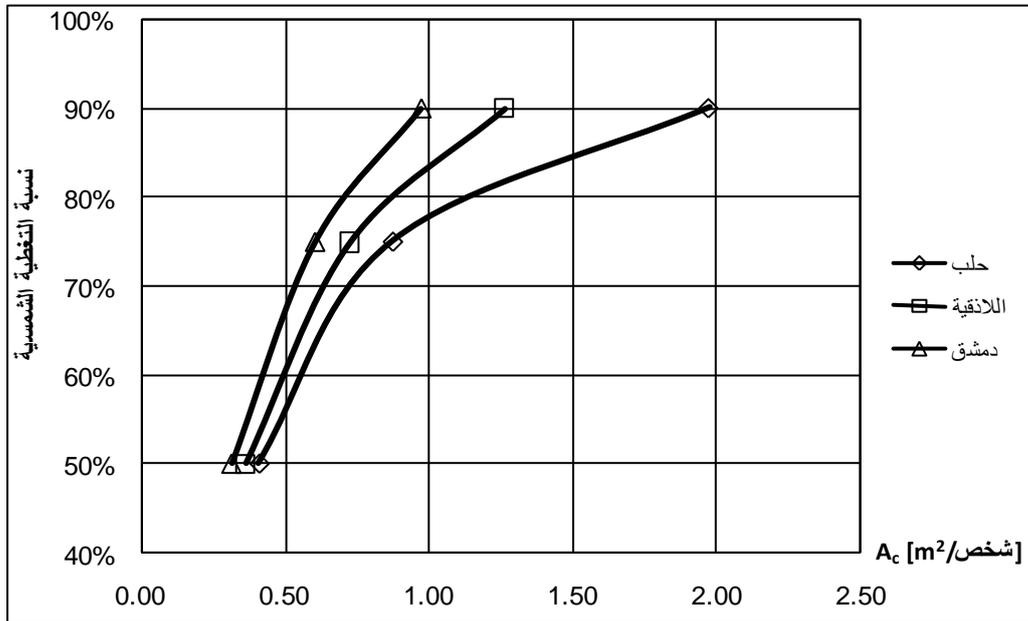
5. تأثير عدد الأشخاص على نسبة التغطية الشمسية

يبين الشكل (9) تغير نسبة التغطية الشمسية مع تغير مساحة اللاقط الشمسي المطلوبة للشخص الواحد، وذلك من أجل بناء لعائلة واحدة (4 أشخاص) وبناء متعدد العائلات (24 شخص). نلاحظ من الشكل أنه مع ازدياد المساحة للشخص الواحد حتى القيمة $A_c=0.5 \text{ [m}^2\text{/شخص]}$ التي تكون عندها نسبة التغطية مساوية لـ 60% تقريباً، تكون نسبة التغطية الشمسية متطابقة تماماً لكلا البنائين، وعند ازدياد المساحة عن القيمة السابقة فإن مقدار الزيادة في نسبة التغطية الشمسية لا يتجاوز 2%. أي يمكن اعتبار أن مساحة اللاقط الشمسي للشخص الواحد المطلوبة عند نسبة تغطية معينة هي ذاتها، مهما كان عدد الأشخاص القاطنين في البناء. بمعنى آخر ليس هناك تأثير لعدد الأشخاص على نسبة التغطية الشمسية عند مساحة معينة للاقط للشخص الواحد.

يبين الشكل (10) تغير نسبة التغطية الشمسية مع تغير مساحة اللاقط الشمسي المطلوبة للشخص الواحد لعدة مدن في سوريا. لقد تم إجراء محاكاة لنظام تسخين شمسي واحد من أجل المعطيات المناخية لمدن حلب واللاذقية ودمشق، والشكل (10) يبين قيم مساحة اللاقط الشمسي للشخص الواحد المطلوبة لتحقيق نسب تغطية معينة (50% و 75% و 90%) للمدن الثلاث. نلاحظ أنه في دمشق نحتاج لمساحات أقل من اللاذقية وحلب، وهذا يعود لخط العرض لكل مدينة. نجد من الشكل السابق أنه من أجل تأمين نسبة تغطية تتراوح ما بين 50% إلى 90% فإن مساحة اللاقط الشمسي لكل شخص وسطياً في سوريا تتراوح ما بين $[0.36 - 1.4] \text{ m}^2\text{/شخص}$ وهذا الرقم أقل بكثير مقارنة مع القيم المطلوبة لوسط أوروبا والتي تتراوح ما بين $[1.25 - 1.5] \text{ m}^2\text{/شخص}$ من أجل نسبة تغطية (50-60%) [13].



الشكل (9) تأثير عدد الأشخاص على نسبة التغطية الشمسية



الشكل (10) تغير نسبة التغطية الشمسية لعدة مدن في سوريا

الاستنتاجات والتوصيات:

بعد تحليل الأداء الحراري لنظام التسخين الشمسي باستخدام برنامج المحاكاة TRNSYS نستنتج ما يلي:
 1. يزداد مردود اللاقط الشمسي ونسبة التغطية الشمسية عند زيادة حجم الخزان الحراري من $25 \text{ [lit/m}^2\text{]}$ إلى $75 \text{ [lit/m}^2\text{]}$ بمقدار 8% وبعد ذلك ليس لزيادة الحجم تأثير على المردود أو نسبة التغطية.

2. لدرجة حرارة الماء الساخن المطلوبة عند الحمل تأثير كبير على نسبة التغطية الشمسية، فعند انخفاض درجة الحرارة من 60°C إلى 45°C تزداد نسبة التغطية وسطياً بمقدار 17% عند أية مساحة للاقط الشمسي.
3. تزداد نسبة التغطية مع ازدياد التدفق ضمن اللاقط الشمسي حتى التدفق [50 lit/hm²] حيث نحصل على القيمة العظمى لنسبة التغطية، وزيادة التدفق عن هذه القيمة ليس لها تأثير على نسبة التغطية الشمسية.
4. عند مساحة معينة للاقط للشخص الواحد ليس لعدد الأشخاص تأثير على نسبة التغطية الشمسية.
5. من أجل تأمين نسبة تغطية تتراوح ما بين 50% إلى 90% فإن مساحة اللاقط الشمسي للشخص الواحد وسطياً في سوريا تتراوح ما بين [شخص/م²] (0.36 - 1.4) وهي أقل بنصف القيم المطلوبة لوسط أوروبا.
6. متابعة البحث في نماذج مختلفة لنظام التسخين الشمسي ودراسة المتغيرات المؤثرة على أدائها الحراري لتحديد القيم المثلى لهذه المتغيرات، بما يناسب المعطيات المناخية لبلدنا.

المراجع:

- [1]. KALOGIROU, S. *Thermal performance, economic and environmental life cycle analysis of thermosiphon solar water heaters*. Solar Energy Vol. 83, 2009, 39-48.
- [2]. FURBO, S.; ANDERSON, E.; KNUDSEN, S.; VEJEN, N. K.; SHAH, L. J. *Smart solar tanks for small solar domestic hot water systems*. Solar Energy, Vol. 78, 2005, 269-279.
- [3]. JORDAN, U.; FURBO, S. *Thermal stratification in small solar domestic storage tanks caused by draw-offs*. Solar Energy, Vol. 78, 2005, 291-300.
- [4]. FURBO, S.; ANDERSON, E.; THUR, A.; SHAH, L. J.; ANDERSON, K. D. *Performance improvement by discharge from different levels in solar storage tanks*. Solar Energy, Vol. 79, 2005, 431-439.
- [5]. KNUDSEN, S. *Consumers influence on the thermal performance of small SDHW systems-theoretical investigations*. Solar Energy, Vol. 73, 2002, 33-42.
- [6]. KLEIN, S. A. et al., TRNSYS – a transient simulation program, version 16.1, *User Manual*. University of Wisconsin-Madison, USA. 2006.
- [7]. Meteonorm, 4.00, Global Meteorological Database for Solar Energy Applied Meteorology. Nov 1999.
- [8]. DUFFIE, J. A., BECKMAN, W. A. *Solar Engineering of Thermal Processes*, Wiley Interscience, New York, 1991, 919.
- [9]. KARATASOU, S.; SANTAMOURIS, M.; GEROS, V. *On the calculation of solar utilizability for south oriented flat plate collectors tilted to an angle equal to the local latitude*. Solar Energy Vol. 80, 2006, 1600-1610.
- [10]. JUI SHENG HSIEH. *Solar Energy Engineering*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey Institute of Technology, 1986, 417.
- [11]. ASHRAE. *Heating, Ventilating, and Air - Conditioning, Systems and Equipment*, SI Edition, Atlanta, 1992, 697.
- [12]. AGAMI REDDY, T. *The Design and Sizing of Active Solar Thermal Systems*, Oxford: Clarendon Press, 1987, 303.
- [13]. المصري، رضوان. *مبادئ الطاقة الشمسية الحرارية وتطبيقاتها*، الجزء الأول، جامعة حلب، سوريا، 1996، 189.