

دراسة نمذجة ومحاكاة لتأثير التدرج الحراري في خزائين حراريين مختلفي الشكل على الأداء الحراري لأنظمة تسخين الماء الشمسية.

الدكتورة لانا كنجو*

(تاريخ الإيداع 24 / 5 / 2012. قُبل للنشر في 5 / 8 / 2012)

□ ملخص □

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير التدرج الحراري في خزائين حراريين مختلفي الشكل على الأداء الحراري لأنظمة تسخين الماء الشمسية، وقد تم ذلك باستخدام برنامج المحاكاة (TRNSYS). حيث تم نمذجة نظامي تسخين ماء شمسيين يستخدمان خزائين حراريين شاقوليين أحدهما اسطواني الشكل (CV)، والآخر ذي مقطع عرضي مربع الشكل (UCS). تم دراسة ظاهرة التدرج الحراري في الخزائين الحراريين للنظامين في ظروف متماثلة (حمل الماء الساخن، الشروط المناخية...الخ). تم أيضاً دراسة تأثير بعض المتغيرات على تحقيق هذه الظاهرة وبالمحصلة على الأداء الحراري لنظامي تسخين الماء الشمسيين الذي يُعبّر عنه المردود ونسبة التغطية الشمسية، ومن ثم أُجريت المقارنة بين النظامين المدروسين. أظهرت نتائج المحاكاة المنجزة في هذا البحث لمدة عام كامل بخطوة زمنية قدرها ساعة واحدة للنظامين المدروسين، أن الخزان الحراري الاسطواني الشكل كان أفضل بقليل في تحقيق التدرج الحراري من الخزان ذي المقطع العرضي المربع الشكل ومن أجل جميع المتغيرات المدروسة (الفرق في نسبة التغطية الشمسية حوالي 0.5%). كما أظهرت النتائج أن أفضل عدد للطبقات الحرارية ضمن الخزائين الحراريين هو (10=n)، وأنه من أجل حجم معين مدروس (300 lit) للخزان الحراري كانت أفضل نسبة ارتفاع للخزان إلى البعد المميز لمقطعه هي (3 = H/L). ومن أجل الحجم المدروس نفسه كان أفضل ارتفاع ثابت لمدخل الماء الساخن إلى الخزان للنظام الأول (CV) هو (0.9 m) وللنظام الثاني (UCS) هو (0.7 m)، ولكن استخدام مدخل متغير الارتفاع أوتوماتيكياً كان هو الأفضل لكلا النظامين بحيث كانت الزيادة في نسبة التغطية الشمسية عن حالة المدخل الثابت الارتفاع بحوالي (1%).

الكلمات المفتاحية: التدرج الحراري - نظام تسخين الماء الشمسي - الخزان الحراري - الأداء الحراري - الطاقة الشمسية - الدراسة النمذجية - دراسة المحاكاة.

*مدرسة في قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

The Influence of Thermal Stratification in Two Different shapes of Storage Tank on Thermal Performance of Solar Water Heating System

Dr. Lana Kenjo*

(Received 24 / 5 / 2012. Accepted 5 / 8 / 2012)

□ ABSTRACT □

This research aims to study the influence of thermal stratification in two different shapes of storage tank on thermal performance of solar water heating systems, and this has been done by using simulation program (TRNSYS). Where two solar water heating systems have been modeled using two vertical storage tanks, one of them had a cylindrical form (CV), and the other one had a square cross section form (UCS). The study of the phenomenon of thermal stratification in the two storage tanks of the systems has been done in identical conditions (hot water load, weather conditions, ...etc). Another study has been done, it was the effect of some variables on performing this phenomenon, and accordingly on the thermal performance of the two solar water heating systems which have been expressed by thermal efficiency and solar cover ratio, and then a comparison between the two systems has been done.

Results of simulations in this research, which have been done for one year by one hour as a step time on the two systems, showed that the cylindrical storage tank was little better in performing the thermal stratification than the square cross section tank for all the variables studied (difference in solar cover ratio about 0.5%). Also results showed that the best number of thermal layers within the storage tanks was (n=10), and for a specific size studied of storage tank (300 lit) the best ratio of height the storage tank to the distinguished dimension of its section was (H/L=3). However, for the same specific size studied, the best fixed height of hot water entrance to the first system storage tank (CV) was (0.9 m) and for the second system (UCS) was (0.7 m). But, using automatically changed height of entrance was the best for both systems so that the increase in solar cover ratio of the case of fixed height was about (1%).

Keywords: Thermal Stratification, Solar Water Heating System, Thermal Performance, Solar Energy, Modeling Study, Simulation Study.

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

مقدمة:

يعدّ تحقيق التدرج الجيد لدرجات حرارة المائع ضمن الخزانات الحرارية لأنظمة تسخين الماء الشمسية من الأمور الهامة التي تؤثر على الأداء الحراري لتلك الأنظمة. يتمثل ذلك برفع مردود اللاقط الشمسي نتيجةً لإمداده بمائع أكثر برودة، وبالتالي زيادة الطاقة المكتسبة التي تؤدي بدورها إلى تحسين أداء النظام بأكمله. أما الفائدة الأخرى لظاهرة التدرج الحراري فهي إنقاص الحاجة إلى مصادر الطاقة التقليدية المستخدمة عادةً في الأنظمة الشمسية في ظروف مناخية سيئة أو عند زيادة الطلب على الطاقة الحرارية [1].

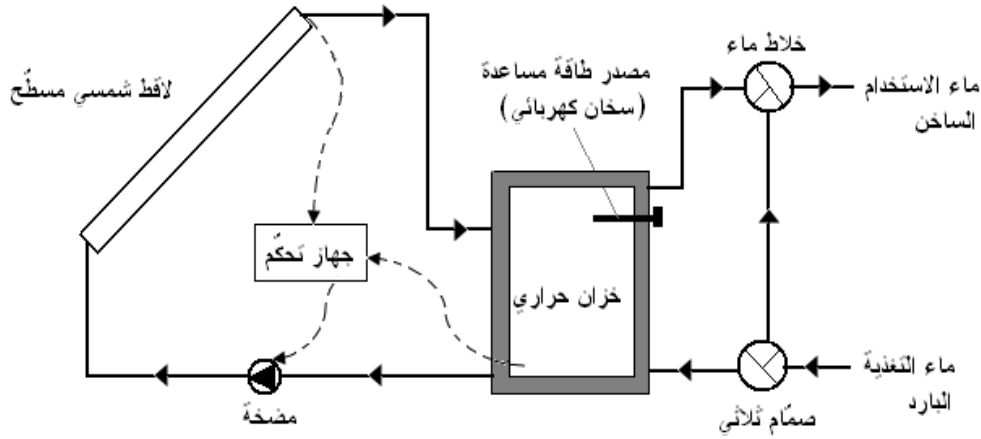
أنجزت الكثير من الأبحاث العالمية بهدف تحسين التدرج الحراري ضمن الخزانات الحرارية لأنظمة تسخين الماء الشمسية. ركزت تلك الأبحاث على استخدام تقنيات مختلفة ترتبط بعضها بشكل المداخل (للماء الساخن القادم من اللاقط أو لماء التغذية البارد) إلى تلك الخزانات أو باستخدام بعض التقنيات عند تلك المداخل [2, 3, 4, 5]. كما تضمنت بعض الأبحاث استخدام تقنيات ضمن الخزانات الحرارية كاستخدام أنبوب مثقّب على مستويات مختلفة يسمح بتزويد الخزان بالماء الساخن القادم من اللاقط الشمسي على مستويات عدة [6, 7]، أو باستخدام حواجز مختلفة الأشكال توضع ضمن الخزان الحراري [8]. بينما ركزت أبحاث أخرى على تقنيات مرتبطة بخارج الخزان الحراري كاستخدام مبادل حراري من نوع القميص بمدخل واحد [9] أو بمداخل متعددة مزوّدة بصمامات كهربائية [10]. وأظهرت دراسات أخرى تأثير شكل الخزان الحراري على التدرج الحراري فيه [11].

يُظهر هذا البحث تأثير شكل الخزان الحراري على التدرج الحراري فيه، وبالتالي على الأداء الحراري لنظام تسخين الماء الشمسي الذي يشكّل الخزان الحراري أحد أجزائه. استخدم لهذه الغاية نظامي تسخين ماء شمسيين ذي خزانين حراريين شاقوليين أحدهما اسطواني الشكل والآخر بمقطع عرضي مربع الشكل. تم نمذجة هذين النظامين في برنامج المحاكاة (TRNSYS) [12]، ومن ثم أُجريت المحاكاة (Simulation) عليهما لمدة عام كامل بعد استخدام القيم المبينة في الجدول (1) لكلا النظامين. تم دراسة النظامين، بحيث يستطيع كل منهما تأمين الماء الساخن لمنزل سكني لعائلة مؤلفة من أربعة أشخاص ويقع في مدينة اللاذقية ذات خط العرض 35.5° . أما توجه اللواقط الشمسية للنظامين المدروسين فكان باتجاه الجنوب بزاوية ميل عن الأفق مساوية لزاوية خط العرض. تضمنت الدراسة المنجزة على النظامين التوصل إلى معرفة تأثير بعض المتغيرات (التدفق في الدارة الرئيسية للنظام، حجم الخزان الحراري، عدد المستويات الحرارية ضمن الخزان،... الخ) على التدرج الحراري ضمن خزاني النظامين وبالمحصلة تأثير ذلك على الأداء الحراري للنظامين. أُجريت بعد ذلك المقارنة بين نتائج الدراسة لكلا النظامين والتي يعبر عنها المردود ونسبة التغطية الشمسية.

توصيف أنظمة تسخين الماء الشمسية المدروسة:

يتجلى الاختلاف بين مكّونات نظامي تسخين الماء الشمسيين المدروسين في المكوّن الأساسي لهما وهو الخزان الحراري المستخدم في كل منهما (خزان اسطواني الشكل للنظام الأول وللنظام الثاني خزان ذي مقطع عرضي مربع الشكل)، أما الأجزاء الأخرى فهي متماثلة.

يظهر الشكل (1) الأجزاء المختلفة لنظام تسخين ماء شمسي قسري يمثل كلا النظامين المدروسين، ويتألف بشكل عام من المكوّنات الآتية: لاقط شمسي مسطح، خزان حراري يحوي مصدر طاقة مساعدة كهربائية، مضخات تسريع، صمامات تنفيس، ونظام تحكم أوتوماتيكي.



الشكل (1) نظام تسخين الماء الشمسي الممثل للنظامين المدروسين.

يمكن أن يكون مدخل الماء الساخن للخزان الحراري (في كلا النظامين المدروسين) ثابت الارتفاع (كما في الشكل 1)، أو متغير الارتفاع أوتوماتيكياً بحيث يسمح دائماً بضخ الماء الساخن ضمن الخزان الحراري عند مستوى قريب في درجة حرارته من درجة حرارة الماء عند مخرج اللاقط. تسمح آلية التغيير الأوتوماتيكي لارتفاع المدخل بتقليل الخلط الذي يمكن أن يحدث ضمن الخزان عندما يستخدم مدخلاً ثابتاً، وذلك بسبب الفرق بين درجات حرارة الماء ضمن الخزان عند مستوى ذلك المدخل والماء القادم من اللاقط وذلك عند بعض الظروف (فترات بعد الظهر، طقس غائم جزئياً). يتم التغيير الأوتوماتيكي لارتفاع المدخل بوجود مداخل متعددة مزودة بصمامات كهربائية، حيث يتم التحكم بفتحها وإغلاقها عن طريق جهاز تحكم تفاضلي يقوم بمقارنة درجة حرارة الماء عند مخرج اللاقط ودرجات الحرارة عند مختلف المستويات ضمن الخزان وبعدها يفتح المدخل الواقع على مستوى قريب جداً في درجة حرارته من درجة حرارة ماء اللاقط الشمسي.

يتصل اللاقط الشمسي بالخزان الحراري عن طريق دائرة اللاقط الشمسي أو الدارة الأولية، حيث يتم تدوير الماء خلالها عن طريق مضخة تعمل بواسطة جهاز تحكم تفاضلي. فعندما يزداد فرق درجات الحرارة بين الماء عند مخرج اللاقط الشمسي والماء الموجود في أسفل الخزان الحراري عن قيمة محددة فإن جهاز التحكم يسمح للمضخة بالعمل لتدوير الماء عبر الدارة، وإذا كان الفرق أقل من قيمة معينة يضع جهاز التحكم المضخة في حالة التوقف عن العمل.

تم تزويد كل من نظامي تسخين الماء الشمسيين المدروسين في هذا البحث بمصدر طاقة مساعدة (سخان كهربائي) وضع في الجزء الأعلى من الخزان الحراري. يقوم ذلك المصدر بتأمين الحمل الحراري للمنزل السكني عندما تكون درجة الحرارة في الخزان أقل من درجة الحرارة الدنيا المطلوبة للاستخدام. بينما عندما تكون درجة الحرارة في الخزان الحراري أعلى من درجة الحرارة المطلوبة للاستخدام 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.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمُن أهمية هذا البحث في التركيز على ظاهرة التدرج الحراري للمائع ضمن الخزانات الحرارية لأنظمة تسخين الماء الشمسية كظاهرة هامة يكون لتحسينها الأثر الكبير في تحسين الأداء الحراري لتلك الأنظمة، والذي يمكن لشكل الخزان الحراري أن يساهم فيه. كما تظهر أهمية البحث من خلال دراسة تلك الظاهرة بالطرق المتاحة غير المكلفة (النمذجة والمحاكاة) للتوصل إلى تحديد العوامل التي تتأثر فيها هذه الظاهرة وتؤدي إلى تحسينها. يمكن أيضاً لهذا

البحث أن يساهم في التوصل إلى نتائج جيدة تشكّل حلاً لبعض المشاكل التقنية والاستثمارية التي تعاني منها أنظمة تسخين الماء الشمسية التقليدية المنتشرة في أسواقنا المحلية والتي أحد أسبابها عدم تحقيق ظاهرة التدرج الجيد لدرجات حرارة المائع ضمن خزاناتها الحرارية.

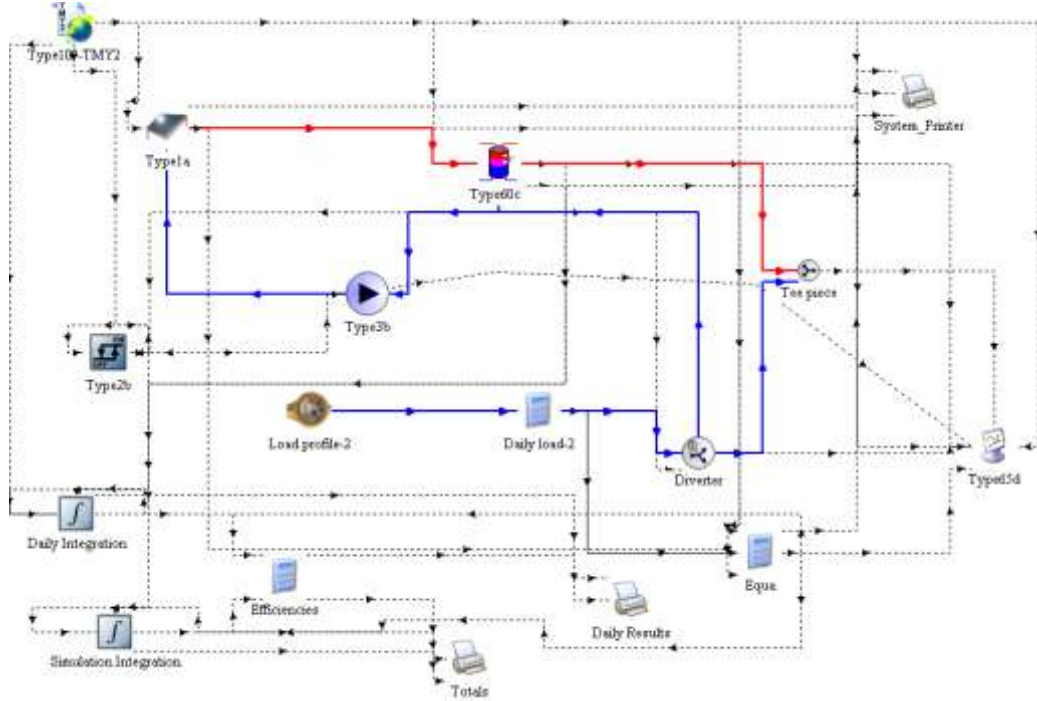
يهدف البحث إلى نمذجة نظامي تسخين ماء شمسيين قسريين، ضمن برنامج (TRNSYS)، يختلفان عن بعضهما بشكل الخزان الحراري، فأحدهما ذي خزان اسطواني الشكل والآخر ذي خزان بمقطع عرضي مربع الشكل. يتم بعدها إجراء المحاكاة (Simulation) لهذين النظامين بغية دراسة تأثير بعض المتغيرات على تحقيق ظاهرة التدرج الحراري وعلى الأداء الحراري لتلك الأنظمة، ومن ثم المقارنة بين نتائجهما المعبرة عن الأداء الحراري واستنتاج الأفضل بينهما.

طرائق البحث ومواده:

يمكن اللجوء في كثير من الدراسات البحثية إلى النمذجة والمحاكاة لسهولة تنفيذها وقلة تكاليفها من جهة، وإمكانية التحكم بالعديد من المتغيرات التي لها علاقة بالمشكلة المدروسة من جهة أخرى. لذلك اعتمدنا هذا الأسلوب من البحث في دراستنا هذه، والتي استخدمنا فيها برنامج المحاكاة (TRNSYS) والذي يُعتبر من برامج المحاكاة الأكثر انتشاراً في العديد من مراكز الأبحاث والجامعات العالمية. يسمح البرنامج بنمذجة ومحاكاة أنظمة الطاقة الشمسية الحرارية وغيرها، ومن ثم تقييم أداء تلك الأنظمة خلال فترات زمنية معينة (يوم، شهر، سنة). كما يمكن البرنامج من دراسة الكثير من المتغيرات التي تؤثر على الأداء، ومن ثم نستطيع التوصل إلى نتائج لتجاوز بعض المشاكل التصميمية لتلك الأنظمة.

لتحقيق الهدف قمنا بنمذجة نظامي تسخين ماء شمسيين قسريين يختلفان عن بعضهما بشكل الخزان الحراري الذي يحويه كل منهما. تم ذلك باستخدام برنامج (TRNSYS) الذي يتمثل فيه كل جزء من أجزاء النظام بعنصر يسمى (Type)، ويتم الربط بين العناصر كما في الشكل (2) بحيث يحاكي النظام الحقيقي.

يمثل الـ (Type) في برنامج (TRNSYS) واجهة لبرنامج جزئي خاص بذلك المكوّن يتم استدعاؤه من مكتبة البرامج عند إجراء المحاكاة. يُستخدم لتمييز العناصر المسماة (Types) عن بعضها بعضاً رقم خاص بكل منها (مثلاً Type60 يمثل الخزان الحراري، Type3 يمثل مضخة تسريع... الخ) ويضاف للرقم حرف عند تشابه العناصر في الوظيفة ولكن الاختلاف في بعض التفاصيل. أما العناصر (Types) المشتركة المكوّنة لنموذجي النظامين المدروسين فهي: Type1a ويمثل لاقط شمسي مسطح، و Type2b ويمثل جهاز تحكم، و Type3b ويمثل مضخة تسريع، و Type109-TMY2 ويمثل العنصر الذي يقوم بحساب شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح مائل (لاقط شمسي، لوح فوتوفولتي... الخ) وذلك بعد قراءة المعطيات المناخية للمنطقة المدروسة والمعطاة من أجل سطح أفقي، و Type65d ويمثل أداة إظهار النتائج على شكل منحنيات بيانية بدلالة الزمن والتي يتم الحصول عليها من البرنامج بعد إدخال الثوابت والمتغيرات المتعلقة بكل مكون، واستخدمت أيضاً عناصر أخرى متممة. أما العنصر (Type) المختلف بين النموذجين للنظامين المدروسين فهو العنصر الممثل للخزان الحراري وهو بالنسبة للنظام الأول خزان حراري اسطواني الشكل يمثلته Type60c، وبالنسبة للنظام الثاني فهو خزان حراري ذي مقطع عرضي مربع الشكل ويمثله Type60s. تم الحصول على المعطيات المناخية للموقع المدروس في بحثنا (محافظة اللاذقية) باستخدام برنامج (Meteonorm) [13].



الشكل (2) مخطط نظام تسخين الماء الشمسي وفق برنامج المحاكاة TRNSYS.

تقييم الأداء الحراري للأنظمة المدروسة:

تم تقييم الأداء الحراري لنظامي تسخين الماء الشمسيين المدروسين من خلال المردود الحراري η_t واللاقط الشمسية (f_{sol}).
 يُعبّر عن المردود الحراري لكل نظام مدروس بالعلاقة بين كمية الطاقة الحرارية المفيدة المزودة من اللاقط الشمسي الحراري إلى كمية الإشعاع الشمسي الساقط على اللاقط ويعطى بالعلاقة الآتية:

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

حيث:

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

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

A_c : مساحة اللاقط الشمسي الحراري [m^2]

أما نسبة التغطية الشمسية والتي تعبر عن مساهمة الطاقة الشمسية في تأمين الحمل الحراري، فيعبّر عنها بالعلاقة الآتية:

$$f_{sol} = \frac{Q_{w,s}}{Q_{w,L}} = 1 - \frac{Q_{aux}}{Q_{w,L}} \quad [\%] \quad (2)$$

حيث:

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

$Q_{w,L}$: حمل الماء الساخن المطلوب [W]

Q_{aux} : الحمل المقدم للنظام من مصدر الطاقة المساعدة [W]

النتائج والمناقشة:

استخدمنا في دراستنا للنموذجين الممثلين لنظامي تسخين الماء الشمسيين القيم العددية التي يظهرها الجدول (1). أُجريت محاكاة النظامين لسنة كاملة بخطوة زمنية قدرها ساعة واحدة.

الجدول (1) القيم العددية للثوابت المعتمدة في محاكاة نظامي تسخين الماء الشمسيين.

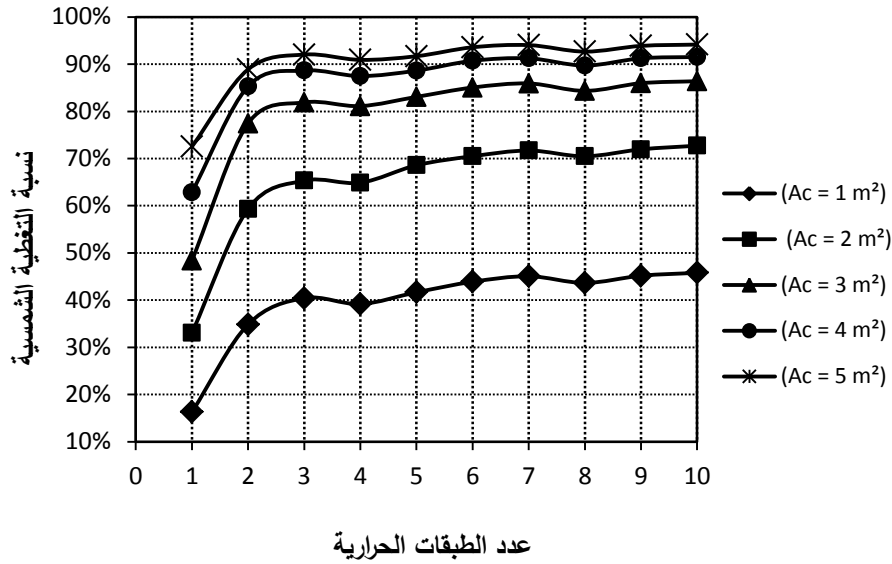
الواحدة	القيمة	الثابت
-	0.73	مردود اللاقط النظري $F_R(\tau\alpha)$
$W/m^2 \text{ } ^\circ C$	5.96	معامل الفقد الحراري للاقط $F_R U_c$
lit/m^2	75	حجم الخزان الحراري V_s
$lit/h \text{ } m^2$	10	تدفق المائع عبر اللاقط الشمسي \dot{m}
$lit/day \text{ } person$	50	حجم الماء الساخن المطلوب للشخص الواحد V_p
$W/m^2 \text{ } ^\circ C$	1	معامل الفقد الحراري الإجمالي للخزان U_s
$^\circ C$	11	درجة حرارة ماء التغذية T_{wc}
$^\circ C$	50	درجة حرارة الماء الساخن المطلوبة T_{wh}
m	1	ارتفاع الخزان الحراري H_s
m	$H_s - 0.35$	ارتفاع مدخل الماء الساخن إلى الخزان الحراري H_{in1}
m	0	ارتفاع مخرج الماء من الخزان إلى اللاقط الشمسي H_{out1}
m	0	ارتفاع مدخل ماء التغذية إلى الخزان الحراري H_{in2}
m	$H_{out2} = H_s$	ارتفاع مخرج الماء الساخن المطلوب للاستخدام H_{out2}
kW	1	الحمل الأعظمي المقدم من مصدر الطاقة المساعدة $Q_{aux \max}$
m	$H_s - 0.25$	ارتفاع مصدر الطاقة المساعدة (المسخن الكهربائي) H_{aux}

نتائج دراسة نظام تسخين الماء الشمسي ذي الخزان الحراري الاسطواني الشكل:

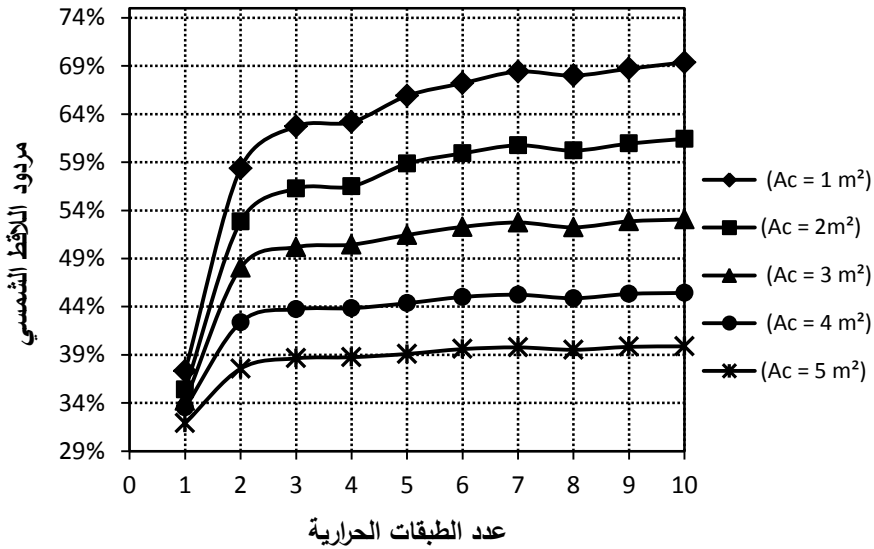
يتم تقييم التدرج الحراري الجيد من خلال تحسن الأداء الحراري للنظام، لذلك وبغية دراسة هذه الظاهرة تم إجراء المحاكاة لسنة كاملة على ذلك النظام من أجل مساحات مختلفة للواقط الشمسية، وتم تقييم الأداء الحراري السنوي له من خلال المردود الحراري (η_t) ونسبة التغطية الشمسية (f_{sol}) .

تأثير عدد الطبقات الحرارية ضمن الخزان الحراري على الأداء الحراري للنظام:

تمت دراسة عدد الطبقات الحرارية ضمن الخزان الحراري، حيث تم تغييرها من (1) إلى (10) طبقات كما تظهر الأشكال (3) و (4).



الشكل (3) تأثير عدد الطبقات الحرارية على نسبة التغطية الشمسية من أجل مساحات مختلفة للاقط الشمسية.



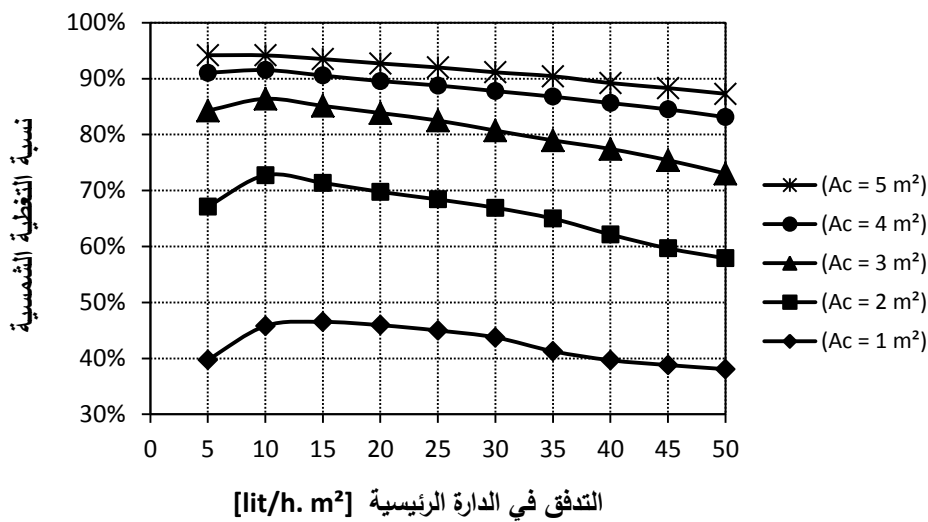
الشكل (4) تأثير عدد الطبقات الحرارية على مردود اللاقط الشمسي من أجل مساحات مختلفة للاقط الشمسية.

يتبين من هذه الأشكال أنه مهما اختلفت مساحة اللاقط الشمسي فإن كل من المردود ونسبة التغطية الشمسية يزداد مع ازدياد عدد الطبقات الحرارية. فعندما يشكّل الماء ضمن الخزان الحراري طبقة حرارية واحدة ($n = 1$) يكون الماء ممزوجاً كلياً أي أن للماء ضمن كامل الخزان درجة الحرارة نفسها، وهذا المزج يؤدي إلى قيم منخفضة للمردود ولنسبة التغطية الشمسية بقيم تتراوح حسب مساحة اللاقط ضمن المجال (32% - 37%) للمردود وضمن المجال (16% - 72%) لنسبة التغطية الشمسية. أما زيادة عدد الطبقات فتؤدي إلى زيادة المردود ونسبة التغطية الشمسية ونحصل على أعلى زيادة عند عدد للطبقات قدره ($n = 10$) بقيم للمردود تتراوح ضمن المجال (40% - 69%) ولنسبة التغطية تتراوح ضمن المجال (46% - 94%) حسب مساحة اللاقط. يعود السبب في تحسن مردود اللاقط

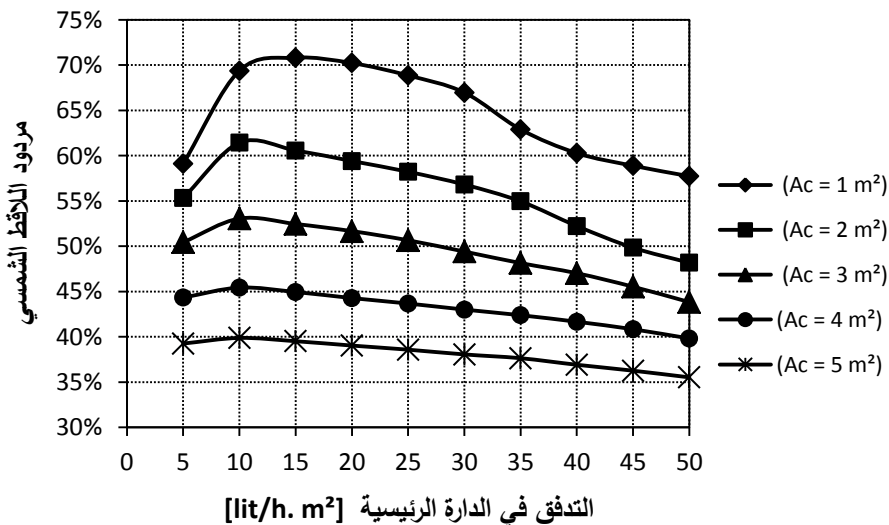
عند زيادة عدد الطبقات الحرارية نتيجة تغذيته بالماء الأبرد الذي يكون في أسفل الخزان بسبب التدرج الحراري الجيد، وهذا ينعكس على نسبة التغطية أيضاً حيث تقل الحاجة إلى مصدر الطاقة المساعدة. تتراوح الزيادة في المردود بين حالتي الخزان (المتدرج حرارياً بشكل جيد ($n=10$) و الممزوج كلياً ($n=1$)) ضمن المجال (8% - 32%)، والزيادة في نسبة التغطية الشمسية بين الحالتين المذكورتين ضمن المجال (22% - 40%) حسب مساحة اللاقط الشمسي.

تأثير تغيير تدفق المائع في الدارة الرئيسية على الأداء الحراري للنظام:

اعتمدنا عدد الطبقات الحرارية ضمن الخزان الحراري قدره ($n=10$)، وقمنا بدراسة تأثير التدفق في الدارة الرئيسية للنظام على التدرج الحراري ضمن الخزان، وبالتالي على الأداء الحراري للنظام. تم ذلك من خلال تغيير التدفق من القيمة (5 lit/h. m^2) إلى القيمة (50 lit/h. m^2) من أجل مساحات مختلفة للواقط كما تظهر الأشكال (5) و(6).



الشكل (5) تأثير تغيير التدفق في الدارة الرئيسية للنظام على نسبة التغطية الشمسية من أجل مساحات مختلفة للاقط الشمسي.

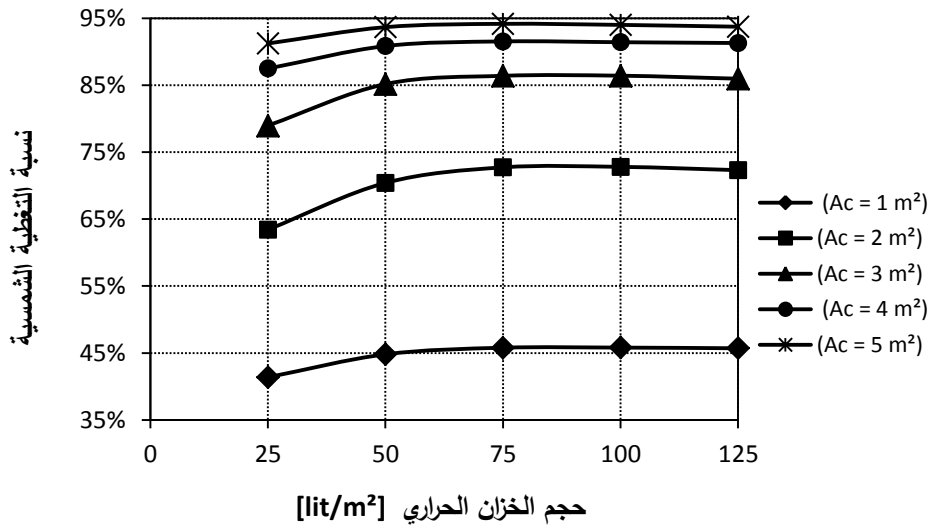


الشكل (6) تأثير تغيير التدفق في الدارة الرئيسية للنظام على مردود اللاقط الشمسي من أجل مساحات مختلفة للاقط الشمسي.

تظهر الأشكال (5) و(6) بأن كلاً من المردود ونسبة التغطية الشمسية تزداد مع ازدياد تدفق المائع المار عبر اللاقط الشمسي حتى التدفق الموافق للقيمة (10 lit/h. m^2) (من أجل كل المساحات المدروسة ماعدا المساحة 1 m^2 والتي يكون من أجلها التدفق الأفضل هو عند القيمة 15 lit/h. m^2 بفرق بسيط عن القيمة 10 lit/h. m^2)، حيث تتراوح قيم المردود عنده ضمن المجال (40% - 69%) وقيم نسبة التغطية الشمسية ضمن المجال (46% - 94%) حسب مساحة اللاقط. تبدأ قيم المردود ونسبة التغطية الشمسية بالتناقص مع ازدياد التدفق عن القيمة (10 lit/h. m^2)، لذلك يُعتبر هذا التدفق هو التدفق الأفضل لدارة اللاقط وقد تم اعتماده من أجل الدراسات اللاحقة. يعود السبب في تحسن الأداء الحراري عند قيم منخفضة للتدفق في الدارة الرئيسية إلى زيادة الفرصة السانحة في سحب الماء المار عبر اللاقط الشمسي لكمية أكبر من حرارة اللاقط، وكذلك يساعد التدفق الضعيف على المحافظة على تحقيق التدرج الحراري ضمن الخزان بالتخفيف من حدوث المزج عند دخول الماء إلى الخزان.

تأثير تغيير حجم الخزان الحراري على الأداء الحراري للنظام:

بغية انجاز دراسة تأثير هذا المتغير اعتمدنا قيمة التدفق في دارة اللاقط (10 lit/h. m^2) وعدد الطبقات الحرارية ($n=10$)، ثم قمنا بتغيير حجم الخزان الحراري من القيمة (25 lit/m^2) إلى القيمة (125 lit/m^2) من أجل مساحات مختلفة للاقط الشمسي كما في الشكل (7).



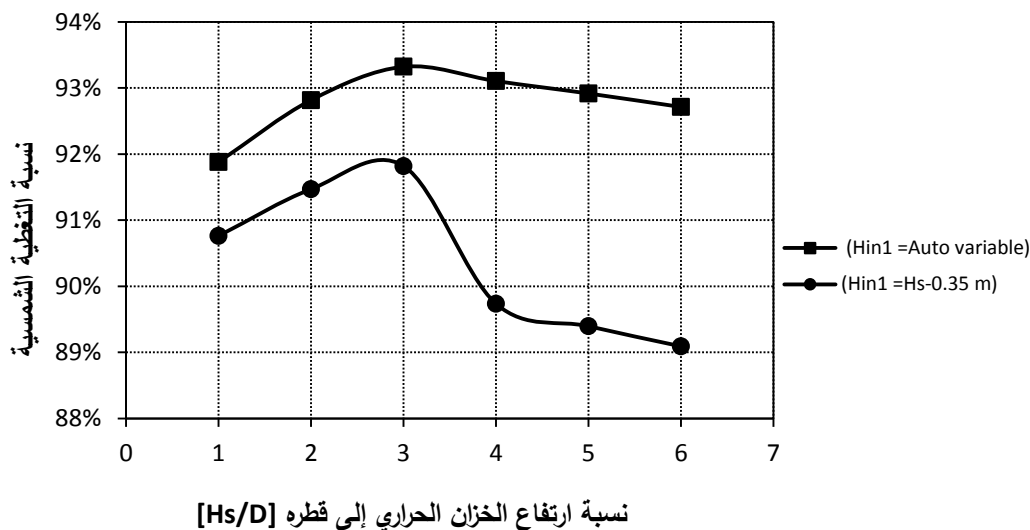
الشكل (7) تأثير تغيير حجم الخزان الحراري على نسبة التغطية الشمسية من أجل مساحات مختلفة للاقط الشمسي.

يظهر الشكل (7) أنه مهما كانت مساحة اللاقط فإن نسبة التغطية الشمسية السنوية تزداد مع ازدياد حجم الخزان الحراري حتى الوصول إلى حجم (75 lit/m^2) (أكبر زيادة في نسبة التغطية الشمسية عند هذا الحجم بالمقارنة مع النسبة عند الحجم 25 lit/m^2 هي حوالي 9.3%). تصبح الزيادة في نسبة التغطية الشمسية بعد ذلك الحجم صغيرة (0.07%) مما يجعل هذا الحجم هو الأفضل للاستخدام دون الحاجة إلى حجم أكبر ذي تكلفة أكبر، وقد اعتمد هذا الحجم في هذه الدراسة. يمكن إرجاع الزيادة في نسبة التغطية مع ازدياد الحجم إلى أن الحجم الكبير للخزان يساعد على الزيادة في تحقق التدرج الحراري ضمنه، مما ينعكس إيجاباً على أدائه الحراري.

تأثير تغيير نسبة ارتفاع الخزان الحراري إلى قطره (H_s/D) على الأداء الحراري للنظام:

اعتمدنا في دراسة هذا المتغير على مساحة للاقط الشمسي قدرها (4 m^2) وحجم للخزان الحراري قدره (75 lit/m^2) وتدفق للماء عبر اللاقط قدره (10 lit/h. m^2) وعدد للطبقات الحرارية ضمن الخزان وقدره ($n=10$). يعبر

الشكل (8) عن تأثير تغيير نسبة ارتفاع الخزان الحراري إلى قطره على نسبة التغطية الشمسية في حالتين وهما: حالة ارتفاع ثابت لمدخل الماء إلى الخزان الحراري وقدره $(H_{in1} = H_s - 0.35) m$ ، والحالة الثانية وهي حالة ارتفاع المدخل متغير أوتوماتيكياً $(H_{in1} = \text{Auto variable})$.

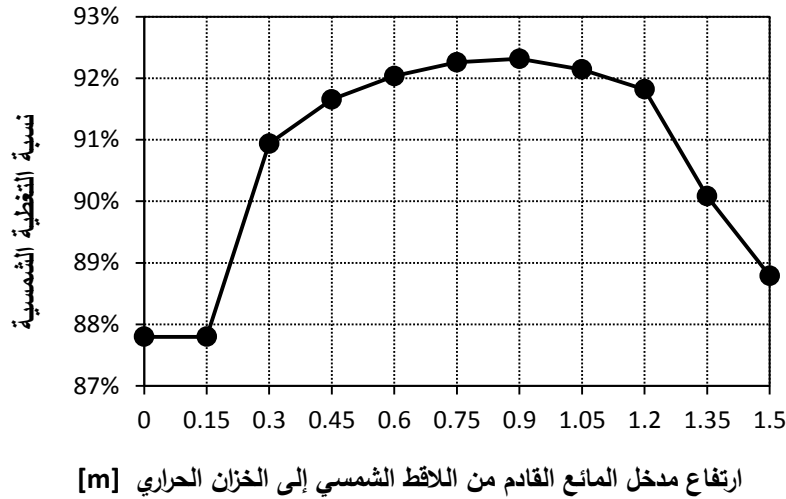


الشكل (8) تأثير تغيير نسبة ارتفاع الخزان الحراري إلى قطره (H_s/D) على نسبة التغطية الشمسية.

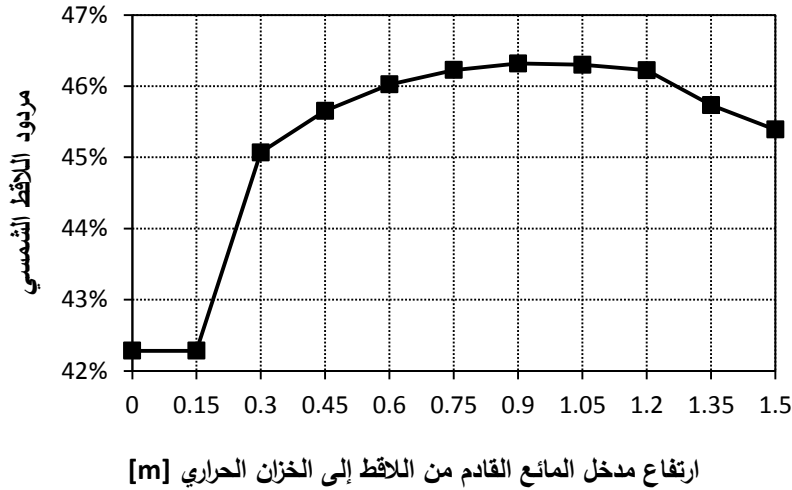
يظهر الشكل (8) أن نسبة التغطية الشمسية للنظام (في حالتي الارتفاع الثابت والمتغير أوتوماتيكياً لمدخل المائع القادم من اللاقط إلى الخزان الحراري) تزداد مع ازدياد نسبة ارتفاع الخزان الحراري إلى قطره حتى الوصول إلى نسبة قدرها $(H_s/D = 3)$ (تبلغ الزيادة في نسبة التغطية الشمسية عند هذه النسبة عن النسبة $H_s/D = 1$ ومن أجل الحالتين حوالي 1.1%)، لتبدأ بالانخفاض بعد النسبة $(H_s/D = 3)$ بحوالي (2.1%) من أجل حالة الارتفاع الثابت للمدخل وبشكل خفيف جداً من أجل حالة الارتفاع المتغير أوتوماتيكياً للمدخل بحوالي (0.22%) ويزداد هذا الانخفاض مع ازدياد النسبة (H_s/D) . بشكل عام يساعد زيادة الارتفاع على حساب القطر على التحقق الجيد لظاهرة التدرج الحراري والتي هي ظاهرة حمل حر، وهذا يعكس على الأداء الحراري للنظام. بينما يمكن إرجاع التناقص في نسبة التغطية بعد النسبة $(H_s/D = 3)$ إلى زيادة الضياعات الحرارية إلى الوسط المحيط نتيجة زيادة سطح التبادل الحراري للخزان الحراري مع الوسط المحيط. ولكن يبقى هذا الانخفاض ضئيلاً في حالة الارتفاع المتغير أوتوماتيكياً للمدخل بسبب التدرج الحراري الجيد للخزان، أما في حالة الارتفاع الثابت للمدخل فيكون هذا الانخفاض كبيراً نوعاً ما وذلك بسبب ازدياد تأثيرين هما الخلط الذي يمكن أن يحدث في الخزان نتيجة المدخل الثابت والضياعات الحرارية التي يمكن أن تحدث بسبب زيادة سطح التبادل الحراري للخزان مع الوسط المحيط.

تأثير ارتفاع مدخل المائع القادم من اللاقط إلى الخزان الحراري (H_{in1}) على الأداء الحراري للنظام:

لدراسة تأثير هذا المتغير اعتمدنا مساحة للاقط الشمسي قدرها $(4 m^2)$ وحجم للخزان الحراري قدره $(75 lit/m^2)$ وتدفق للماء عبر اللاقط قدره $(10 lit/h. m^2)$ وعدد للطبقات الحرارية ضمن الخزان وقدره $(n=10)$ ونسبة ارتفاع للخزان الحراري إلى قطره قدرها $(H_s/D = 3)$ والتي تعطي ارتفاع للخزان الحراري بمقدار $(1.5 m)$ وقطر بمقدار $(0.5 m)$. تظهر الأشكال (9) و(10) تأثير تغيير ارتفاع المدخل من القيمة $(H_{in1} = 0 m)$ إلى القيمة $(H_{in1} = 1.5 m)$ على نسبة التغطية الشمسية والمردود الحراري للاقط الشمسي على التوالي.



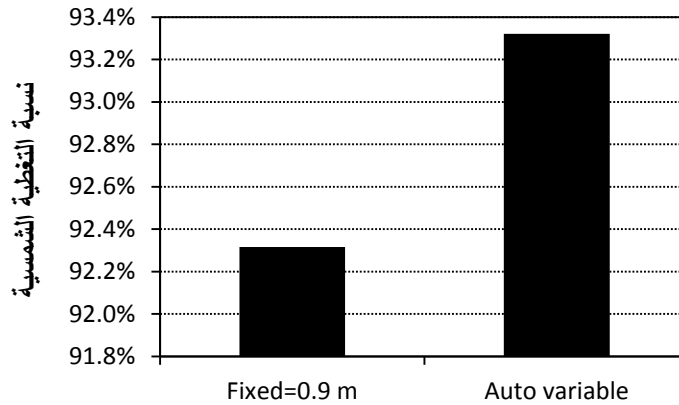
الشكل (9) تأثير تغيير ارتفاع مدخل المانع القادم من اللاقط الشمسي إلى الخزان الحراري على نسبة التغطية الشمسية.



الشكل (10) تأثير تغيير ارتفاع مدخل المانع القادم من اللاقط الشمسي إلى الخزان الحراري على مردود اللاقط الشمسي.

يتبين من الأشكال أن كلاً من نسبة التغطية الشمسية ومردود اللاقط الشمسي يزداد مع ازدياد ارتفاع المدخل حتى الوصول إلى الارتفاع المساوي للقيمة (0.9 m) (تبلغ الزيادة لنسبة التغطية الشمسية عند هذا الارتفاع عن الارتفاع الابتدائي حوالي 4.5% وحوالي 4% للمردود)، ويبدأ التناقص في هذه المقادير بعد هذا الارتفاع وصولاً إلى ارتفاع مساوياً لارتفاع الخزان (1.5 m)، حيث يكون مقدار هذا التناقص حوالي (3.5%) لنسبة التغطية الشمسية وحوالي (1%) لمردود اللاقط الشمسي. يمكن تفسير التناقص في نسبة التغطية الشمسية والمردود عندما يصبح ارتفاع المدخل أكبر من الارتفاع (0.9 m) يكون المدخل يقع تقريباً في نفس مستوى ارتفاع مصدر الطاقة المساعدة (السخان الكهربائي) أو أعلى منه، مما يجعل الطبقة العليا من ماء الخزان (المعدة لسحب الماء الساخن للاستخدام) قابلة للخلط. تمت أيضاً دراسة حالة استخدام مدخل متغير أوتوماتيكياً في ارتفاعه من أجل الشروط نفسها التي استخدم فيها المدخل الثابت عند القيم السابقة المدروسة، ثم أجرينا المقارنة بين حالتنا ارتفاع المدخل (الثابت عند القيمة (0.9 m) والمتغير أوتوماتيكياً). يظهر الشكل (11) مقارنة نسبة التغطية للحالتين، حيث تكون الزيادة في حالة المدخل المتغير

الارتفاع أوتوماتيكياً عن المدخل الثابت الارتفاع عند القيمة (0.9 m) بحوالي (1 %). يعود ذلك إلى أن المدخل المتغير الارتفاع أوتوماتيكياً (كما ذكرنا سابقاً) يسمح دائماً بضخ الماء الساخن ضمن الخزان الحراري عند مستوى قريب في درجة حرارته من درجة حرارة الماء الساخن عند مخرج اللاقط وهذا يحافظ على التدرج الحراري ضمن الخزان، أما المدخل الثابت يمكن أن يعرض ماء الخزان الحراري للخلط وذلك عندما يتم ضخ الماء في المستوى نفسه من الخزان مهما اختلفت درجة حرارته عن درجة حرارة ماء اللاقط.

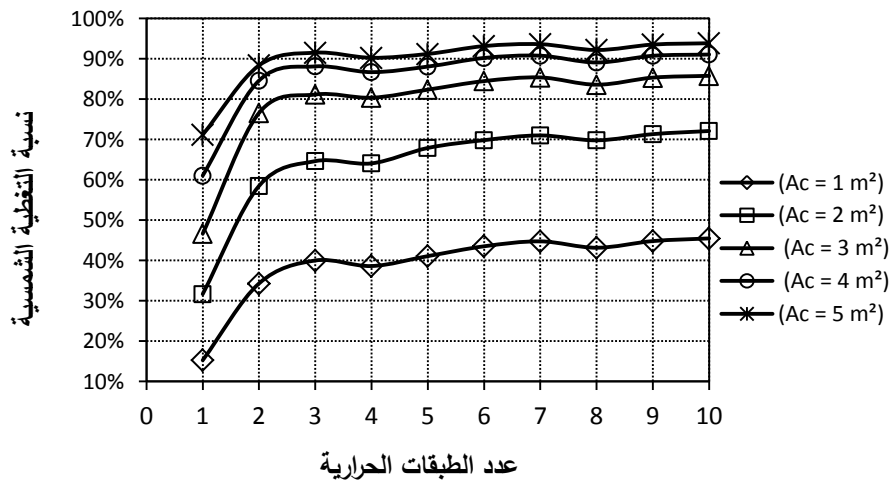


ارتفاع مدخل المائع إلى الخزان الحراري [m]

الشكل (11) مقارنة تأثير الارتفاعين (الثابت والمتغير أوتوماتيكياً) لمدخل المائع الساخن إلى الخزان الحراري على نسبة التغطية الشمسية. نتائج دراسة نظام تسخين الماء الشمسي ذي الخزان الحراري بمقطع عرضي مربع الشكل: كما هو الحال بالنسبة للنظام ذي الخزان الحراري الاسطواني الشكل، فقد تم إجراء المحاكاة لهذا النظام لسنة كاملة من أجل مساحات مختلفة للواقط الشمسية، وتم تقييم الأداء الحراري السنوي له من خلال المردود الحراري السنوي (η_i) ونسبة التغطية الشمسية السنوية (f_{sol}) .

تأثير عدد الطبقات الحرارية ضمن الخزان الحراري على الأداء الحراري للنظام:

تمت دراسة عدد الطبقات الحرارية ضمن الخزان الحراري، حيث تم تغييرها من $(n=1)$ إلى $(n=10)$ كما يظهر الشكل (12)، الذي يمثل تغير نسبة التغطية الشمسية للنظام مع تغير عدد الطبقات الحرارية.

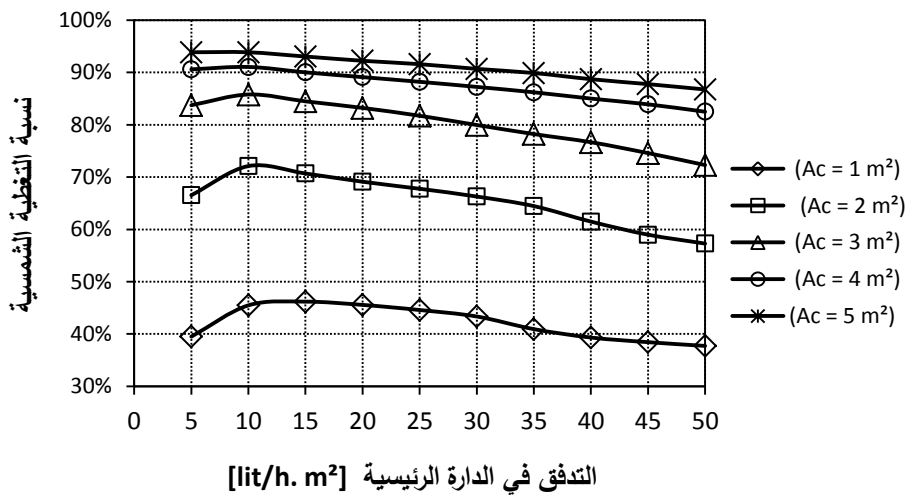


الشكل (12) تأثير عدد الطبقات الحرارية على نسبة التغطية الشمسية من أجل مساحات مختلفة للاقط الشمسي.

يتبين من الشكل (كما هو الحال في النظام السابق ذي الخزان الاسطواني الشكل) أن نسبة التغطية الشمسية (مهما اختلفت مساحة اللاقط الشمسي) تبلغ أكبر قيمة عند عدد للطبقات الحرارية قدره (n=10) وبذلك تكون الزيادة في نسبة التغطية الشمسية عن حالة عدد للطبقات قدره (n=1) بقيم تتراوح حسب مساحة اللاقط الشمسي ضمن المجال (23% - 40%).

تأثير تغيير تدفق المائع في الدارة الرئيسية على الأداء الحراري للنظام:

اعتمدنا عدد الطبقات الحرارية ضمن الخزان الحراري (n=10)، وقمنا كما هو الحال للنظام السابق بدراسة تأثير التدفق في الدارة الرئيسية للنظام (دارة اللاقط) على التدرج الحراري ضمن الخزان وبالتالي على الأداء الحراري له. تم ذلك من خلال تغيير التدفق من (5 lit/h. m²) إلى (50 lit/h. m²) من أجل مساحات مختلفة للواقط كما يظهر الشكل (13).



الشكل (13) تأثير تغيير التدفق في الدارة الرئيسية للنظام على نسبة التغطية الشمسية من أجل مساحات مختلفة للاقط الشمسي.

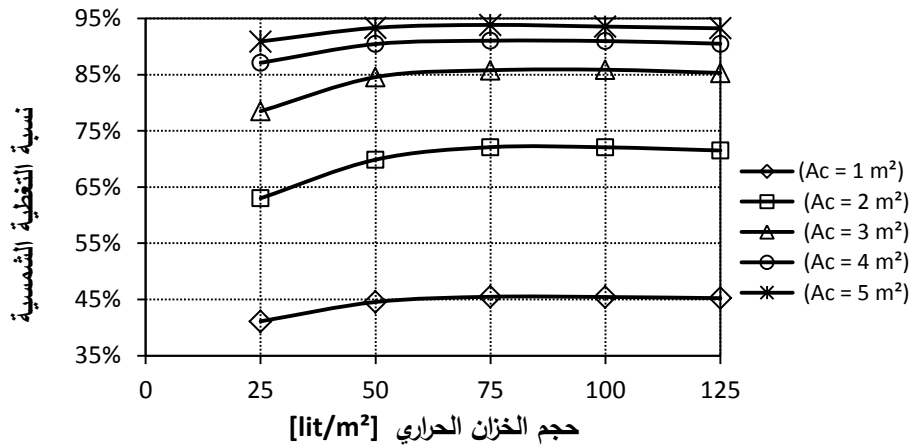
يظهر الشكل (13) وبشكل مماثل للنظام الأول ذي الخزان الاسطواني الشكل بأن نسبة التغطية الشمسية تزداد مع ازدياد تدفق المائع المار عبر اللاقط الشمسي حتى التدفق الموافق للقيمة (10 lit/h. m²) (من أجل كل المساحات المدروسة ما عدا المساحة 1 m² والتي يكون من أجلها التدفق الأفضل هو عند القيمة 15 lit/h. m² بفرق بسيط عن القيمة 10 lit/h. m²)، حيث تتراوح قيم نسبة التغطية عند هذا التدفق ضمن المجال (45.5% - 93%). تبدأ قيم نسبة التغطية الشمسية بالتناقص مع ازدياد التدفق عن القيمة (10 lit/h. m²)، لذلك يُعتبر هذا التدفق هو التدفق الأفضل لدارة اللاقط وقد تم اعتماده من أجل الدراسات اللاحقة.

تأثير تغيير حجم الخزان الحراري على الأداء الحراري للنظام:

اعتمدنا قيمة التدفق في دارة اللاقط (10 lit/h. m²) وعدد الطبقات الحرارية (n=10)، ثم قمنا بتغيير حجم الخزان الحراري من (25 lit/m²) إلى (125 lit/m²) من أجل مساحات مختلفة للاقط الشمسي.

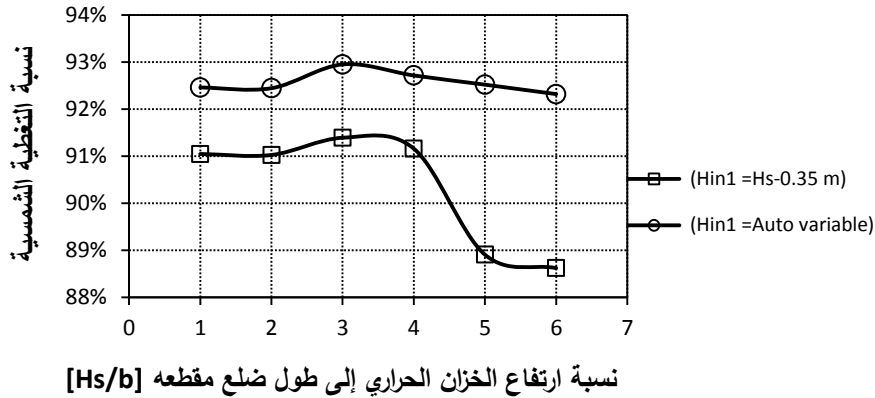
يظهر الشكل (14) أنه مهما كانت مساحة اللاقط فإن نسبة التغطية الشمسية السنوية تزداد مع ازدياد حجم الخزان الحراري حتى الوصول إلى حجم (75 lit/m²) (أكبر زيادة في نسبة التغطية الشمسية عند هذا الحجم بالمقارنة مع النسبة عند الحجم 25 lit/m² هي حوالي 9%). تصبح الزيادة في نسبة التغطية الشمسية بعد ذلك الحجم (75)

lit/m² صغيرة (حوالي % 0.1) مما يجعل هذا الحجم هو الأفضل للاستخدام كما في حالة النظام ذي الخزان الاسطواني الشكل، وقد اعتمد هذا الحجم في هذه الدراسة.



الشكل (14) تأثير تغيير حجم الخزان الحراري على نسبة التغطية الشمسية من أجل مساحات مختلفة للاقط الشمسية.

تأثير تغيير نسبة ارتفاع الخزان الحراري إلى طول ضلع مقطعه (H_s/b) على الأداء الحراري للنظام: اعتمدنا مساحة للاقط الشمسي قدرها (4 m²) وحجم للخزان الحراري قدره (75 lit/m²) وتدفق للماء عبر اللاقط قدره (10 lit/h. m²) وعدد للطبقات الحرارية ضمن الخزان وقدره (n=10). يظهر الشكل (15) تأثير تغيير نسبة ارتفاع الخزان الحراري إلى طول ضلع مقطعه على نسبة التغطية الشمسية في حالتين وهما: حالة المدخل الثابت للماء إلى الخزان الحراري عند ارتفاع قدره ($H_{in1} = H_s - 0.35$) m، والحالة الثانية وهي حالة المدخل المتغير أوتوماتيكياً ($H_{in1} = \text{Auto variable}$).



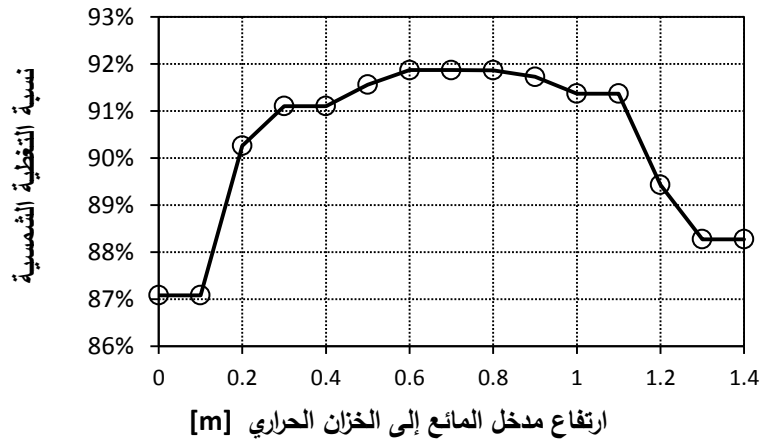
الشكل (15) تأثير تغيير نسبة ارتفاع الخزان الحراري إلى طول ضلع مقطعه (H_s/b) على نسبة التغطية الشمسية.

يتبين من الشكل (15) أن نسبة التغطية الشمسية للنظام (في حالتي الارتفاع الثابت والمتغير أوتوماتيكياً لمدخل المائع القادم من اللاقط إلى الخزان الحراري) تزداد مع ازدياد نسبة ارتفاع الخزان الحراري إلى طول ضلع مقطعه حتى الوصول إلى نسبة قدرها ($H_s/b = 3$) (تبلغ الزيادة في نسبة التغطية الشمسية عند هذه النسبة عن النسبة الابتدائية بـ (0.34%) لحالة المدخل الثابت الارتفاع وبـ (0.49%) لحالة المدخل المتغير الارتفاع أوتوماتيكياً)، لتبدأ بالانخفاض بعد النسبة ($H_s/b = 3$) بمعدل منخفض في حالة المدخل المتغير الارتفاع أوتوماتيكياً (حوالي 0.23

(%)، ولكن بالنسبة لحالة الارتفاع الثابت للمدخل يبدأ معدّل الانخفاض بالازدياد بشكل ملحوظ بعد النسبة ($H_s/b = 4$) بحوالي (2.5%). يمكن تفسير زيادة نسبة التغطية مع ازدياد نسبة الارتفاع إلى طول الضلع للمقطع نتيجة تحسّن التدرج الحراري ضمن الخزان، ولكن التناقص في نسبة التغطية بعد النسبة ($H_s/b = 3$) يعود إلى زيادة الضياعات الحرارية إلى الوسط المحيط نتيجة زيادة سطح التبادل الحراري للخزان الحراري مع الوسط المحيط.

تأثير ارتفاع مدخل المائع القادم من اللاقط إلى الخزان الحراري (H_{in1}) على الأداء الحراري للنظام:

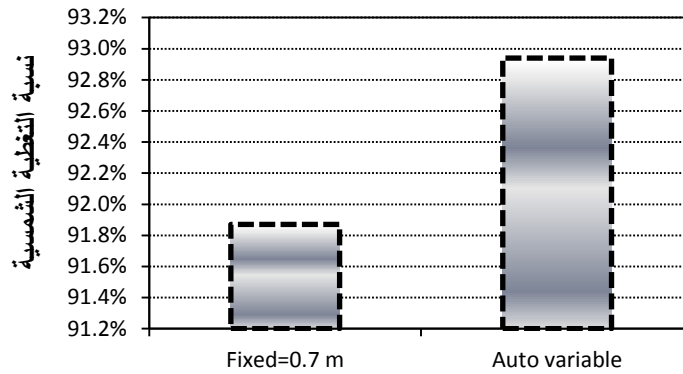
اعتمدنا مساحة للاقط الشمسي قدرها (4 m^2) وحجم للخزان الحراري قدره (75 lit/m^2) وتدفق للماء عبر اللاقط قدره (10 lit/h. m^2) وعدد للطبقات الحرارية ضمن الخزان وقدره ($n=10$) ونسبة ارتفاع للخزان الحراري إلى طول ضلع مقطعه قدرها ($H_s/b = 3$) والتي تعطي ارتفاع للخزان الحراري بمقدار (1.4 m) وطول ضلع مقطعه بمقدار (0.46 m). يظهر الشكل (16) تأثير تغيير ارتفاع المدخل من القيمة ($H_{in1} = 0 \text{ m}$) إلى القيمة ($H_{in1} = 1.4 \text{ m}$) على نسبة التغطية الشمسية.



الشكل (16) تأثير تغيير ارتفاع مدخل المائع القادم من اللاقط الشمسي إلى الخزان الحراري على نسبة التغطية الشمسية.

يتبين من الشكل (16) أن نسبة التغطية الشمسية تزداد مع ازدياد ارتفاع المدخل حتى الوصول إلى الارتفاع المساوي للقيمة (0.7 m) (تبلغ الزيادة عند هذا الارتفاع عن الارتفاع الابتدائي حوالي 4.78%)، ويبدأ التناقص في هذه المقادير بعد هذا الارتفاع وصولاً إلى ارتفاع مساوي لارتفاع الخزان (1.4 m)، حيث يكون مقدار هذا التناقص حوالي (3.6%).

تمت أيضاً مقارنة نسبة التغطية بين حالة الارتفاع الثابت للمدخل عند القيمة (0.7 m) وعند الارتفاع المتغير أوتوماتيكياً لهذا المدخل، والتي يظهرها الشكل (17).



ارتفاع مدخل المائع إلى الخزان الحراري [m]

الشكل (17) مقارنة تأثير الارتفاعين (الثابت والمتغير أوتوماتيكياً) لمدخل المائع الساخن إلى الخزان الحراري على نسبة التغطية الشمسية.

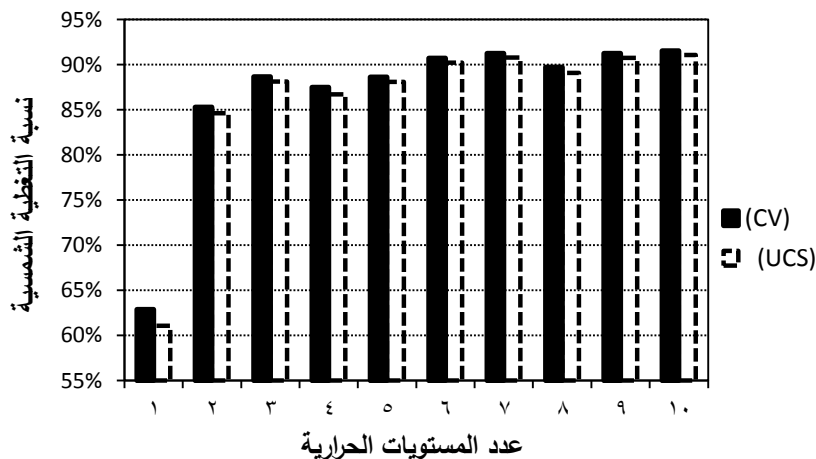
تكون الزيادة في حالة المدخل المتغير الارتفاع أوتوماتيكياً عن المدخل الثابت الارتفاع عند القيمة (0.9 m بحوالي 1.1%).

مقارنة نتائج نظامي تسخين الماء الشمسيين ذي الخزان الحراري الاسطواني الشكل (CV) وذي الخزان الحراري بمقطع عرضي مربع الشكل (UCS):

رمزنا في الأشكال المعبرة عن مختلف نتائج المقارنة للنظام ذي الخزان الحراري الاسطواني الشكل بـ (CV) وللنظام ذي الخزان الحراري الذي له مقطع عرضي مربع الشكل بـ (UCS).

مقارنة دراسة تأثير عدد الطبقات الحرارية ضمن الخزان الحراري على الأداء الحراري للنظامين:

تمت المقارنة بين نتائج الدراسة للنظامين من أجل مساحة للواقط الشمسية قدرها (4 m²) وحجم للخزان الحراري قدره (75 lit/m²) وتدفق للماء عبر اللاقط قدره (10 lit/h. m²). يظهر الشكل (18) هذه المقارنة بين النظامين من حيث علاقة نسبة التغطية الشمسية لهما بعدد الطبقات الحرارية ضمن خزانهما الحراري.



الشكل (18) مقارنة تأثير عدد الطبقات الحرارية ضمن الخزان الحراري على نسبة التغطية الشمسية للنظامين (CV - UCS).

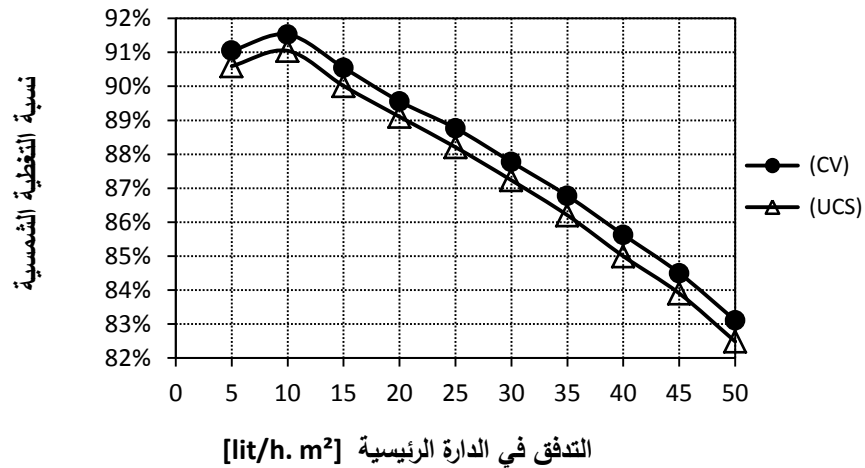
نلاحظ من الشكل (18) أن عدد الطبقات الحرارية في الخزان الحراري والذي يحقق أكبر نسبة تغطية في النظامين هو (10) طبقات. كما أنه من أجل كل الطبقات الحرارية كانت نسبة التغطية الشمسية في حالة النظام ذي الخزان الاسطواني الشكل (CV) أفضل منها في حالة النظام ذي الخزان بمقطع عرضي مربع الشكل (UCS). كان

أكبر فرق في تلك النسبة بين النظامين عند عدد للطبقات الحرارية قدره ($n=1$)، حيث بلغ (1.8 %). بينما كان الفرق أخفض من ذلك عند بقية أعداد الطبقات الحرارية وبلغ (0.48 %) عند ($n=10$).

قارنة دراسة تأثير تغيير تدفق المانع في الدارة الرئيسية على الأداء الحراري للنظامين:

تمت المقارنة بين نتائج الدراسة للنظامين من أجل مساحة للواقط الشمسية قدرها (4 m^2)، وحجم للخزان الحراري قدره (75 lit/m^2)، وعدد للطبقات الحرارية ضمن الخزان الحراري قدره ($n=10$)، وقيم متغيرة للتدفق من القيمة (5 lit/h. m^2) إلى القيمة (50 lit/h. m^2). يظهر الشكل (19) هذه المقارنة بين النظامين لتأثير تغيير تدفق المانع المار عبر اللاقط الشمسي (تدفق مائع الدارة الرئيسية) على نسبة التغطية الشمسية لهما.

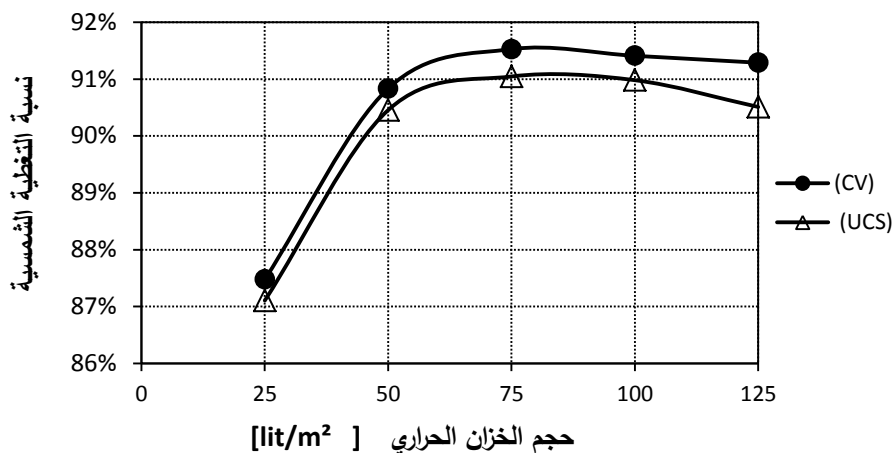
يوضح الشكل (19) أن أفضل تدفق لمائع الدارة الرئيسية والذي من أجله تتحقق أكبر نسبة تغطية شمسية في النظامين هو التدفق الموافق للقيمة (10 lit/h. m^2). كما أنه من أجل كل قيم التدفقات المدروسة كانت نسبة التغطية الشمسية في حالة النظام ذي الخزان الاسطواني الشكل (CV) أفضل بقليل منها في حالة النظام ذي الخزان بمقطع عرضي مربع الشكل (UCS). تراوح الفرق في نسبة التغطية الشمسية بين النظامين ضمن المجال (0.46 % - 0.62 %) حسب قيمة التدفق، وعند التدفق الذي اعتمد في النظامين وهو (10 lit/h. m^2) كان الفرق في نسبة التغطية الشمسية بين النظامين هو (0.48 %).



الشكل (19) مقارنة تأثير تغيير التدفق في الدارة الرئيسية على نسبة التغطية الشمسية للنظامين (CV - UCS).

مقارنة دراسة تأثير تغيير حجم الخزان الحراري على الأداء الحراري للنظامين:

تمت المقارنة بين نتائج الدراسة للنظامين من أجل مساحة للواقط الشمسية قدرها (4 m^2)، وتدفق لمائع الدارة الرئيسية قدره (10 lit/ m^2)، وعدد للطبقات الحرارية ضمن الخزان الحراري قدره ($n=10$)، وقيم متغيرة لحجم الخزان الحراري من القيمة (25 lit/m^2) إلى القيمة (125 lit/ m^2). يظهر الشكل (20) هذه المقارنة بين النظامين التي تمثل تأثير تغيير حجم الخزان الحراري على نسبة التغطية الشمسية لهما.

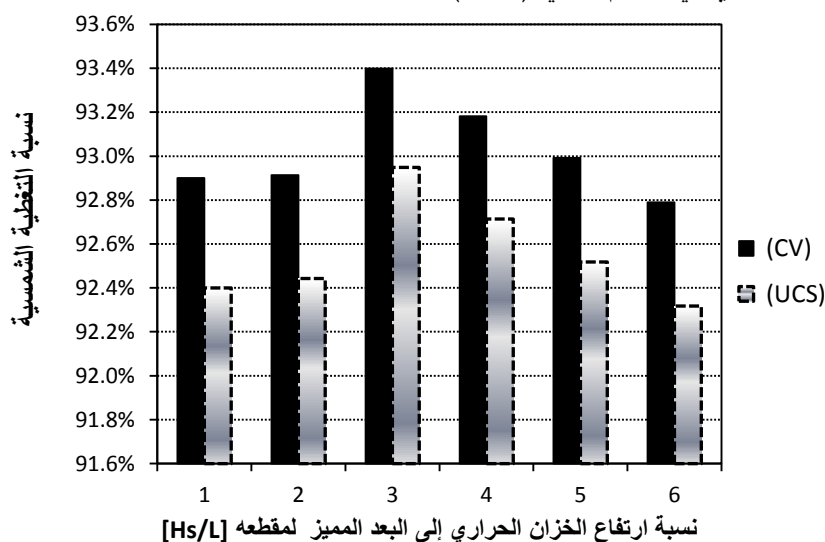


الشكل (20) مقارنة تأثير تغيير حجم الخزان الحراري على نسبة التغطية الشمسية للنظامين (CV - UCS).

يتبين من الشكل (20) أن أفضل حجم للخزان الحراري والذي من أجله تتحقق أكبر نسبة تغطية شمسية في النظامين هو الحجم الموافق للقيمة (75 lit/m²). كما أنه من أجل كل قيم الحجم المدروسة كانت نسبة التغطية الشمسية في حالة النظام ذي الخزان الاسطواني الشكل (CV) أفضل بقليل منها في حالة النظام ذي الخزان بمقطع عرضي مربع الشكل (UCS). تراوح الفرق في نسبة التغطية الشمسية بين النظامين ضمن المجال (0.37% - 0.78%) حسب قيمة الحجم، وعند الحجم الذي اعتمد في النظامين وهو (75 lit/m²) كان الفرق في نسبة التغطية الشمسية بين النظامين هو (0.48%).

مقارنة دراسة تأثير نسبة ارتفاع الخزان الحراري إلى البعد المميز لمقطعه (H_s/L) على الأداء الحراري للنظامين:

تمت المقارنة بين نتائج الدراسة للنظامين من أجل مساحة للواقط الشمسية قدرها (4 m²)، وتدفق عبر الدارة الرئيسية قدره (10 lit/. m²)، وعدد للطبقات الحرارية ضمن الخزان الحراري قدره (n=10)، وحجم للخزان الحراري قدره (75 lit/m²)، وقيم متغيرة لنسبة ارتفاع الخزان الحراري إلى البعد المميز لمقطعه (H_s/L) كما في الشكل (21). يتمثل البعد المميز (L) لمقطع الخزان الحراري بقطر الخزان (D) في النظام الأول (CV)، بينما يتمثل بطول ضلع المقطع العرضي (b) للخزان الحراري في النظام الثاني (UCS).



الشكل (21) مقارنة تأثير النسبة (H_s/L) على نسبة التغطية الشمسية لنظامي تسخين الماء الشمسيين (CV - UCS).

يظهر الشكل (21) هذه المقارنة بين النظامين، حيث يتبين أن أفضل نسبة لارتفاع الخزان الحراري إلى بعد مقطعه المميز (H_s/L) والتي من أجلها تتحقق أكبر نسبة تغطية شمسية في النظامين هي ($H_s/L = 3$). كما أنه من أجل كل قيم (H_s/L) المدروسة كانت نسبة التغطية الشمسية في حالة النظام الأول (CV) أفضل بقليل منها في حالة النظام الثاني (UCS). تراوح الفرق في نسبة التغطية الشمسية بين النظامين ضمن المجال ($0.45\% - 0.50\%$) حسب قيمة النسبة (H_s/L)، وعند النسبة المعتمدة في النظامين وهي ($H_s/L = 3$) كان الفرق في نسبة التغطية الشمسية بين النظامين هو (0.45%).

الاستنتاجات والتوصيات:

قادت النمذجة والمحاكاة لمدة سنة كاملة بخطوة زمنية قدرها ساعة واحدة (باستخدام برنامج TRNSYS) لنظامي تسخين ماء شمسيين يختلفان عن بعضهما بشكل الخزان الحراري (النظام الأول ذي خزان حراري اسطواني الشكل (CV) والنظام الثاني ذي خزان حراري بمقطع عرضي مربع الشكل (UCS)) إلى النتائج الآتية:

1. بلغت أكبر قيم نسبة التغطية الشمسية للنظامين عندما كان عدد الطبقات الحرارية ضمن الخزان الحراري هو ($n=10$). تراوحت الزيادة في هذه النسبة بين خزان متدرج حرارياً بشكل جيد ($n=10$) وخزان ممزوج كلياً ($n=1$) للنظام الأول (CV) ضمن المجال ($22\% - 40\%$) وللنظام الثاني ضمن المجال ($23\% - 40\%$) حسب مساحة اللاقط الشمسي. كما أنه من أجل كل أعداد الطبقات الحرارية كانت نسبة التغطية الشمسية للنظام الأول (CV) أفضل بقليل منها في النظام الثاني (UCS)، حيث كان الفرق في تلك النسبة بين النظامين عند ($n=10$) مقداره (0.48%).
2. تبين أن أفضل تدفق لمائع الدارة الرئيسية للنظامين هو (10 lit/h. m^2)، حيث تراوحت قيم نسبة التغطية عند هذا التدفق للنظام الأول ضمن المجال ($46\% - 94\%$) وللنظام الثاني ضمن المجال ($45.5\% - 93\%$) حسب مساحة اللاقط الشمسي. كما أنه من أجل كل قيم التدفقات المدروسة كانت نسبة التغطية الشمسية للنظام الأول (CV) أفضل بقليل منها في حالة النظام الثاني (UCS)، حيث تراوح الفرق في نسبة التغطية الشمسية بين النظامين ضمن المجال ($0.46\% - 0.62\%$) حسب قيمة التدفق، وعند التدفق (10 lit/h. m^2) كان الفرق في تلك النسبة بين النظامين هو (0.48%).
3. تبين أن أفضل حجم للخزان الحراري للنظامين هو (75 lit/m^2)، حيث بلغت أكبر زيادة في نسبة التغطية الشمسية عند هذا الحجم بالمقارنة مع النسبة عند الحجم (25 lit/m^2) للنظام الأول (CV) بمقدار (9.3%) وللنظام الثاني بمقدار (9%). كما أنه من أجل كل قيم الحجوم المدروسة كانت نسبة التغطية الشمسية في للنظام الأول (CV) أفضل بقليل منها في حالة النظام الثاني (UCS)، حيث تراوح الفرق في نسبة التغطية الشمسية بين النظامين ضمن المجال ($0.37\% - 0.78\%$) حسب قيمة الحجم، وكان الفرق في نسبة التغطية الشمسية بين النظامين عند الحجم (75 lit/m^2) هو (0.48%).
4. ظهر أن أفضل نسبة لارتفاع الخزان الحراري إلى البعد المميز لمقطعه (H_s/L) للنظامين هي النسبة (3)، وذلك من أجل حالتين وهما: ارتفاع ثابت لمدخل الماء الساخن إلى الخزان الحراري وارتفاع متغير أوتوماتيكياً. تبين بالنسبة للنظام الأول (CV) أن الزيادة في نسبة التغطية الشمسية عند ($H_s/L = 3$) عن النسبة ($H_s/L = 1$) ومن أجل الحالتين هي حوالي (1.1%). أما بالنسبة للنظام الثاني (UCS) بلغت

الزيادة في نسبة التغطية الشمسية عند $(H_s/L = 3)$ عن النسبة الابتدائية بـ (0.34 %) في حالة الارتفاع الثابت للمدخل وبـ (0.49 %) في حالة الارتفاع المتغير أوتوماتيكياً للمدخل. كما أنه من أجل كل قيم (H_s/L) المدروسة كانت نسبة التغطية الشمسية في حالة النظام الأول (CV) أفضل بقليل منها في حالة النظام الثاني (UCS)، حيث تراوح الفرق في نسبة التغطية الشمسية بين النظامين ضمن المجال (0.45 % - 0.50 %) حسب قيمة النسبة (H_s/L) ، وكان الفرق في نسبة التغطية الشمسية بين النظامين عند النسبة $(H_s/L = 3)$ هو (0.45 %).

5. تبين أنه من أجل $(H_s/L = 3)$ وحجم للخران الحراري قدره (300 lit) أن أفضل ارتفاع ثابت للمدخل الماء الساخن إلى الخزان الحراري للنظام الأول (CV) هو الارتفاع (0.9 m)، وللنظام الثاني (UCS) هو الارتفاع (0.7 m). لكن استخدام المدخل المتغير الارتفاع أوتوماتيكياً كان هو الأفضل في النظامين، حيث بلغت الزيادة في نسبة التغطية الشمسية في حالة المدخل المتغير أوتوماتيكياً عن حالة المدخل الثابت للنظام الأول (1 %) وللنظام الثاني بمقدار (1.1 %).

أما التوصيات التي يوصى بها كأعمال رديفة لهذا البحث فهي:

1. متابعة العمل في سياق النمذجة والمحاكاة على نماذج أخرى من الخزانات الحرارية لدراساتها.
2. القيام بأبحاث تجريبية على أنظمة تسخين ماء شمسية تستخدم تقنيات من شأنها تحسين التدرج الحراري ضمن خزاناتها الحرارية، وبالمحصلة تحسين الأداء الحراري لتلك الأنظمة.

المراجع

1. KENJO, L. Étude de Comportement Thermique d'un Chauffe-eau Solaire á Faible Débit. These Doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis, 2003, P. 227.
2. SHAH, L. J., FURBO, S. Entrance effects in solar storage tanks. Solar Energy, Vol. 75, 2003, P. 337-348.
3. SHAH, L. J.; ANDERSEN, E.; FURBO, S. Theoretical And Experimental Investigations of Inlet Stratifiers for Solar Storage Tanks. Applied Thermal Engineering, Vol. 25, Issue 14-15, 2005, P. 2086 – 2099.
4. JORDAN, U., FURBO, S. Thermal stratification in small solar domestic storage tanks caused by draw-offs. Solar Energy, Vol. 78, 2005, P. 291-300.
5. 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, P. 287-302.
6. ADAMS, D. E; DAVIDSON, J. H. Tank Stratification With A Flexible Manifold. Solar Energy Applications. Laboratory Colorado Stat University, April 22-28, 1993.
7. ANDERSON, E., FURBO, S., Multilayer fabric stratification pipes for solar tanks. Solar Energy, Vol. 81, 2007, P. 1219-1226.
8. 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, P. 2285-2298.
9. [9] KNUDSEN, S.; FURBO, S. *Thermal stratification in vertical mantle heat – exchanger with application to solar domestic hot water systems*. Applied Energy, Vol. 78, Issue 9, July 2004, P. 257 – 272.

[10] KENJO, L., Inard, Ch., Caccavelli, D. *Experimental and numerical study of thermal stratification in a mantle tank of a solar domestic hot water system*. Applied Thermal Engineering, Vol. 27, 2007, P. 1986–1995.

[11] 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, P. 2131–2142.

[12] KLEIN, S. A. et al., TRNSYS – a transient simulation program, version 16.1, *User Manual*. University of Wisconsin–Madison, USA. 2006.

[13] Meteonorm, 4.00, Global Meteorological Database for Solar Energy Applied Meteorology. Nov 1999.