

دراسة تأثير شكل الخزان على الأداء الأمثل لمجمع شمسي خازن ملائم للبيئة العراقية

عبيد مجيد علي / مدرس مساعد / المعهد التقني/الحوبيجة

الخلاصة

يتضمن البحث دراسة عملية ونظرية لتأثير بعض المتغيرات التصميمية على أداء مجمع شمسي خازن وتحقق ملاءمته للاستخدامات المنزلية. شملت الدراسة مجمعين شمسيين ، المجمع الشمسي الاول عبارة عن اسطوانة ذات قطر 28 cm وطول 130 cm والمجمع الشمسي الثاني عبارة عن خزان مكعب الشكل بابعاد 100cm x 100cm x 8cm ، كل منهما يوضع في هيكل خشبي مغطى بالزجاج من الجهة المقابلة للشمس ويمكن استخدام اللاقطات الشمسية المقترحة كخزان ماء بدلا من الخزانات المعتادة في البيوت العراقية.

تمت دراسة تأثير المتغيرات الأساسية والتي تضمنت تغيير شكل الخزان في المجمع الشمسي ، حيث استخدم نموذجين أحدهما ذو خزان اسطواني والآخر خزان مكعب وبنفس السعة ، كما تم دراسة تأثير ثلاثة نماذج من التحميل على أداء المجمعين هما التحميل المستمر والمتقطع كل ساعة وسحب المياه مرة واحدة في اليوم. بينت النتائج إن أداء المجمع الاسطواني أفضل عند وجود تحميل للمياه من المجمع بصورة مستمرة أو متقطعة بعد الساعة الثالثة عصراً ، بينما يكون أداء المجمع المكعب أفضل في حالة سحب المياه مرة واحدة فقط وعند عدم وجود تحميل. استخدم البرنامج العددي فلونت (Fluent) لإنجاز الجزء النظري لهذه الدراسة ويعتمد هذا البرنامج على طريقة الحجوم المحددة (Finite volumes) لدراسة ظاهرة الحمل الطبيعي داخل خزين اللاقط الشمسي. ومن التحليل العددي تم حساب توزيع درجات الحرارة خلال اليوم وقد وردت النتائج النظرية بتوافق جيد مع النتائج العملية.

الكلمات الدالة: الطاقة الشمسية، المجمعات الشمسية الخازنة، شكل الخزان .

Effect of Storage Heater Shape on Performance of Built -In – Storage Solar Collector Suitable for IRAQ Environment

Obed Majeed Ali / Asst. Lecturer /Technical Institute of Haweja

Abstract

This research includes a theoretical and experimental study to the effect of some designing parameters on the performance of storage solar collector and to verify its suitability in the domestic uses. Two solar collectors studies , the first collector is cylindrical with 28 cm diameter and 130 height , and the second collector is cubic with dimensions 100cm x 100cm x 8cm , each one putting in a woody frame. Ordinary window glass was used as the top transparent cover for surface facing the sun. This storage collectors can be used as storage water tank to replace the ordinary tanks commonly used in Iraqi houses.

The basic parameters were investigated systematically, these included the storage tank shape of solar collector, two models were taken, the first, cylindrical tank storage collector, and the second cubical tank storage collector having equal capacity . The other parameters was studied, the effect of loading. Loading on the storage collector were carried out with three different water withdrawal patterns, continuous loading, an intermittent loading, all water withdrawal one time in the day. The results indicate that the performance of cylindrical collector was better than the cubic collector in the continuous loading and intermittent loading after 3 PM, and the performance of cubic collector was better than cylindrical collector when all water withdrawal in the day at no load conditions.

To verify the experimental test results, a numerical study was carried out using Fluent program. The natural convection phenomenon in the enclosure of the storage collector was investigated based on the method of control volume. From the Fluent results and analysis of the problem, the temperature distribution throughout the day was obtained. The Fluent results agreed well with the experimental data obtained.

Key wards: Solar Energy ,Storage Solar Collectors, Storage Tank Shape .

قائمة الرموز:

الرمز	المعنى	الوحدات
U	السرعة باتجاه x	m/sec
V	السرعة باتجاه y	m/sec
W	السرعة باتجاه z	m/sec
m	الكتلة	kg
m_{total}	كتلة الماء في المجمع	kg
T	درجة الحرارة	°C
T_{av}	معدل درجة حرارة المجمع الخازن	°C
T_{outlet}	درجة حرارة الماء الخارج من الخزان	°C
ϕ	الخاصية	-
β	معامل التمدد الحجمي	1/K
ρ	الكثافة الكتلية	Kg/m ³
o	مرجعية	-
I	الشريحة	-

1. المقدمة ومراجعة المصادر:

تعد أزمة الطاقة أهم المشاكل التي يواجهها العالم حالياً، بسبب الزيادة الكبيرة والمستمرة في استهلاك الطاقة التي يواجهها احتياطي محدد من موارد الطاقة التقليدية. لذا عمد الباحثون إلى استغلال الطاقات المتجددة لمواجهة هذه النقص الكبير في الطاقة، وكانت الطاقة الشمسية إحدى الطاقات المرشحة لاحتلال مكان الصدارة محل الطاقات التقليدية. تعددت استخدامات الطاقة الشمسية وأصبح استغلالها وتحويلها إلى طاقة حرارية أو كهربائية أو كيميائية أمراً مألوفاً في الوقت الحاضر. إذ يمكن الاستفادة منها في التدفئة والتبريد وتسخين الماء و تحلية المياه وتوليد الطاقة الكهربائية والطبخ وتجفيف المحاصيل الزراعية وغيرها [1]. تحتوي منظومات التسخين الشمسية على ثلاثة أجزاء رئيسية المجمع الشمسي وخزان الحفظ وشبكة توزيع المياه، وتعتبر الكلفة العالية لصنع مثل هذه المجمعات من أهم العوائق إمام انتشارها على المستوى الاقتصادي، لذا حاول الباحثون تقليل هذه الكلفة عن طريق استخدام مجمع شمسي يدمج فيه خزان الماء والمجمع الشمسي في جزء واحد، ويمتاز هذا النوع من السخانات بالبساطة وقلة التكاليف لخلوها من العمليات المعقدة مثل اللحام والتوصيلات والانحناءات وعدم حاجتها إلى منظومة سيطرة متخصصة، أي إنها تعمل عمل المجمع الشمسي وخزان تجميع المياه الحارة في ان واحد وتعوض عن خزان الماء المنزلي المعتاد والمستخدم في المنازل العراقية وتوجد العديد من التصاميم لمنظومات شمسية تعتمد أسلوب دمج المجمع الشمسي مع خزان الحفظ مثل استعمال الباحث (Tainshita) [2] مجمع شمسي خازن يتركب من أنابيب بلاستيكية لغرض الحصول على مياه ساخنة او استعمال وسادة بلاستيكية [3] أو مجرد صندوق مصنوع من الحديد ومائل بزواوية 45° [4].

درس الباحث مرزوق [1] أداء مجمع شمسي خازن يتكون من خزان من الحديد المغلوق بإبعاد 0.1 m * 1.1 m * 1.6 m، تصبغ الجهة المقابلة للشمس باللون الاسود وتغطي هذه الجهة بطبقة من الزجاج لتقليل الفقد الحراري، بينما تعزل بقية الجوانب بالصوف الزجاجي وثبت هذه المجمع مائلاً بزواوية قدرها 45° عن الأفق ووجهه باتجاه الجنوب وتمكن من الحصول على درجات حرارة تصل إلى 30° في صباح اليوم التالي، كما درس الباحث فرحان [5] أداء مجمع شمسي خازن ناتج عن قطع الخزان المكعب بمستويات قطع مختلفة باستخدام البرنامج ANSYS وحصل على درجة حرارة ماء عند عدم وجود تدفق تصل إلى 58 °C.

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير المتغيرات التصميمية على أداء مجمع شمسي مصنوع من الحديد المغلوق باستخدام خزان على شكل اسطوانة وخزان على شكل مكعب وبنفس السعة وتحديد الأكثر ملائمة للبيئة العراقية.

2. الجانب العملي:

لدراسة تأثير المتغيرات التصميمية تم بناء نموذجين للمجمع الشمسي الخازن، النموذج الاول يتكون من خزان من الحديد المغلوق قياس 18 على شكل اسطوانة بقطر (28 cm) وبطول (130 cm) لتعطي حجماً مقداره (0.08 m³) والنموذج الثاني يتكون من خزان من نفس المعدن على شكل مكعب بأبعاد 100cm x 100cm x 8cm ليعطي نفس الحجم، تم طلاء السطح الخارجي للخزانين بطلاء اسود داكن باهت محلي الصنع لزيادة الامتصاصية، كما استخدم صوف

علي: دراسة تأثير شكل الخزان على الأداء الأمثل لمجمع شمسي خازن ملائم للبيئة العراقية

زجاجي ذو سمك (7.5 cm) لعزل الجهة الخلفية من الخزانات والباعدة عن الإشعاع الشمسي، وقد وضع كل خزان مع العازل في صندوق خشبي لحمايته من الظروف الخارجية، وفيما يخص الغطاء الزجاجي، فقد استعملت صفيحة زجاجية ذات سمك مقداره (4 mm) في الجهة المقابلة للشمس لكل مجمع لتقليل الفقد الحراري من المجمع الشمسي وثبتت بمعجون خاص لمنع تسرب مياه الأمطار والأتربة الى داخل المجمع.

لدراسة تأثير شكل الخزان على أداء المجمع الخازن، ثبت كلاً من النموذجين مائلاً بزاوية 45° عن الأفق ووجه نحو الجنوب بحيث تعطي هذه الزاوية، أقصى كمية من الإشعاع الشمسي الساقط، وبالتالي فإن كل الظروف الخارجية سوف تكون متماثلة ويصبح بالإمكان دراسة معظم المتغيرات التي تخص أداء المجمع الشمسي، ويبين الشكل (1) صورة فوتوغرافية للمجمع الشمسي الخازن الاسطواني والمكعب.

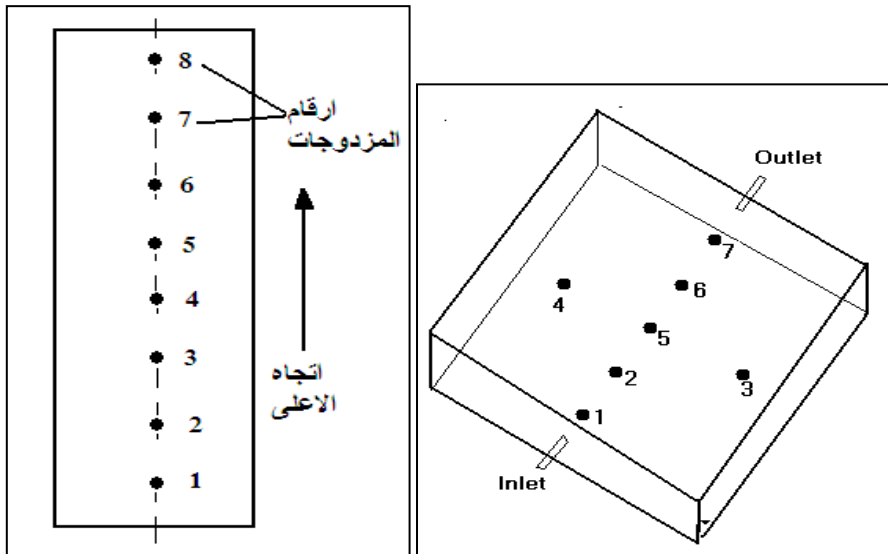


(أ)

(ب)

الشكل (1) المنشأ التجريبي للبحث (أ. المجمع الاسطواني - ب. المجمع المكعب)

استخدمت عدة مزدوجات حرارية (Thermo-couples) من نوع حديد-كونستنتان لقياس درجة الحرارة، ففي المجمع الاسطواني، تم تثبيت تسعة منها لقياس درجة حرارة الماء داخل الخزان، ومثبتة على طول محور الخزان الأفقي

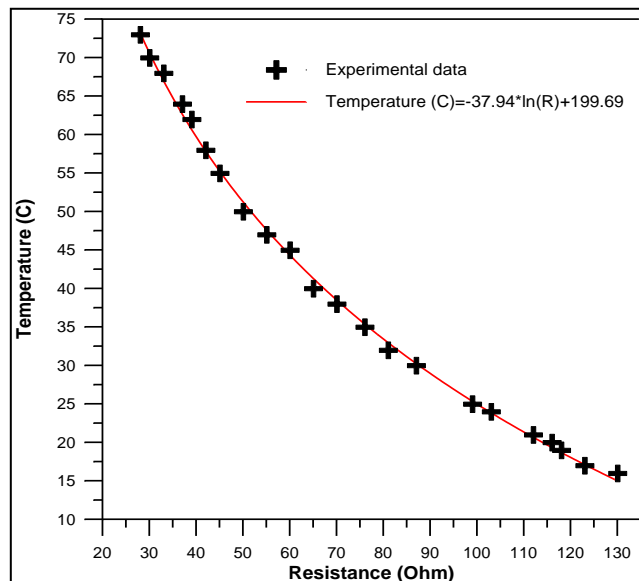


ب-الاسطواني

أ- المكعب

الشكل (2) مواقع المزدوجات الحرارية

وبمسافات متساوية كما في الشكل (2-أ)، واثنان آخرين لقياس درجة حرارة المياه الداخلة والخارجة من المجمع. وفيما يخص المجمع المكعب فقد تم تثبيت سبعة مزدوجات حرارية مثبتة على طول الخزان لقياس درجة حرارة المياه داخل الخزان وكما مبين في الشكل (2-ب)، إضافة إلى مزدوجين حراريين لقياس درجة حرارة المياه الداخلة والخارجة من الخزان. تمت معايرة المزدوج الحراري المستخدم في البحث قبل اخذ قراءات درجات الحرارة نسبة الى محرار زئبقي قياسي، وقد مثلت هذه القراءات في منحنى



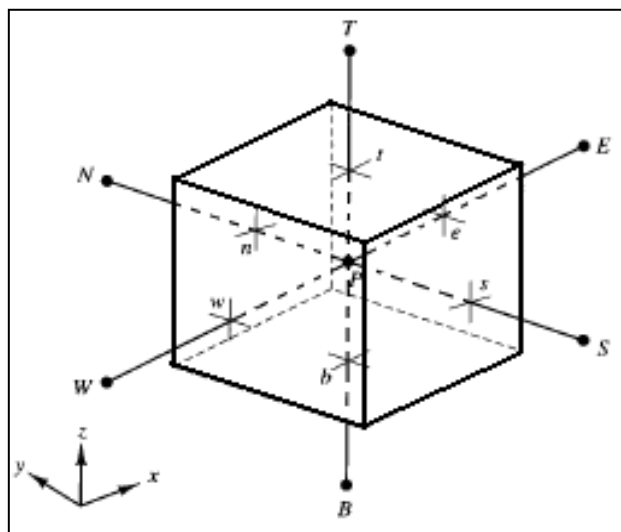
الشكل (3) منحني المعايير للمزدوج الحراري المستخدم

الجريان في الأشكال المعقدة. يعتمد هذا البرنامج على طريقة الحجم المحددة (Finite volumes) لدراسة ظاهرة الحمل الطبيعي داخل خزين اللاقط الشمسي، حيث يتم تحويل معادلات الانتقال التفاضلية التي تحكم ظاهرة الحمل الطبيعي والتي تمثل معادلات الاستمرارية (حفظ الكتلة) والزخم والطاقة إلى معادلات آنية بالشكل الآتي:

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u\phi)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v\phi)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w\phi)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma \frac{\partial\phi}{\partial x} \right) + \dots (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma \frac{\partial\phi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\Gamma \frac{\partial\phi}{\partial z} \right) + S$$

حيث ان ϕ أي خاصية مثل السرعة ودرجة الحرارة و Γ معامل الانتشار، تحول المعادلة أعلاه باستخدام طريقة الحجم المحددة إلى معادلات آنية يمكن بواسطتها إيجاد قيمة أي خاصية في النقطة (P) مركز الحجم المسيطر (الشكل (4)) بدلالة قيم الخاصية في النقاط المجاورة بالشكل الآتي:



الشكل (4) الحجم المسيطر لطريقة الحجم المحددة

$$a_P\phi_P = a_W\phi_W + a_E\phi_E + a_S\phi_S + a_N\phi_N + a_B\phi_B + a_T\phi_T + a_P^0\phi_P^0 + S_u \dots (2)$$

يتم تكامل كل معادلة من معادلات الاستمرارية والزخم والطاقة داخل كل حجم مسيطر وذلك بعد تقسيم الحيز داخل الخزان إلى عدد من هذه الحجم وتوفر هذه الطريقة ضمان حفظ الزخم والطاقة داخل كل حجم وبالتالي تعتبر هذه الطريقة أكثر قبولاً من طريقة الفروق المحددة أو العناصر المحددة.

استخدم برنامج ملحق يسمى (Gambit) لبناء النموذج والتوليد الشبكي الخاص بالمسألة. يوفر البرنامج (Fluent) مجموعة من الخيارات لحل مسائل الحمل الحر والتي تحتاج إلى معرفة دقيقة واستخدم في البحث الحالي الخيارات الموصى بها من قبل الشركة المنتجة لحل مسائل الحمل الحر كما في المصدر [6] و افترضت الفرضيات الآتية لحل المسألة وهي:

1. الحمل الطبيعي في الحيز طباقي ومعتمد على الزمن.

2. جميع خواص الماء ثابتة عدا الكثافة وسوف يصار إلى اعتماد افتراض بوسنسك والذي ينص:

$$\rho \cong \rho_o * (1 + \beta * (T_o - T)) \quad \dots (3)$$

3. اختيار الخوارزمية (PISO) لربط معادلات الزخم والطاقة وهي ملائمة للحالات المعتمدة على الزمن.

4. اختيار الخوارزمية (Body Force Weighted scheme) لحل حد الضغط في معادلة الزخم.

4. النتائج والمقارنة:

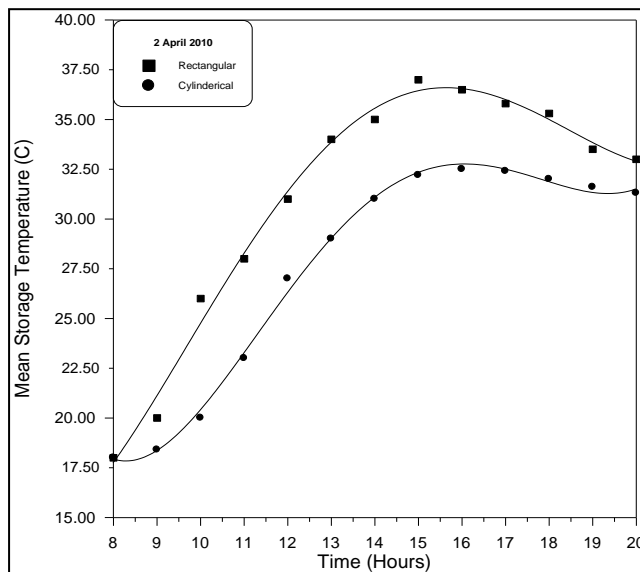
تمت دراسة تأثير المتغيرات الأساسية على أداء اللاقطات الشمسية الخازنة والتي تضمنت متوسط درجة حرارة الخزين و توزيع درجات الحرارة وتأثير الحمل و أفضل مكان لإدخال الماء الجديد و سحب الماء الساخن.

1.4 متوسط درجة حرارة الخزين Mean storage temperature:

يعد متوسط درجة حرارة الخزين من أهم العوامل التي تحدد أداء سخان الشمسي الخازن ويحسب هذا العامل من المعادلة الآتية [7]:

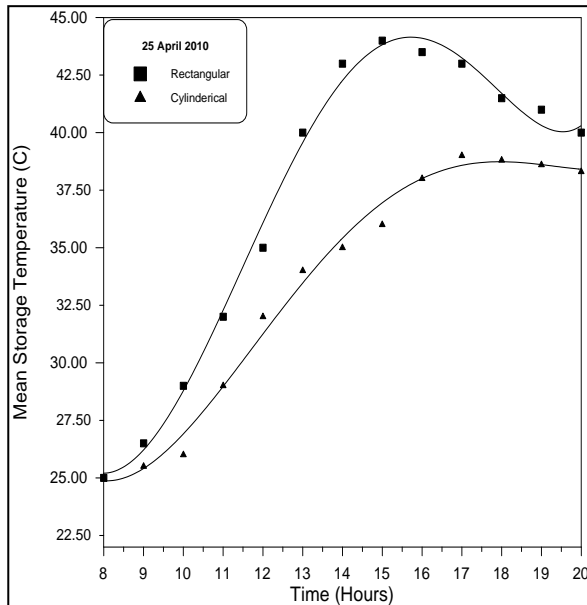
$$T_{av} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i * T_i}{m_{total}} \quad \dots (4)$$

الشكل (5) يبين تغير متوسط درجة حرارة الخزين مع الزمن ليوم (2 - نيسان)، ويلاحظ تغير متوسط درجة حرارة الخزين من ساعات الصباح الأولى لتصل إلى أعلى قيمة لها عند الثالثة عصرا بالنسبة للخزان المكعب وعند الرابعة والنصف عصرا بالنسبة للخزان الأسطواني، ومن ثم تبدأ هذه القيم بالنزول بسبب تراجع قيمة الطاقة الشمسية الممتصة وزيادة الخسائر من الوجه الأمامي للمجمع، تصل متوسط درجة حرارة الخزين في الخزان المكعب إلى أعلى قيمة لها (حوالي 37 °C)، بينما تكون أعلى قيمة لمتوسط درجة حرارة الخزين في الخزان الأسطواني (حوالي 32 °C)، ويلاحظ إن مستويات متوسط درجة الحرارة في الخزان المكعب أعلى من قيمها في الخزان الأسطواني، مما يعني إن أداء الخزان المكعب أفضل من الأسطواني في حالة اللاحمل، ولزيادة دقة هذا الاستنتاج، أجريت تجربة أخرى في يوم (25 - نيسان) ونتائج هذه التجربة مبينة في الشكل (6) وهي مشابهة بصورة عامة لنتائج التجربة الأولى، ما عدا إن قيم متوسط درجة حرارة الخزين هي أعلى من قيمها في التجربة الأولى ويعود السبب إلى ارتفاع قيمة درجة حرارة المياه الابتدائية وارتفاع قيم الإشعاع الشمسي. يبين الشكل (7) وجود توافق جيدا بين النتائج العملية ونتائج البرنامج (Fluent) للمجمعين

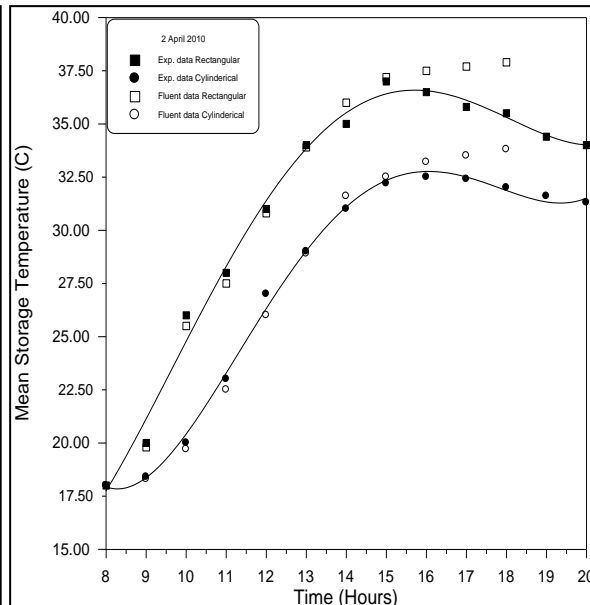


المكعب والأسطواني ويستمر هذا التوافق لحد الساعة التي تصل عندها متوسط درجة حرارة الخزين لكل مجمع الى أعلى قيمة لها ومن ثم يكون هناك تباين في درجات الحرارة بسبب ان البرنامج (Fluent) لا يأخذ بنظر الاعتبار الخسائر الحرارية من الوجه الأمامي للمجمع والتي تكون قيمتها مؤثرة بعد الظهر. وبالرغم من عدم التوافق في قيم درجات الحرارة بعد الثالثة والنصف عصرا فان البرنامج (Fluent) يعطي موثوقية جيدة يمكن الاعتماد عليها في تحديد أداء المجمعات الشمسية بصورة عامة وبنسبة خطأ لا تتجاوز $\pm 4\%$.

الشكل (5) تغير متوسط درجة حرارة الخزين مع الزمن ليوم 2-نيسان



الشكل (7) تغير متوسط درجة حرارة الخزين نظريا وعمليا مع الزمن ليوم 2-نيسان

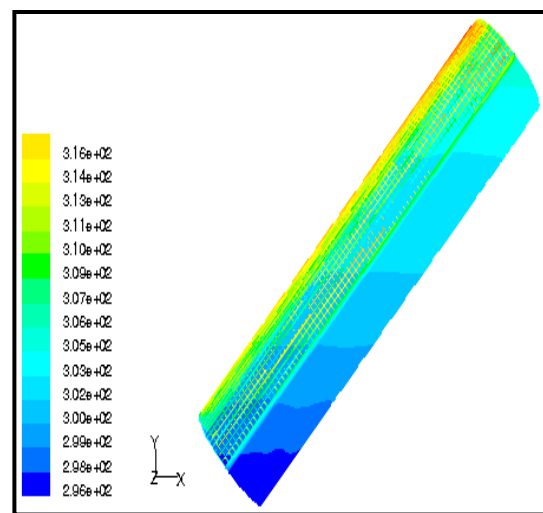
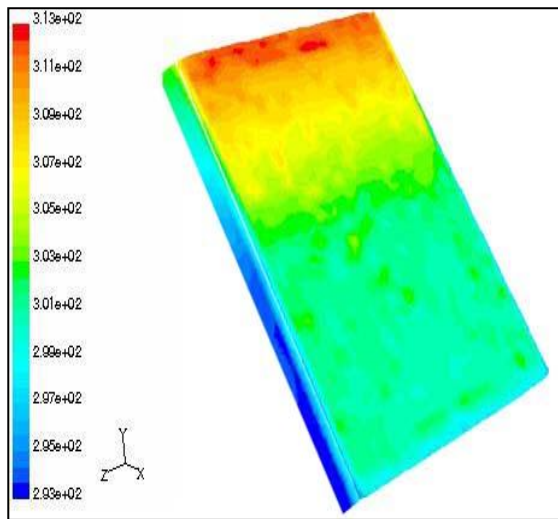


الشكل (6) تغير متوسط درجة حرارة الخزين مع الزمن ليوم 25-نيسان

2.4 التوزيع الحراري في المجمع

Temperature distribution inside collector

يبين الشكل (8) التوزيع الحراري داخل المجمعات الشمسية عند منتصف النهار (الساعة الثانية عشر) ولهذا الشكل أهمية كبيرة في تحديد أفضل منطقة لدخول وخروج المياه من المجمع، يتضح من هذا الشكل ان توزيع درجات الحرارة يكون طباقيا في كلا الحالتين متدرجا من الدرجات الواطئة في أسفل الخزانات إلى درجات الحرارة العالية في أعلى الخزانات، وبالتالي فإن دخول المياه إلى المجمع سوف يكون من المنطقة الباردة في أسفل الخزان وخروج المياه من المنطقة الساخنة في أعلى المجمع.



(أ) المجمع المكعب

(ب) المجمع الاسطواني

الشكل (8) التوزيع الحراري داخل المجمعات الشمسية

Effect of water withdrawal

3.4 تأثير سحب المياه من المجمعات الشمسية

تختلف كمية المياه المصروفة من شخص ما على مجموعة من العوامل، من اهمها المستوى الثقافي و الاجتماعي لهذا الشخص، وحددت هذه الكمية بحوالي 50 لتر لكل شخص وعلى فرض ان العائلة مكونة من 6 أشخاص فهذا يعني ان كمية المياه المطلوب توفيرها لهذه العائلة حوالي 300 لتر، إما توزيع هذه الكمية فيكون غير منتظم فهو عالي عند الصباح على اعتبار ان معظم أفراد العائلة يذهبون إلى الدوام، ثم يقل استهلاك المياه بعد الثامنة والنصف (ساعة بدء الدوام) ليرتفع مرة أخرى بعد الساعة الثانية والنصف وعودة أفراد هذه العوائل إلى منازلهم . ولغرض دراسة الحمل (سحب المياه) على أداء هذه المجمعات، أجريت مجموعة من التجارب لبيان هذا التأثير وفق التوصيف الآتي:

1. سحب مستمر للمياه وبمعدل 0.3 لتر/دقيقة.

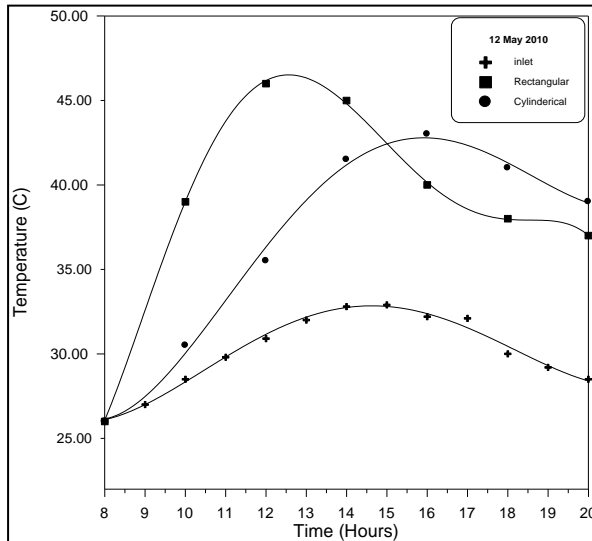
2. سحب كمية 20 لتر عند نهاية كل ساعة.

3. سحب كل مياه المجمع عند الساعة الثانية بعد الظهر.

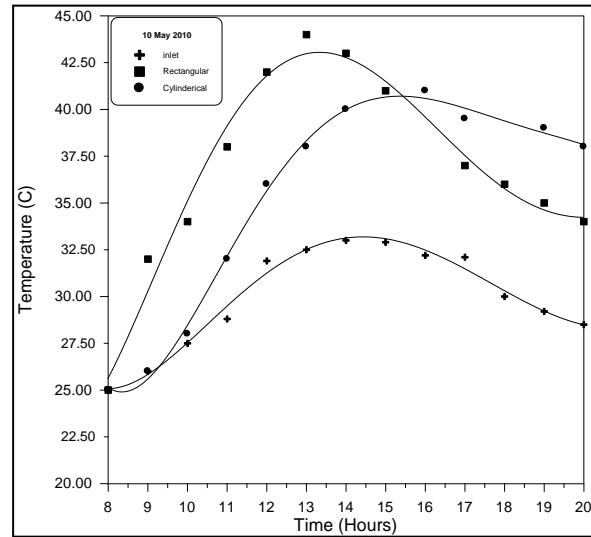
الشكل (9) يبين تغير درجات الحرارة في هذه المجمعات الشمسية عند وجود تدفق مستمر مقداره (0.3 لتر/دقيقة)، يصل متوسط درجة حرارة خزين المجمع الاسطواني إلى أعلى قيمة لها والبالغة 43°C عند الساعة الثالثة عصراً ومن ثم يبدأ بالتناقص بعد ذلك ، إما بالنسبة إلى المجمع المكعب فإن أعلى قيمة لمتوسط درجة حرارة الخزين فيه فيبلغ حوالي 46°C عند الساعة الواحدة بعد الظهراً ومن ثم يبدأ بالتناقص بعد ذلك ، وسبب هذه التناقص يعود إلى ان الطاقة الشمسية الممتصة تكون اقل من الطاقة الحرارية المحمولة مع الماء الخارج من المجمع والخسائر الحرارية من الوجه الأمامي للمجمع.

الشكل (10) يوضح تغير درجات الحرارة عند سحب كمية مقدارها 20 لتر عند نهاية كل ساعة، تم اخذ قراءات درجات الحرارة قبل سحب المياه، تصل متوسط درجة حرارة الخزين إلى أعلى قيمها عند الرابعة عصراً في الخزان الاسطواني اذ تصل قيمتها إلى حوالي 41°C ، في حين تصل متوسط درجة حرارة الخزين في المجمع المكعب أعلى قيمة عند الساعة الواحدة بعد الظهراً والتي تبلغ حوالي 44°C ، ثم تتناقص بعد هذا الوقت نتيجة لعدم كفاية الطاقة الشمسية الممتصة للاستمرار في الارتفاع، من الشكلين السابقين نلاحظ انه في حالة وجود حمل فإن متوسط درجة حرارة الخزين في المجمع الاسطواني تكون اعلى مما في المجمع المكعب بعد الساعة الثالثة عصراً والسبب في ذلك يعود الى كون المساحة السطحية للمجمع المكعب اكبر من المساحة السطحية للمجمع الاسطواني وبالتالي فان الخسائر الحرارية من الوجه الامامي للمجمع تكون اكبر .

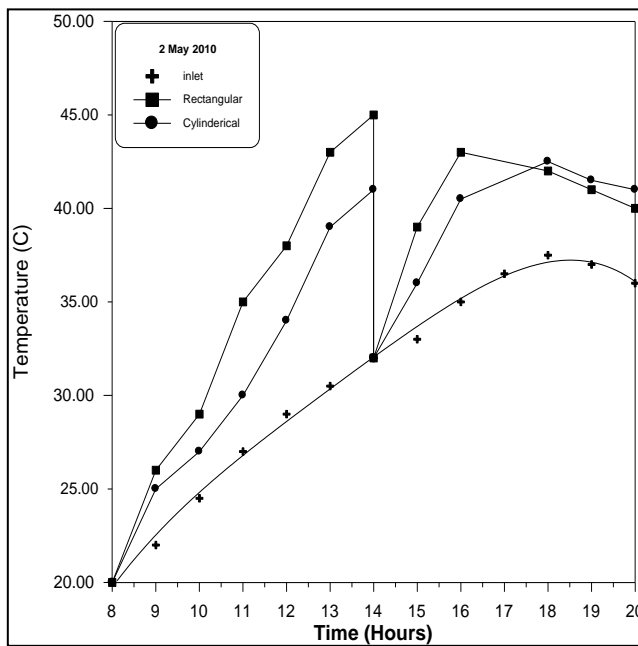
الشكل (11) يوضح تغير متوسط درجة حرارة الخزين عند سحب كل الماء الموجود في المجمعات عند الساعة الثانية بعد الظهر (ساعة نهاية الدوام الرسمي)، يبين هذا الشكل ان درجة حرارة متوسط الخزين تصل إلى أعلى قيمها في المجمع المكعب حيث تصل إلى 45°C ثم يتم سحب المياه فيتناقص متوسط درجة حرارة الخزين ليصل إلى درجة حرارة الماء الداخل ومن ثم يرتفع مرة أخرى، ليصل إلى حوالي 42°C عند الساعة الرابعة عصراً ومن ثم يتناقص مرة أخرى. بينما تصل درجة حرارة متوسط الخزين إلى أعلى قيمها في المجمع الاسطواني حيث تبلغ 41°C ثم يتم سحب المياه فيتناقص متوسط درجة حرارة الخزين ليصل إلى درجة حرارة الماء الداخل ومن ثم يرتفع مرة أخرى، ليصل إلى حوالي 43°C عند الساعة السادسة عصراً ومن ثم يتناقص مرة أخرى.



الشكل (9) تغير درجات الحرارة عند وجود تدفق



الشكل (10) تغير درجات الحرارة عند سحب كمية من ماء الخزان عند نهاية كل ساعة



الشكل (11) تغير درجات الحرارة عند سحب ماء الخزان بصورة كاملة عند الثانية بعد الظهر

5. الاستنتاجات والتوصيات:

- من خلال النتائج المستحصلة نجد ما يلي:
1. ان متوسط درجة حرارة الخزين يكون أعلى في حالة المجمع المكعب من المجمع الاسطواني عند عدم وجود حمل وينعكس الأمر عند وجود حمل إذ يكون متوسط درجة حرارة الخزين أعلى في المجمع الاسطواني من المكعب بعد الساعة الثالثة عصراً .
 2. تصل قيم متوسط درجة حرارة الخزين لكل مجمع إلى أعلى قيمها عند ساعة معينة من النهار تعتمد على الظروف البيئية والحمل ومن ثم يبدأ التناقص في قيمها بسبب عدم كفاية الطاقة الشمسية الممتصة.
 3. يكون التدرج الحراري داخل المجمعات على شكل طبقات، فالمياه الباردة في الأسفل والمياه الساخنة في الأعلى وبالتالي فإن أفضل مكان لدخول المياه إلى المجمع من المنطقة السفلى وأفضل مكان لخروج المياه الساخنة من الأعلى.
 4. دراسة أداء أكثر من مجمع مربوط على التوالي أو التوازي وتحديد فعاليته في الظروف البيئية المختلفة.
 5. دراسة استخدام أكثر من غطاء زجاجي لتحسين أداء هذه المجمعات الشمسية.

المصادر:

1. خضير مرزوق، 1987، تجميع وخرن الطاقة الشمسية باستخدام الطبقة الحصوية ، رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة البصرة.
2. Duffie, J. and Beckman, W., 1980. Solar energy thermal processes, John Wiley and Sons, New York.
3. Khanna, M.L. ,1973, A portable-type solar water heater ,Solar energy, 15,pp 269-272.
4. Garge, H.P and Rani, U.; 1982. Theoretical and experimental studies on collector/storage type solar water heater, Solar energy, Vol.29, pp.467-478.
5. Farhan, .A; 2002. Computational model for a prism shaped storage solar collector with a right triangular cross section, M.Sc thesis, Mechanical engineering department, University of Baghdad.
6. Fluent 5.3 document, 1998,Fluent Inc.
7. Khalifa, A-J. N.; 1999. On the verification of one dimensional heat flow in a horizontal thermosyphon storage tank, J. of Energy Conversion and Management, Vol. 40, p. 961.