

تأثير التراصف الحراري على الأداء الحراري لنظام تسخين الماء الشمسي

الدكتور رامي جورج*

(تاريخ الإيداع 16 / 8 / 2009. قُبِلَ للنشر في 27/10/2009)

□ ملخص □

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير التراصف الحراري في الخزان الحراري على الأداء الحراري لنظام تسخين الماء الشمسي وذلك باستخدام برنامج المحاكاة TRNSYS. فقد تم تحليل الأداء الحراري لنظام التسخين الشمسي باستخدام حمل الماء الساخن والشروط المناخية كمعطيات لبرنامج المحاكاة لدراسة تأثير عدد مداخل الماء الساخن إلى الخزان الحراري (عدد الطبقات الحرارية في الخزان الحراري) على مردود اللاقط الشمسي ونسبة التغطية الشمسية. لقد أظهر هذا البحث أنه يتم الحصول على أعظم قيمة لمردود اللاقط الشمسي ونسبة التغطية الشمسية عند استخدام ثلاثة مداخل إلى الخزان الحراري ($n=3$) ويكون مقدار التزايد في المردود [%] 2-6 بينما مقدار التزايد في نسبة التغطية الشمسية [%] 4-8.

الكلمات المفتاحية: ترصاف حراري، خزان حراري، طاقة شمسية، نظام تسخين شمسي.

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

Influence of Thermal Stratification on Thermal Performance of Solar Water Heating System

Dr. Rami George*

(Received 16 / 8 / 2009. Accepted 27 / 10 / 2009)

□ ABSTRACT □

The objective of this investigation is to study the effect of thermal stratification on the thermal performance of water heating system using TRNSYS simulation program. Solar water heating system was analyzed using hot water loads and hourly weather data as data input to the simulation program to study the influence of number of hot water inlets to storage tank (number of thermal nodes in storage tank) on solar collector efficiency and solar fraction. The investigation showed that the highest collector efficiency and the highest solar fraction occurred by using three inlets to storage tank ($n=3$), where the increase of collector efficiency is about 2-6[%] and the increase of solar fraction is about 4-8[%].

Key words: Thermal stratification, Storage tank, Solar energy, Solar water heating system

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

مقدمة:

يتأثر الأداء الحراري لأنظمة تسخين الماء الشمسية بمقدار الترافف الحراري في الخزانات الحرارية، حيث ينتج عن ذلك وجود الماء الساخن في أعلى الخزان الحراري، والماء البارد في أسفله، وهذا يؤدي بدوره لسحب الماء الأسخن من الخزان وتزويده للحمل، وبالتالي تحسين نسبة التغطية الشمسية بينما يتم تأمين دخول الماء الأبرد إلى اللاقط الشمسي وبالتالي تحسين مردوده.

أجريت الكثير من الأبحاث بهدف تحقيق الترافف الحراري في الخزانات الحرارية لأنظمة الطاقة الشمسية من أجل تحسين الأداء الحراري لهذه الأنظمة. فقد تم تحسين الترافف الحراري عن طريق سحب الماء الساخن عند مستويات مختلفة من الخزان الحراري [1]، أو باستخدام أدوات مختلفة عند مدخل الماء البارد إلى الخزان الحراري [2] و[3] أو عند مدخل الماء الساخن [4] أو بوضع حواجز بأشكال مختلفة ضمن الخزان الحراري [5]. كما تم دراسة تأثير استخدام عدة خزانات حرارية [6]، أو تأثير عملية ربط الخزانتين الحراريين في سخان الماء الشمسي المدمج على الترافف الحراري [7]. تم أيضاً دراسة تأثير شكل الخزان الحراري على الترافف الحراري [8].

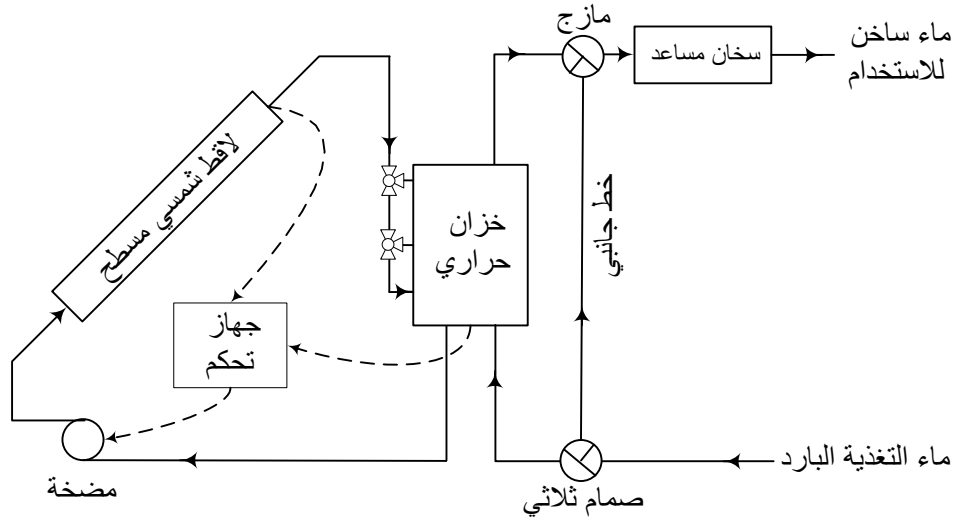
يوضح هذا البحث تأثير الترافف الحراري في الخزان الحراري باستخدام عدة مداخل للماء الساخن القادم من اللاقط الشمسي إلى الخزان الحراري لنظام الطاقة الشمسية من أجل تأمين الماء الساخن لبناء سكني لعائلة واحدة مؤلفة من أربعة أفراد، واقع في مدينة اللاذقية حيث خط العرض هو 35.5° . تم هذا البحث على نظام تسخين شمسي يستخدم لاقط شمسي مسطح مواصفاته مبينة في الجدول (1)، ويميل بزواوية مساوية لزواوية خط العرض.

وصف نظام تسخين الماء الشمسي:

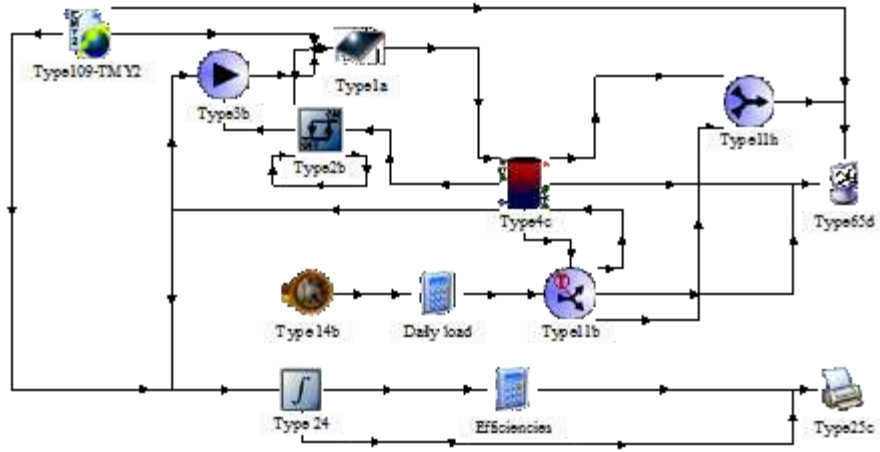
يبين الشكل (1) نظام تسخين الماء الشمسي المستخدم في هذا البحث، حيث يتكون هذا النظام من العناصر التالية (لاقط شمسي مسطح، خزان حراري ذي عدة مداخل، سخان إضافي، مضخات تسريع، صمامات تنفيس ونظام تحكم أوتوماتيكي).

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 من خلال اللاقط الشمسي إلى الخزان الحراري، حيث يتم دخول الماء الساخن إلى الطبقة ذات درجة الحرارة المساوية لدرجة حرارة الماء القادم من اللاقط الشمسي. 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) 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 تسخين الماء الشمسي المقترح



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

أهمية البحث وأهدافه:

نظراً لعدم الأخذ بالحسبان أهمية الترافف الحراري في الخزان الحراري لنظام تسخين الماء الشمسي وعدم معرفة كيفية تحقيقه والشروط اللازمة من أجل تطبيقه في معظم الأنظمة الشمسية المركبة في قطرنا لتحسين أدائها الحراري، لهذا فإن أهمية هذا البحث تكمن في دراسة تأثير الترافف الحراري في الخزان الحراري باستخدام عدة مداخل للماء الساخن القادم من اللاقط الشمسي إلى الخزان الحراري على الأداء الحراري لنظام التسخين الشمسي وكيفية تحقيقه، ودراسة العوامل المؤثرة عليه لإعطاء صورة واضحة عن أهمية الترافف الحراري من أجل التصميم الأمثل لأنظمة الطاقة الشمسية وتحسين أدائها الحراري.

طرائق البحث ومواده:

تم استخدام برنامج المحاكاة TRNSYS [9] الذي يعتبر أكثر برامج المحاكاة استخداماً وشيوعاً لتقييم الأداء الحراري اللحظي لأنظمة الطاقة الشمسية التي تتمتع بمتغيرات متعددة ومتغيرة مع الزمن، حيث يسمح البرنامج بتمثيل نظام الطاقة الشمسي، ومحاكاة أدائه خلال فترة زمنية محددة، وفي نهاية المحاكاة نستطيع معرفة مقدار الطاقة التي تم استخدامها والتي تم حفظها.

يضم النظام الشمسي عدة مكونات موصولة بعضها مع بعض، لكي تؤدي مهمة محددة (في بحثنا تأمين الماء الساخن) فيحاكي برنامج TRNSYS هذا النظام بربط المكونات مع بعضها تماماً كما يتم في النظام الحقيقي، وكل مكون هو عبارة عن برنامج جزئي يدعى عادة Type ويعرف كل Type برقم مميز يرمز إلى وظيفة المكون فمثلاً Type1a يرمز إلى اللاقط الشمسي المسطح و Type4c يرمز للزان الحراري متعدد المداخل و Type2b جهاز التحكم و Type65d يرمز إلى الراسم لإظهار النتائج التي يتم الحصول عليها من البرنامج بعد إدخال الثوابت والمتغيرات المتعلقة بكل مكون، والمبينة في الجدول (1).

تم الحصول على قيم الإشعاع الشمسي اللحظي الساقط على سطح أفقي والمعطيات المناخية للمنطقة المدروسة باستخدام برنامج Meeonorm [10]. حيث يتم الحصول على ملف المعطيات المناخية بالتنسيق المعياري TMY والذي تتم قراءته من قبل برنامج TRNSYS باستخدام مكون (Type109-TMY2) الذي يقوم بحساب شدة الإشعاع الشمسي الساقط على اللاقط الشمسي المائل ذي المعطيات الموضحة في الجدول (1).

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:

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

حيث:

Q_u : كمية الطاقة المفيدة المقدمة من اللاقط الشمسي [W].

H_t : شدة الإشعاع الشمسي الساقط على اللاقط الشمسي المائل [W/m^2].

A_c : مساحة اللاقط الشمسي [m^2].

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 أي الجزء من أعمال الماء الساخن للبناء التي تزود من قبل نظام الطاقة الشمسية وتعطى بالعلاقة التالية:

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

حيث:

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

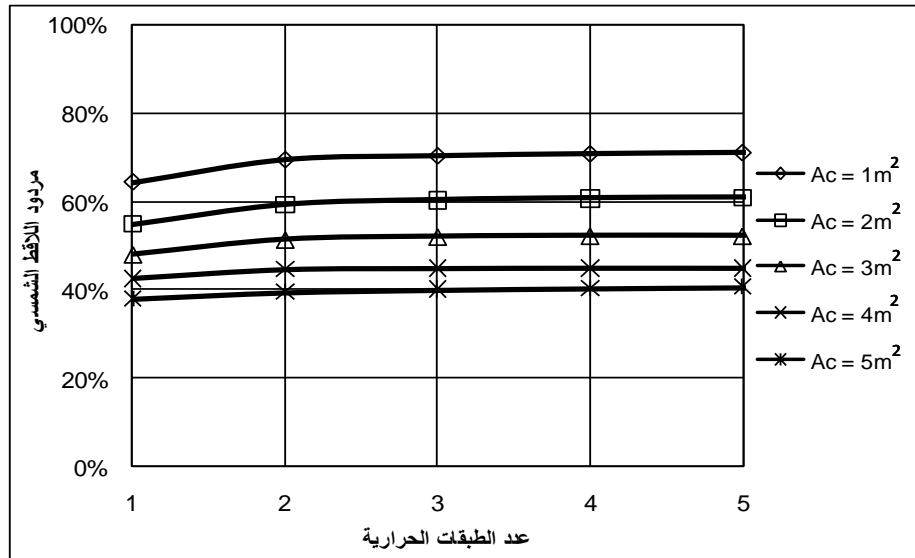
الجدول (1) القيم العددية للتوابت المعتمدة في محاكاة نظام تسخين الماء الشمسي

الواحدة	القيم	البارامترات	مردود اللاقط النظري
-	0.73	$F_R(\tau\alpha)$	مردود اللاقط النظري
$W/m^2\text{°C}$	5.96	$F_R U_c$	معامل الفقد الحراري للاقط
lit/m^2	75	V_s	حجم الخزان الحراري
شخص. يوم / lit	50	V_p	كمية الماء الساخن المطلوبة
$W/m^2\text{°C}$	1	U_s	معامل الفقد الحراري للخزان
°C	11	T_m	درجة حرارة ماء التغذية
°C	50	T_w	درجة حرارة الماء الساخن المطلوبة

النتائج والمناقشة:

1. تأثير عدد الطبقات الحرارية في الخزان الحراري على مردود اللاقط الشمسي

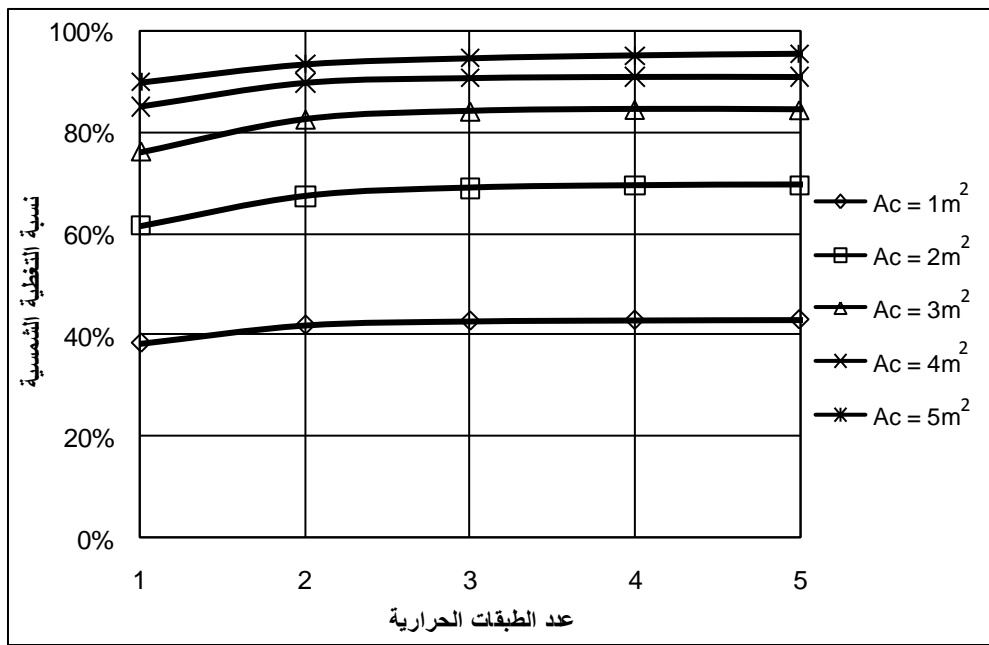
يبين الشكل (3) تأثير عدد الطبقات الحرارية في الخزان الحراري (عدد مداخل الماء الساخن إلى الخزان الحراري) على المردود السنوي للاقط الشمسي من أجل مساحات مختلفة للاقط الشمسي، نلاحظ من الشكل (3) أنه عند أية مساحة للاقط الشمسي، فإن مردود اللاقط السنوي يزداد بازدياد عدد الطبقات الحرارية حتى العدد $n=3$ حيث يستقر المردود عند قيمة ثابتة ولا يحدث بعدها تأثير لعدد الطبقات الحرارية على المردود. إن ازدياد المردود ناتج عن دخول الماء ذي درجة الحرارة الأقل إلى اللاقط الشمسي والمتجمع في أسفل الخزان الحراري نتيجة التراصيف الحراري. من الشكل (3) نلاحظ زيادة للمردود تتراوح من [2%] إلى [6%] حسب مساحة اللاقط الشمسي وذلك عند استخدام خزان حراري ذي ثلاث طبقات حرارية (استخدام خزان حراري ذي ثلاثة مداخل للماء الساخن).



الشكل (3) تأثير عدد الطبقات الحرارية على مردود اللاقط الشمسي لأجل مساحات مختلفة للاقط الشمسي

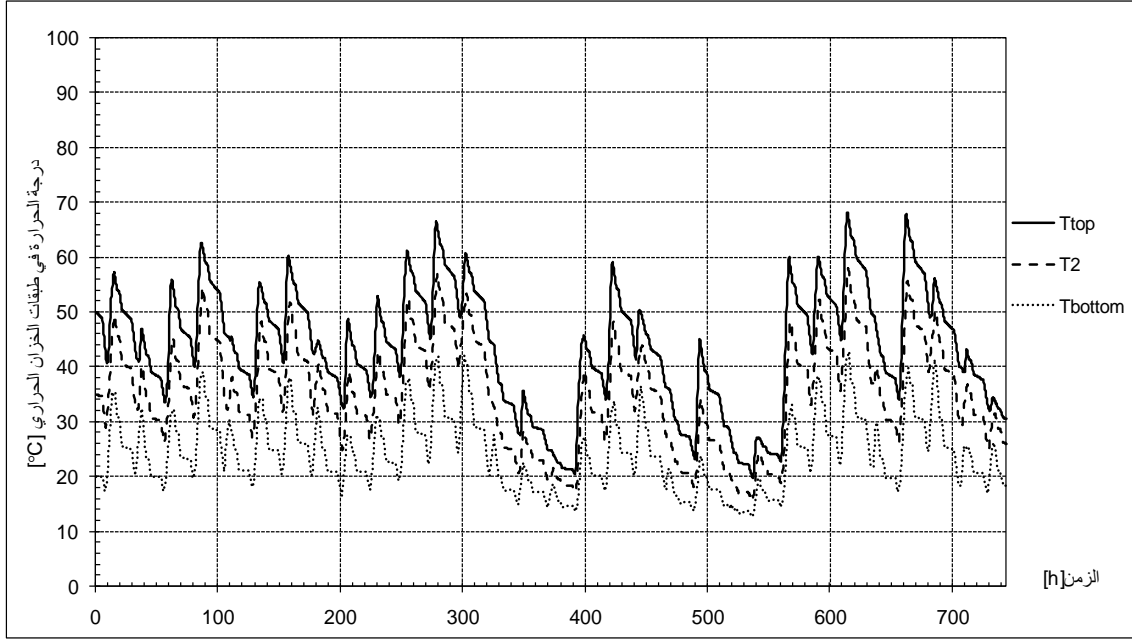
2. تأثير عدد الطبقات الحرارية في الخزان الحراري على نسبة التغطية الشمسية

يبين الشكل (4) تغير نسبة التغطية الشمسية السنوية بتغير عدد الطبقات الحرارية في الخزان الحراري لأجل مساحات مختلفة للاقط الشمسي. نلاحظ من الشكل ازدياد نسبة التغطية الشمسية مع زيادة عدد الطبقات الحرارية في الخزان الحراري لأجل مساحة معينة للاقط الشمسي، وتكون هذه الزيادة أكبر ما يمكن عند استخدام خزان حراري ذي ثلاث طبقات حرارية، حيث تأخذ عندها نسبة التغطية الشمسية القيمة العظمى، وبعدها نلاحظ استقرار المنحني عند نسبة تغطية ثابتة تقريباً، مع زيادة عدد الطبقات الحرارية لأجل أية مساحة للاقط الشمسي. نلاحظ من الشكل (4) أن زيادة نسبة التغطية الشمسية تتراوح من [4%] إلى [8%] حسب مساحة اللاقط الشمسي وذلك عند استخدام خزان حراري ذي ثلاث طبقات حرارية (استخدام خزان حراري ذي ثلاثة مداخل للماء الساخن).

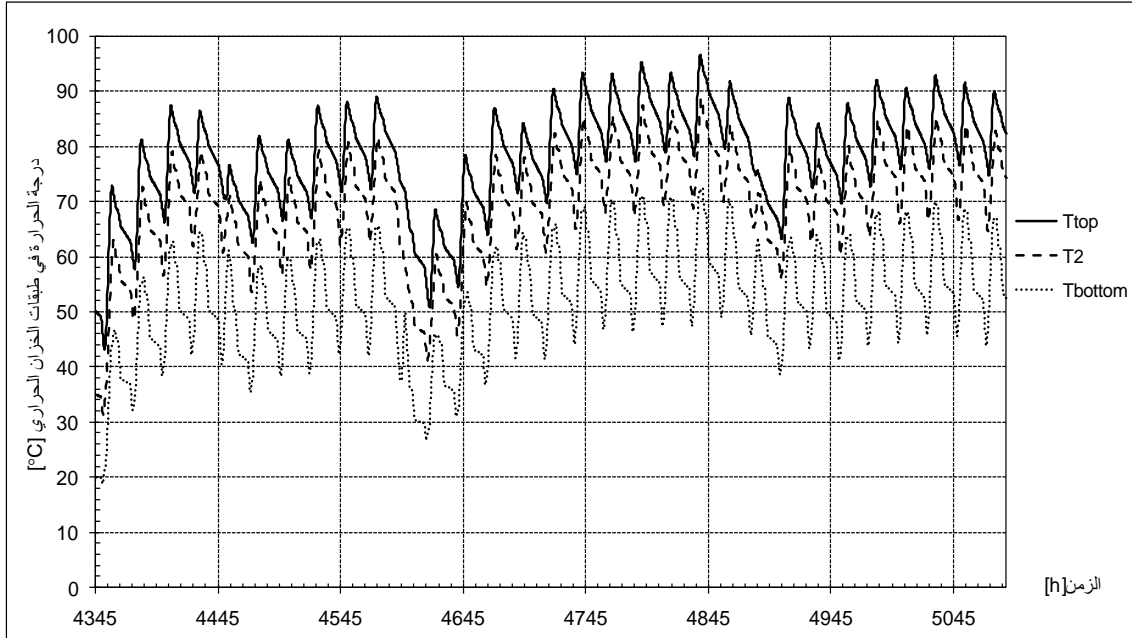


الشكل (4) تأثير عدد الطبقات الحرارية على نسبة التغطية الشمسية لأجل مساحات مختلفة للاقط الشمسي

يبين الشكلين (5) و (6) تغير درجات الحرارة في الطبقات الحرارية الثلاث للخزان الحراري (T_{top} أعلى الخزان، T_2 وسط الخزان، T_{bottom} أسفل الخزان)، حيث نلاحظ من الشكل أن الفرق في درجات الحرارة بين أعلى الخزان وأسطفه قد يصل إلى $25[^\circ C]$ وهذا ناتج عن تحقيق الترافف الحراري الجيد في الخزان، والذي أدى بدوره إلى زيادة مرور اللاقط الشمسي وزيادة نسبة التغطية الشمسية لنظام تسخين الماء الشمسي.



الشكل (5) تغير درجات الحرارة للطبقات الحرارية الثلاث خلال شهر كانون الثاني

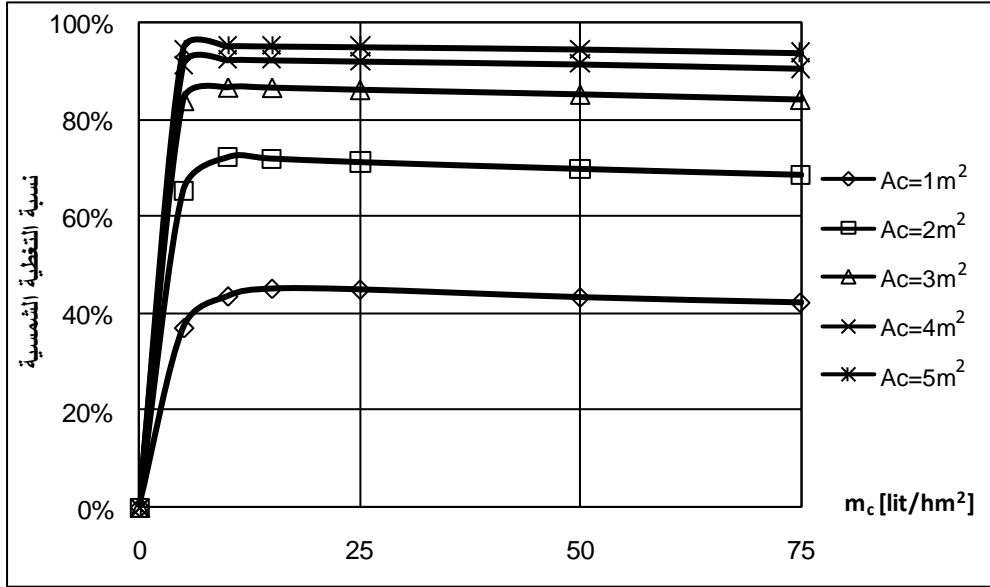


الشكل (6) تغير درجات الحرارة للطبقات الحرارية الثلاث خلال شهر تموز

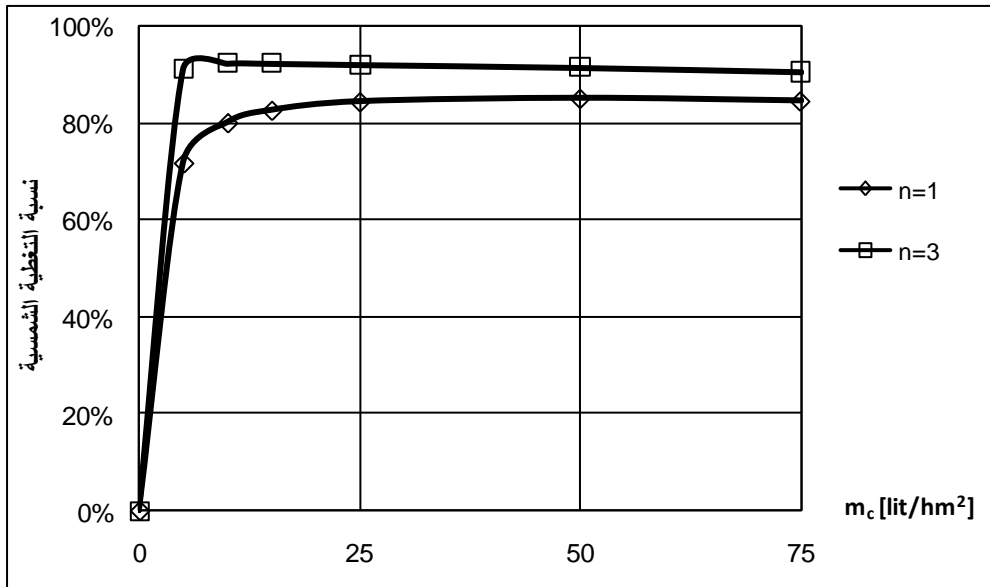
3. تأثير التدفق في اللاقط الشمسي على نسبة التغطية الشمسية

يبين الشكل (7) تغير نسبة التغطية الشمسية بتغير التدفق ضمن اللاقط الشمسي لأجل مساحات مختلفة للاقط الشمسي من أجل خزان حراري ذي ثلاث طبقات حرارية (مزود بثلاثة مداخل للماء الساخن). نلاحظ من الشكل أن القيمة العظمى لنسبة التغطية الشمسية لأجل أية مساحة للاقط الشمسي تحدث عند تدفق منخفض مقداره $m_c = 10 \text{ [lit/hm}^2\text{]}$

يبين الشكل (8) تغير نسبة التغطية الشمسية بتغير التدفق ضمن اللاقط الشمسي من أجل خزان حراري ذي ثلاث طبقات حرارية ($n=3$) وآخر ممزوج كلياً ($n=1$)، حيث نلاحظ أن القيمة العظمى لنسبة التغطية تتحقق عند تدفق أصغر في الخزان ذي الطبقات الحرارية الثلاث ($m_c=10[\text{lit}/\text{hm}^2]$) منها في الخزان الممزوج كلياً ($m_c=50[\text{lit}/\text{hm}^2]$)



الشكل (7) تأثير التدفق في اللاقط الشمسي على نسبة التغطية الشمسية لأجل مساحات مختلفة للاقط الشمسي



الشكل (8) تأثير التدفق في اللاقط الشمسي على نسبة التغطية الشمسية من أجل خزان ذي ثلاث طبقات حرارية وآخر ممزوج كلياً

الاستنتاجات والتوصيات:

- بعد تحليل الأداء الحراري لنظام التسخين الشمسي ذي الخزان الحراري المترافف حرارياً وآخر ممزوج كلياً باستخدام برنامج المحاكاة TRNSYS نستنتج ما يلي:
1. يزداد مردود اللاقط الشمسي عند استخدام خزان حراري ذي ثلاث طبقات حرارية (ثلاثة مداخل للماء الساخن) بمقدار [%] 2-6 مقارنة بنظام شمسي ذي خزان حراري ممزوج كلياً.
 2. تزداد نسبة التغطية الشمسية عند استخدام خزان حراري ذي ثلاث طبقات حرارية (ثلاثة مداخل للماء الساخن) بمقدار [%] 4-8 مقارنة بنظام شمسي ذي خزان حراري ممزوج كلياً.
 3. تزداد نسبة التغطية الشمسية بازدياد التدفق حتى القيمة ($m_c=10[\text{lit}/\text{hm}^2]$) وأي زيادة للتدفق عن هذه القيمة ليس لها تأثير على نسبة التغطية الشمسية.
 4. في الأنظمة الشمسية ذات الخزانات المترافف حرارياً تتحقق نسبة التغطية الشمسية العظمى عند تدفق ($m_c=10[\text{lit}/\text{hm}^2]$) أقل منها في الأنظمة ذات الخزانات الحراري الممزوج كلياً ($m_c=50[\text{lit}/\text{hm}^2]$).
 5. متابعة البحث في طرق تحسين الترافف الحراري في الخزان الحراري من أجل زيادة الأداء الحراري لأنظمة تسخين الماء الشمسية.

المراجع:

- [1]. 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.
- [2]. JORDAN, U.; FURBO, S. *Thermal stratification in small solar domestic storage tanks caused by draw-offs*. Solar Energy, Vol. 78, 2005, 291-300.
- [3]. SHAH, L. J.; FURBO, S. *Entrance effects in solar storage tanks*. Solar Energy, Vol. 75, 2003, 337-348.
- [4]. ZACHAR, A.; FARKAS, I.; SZLIVKA, F. *Numerical analyses of the impact of plates for thermal stratification inside a storage tank with upper and lower inlet flows*. Solar Energy, Vol. 74, 2003, 287-302.
- [5]. ALTUNTOP, S.; ARSLAN, M.; OZCEYHAN, V.; KANOGLU, M. *Effect of obstacles on thermal stratification in hot water storage tank*. Applied Thermal Engineering, Vol. 25, 2005, 2285-2298.
- [6]. MATHE, D. W.; HOLLANDS, K.G.T.; WRIGHT, J.L. *Single-and multi-tank energy storage for solar heating systems: Fundamental*. Solar Energy, Vol. 73, 2002, 3-13.
- [7]. MADHLOPA, A.; MGAWI, R.; TAULO, J. *Experimental study of temperature stratification in an integrated collector – storage solar water heater with two horizontal tanks*. Solar Energy, Vol. 80, 2006, 989-1002.
- [8]. EAMES, P. C.; NORTON, B. *The effect of tank geometry on thermally stratified sensible heat storage subject to low Reynolds number flows*. Heat Mass transfer, Vol. 41, 1998, 2131-2142.
- [9]. KLEIN, S. A. et al. *Trnsys – a transient simulation program, version 16.1, User Manual*. University of Wisconsin-Madison, USA. 2006.
- [10]. Meteonorm, 4.00, Global Meteorological Database for Solar Energy Applied Meteorology. Nov. 1999.