

# منظومة منزلية شمسية لتسخين المياه بسيطة التركيب واطنة الكلفة\*

## A SIMPLE DESIGN SOLAR WATER HEATER

وسام حميد عليوي \*

### المستخلص:

تم في هذا البحث إجراء دراسة عملية لمجمع شمسي خازن موشوري الشكل ذو قطع جزئي للمثلث القائم الزاوية ، يمتاز المجمع بسهولة تصنيعة وكلفته المنخفضة نسبيا وبسعة (140 Liter) ، شملت الدراسة فحص واختبار المجمع تحت ظروف البيئة العراقية ( مدينة بغداد) وابتداءً من شهر شباط إلى نهاية شهر حزيران من عام (2005) ، شمل الاختبار أيضا فحص المجمع في ظروف تشغيلية مختلفة . بينت النتائج العملية إمكانية استخدام هذا النوع من المجمعات في تجهيز الماء الساخن للأغراض المنزلية ، فقد أمكن تسخين (140 liter) من الماء إلى درجات حرارة مختلفة بالاستفادة من ظاهرة التدرج الحراري التي تحصل في المجمع بسبب فرق الكثافة ، فكانت أقصى درجة حرارة للماء داخل المجمع في اليوم السابع من شهر شباط ( 51.5 °C ) بينما أقل درجة حرارة كانت ( 29 °C ) وبمعدل درجة حرارة ( 37 °C ) عندما كانت درجة حرارة الماء الابتدائية ( 16.3 °C ) . أي رفع درجة حرارة الماء بمقدار ( 21 °C ) .

### Abstract

This research is an experimental study of a storage solar collector. The design is simple and low cost compared with other solar water heaters. Giving a capacity of about (140 liter). An experimental study includes testing the storage solar collector under different operating conditions of Baghdad City during the test period from February 2005 to July 2005. The experimental results show it is possible use to a storage solar collector for domestic hot water applications.

Where possible heating (140 liter ) of water to different temperatures depends on stratification phenomenon. It is noted that maximum temperature for ( 7 February ) is ( 51.5 °C ) and minimum temperature is ( 29 °C ) , while the average temp. is ( 37 °C ) when is initial temperature of water equals (16.3). °C ) , This means rise water temperature of ( 21 °C ) .

### المقدمة

من المعروف ان كلفة سخانات الماء الشمسية تعد العقبة الأساس في انتشارها واستخدامها على نطاق واسع لذلك أجريت الكثير من الدراسات لتقليل كلفة سخانات الماء الشمسية وتحسين أدائها . قام الباحث [1] بدراسة عملية على أداء سخان ماء شمسي بسيط بشكل وسادة لدنة ، يمتاز بخفة وزنه ما يقرب (3.4 kg)

\* تاريخ استلام البحث ٢٠٠٦/٣/١ تاريخ قبول النشر ٢٠٠٧/١٠/٢٢

\* مدرس مساعد/ مركز التدريب والمعامل/ الجامعة التكنولوجية

مما يسهل عملية حملها من مكان إلى آخر ، حصل الباحث على كفاءة إجمالية تتراوح من (43%) إلى (50%) . من النماذج الأخرى لهذه المجمعات: المجمع الذي تم تصنيعه من قبل [2] على هيئة خزان متغير العمق يسمى الحوض البسيط للتجميع والخزن في آن واحد يمتاز هذا المجمع بعدم وجود صفيحة الامتصاص إذ يقوم الماء داخله بعملية التجميع والخزن في الوقت نفسه . كذلك قام الباحث [3] بتصنيع سخان ماء شمسي مستطيل الشكل من النوع البسيط يستخدم للخزن والتجميع ، تمكن الباحث من الحصول على (50L) من الماء الساخن بعد الساعة الخامسة بدرجة حرارة ( $66^{\circ}\text{C}$ ) وذلك في شهر شباط ، من جهة أخرى تم سحب (25L) من الماء عند الساعة (1.30) بعد الظهر بدرجة حرارة مقدارها ( $53^{\circ}\text{C}$ ) وذلك في الثالث عشر من نيسان مع تعويض الماء المسحوب بماء جديد .

أما الباحث [4] فقام بدراسة حول أيجاد العمق أو السمك الأمثل لمجمع شمسي خزان بسيط التركيب منخفض الكلفة بشكل صندوق مستطيل الشكل ، الدراسة جرت على مجعنين أحدهما بسمك (6 cm) والآخر بسمك (8 cm) ولمدة خمسة أشهر متتالية ، بينت النتائج ان أقصى وأدنى درجة حرارة للمجمع الأول كانت ( $76^{\circ}\text{C}$  ,  $46^{\circ}\text{C}$ ) ، أما للمجمع الثاني فكانت ( $70^{\circ}\text{C}$  ,  $41^{\circ}\text{C}$ ) بينما معدل الكفاءة للمجمعين كانت (73% , 65%) على التوالي . وجد الباحث أن افضل تصميم لمجمع شمسي خزان مستطيل الشكل هو بسمك ( 8 cm) ويستعمل غطاء زجاجي مزدوج .

في بلدنا العراق وعلى الرغم من وجود مراكز بحثية متخصصة بالطاقة الشمسية الا ان الافتقار الى مؤسسات فعلية لانتاج وتصنيع سخانات الماء الشمسية وتقديمها للمواطن بأسعار مناسبة تعد من العوامل الاساسية التي تحد من الانتشار والاستخدام الواسع لهذا النوع من السخانات ، من جهة اخرى ويسبب مشكلة الطاقة الكهربائية في البلاد اصبح استخدام السخانات الشمسية أمرا ملحا وضروريا لترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية . لذلك يهدف هذا البحث (وهو تطوير لدراسة اجريناها سابقا) [5] الى تصميم منظومة شمسية لتسخين الماء سهلة التصنيع واطئة الكلفة بما يتناسب مع احتياجات وإمكانيات العائلة العراقية ، إذ بإمكان أي مواطن تصنيعها بنفسه واستخدامها كخزان رئيسي للماء في الاوقات التي لا يحتاج فيها الى الماء الساخن او كسخان ماء رئيسي للاستخدامات المنزلية الاعتيادية أو كسخان مساعد ثانوي يساهم في ترشيد الطاقة الكهربائية في التطبيقات التي تحتاج إلى درجات حرارة عالية خاصة إذا علمنا ان العراق من مناطق العالم الغنية بالطاقة الشمسية وان أشعة الشمس متوفرة على مدار السنة ، إذ يمتلك العراق بحدود ( 3600 ) ساعة ضوء في السنة [6] .

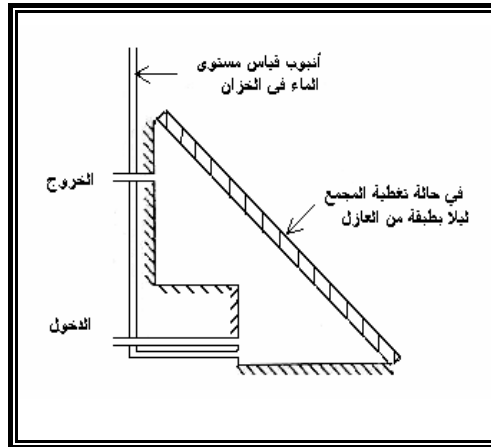
### تصميم المنظومة

يمتاز المجمع بسهولة تصنيعه وذلك لأستغنائها عن اغلب الاجزاء الرئيسية المستخدمة في السخانات الشمسية الاعتيادية . تتكون منظومة تسخين المياه الشمسية المنزلية ، من مجمع شمسي خزان يستخدم للتجميع والخزن في آن واحد يعطي المجمع حجما مقداره (140 Liter) ، تم تصميم المنظومة وتصنيعها بشكل موشوري ذي قطع جزئي للمثلث القائم الزاوية ، إذ إن هذا التصميم يوفر زاوية ميل للمجمع مقدارها ( $45^{\circ}$ ) عن الأفق وهي الزاوية المثلى لميلان المجمع لمدينة بغداد والتي توفر أكبر كمية ممكنة من الإشعاع الساقط

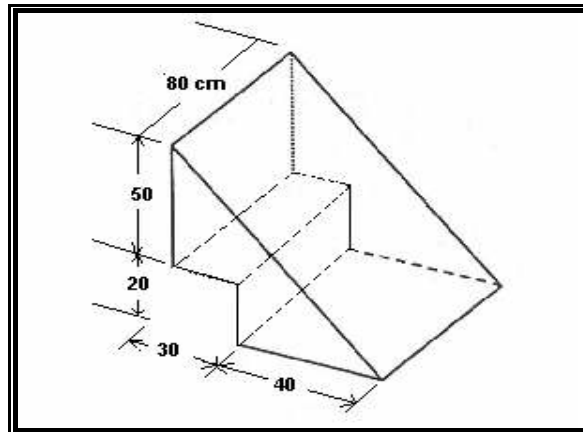
على سطح المجمع خلال فترة الشتاء [7] . كذلك هذا التصميم يعطي حجما اقل للماء داخل المجمع وبما يتناسب مع مساحة سطح الامتصاص وبالتالي تحسين التدرج الحراري للماء ( بالمقارنه فيما لو اخذ مقطع الخزان كاملا) . الصورة الفوتوغرافية شكل (1) والمخططان في الأشكال (2) و(3) توضح المظهر العام للمنظومة الشمسية وأبعادها .



شكل رقم (1) :صورة فوتوغرافية للمجمع المستخدم



شكل رقم (2) :مخطط يمثل أبعاد المجمع

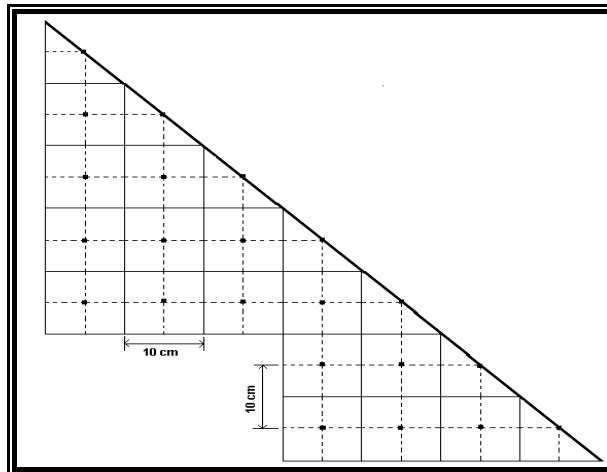


شكل رقم (3) :يمثل المجمع في حالة تغطيته بطبقة من العازل ليلا

صنع الخزان و صفيحة الامتصاص من صفائح بسمك (1.25 mm) من مادة الحديد المغلون وتم طلاء صفيحة الامتصاص بطلاء اسود داكن غير لماع من صنع شركة الأصباغ الحديثة العراقية أستعمل غطاء من الزجاج العادي بسمك (4 mm) مثبت داخل إطار باستخدام مادة السليكون المطاط بالاضافة الى معجون خاص لمنع تسرب الهواء الساخن من داخل الحيز الهوائي ، كذلك وضع إطار متحرك يحتوي على طبقة من الزجاج بالسلك السابق نفسه وذلك لفحص أداء المجمع بغطاء مفرد ومزدوج ، اما المسافة المحصورة بين الغطاء الزجاجي و صفيحة الامتصاص وبين الغطاء الزجاجي الاول والثاني فقد ابقيت مساوية إلى ( 2.5 cm ) لكون هذه المسافة تعطي أفضل عزل لانتقال الحرارة بواسطة الحمل والاشعاع من سطح الامتصاص الحار نسبيا إلى الزجاج البارد [8] ، تم تزويد المجمع بانبوب لسحب الماء الساخن واخر للتجهيز . في التصميم الحالي تم الاستفادة من ظاهرة التدرج الحراري التي تحصل في المجمع بسبب فرق الكثافة والتي تعطي إمكانية سحب الحرارة المطلوبة من الجزء الساخن للمجمع وإضافة كمية أخرى من الماء الجديد للجزء البارد من الخزان وهذا ما يجعل المجمع يعمل بكفاءة . تم عزل المجمع من الأسفل والجوانب بطبقة من الصوف الزجاجي بسمك ( 7.5 cm ) للحد من الخسائر الحرارية . كذلك تم وضع غطاء عازل متحرك من الأعلى لمعرفة إمكانية استخدام المجمع ليلا في حالة تغطيته بطبقة من العازل .

#### توزيع نقاط قياس درجات الحرارة داخل المجمع الشمسي

لتقييم أداء المجمع لابد من قياس درجة حرارة الماء داخله والتي تعطي مؤشرا رئيسيا لقياس الطاقة الحرارية المفيدة المستخلصة من المجمع الشمسي وبالتالي تحديد كفاءة المنظومة . تم توزيع نقاط المزدوجات الحرارية داخل المجمع كالآتي :



شكل رقم (4) يمثل توزيع نقاط درجات الحرارة داخل المجمع

- درجة حرارة الغطاء الزجاجي في نقطتين من الخارج .
- درجة حرارة السطح الماص في خمسة نقاط طولية .

درجة حرارة الماء داخل المجمع وذلك بتثبيت إحدى وعشرين نقطة قياس باستخدام شبكة معدنية توضع داخل المجمع الشمسي فتقسمه إلى سبعة أقسام متساوية في الارتفاع لكنها مختلفة في المساحة بحكم ميلان السطح الماص ، تثبت المزدوجات الحرارية في منتصف كل مساحة من تلك المساحات لتمثل معدل درجات

الحرارة في ذلك الجزء من المجمع ، والشكل المجاور رقم (4) يوضح كيفية توزيع المزدوجات الحرارية داخل المجمع .

### التحليل النظري

يتضمن التحليل النظري للمنظومة حساب الخسائر الحرارية للمنظومة وكمية الطاقة الممتصة والمخزونة داخل المجمع الشمسي وكذلك حساب كفاءته و كمية الطاقة المفقودة والتي تحدث من جميع جوانب المجمع تحسب من المعادلة الآتية :-

$$Q_{loss} = U_L \cdot A_p \cdot (T_p - T_a) \quad \text{----- (1)}$$

أن معامل الخسائر الحرارية الكلي (UL) هو مجموع كلا من معامل الخسائر الحرارية التي تحدث من صفيحة الامتصاص وتمثل الجزء الأكبر من فقدان وتسمى الخسائر الحرارية العلوية (Top Losses) ومعامل الخسائر الحرارية التي تحدث من جوانب المجمع والتي تسمى الخسائر الحرارية الجانبية ( Edge Losses). هناك عدة علاقات تجريبية لإيجاد معامل الخسائر الحرارية العلوي ولسهولة التعامل مع هذه المسألة استخدمنا علاقة تجريبية آخذين بنظر الاعتبار المقارنة التي قام بها [Datta & Gard] [9] بين العلاقات التجريبية الكثيرة التي أوجدها كلا من [Holtel , Malhatra , Klein , Agrwal & Larson] مع الحل الحقيقي ووجد أن أكثر علاقة تقترب من الحل الحقيقي هي علاقة [Malhatra] لذلك فان المعادلة التجريبية التي سوف نأخذها هي :

$$U_t = \left[ \frac{N}{\frac{C}{T_p} \left[ \frac{T_p - T_a}{N + F} \right]^e} + \frac{1}{h_w} \right]^{-1} + \frac{\sigma(T_p^2 + T_a^2) \cdot (T_p + T_a)}{\frac{1}{d} + \frac{2N + F - 1}{\varepsilon_g} - N} \quad \text{----- (2)}$$

حيث أن ثوابت المعادلة تعرف كالآتي :

$$C = 204.429(\cos \beta)^{0.252} / L^{0.24}$$

$$d = \varepsilon_p + 0.0425N(1 - \varepsilon_p)$$

$$F = \left( \frac{9}{h_w} - \frac{30}{h_w^2} \right) \left( \frac{T_a}{316.9} \right) (1 + 0.091N)$$

$$h_w = 5.7 + 3.8V$$

$$e = 0.251$$

أما الخسائر الحرارية من جوانب المجمع فأنها تحسب بافتراض أن الحرارة تسري بعيد واحد من داخل المجمع إلى خارجه عبر العازل الحراري من المعادلة الآتية :

$$U_e = \frac{K_e}{X_e} \cdot \left( \frac{A_e}{A_p} \right) = \text{-----} \quad (3)$$

وعليه فان معامل الخسائر الكلي ( $U_L$ ) يحسب من العلاقة الآتية :-

$$U_L = U_t + U_e \quad \text{-----} \quad (4)$$

كمية الطاقة الممتصة لوحدة المساحة من المجمع الشمسي تحسب من المعادلة الآتية :

$$Q_{abs} = I_b \cdot A_p \cdot F_t \cdot (\tau_g \alpha_p) \cdot \text{-----} \quad (5)$$

$$F_t = F_d \cdot F_{sh} \cdot (F_d = 0.97 \text{ , } F_{sh} = 0.98)[10]$$

بسبب تعذر الحصول على جهاز قياس الإشعاع الشمسي ، لذلك لجأنا إلى الدراسات النظرية لتقدير شدة الإشعاع الشمسي ( $I_b$ ) المعتمدة في اغلب المصادر ذات العلاقة (ممكن مراجعة المصدر [11] ) . وعليه فان كمية الطاقة الحرارية المخزونة داخل المجمع الشمسي تحسب كالتالي :

$$Q_{u(th)} = Q_{abs} - Q_{loss} \quad \text{-----} \quad (6)$$

أما كمية الطاقة المكتسبة الفعلية فأنها تحسب من المعادلة الآتية :

$$Q_{u(acu)} = MC_w (T_{av} - T_i) / t \quad \text{----} \quad (7)$$

وتحسب كفاءة المجمع الشمسي من المعادلة الآتية :

$$\eta_s = \frac{Q_u}{Q_{abs}} \quad \text{-----} \quad (8)$$

### النتائج والمناقشة

تم اختبار المجمع الشمسي تحت الظروف المختلفة لمدينة بغداد ، وأجريت التجارب على المجمع الذي يميل بزواوية مقدارها ( $45^\circ$ ) درجة عن الأفق وموجه باتجاه الجنوب الجغرافي خلال فصلي الشتاء والصيف ، ابتداءً من شهر شباط إلى شهر تموز من عام (2005). أجريت الاختبارات في أيام مختلفة وبلغ عدد التجارب ثلاثون تجربة وقد دونت القراءات في كل ساعة لجميع المتغيرات وهي ( درجة حرارة الماء و درجة حرارة الهواء الخارجي ودرجة حرارة صفيحة الامتصاص و درجة حرارة الغطاء الزجاجي وسرعة الريح ) . من تلك التجارب والحسابات النظرية التي اجريت على المنظومة الشمسية تم اختيار عدة تجارب مختلفة لتقييم أداء المجمع مثلت نتائجها بشكل رسومات بيانية تبين العوامل المؤثرة في أداء المجمع . الأشكال (5) ، (6) توضح العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي والطاقة الحرارية المكتسبة النظرية

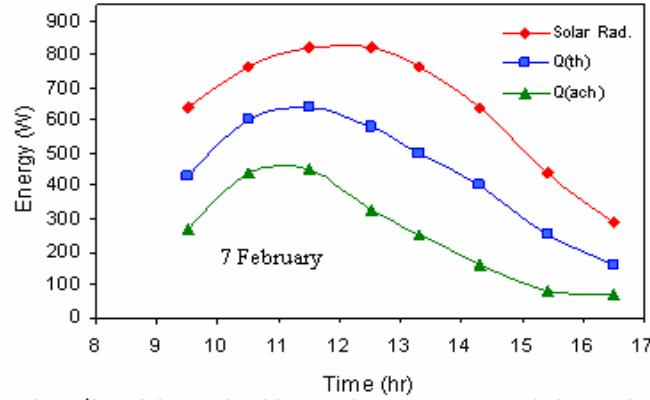
والحقيقية لأيام مختلفة صيفا وشتاء ، نلاحظ زيادة تدريجية في شدة الإشعاع الشمسي إلى أن يصل إلى أعلى قيمة له عند منتصف النهار ثم بعد ذلك يبدأ بالانخفاض التدريجي ، يلاحظ أيضا الشكل العام لتصرف الطاقة النافعة إذ تزداد قيمتها تدريجيا حتى منتصف النهار وتتبع بذلك شدة الإشعاع الشمسي ولكن بفارق وهذا الفارق هو الذي يحدد كفاءة المجمع .

المجمع المستخدم وحسب تصنيف [12] هو الخزان المتدرج حراريا ، الذي يكون التدرج فيه واضحا على طول ارتفاعه من الدخول إلى الخروج بسبب فرق الكثافة والتي تعطي إمكانية سحب الحرارة من الجزء الساخن للخزان وإضافة كمية أخرى من الماء الجديد للجزء البارد وهذا ما يجعل المجمع الشمسي يعمل بكفاءة والشكلان

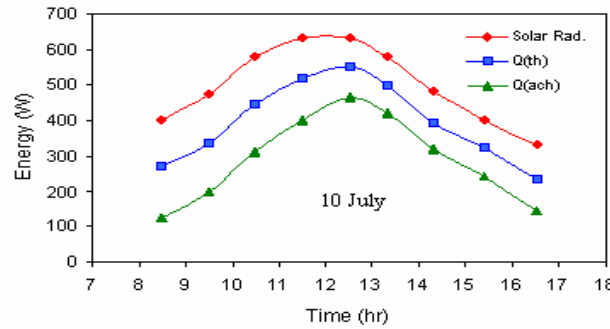
(7) و (8) يوضحان كيفية تغير درجة الحرارة القصوى والدنيا ، إذ وكما موضح في الشكل تستمر درجة حرارة تلك النقطتين واللذان تمثلان قمة المجمع وقعره بالارتفاع في قيمتها مع الاستمرار بالتسخين حتى تصل إلى أعلى مستوى لها عند منتصف النهار وتستمر بعد ذلك في الزيادة ولكن بنسبة اقل بسبب الخسائر الحرارية ( يفضل سحب الماء الساخن في تلك الفترة وتعويضه بماء جديد ) اي ان درجة حرارة الماء في أي موقع داخل المجمع لا تقل في قيمتها أثناء النهار نتيجة اكتساب الماء المستمر للطاقة الشمسية .

أن معدل درجة ماء المجمع تعد من المتغيرات المهمة في تحديد كفاءة المجمع وإمكانية استخدامه ويمكن تعريفها من العلاقة [13] ( الشكل (9) يوضح تغير معدل درجة حرارة ماء المجمع والهواء الجوي خلال ساعات النهار للأيام المختارة (السابع من شباط والسادس عشر من شهر تموز) حيث نلاحظ أن معدل درجة حرارة الماء في زيادة مستمرة حتى نهاية التجربة (عند المساء) وهو مطابق لما ورد في عدة مصادر [14] في الزيادة الساعية ولكنها مختلفة بالقيمة وهذا بالتأكيد بسبب الاختلاف في تصميم المجمع والظروف الجوية . من الوظائف الرئيسية للمجمع الشمسي الخازن خزن الطاقة الشمسية وان هذه الطاقة المخزونة هي دالة لمعدل درجة حرارة الماء داخل المجمع بثبوت المتغيرات الأخرى لذلك فان كمية الطاقة المخزونة هي في زيادة مستمرة خلال فترة الاختبار تبعا لزيادة معدل درجة حرارة الماء ، تم حساب الطاقة المخزونة لكل وحدة حجم من العلاقة [11] والشكل (10) يوضح تغير الطاقة المخزونة مع ساعات النهار لكل وحدة حجم خلال فترة الاختبار . الشكل (11) يوضح كيفية تغير الكفاءة العملية والنظرية الآتية للمجمع الشمسي مع ساعات النهار في حالة عدم وجود حمل ، حيث يلاحظ أن كفاءة المجمع العملية تكون منخفضة خلال ساعات النهار الأولى لان الأشعة الشمسية الواصلة تكون قليلة في ذلك الوقت ، ومن ثم تبدأ بالزيادة حتى منتصف النهار تقريبا والسبب في ذلك الارتفاع الحاصل في درجة حرارة الماء داخل المجمع وكذلك قلة الطاقة المفقودة نسبيا في ذلك الوقت ، بعد ذلك تقل الكفاءة الحقيقية للمجمع وخاصة بعد الساعة الواحدة أو الثانية ظهرا وحسب الموسم إذ تقل الطاقة الحرارية المتجمعة يقابلها زيادة في الخسائر الحرارية . أن استخدام اكثر من غطاء زجاجي يؤدي إلى تقليل الخسائر الحرارية وبالتالي زيادة كفاءة المجمع ، إذ كانت كفاءة المجمع في حالة استخدام غطاء زجاجي واحد تساوي (40%) وكانت تساوي (45%) في حالة استخدام غطاءين زجاجيين ، عند رسم معدل درجات الحرارة للماء داخل المجمع مع ساعات النهار في حالة غطاء زجاجي واحد وغطاءين تحت ظروف متشابهة تقريبا للمجمع نفسه فان الارتفاع بدرجات الحرارة في الحالة

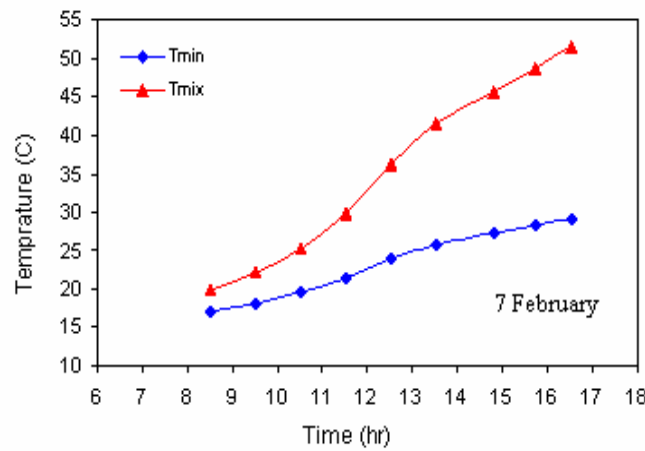
الأولى يكون أقل من الحالة الثانية والشكل (12) يوضح ذلك . لمعرفة إمكانية المجمع المستخدم على تزويدنا بالماء الساخن ليلا تم عزل المجمع بطبقة من الصوف الزجاجي بسُمك (5 cm) وتم تسجيل درجات الحرارة على مدار الليل ليومين متتاليين أحد الأيام كان (18/2/2005) بدون عازل واليوم الآخر كان (19/2/2005) الذي تم فيه تغطية المجمع ليلا ، لوحظ انخفاض قليل في درجات الحرارة للمجمع المعزول يقابله انخفاض حاد في درجات الحرارة أثناء الليل للمجمع غير المعزول ، وكما موضح في الشكل (13) .



شكل (5) يمثل العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي والطاقة المكسبة النظرية والمحظية مع الزمن

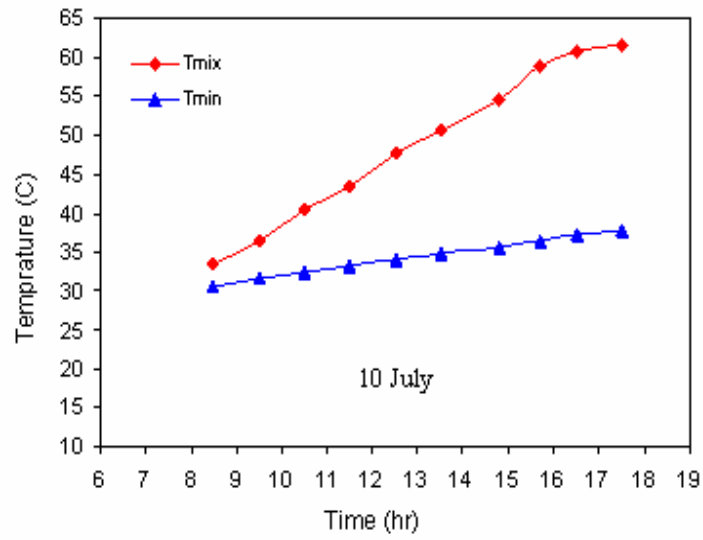


شكل (6) يمثل العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي والطاقة المكسبة النظرية والمحظية مع الزمن

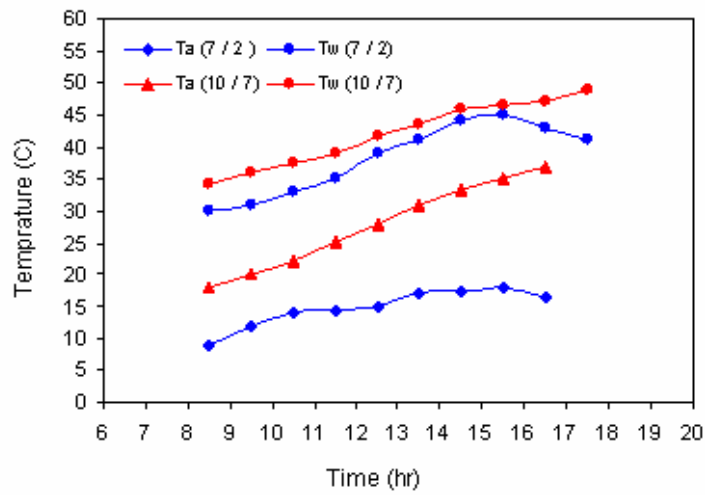


شكل (7) يمثل تغير درجة الحرارة العظمى والدنيا لماء المجمع مع الزمن

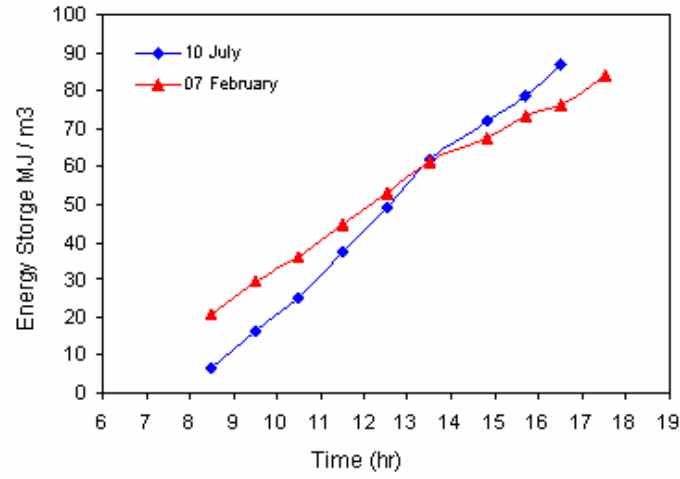




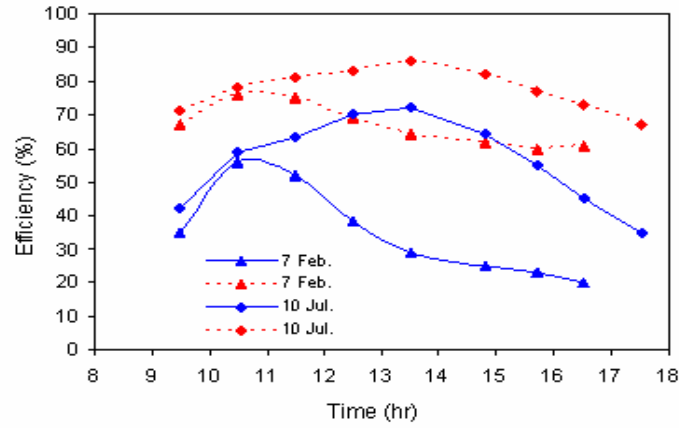
شكل (8) يمثل تغير درجة الحرارة العظمى والدنيا لماء المجمع مع الزمن



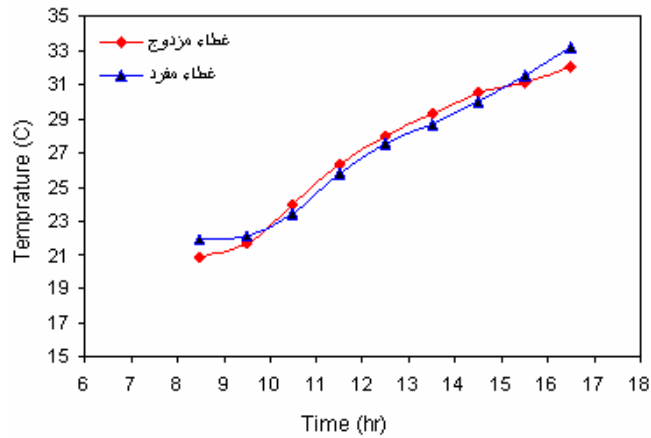
شكل (9) يمثل تغير معدل درجة حرارة الماء والهواء الخارجي مع الزمن



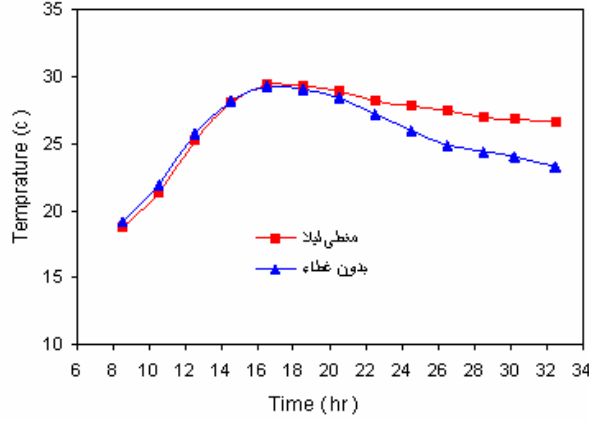
شكل (10) يمثل تغير الطاقة المخزونة داخل المجمع مع الزمن



شكل (11) يمثل تغير الكفاءة الآتية الدقيقة والنظرية مع ساعات النهار



شكل (12) يمثل تأثير زيادة عدد الأغطية الزجاجية على معدل درجة حرارة الماء



شكل (13) تأثير تغطية المجمع ليلا بطبقة من العازل على درجة حرارة الماء المخزونة

### الاستنتاجات

بينت النتائج العملية إمكانية استخدام هذا النوع من المجمعات في تجهيز الماء الساخن للأغراض المنزلية أو استخدامه كسخان ابتدائي مساعد في الأحمال الكبيرة أو التطبيقات التي تحتاج إلى درجات حرارة عالية مما يساعد وبدون شك في ترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية . إذ أمكن تسخين (140 Liter) من الماء إلى درجات حرارة مختلفة بالاستفادة من ظاهرة التدرج الحراري التي تحصل في المجمع بسبب فرق الكثافة والتي تعطي إمكانية سحب الحرارة المطلوبة من الجزء الساخن للمجمع ، كانت أقصى درجة حرارة للماء داخل المجمع في اليوم السابع من شهر شباط (51.5 °C) بينما اقل درجة حرارة كانت (29 °C) وبمعدل درجة حرارة (37 °C) عندما كانت درجة حرارة الماء الابتدائية (16.3 °C) أي رفع درجة حرارة الماء بمقدار (21 °C) .

برهنت النتائج بان إضافة غطاء زجاجي ثاني سوف يقلل من الخسائر الحرارية وبالتالي يحسن من ارتفاع درجة الحرارة داخل المجمع ، وبينت النتائج أيضا إمكانية المجمع على تزويدنا بالماء الساخن خلال الليل في حالة تغطيته بطبقة من العازل إذ لم تتخفف درجة الحرارة خلال الليل سوى (5 °C) بعد تغطية المجمع بطبقة من العازل يقابلها انخفاض حاد في درجات الحرارة خلال الليل في حالة عدم تغطية المجمع بطبقة من العازل .

### الرموز

$\sigma$	ثابت ستيفن بولتزمان ( $W/m^2 \cdot K^4$ )	$Q_{loss}$	مبة الطاقة المفقودة (W)
$I_b$	الإشعاع الشمسي الساقط على سطح المجمع	$Q_{abs}$	كمية الطاقة الممتصة (W)
	والذي يغيره $Q_{th}$ درجة الحرارة العظمى والذنبيا لماء المجمع مع الزمن ( $W/m^2$ )		كمية الطاقة المفيدة (W) شكل (7) :يمثل تغير
$(U_t, U_e, U_l)$	معامل الخسائر الحرارية العلوي والجانبى	$Q_{u(acu)}$	كمية الطاقة المفيدة الحقيقية (W)
	والكلي على التوالي ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )	$Q_{u(th)}$	كمية الطاقة المفيدة النظرية (W)
$K_e$	الموصلية الحرارية لطبقة العازل	$(A_p, A_e)$	المساحة السطحية لصفحة الامتصاص الجانبية للمجمع على التوالي ( $m^2$ ) .

$X_c$	( W/m .c ) سمك طبقة العازل (m)	$(T_p, T_a)$	متوسط درجة حرارة صفيحة الامتصاص والمحيط الخارجي على التوالي (° C)
$F_{sh}$	معامل يدخل تأثير الظل الذي يغطي جزء من صفيحة الامتصاص على الاشعاع الشمسي المستلم	$(T_w = T_{av})$ $T_i$	معدل درجة حرارة الماء (° C) درجة حرارة الماء الابتدائية (° C)
$F_d$	معامل يدخل تأثير ذرات الغبار على السطح الخارجي للزجاج على الاشعاع الشمسي المستلم	$(C, d, F, e)$	ثوابت خاصة بالمعادلة التجريبية رقم (2)
$F_t$	المعامل الكلي لتأثير الظل والغبار على كمية الاشعاع الشمسي المستلم	L	سمك الفجوة بين صفيحة الامتصاص والغطاء الزجاجي
$(\tau_g \alpha_p)$	حاصل ضرب امتصاصية صفيحة الامتصاص في نفاذية الغطاء الزجاجي	$(\epsilon_p, \epsilon_g)$	أنبعائية صفيحة الامتصاص والغطاء الزجاجي على التوالي
$\eta_s$	كفاءة الخزن (%)	N	عدد الأغشية الزجاجية
<b>M</b>	كتلة المائع (kg)	$\beta$	زاوية ميل المجمع الشمسي
$(Cp_w)$	الحرارة النوعية للماء (kJ/kg.c)	$h_w$	معامل انتقال الحرارة بالإشعاع بين الغطاء الزجاجي والمحيط (W/m <sup>2</sup> . °C)
t	زمن التشغيل (Sc) .	V	سرعة الريح (m/s <sup>2</sup> )

### المصادر

1. M. J. Khanna " A portable – Type Solar Water Heater " Solar Energy, Vol. 15, pp. 269 – 272, 1973
2. J. C. Mcveigh " Sun Power – An Introduction to the Applications of Solar Energy " Pergamon Press, 1977
3. J. Savoring " Study of Solar Water Heating in Algeria " Proc. UNESCO Conf. New Sources of Energy, Rome,5,93, 1981.
4. T. Muneer " Effect of Design Parameters on performance of Built – In – Storage Solar Water Heater " Energy Conv. & Mgmt , vol. 25, No. 3 , pp. 277-281 , 1985.

٥. وسام حميد عليوي " دراسة عددية وعملية للاقط شمسي خازن هرمي الشكل ذو مقطع مثلث قائم الزاوية " رسالة

ماجستير ، قسم هندسة المكنائن ، الجامعة التكنولوجية ، العراق ، 2004 .

٦. د. نور الدين عبد الله الربيعي " الأفاق العلمية لاستثمار الطاقة الشمسية " الطبعة الأولى ، دار الحرية للطباعة ،

بغداد – 1983 .

٧. مهدي الرياحي " تقدير كمية الأشعاع الشمسي على السطوح المختلفة الأتجاه في العراق خلال الايام الصحاحية " رسالة ماجستير ، كلية العلوم ، الجامعة المستنصرية ، العراق ، 1979 .
8. Jan. F.Kreider & Frank Kreider "Solar Heating and Cooling Engineering Practical Design Economics " Hemisphere Publishing Corporation, 1977.
9. H. P. Garg & G. Datta " The Top Loss Calculation for Flat Plate Solar Collector " Solar Energy, Vol. 32, No. 1, 1984.
١٠. خضير مرزوق " خزن الطاقة الشمسية باستخدام الطبقة الحصوية " رسالة ماجستير ، كلية الهندسة ، جامعة البصرة ، العراق ، 1985 .
١١. سول وايدر " مقدمة في الطاقة الشمسية لطلبة العلوم والهندسة " دار الكتب للطباعة والنشر – جامعة الموصل العراق – 1989 .
12. F. Jager " Solar Energy Application in House Performance and Economics in Europe " Pergaman Press. 1981.
13. A. J. Khalifa "On the Verification of one Dimensional Heat Flow in a horizontal Thermosyphon Storage Tank " Energy Conv. & Mgmt. Vol. 40,P. 961, 1999.
14. M. S. Sodha & N. D. Kaushik " Performance of Collector / Storage Solar Water Heater: Arbitrary Demand Pattern "Energy Conv. & Mgmt. Vol. 21, pp 229-238, 1984