

دراسة أداء الاستخدام الفعال للطاقة الشمسية باستخدام مادة الفرشة المسامية لمدينة كركوك

سعد محسن المشاط* عمر خليل احمد الجبوري** احمد حسن احمد*

*كلية الهندسة-جامعة بغداد **الكلية التقنية-كركوك

الخلاصة

تم في هذه الدراسة تصميم وبناء مجمع شمسي يستخدم مادة الفرشة المسامية (الحجر) كسطح امتصاص للحرارة وكمادة خازنة للحرارة. يميل المجمع الشمسي عن الأفق بزاوية (٤٥°). تم إجراء دراسة نظرية وعملية لأداء المجمع الشمسي في حالة تشغيل مستمر بفعل مضخة هوائية (من التاسعة صباحاً إلى الرابعة مساءً) لمدينة كركوك. بلغت أعلى كفاءة لحظية للمجمع الشمسي حوالي (٢٠%) ووصل أعلى فرق بين درجة حرارة الدخول والخروج للهواء من المجمع الشمسي بحدود (١٠°C).

المقدمة

المجمع الشمسي عبارة عن مبادل حراري (Heat exchanger) له القابلية على تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة مفيدة ويختلف عن المبادل الحراري الاعتيادي في أن الأخير ينجز تبادلاً حرارياً من مائع إلى آخر بمعدلات عالية في حين يقوم المجمع الشمسي بامتصاص الطاقة الشمسية وتجميعها وتحويلها إلى حرارة ومن ثم نقلها بوساطة وسط ناقل للحرارة قد يكون ماءً أو هواءً إلى مجالات الاستخدام النهائية (Duffie, 1981). توجد هناك أنواع مختلفة من المجمعات الشمسية منها المجمعات الشمسية المستوية التي تستخدم للحصول على درجات حرارية متوسطة بحدود (١٠٠°C)، والمجمعات المركزية التي تستخدم للحصول على درجات حرارية عالية تصل إلى (٩٠٠°C) (Khana et.al., 1967). فكر الباحثون في استخدام الحجر كمادة خازنة للطاقة في المجمعات الشمسية منذ مدة طويلة لرخص ثمنه وتوفره في الطبيعة خاصة في المناطق الجافة. أجرى الباحثون (Garg. et.al., 1981) دراسة عملية على مجمع شمسي مائل عن الأفق بزاوية (٢٠°) ويحتوي على مادة مسامية (حصى) بوصفها مادة خازنة للحرارة وتوصلاً إلى أن درجة حرارة الهواء الخارجية من المجمع تصل ذروتها عند منتصف

النهار، وأن أعلى فرق بين درجة حرارة الهواء الداخلة والخارجة من المجمع تبلغ (٥°C). وأنجز الباحث (Al-Kamil, 1989) دراسة نظرية وعملية على سخان ماء شمسي يعمل في الأساس على الحجر كمادة خازنة للحرارة ووضع معادلتين تقاضليتين الأولى للطور الصلب والثانية للطور السائل ثم دمج المعادلتين بنموذج واحد وحلها عدديا وكانت النتائج النظرية مطابقة للنتائج العملية. أنجزت الباحثة (هادي، ٢٠٠٥) دراسة نظرية وعملية لسخان هواء شمسي أبعاده (٧٥×٥٠ cm). يتكون هذا السخان من لوح ماص على شكل صفيحة مسطحة مطلية باللون الأسود غير اللامع، توجد أسفل الصفيحة الماصة خمس ممرات هوائية مقطوعها مستطيل بإبعاد (١٥×١٠ cm) وكان الفرق بين درجتي حرارة الهواء الداخل والخارج (٣٠°C).

من مراجعة البحوث السابقة لم نجد أي دراسة لهذا المنظومات في المناطق الشمالية من العراق، لذلك تم في هذا البحث دراسة نظرية وعملية لأداء المجمع الشمسي الذي يستخدم مادة الفرشة المسامية (الحجر) كسطح امتصاص للحرارة ومادة خازنة للحرارة، وكان المجمع الشمسي مائل عن الأفق بزاوية (٤٥°) وأجريت التجارب على المجمع الشمسي في مدينة كركوك (٢٨° ٤٤° شرق، ٣٥° ٢١° شمال).

الجانب العملي

أجريت القياسات في مجمع شمسي صنع محليا لأغراض التجميع والخزن في آن واحد.

يتكون المجمع الشمسي من خزان من الحديد المغلون قياس (١٨) وبأبعاد (١×٢,٦ m²) ليعطي سعة خزن (٩,٠٠ m³). صنع الخزان من مادة الحديد المغلون ليتحمل ثقل كمية الحجر المستخدمة. تم طلاء سطح المادة المسامية (سطح الامتصاص) بطلاء اسود قاتم لأمتصاص أكبر كمية ممكنة من الطاقة الشمسية الساقطة وكذلك تم عزل المجمع بالصوف الزجاجي بسمك لتقليل الخسائر الحرارية من جميع جوانبه عدا الجهة المعرضة للأشعة الشمسية. وضع غطاء زجاجي على السطح المائي وكانت المسافة المحصورة بين الغطاء الزجاجي وسطح الامتصاص متساوية إلى (٥ cm) باعتبار أن هذه المسافة تعطي أفضل عزل لانتقال الحرارة بواسطة عملية الحمل والإشعاع من سطح الامتصاص الحار نسبيا إلى الزجاج (Duffie, 1981).

يتم سحب الحرارة من المجمع الشمسي الخازن بفعل دافعة هواء (Air Blower) ذو قدرة حصانية مقدارها (٥,٠ Hp) وتعطي معدل تدفق ثابت للهواء تبلغ (٣١,٧ m³/hour). إن أجزاء ومكونات المجمع الشمسي موضحة في الشكل (١).

قياس درجة الحرارة

استخدمت عدة مزدوجات حرارية (T) نوع (thermocouples) لقياس درجات الحرارة عند النقاط المختلفة للمجمع الشمسي. قيست درجة حرارة كتلة الخزان وهي نفسها درجة حرارة الطبقة السفلية للمادة المسامية باستخدام أربع مزدوجات حرارية موزعة بشكل متساوي، كما استخدمت أربع مزدوجات حرارية أخرى لقياس درجة حرارة الطبقة الأولى للمادة المسامية وذلك بوضعها على ارتفاع (٥ cm) من قعر الخزان وتم توزيعها في الاتجاه العرضي وبأبعاد متساوية، وعلى ارتفاع (١٠ cm) من قعر الخزان، استخدمت أربع مزدوجات حرارية لقياس درجة حرارة الطبقة الثانية للمادة المسامية وتم توزيعها في الاتجاه العرضي وبأبعاد متساوية. كما قيست درجة حرارة سطح الامتصاص باستخدام أربع مزدوجات حرارية وذلك بوضعها على ارتفاع (١٥ cm) من قعر الخزان وهذه المزدوجات موزعة بالاتجاه العرضي وبأبعاد متساوية وثبت المزدوج الحراري على سطح الامتصاص الخارجي باستخدام لاصق خاص لجعله يسجل درجة حرارة سطح الامتصاص فقط بدون تأثير الإشعاع الشمسي عليه، كما تستخدم أيضاً مزدوجان حراريان أحدهما لقياس درجة حرارة دخول الهواء للمجمع الشمسي والأخر لقياس درجة حرارة خروج الهواء من المجمع الشمسي. ربطت جميع المزدوجات الحرارية أعلى بلوحة سيطرة لتسهيل عملية قياس درجات الحرارة للنقاط المختلفة والذي يرتبط بجهاز قياس درجة الحرارة الرقمي (Digital Thermometer). لغرض معرفة درجة حرارة سطح الامتصاص تجمع القراءات الأربع وتقسم على عدد المزدوجات الحرارية، وينطبق هذا أيضاً بالنسبة إلى درجة حرارة كتلة الخزان والطبقات المسامية.

قياس سرعة الهواء في المجمع الشمسي

تم قياس سرعة الهواء الخارجة من المجمع الشمسي باستخدام مقياس سرعة (Turbine Meter) المصنوع من قبل شركة (JDS Flowatch) وبدقة مقدارها (٩٧%). يبلغ مدى سرعة الجهاز (٤ - ٨٩ m/s) وبلغت سرعة الهواء الخارجة من المجمع الشمسي (٣,١٤ m/s).

قياس مسامية الوسط المسامي

تم قياس المسامية بأخذ عينة من حبيبات الحجر (بعد امتصاصها الماء بشكل كافي) ووضعها في أسطوانة زجاجية معلومة الحجم (V_t). ويسلح حجم معلوم من الماء (V_f) داخل الأسطوانة وحسبت المسامية من العلاقة الآتية (1981,Garg.et.al):

$$\dots e = V_f / V_t \quad (1)$$

أعيدت التجربة لعدة مرات وتبين أن المسامية تساوي (٣٣٪).

خطة إجراء التجارب

تم اختبار المجمع الشمسي تحت الظروف المختلفة لمدينة كركوك وأجريت التجارب لعدد من الأيام في الأشهر (شباط وأذار) لسنة (٢٠٠٥) وحسب الجدول (١).

تم تنظيف الزجاج الأمامي للمجمع الشمسي من الأتربة في الصباح ووجه المجمع الشمسي المائل بزاوية (٤٥°) مع الأفق، بدأت عملية قياس درجات الحرارة في الساعة التاسعة صباحاً واستمرت حتى الرابعة مساءً. سجلت درجات الحرارة للنقاط المختلفة وهي (درجة حرارة دخول وخروج الهواء من المجمع الشمسي ودرجة حرارة طبقات المادة المسامية ودرجة حرارة كتلة الخزان) كل ساعة. أخذت قراءات عديدة من أجل دراسة أداء المجمع الشمسي وتم اختيار اليوم (١٧) شباط لعرض النتائج من بين الأيام أعلاه.

جدول (١) عدد أيام الاختبار حسب الأشهر.

الشهر	عدد الأيام التي تم فيها اخذ القراءات
شباط	١٢
اذار	١٠

الجانب النظري

يشمل الجانب النظري حساب كمية الطاقة الشمسية الساقطة على سطح المجمع الشمسي وحساب الطاقة الممتصة والمفقودة، كذلك كيفية حساب الطاقة المفيدة والمخزونة بالإضافة إلى حساب كفاءة المجمع الشمسي وإيجاد صيغة رياضية معتمدة في هذا البحث، تم اعتماد مجموعة من الفرضيات من أجل حساب الأساس النظري لهذه المجمعات الشمسية وهي:

١. يكون انتقال الحرارة ببعد واحد خلال الغطاء الشفاف.
٢. درجة حرارة الغطاء الشفاف ثابتة خلال سمه.
٣. يعكس الغطاء الشفاف الأشعة تحت الحمراء.
٤. انتقال الحرارة ببعد واحد خلال الطبقة العازلة.
٥. يكون انتقال الحرارة ببعد واحد خلال مادة الخزن.
٦. عدم اعتماد خصائص المواد المختلفة على درجة الحرارة.

حساب الطاقة الشمسية الساقطة على سطح المجمع

تم حساب الطاقة الشمسية الساقطة على سطح المجمع الشمسي المائل بزاوية (45°) لمدينة كركوك باستخدام معادلات الإشعاع الشمسي لعدم توفر بيانات لدى الأنواء الجوية. يحسب الإشعاع العمودي المباشر على سطح الأرض ليوم مشمس (I_{DN}) من العلاقة الآتية(Duffie, 1981):

$$I_{DN} = A \times \exp(-B / \sin \alpha) \quad \dots (2)$$

وتحسب مركبة الإشعاع المباشر على سطح مائل (I_T) في المعادلة الآتية:

$$I_T = I_{DN} \times \cos \theta \quad \dots (3)$$

وتحسب الطاقة المنتصنة من المعادلة الآتية(Lunde, 1980):

$$Q_{ab} = F_t \cdot I_T \cdot A_a \quad \dots (4)$$

تحدث عملية فقدان للطاقة من جميع جوانب المجمع الشمسي، وعلى الرغم من كون القسم الأكبر من الفقدان يحدث من سطح الامتصاص إلا أن الفقدان من الجوانب والأسفل له تأثير ملحوظ. وتعطى كمية الطاقة المفقودة من المعادلة الآتية(Lunde, 1980):

$$Q_{LOST} = U_L \times A_a (T_P - T_a) \quad \dots (5)$$

تم إعداد برنامج بلغة فورتران ٩٠ لحل المعادلات الخاصة بحساب الطاقة الشمسية (مرشد، ٢٠٠٦).

حساب الكفاءة

تعرف كفاءة المجمع الشمسي بأنها نسبة الطاقة المفيدة الناتجة من المجمع الشمسي إلى الطاقة الشمسية الساقطة على سطح المجمع الشمسي بموجب المعادلة الآتية (مرشد، ٢٠٠٦):

$$\eta_c = Q_u / Q_I \quad \dots (6)$$

حيث ان Q_I تمثل كمية الطاقة الشمسية الساقطة على سطح المجمع ويحسب من المعادلة الآتية:

$$Q_I = I_T \cdot A_a \quad \dots (٧)$$

وتحسب الطاقة المفيدة (المستغلة) من خلال المعادلة الآتية(مرشد، ٢٠٠٦) :

$$Q_u = \dot{m}_a \times C_a (T_{a.out} - T_{a.in}) \quad \dots (٨)$$

اما كمية الطاقة المخزونة(Q_{ST}) فتحسب بالشكل الآتي(مرشد، ٢٠٠٦) :

$$Q_{ST} = \dot{m}_a \cdot C_a (T_{aF} - T_{ai}) + \frac{m_s \cdot C_s}{\Delta \tau} (T_{SF} - T_{Si}) + \frac{m_c \cdot C_c}{\Delta \tau} (T_{CF} - T_{Ci}) \quad \dots (٩)$$

النموذج الرياضي المعتمد في هذا البحث

استناداً إلى الافتراضات التي تم ذكرها في بداية الجانب النظري والمستخدمة في حل المعادلات الرياضية المتعلقة بأداء المجمع الشمسي للتجميع والخزن وضع نموذجاً رياضياً يعتمد على طريقة الفروق المحددة أساساً له . تكتب معادلة الاتزان الحراري للمجمع الشمسي كما يلي: كمية الطاقة الشمسية الممتصة من الفرشة المسامية + كمية الطاقة الحرارية التي يحملها الهواء الداخل إلى المجمع = كمية الطاقة الحرارية التي يحملها الهواء الخارج من المجمع + كمية الطاقة الحرارية المخزنة في الفرشة المسامية + كمية الطاقة الحرارية الممتصة من قبل الهيكل المعدني للمجمع + كمية الخسائر الحرارية من المجمع الشمسي إلى المحيط الخارجي.

وتوضع معادلة الاتزان الحراري بالصيغة التقاضلية على الوجه الآتي (1989,Al-Kamil) :

$$I_T(\tau_g \alpha_p) e \times F_{Sh} \times F_d \times A_a + \dot{m}_a \times C_a \times T_{ai} = \dot{m}_a \times C_a \times T_{aF} + m_s \times C_s \times dT_s / d\tau + m_c \times C_C \times dT_C / d\tau + U_L \times A_a (T_p - T_a) \quad \dots (١٠)$$

ويمكن كتابة معادلة الاتزان الحراري أعلاه بصيغة الفروق المحددة كالتالي :

$$I_T(\tau_g \alpha_p) e \times F_{sh} \times F_d \times A_a + \dot{m}_a \times C_a \times T_{ai} = \dot{m}_a \times C_a \times T_{aF} + m_s \times C_s \times \Delta T_s / \Delta \tau + m_c \times C_C \times \Delta T_C / \Delta \tau + U_L \times A_a (T_p - T_a) \quad \dots (١١)$$

وبصيغة أخرى:

$$I_T(\tau_g \alpha_p) e \times F_{sh} \times F_d \times A_a = J = \dot{m}_a \times C_a (T_{aF} - T_{ai}) + m_s \times C_S (T_{SF} - T_{Si}) \times 1 / \Delta \tau + m_c \times C_C (T_{CF} - T_{Ci}) \times 1 / \Delta \tau + U_L \times A_a (T_p - T_a) \quad \dots (١٢)$$

وبترتيب آخر للمعادلة أعلاه يؤدي إلى:

$$T_{aF} = T_{ai} + \frac{J}{\dot{m}_a \cdot C_a \cdot \Delta \tau} - \frac{m_s \cdot C_s}{\dot{m}_a \cdot C_a \cdot \Delta \tau} (T_{SF} - T_{Si}) - \frac{m_c \cdot C_c}{\dot{m}_a \cdot C_a \cdot \Delta \tau} (T_{CF} - T_{Ci}) - \frac{U_L \cdot A_a}{\dot{m}_a \cdot C_a} (T_p - T_a) \quad \dots (١٣)$$

النتائج والمناقشة

تم تشغيل المجمع الشمسي بفعل مضخة هوائية من التاسعة صباحاً إلى الرابعة مساءً، وتم قياس وتسجيل درجات الحرارة لطبقات المادة المسامية ودرجة حرارة دخول وخروج الهواء من المجمع الشمسي ودرجة حرارة الجو وعلى ضوء هذه القياسات تم حساب الطاقة المفيدة والمخزونة في المجمع الشمسي وحساب كفاءة المجمع الشمسي. الشكل (٢) يبين تغير درجة الحرارة للمادة المسامية مع الزمن ليوم (١٧ شباط). تزداد درجات الحرارة للطبقات المسامية تدريجياً من الساعة التاسعة صباحاً وتصل ذروتها عند منتصف النهار ثم تتناقص بشكل تدريجي من بعد منتصف النهار، وتبلغ أعلى درجة حرارة يصل إليها الطبقة المسامية تبلغ ($30^{\circ}C$) وذلك في منتصف النهار ويفسر هذا التغير لدرجة الحرارة للمادة المسامية مع الزمن على أن شدة الإشعاع الشمسي تزداد تدريجياً من الساعة التاسعة صباحاً وتصل ذروتها عند منتصف النهار وخلال هذه المدة فإن سطح الامتصاص للمادة المسامية يمتص الإشعاع الشمسي على شكل حرارة وبالتالي ترتفع درجة الحرارة للمادة المسامية بينما بعد منتصف النهار فإن شدة الإشعاع الشمسي تكون في حالة تناقص وبالتالي يتناقص امتصاص الإشعاع الشمسي من قبل سطح الامتصاص للمادة المسامية على شكل حرارة وبذلك تتناقص درجات الحرارة للمادة المسامية.

إن درجة حرارة دخول الهواء للمجمع الشمسي هي نفسها درجة حرارة الجو وهي قيمة متغيرة ولنست ثابتة وتتغير بين فترة وأخرى. يبين الشكل (٣) تغير درجة حرارة خروج الهواء من المجمع النظرية والعملية، بلغت أعلى درجة حرارة خروج فعلية للهواء من المجمع الشمسي ($27^{\circ}C$) وأعلى فرق بين درجة حرارة دخول وخروج الهواء من المجمع الشمسي حوالي ($10^{\circ}C$)، وتتراوح نسبة الخطأ بين الجانب العملي والجانب النظري من (١%) إلى (٦%) وهذا يدل على أن المجمع الشمسي ذو طاقة حرارية مقبولة علاوة على أن درجة حرارة خروج الهواء من المجمع الشمسي بجانبيها العملي والنظري كانت متوافقة مع وجود نسبة خطأ قليلة. يبين الشكلين (٤) و(٥) تغير الإشعاع الشمسي والطاقة المفيدة النظرية والعملية مع الزمن وتغير الطاقة الشمسية والطاقة المخزونة النظرية والعملية مع الزمن ليوم (١٧ شباط) على التوالي، إذ يظهر هذين الشكلين زيادة في الطاقة الشمسية إلى أن تصل إلى أعلى قيمة لها عند منتصف النهار ومن ثم تبدأ بالانخفاض التدريجي. ومن ثم فإن الطاقة المفيدة والطاقة المخزونة تتبعان الطاقة الشمسية ولكن بفارق يحدد كفاءة المجمع الشمسي إذ كلما قل الفارق

ازدادت الكفاءة للمجمع الشمسي. وكذلك وجدنا أن الطاقة المفيدة العملية لا تختلف كثيراً عن النظرية بفارق قليل يصل إلى (٥%) ويعود سببها إلى وجود خسائر غير الخسائر المحسوبة (U_L) كذلك الناتجة عن احتمال تسرب كمية من الهواء من خلال المجمع الشمسي أو عدم فاعلية المادة العازلة، في حين ظهر تقارب بين الطاقة المخزونة العملية والنظرية وتشابه في أوقات كثيرة مع وجود نسبة خطأ . أما الشكل (٦) فتظهر تغير الكفاءة العملية والنظرية مع الزمن ليوم (١٧ شباط). لوحظ من خلال هذا الشكل إن كفاءة المجمع الشمسي تزداد تدريجياً من الساعة التاسعة صباحاً إلى منتصف النهار ثم تبدأ تدريجياً بالانخفاض ويعود سبب ارتفاع الكفاءة خلال ساعات الصباح الأولى إلى انخفاض قيمة الخسائر الحرارية نتيجة انخفاض الفرق في درجات الحرارة بين المجمع والهواء المحيط في ساعات الصباح الأولى ومع مرور الوقت وارتفاع درجة حرارة المجمع، يزداد الفرق بين درجة حرارة المجمع والهواء المحيط وبالتالي تزداد الخسائر الحرارية نتيجة لذلك وتبدأ الكفاءة بالانخفاض. يتبع أيضاً وجود نسبة خطأ بين الجانبين العملي والنظري، يعود سببها إلى وجود خسائر حرارية في المجمع الشمسي ناتجة عن تسرب الهواء الحار من المجمع الشمسي وبكميات عالية وكذلك فاعلية المادة العازلة التي تكون قليلة لا تمنع فقدان الخسائر الحرارية من الجهة السفلية ومن جوانب المجمع الشمسي بشكل كافي مما سبق لوحظ أن كفاءة المجمع الشمسي دون المتوسط إذ أن هناك عوامل طبيعية كثيرة تؤثر على كفاءة المجمع لا يمكن التحكم بها مثل سرعة الرياح الخارجية وعدم صفاء الجو ووجود الأتربة والغبار التي تقلل من شدة الإشعاع الشمسي.

الاستنتاجات: من أبرز الاستنتاجات التي تم استنتاجها في البحث هي:

١. يجهز المجمع الشمسي "هواء ساخنا بحدود (٢٧°C)" وبفرق بين درجة حرارة خروج الهواء من المجمع الشمسي ودرجة حرارة المحيط حوالي (١٠°C) وهذه الدرجة الحرارية درجة مقبولة في الأشهر (شباط و اذار) مما يوحي إلى استخدام هذا النوع من المجمعات لتسخين الهواء للاستخدامات الزراعية والمنزلية وتدفئة حقول الدواجن.
٢. تصل أعلى كفاءة لحظية عملية للمجمع الشمسي حوالي (٢٠%) وهي مقبولة إلى حد ما كما في الشكل (٦).
٣. النموذج الرياضي المعتمد في هذا البحث الذي يعتمد طريقة الفروق المحددة أعطى نتائج نظرية مقاربة للقيم المقيسة عملياً وبنسبة خطأ تتراوح من (١٣%) إلى (١%).

References

- Al-kamil ,M.T.,(1989): A packed bed Solar Collector in Thermo-Syphon Water Heating System, J. Energy, 28p.
- Duffie,J.A.,and Beckman ,W.A.,(1981):Solar Engineering of Thermal Processes, 102 p.
- Garge, Bandyo and Sharma,(1981): Investigation of rock bed solar collector cum storage system, Center of Energy Studies, Indian Technology.
- Khana,M .L.and Singh, N.M.(1967): Industrial Solar Energy, Journal of Solar Energy, Vol.11, 44 p.
- Lunde ,P.J .,(1980): Solar Thermal Engineering space heating and hot water system, John Wiley and Sons.

المصادر

- هادي،حنان مهدي،(٢٠٠٥) : دراسة تجريبية ونظيرية لتحسين أداء سخان هواء شمسي باستخدام مولد الدوامات،رسالة ماجستير ،قسم المكائن والمعدات، الجامعة التكنولوجية،بغداد، ١٢٣ ص.
- مرشد، علي مجید،(٢٠٠٦) : دراسة أداء الاستخدام الفعال للطاقة الشمسية في التدفئة باستخدام مادة الفرشة المسامية، رسالة ماجستير،قسم الميكانيك ،جامعة تكريت، ١٠٤ ص.

A Study of the Active Using of the Solar Energy by Using a Porous Media of Kirkuk city

Saad.M. Al-Mashat* Omar.K. Ahmad** Ahmed.H. Ahmed**

*College of engineering -University of Baghdad **Technical college-
Kirkuk

Abstract

In this study, a solar collector that uses porous media has been designed and constructed as an absorbing and storing heat surface. The solar collector is inclined of (45°) with the horizon. Heat has been absorbed from the collector by forced convection of air. A theoretical and experimental study was made for testing the performance of the collector in continuous operating of an air blower(from 9 a.m to 4 p.m) The highest instantaneous efficiency of the collector was about (20%), while the highest different between air input temperature and air output temperature from solar collector was about($10^\circ C$).

الملاحق:

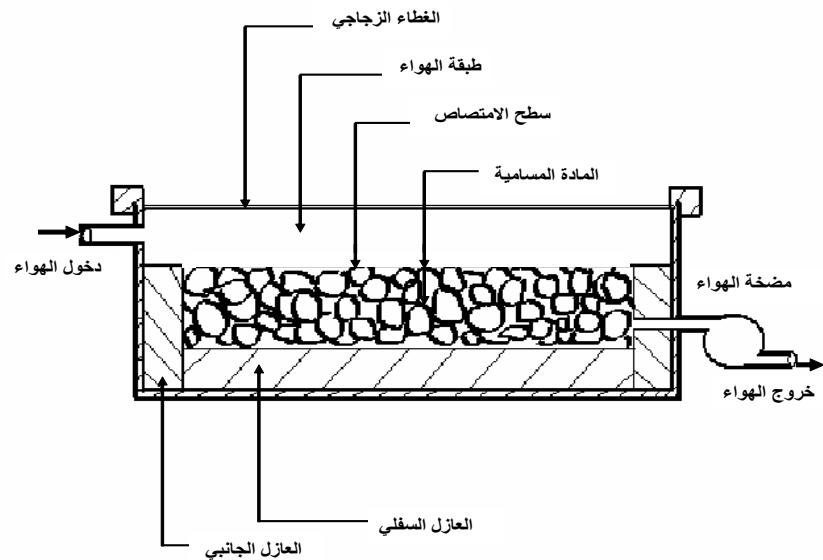
الملحق - أ - (قائمة الرموز)

الوحدة	المعنى	المعنى
W/m^2	الإشعاع الظاهري	A
m^2	المساحة السطحية للمجمع	A_a
$W^\circ C$	معامل اندثار الإشعاع الشمسي	B
$J/kg.^{\circ}C$	الحرارة النوعية للهواء	C_a
$J/kg.^{\circ}C$	الحرارة النوعية لكتلة الخزان	C_c
$J/kg.^{\circ}C$	الحرارة النوعية للمادة المسامية	C_s
-	المسامية	e
-	معامل بسبب الغبار	F_d
-	معامل بسبب الظل	F_{sh}
-	معامل يدخل تأثير خصائص الغطاء الزجاجي	F_t
$W/m^2.^{\circ}C$	معامل إنتقال الحرارة	h
W/m^2	الأشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض	I_{DN}
W/m^2	الأشعاع الشمسي الساقط على سطح مائل	I_T
kg	كتلة الخزان	m_c
kg	كتلة المادة المسامية	m_s
Kg/sec	معدل جريان الهواء	\dot{m}_a
W	طاقة الشمسية الساقطة على سطح المجمع	\dot{Q}_I
W	الحمل الكلي	Q_{net}
W	طاقة المخزونة	Q_{st}
W	طاقة الممتصة	Q_{ab}
W	طاقة المفقودة	Q_{LOST}
$^{\circ}C$	درجة حرارة الجو	T_a
$^{\circ}C$	درجة حرارة سطح الامتصاص	T_P
$^{\circ}C$	درجة حرارة الهواء النهائية	T_{af}
$^{\circ}C$	درجة حرارة الهواء البدائية	T_{ai}

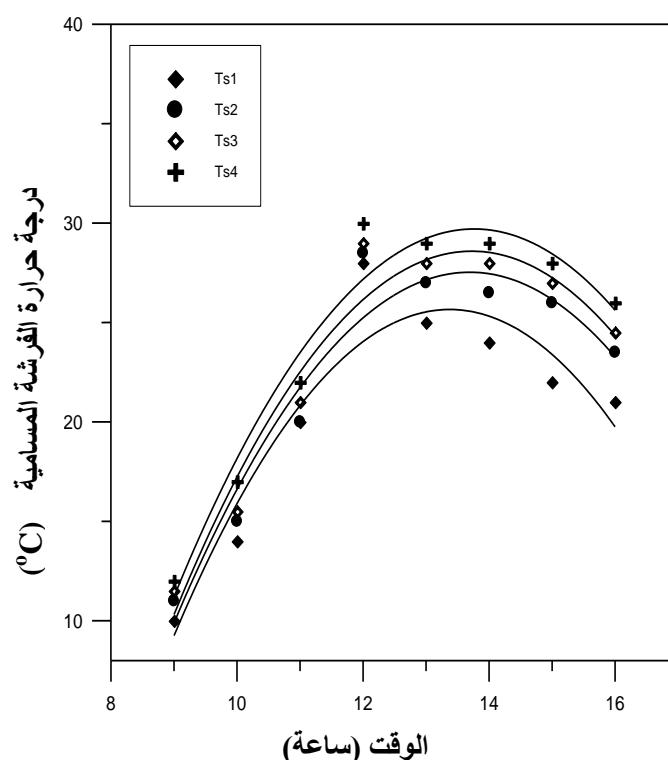
$^{\circ}C$	درجة حرارة كتلة الخزان النهائية	T_{cf}
$^{\circ}C$	درجة حرارة كتلة الخزان البدائية	T_{ci}
$^{\circ}C$	درجة حرارة المادة المسامية النهائية	T_{sf}
$^{\circ}C$	درجة حرارة المادة المسامية البدائية	T_{si}
$^{\circ}C$	درجة حرارة الطبقة الأولى للمادة المسامية	T_{S1}
$^{\circ}C$	درجة حرارة لطبقة الثانية للمادة المسامية	T_{S2}
$^{\circ}C$	درجة حرارة لطبقة الثالثة للمادة المسامية	T_{S3}
$^{\circ}C$	درجة حرارة لطبقة الرابعة للمادة المسامية	T_{S4}
$^{\circ}C$	درجة حرارة دخول الهواء للمجمع	$T_{a.in}$
$^{\circ}C$	درجة حرارة خروج الهواء من المجمع	$T_{a.out}$
$W/m^2.^{\circ}C$	معامل خسائر الحرارة الكلي	U_L
m^3	حجم الوعاء	V_t
m^3	حجم المائع	V_f

قائمة الرموز اليونانية

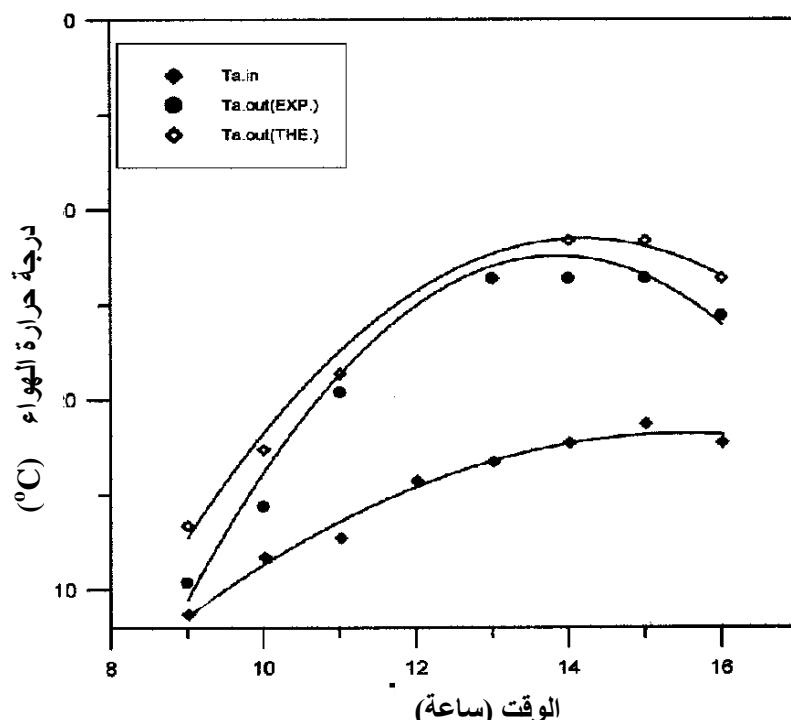
الوحدة	المعنى	الرمز
o	زاوية سقوط أشعة الشمس على سطح أفقي	θ
%	كفاءة المجمع الشمسي	η_c
sec	التغير في الفترة الزمنية	$\Delta\tau$
Kg/m^3	كثافة الوسط المسامي	ρ
o	زاوية ارتفاع الشمس	α



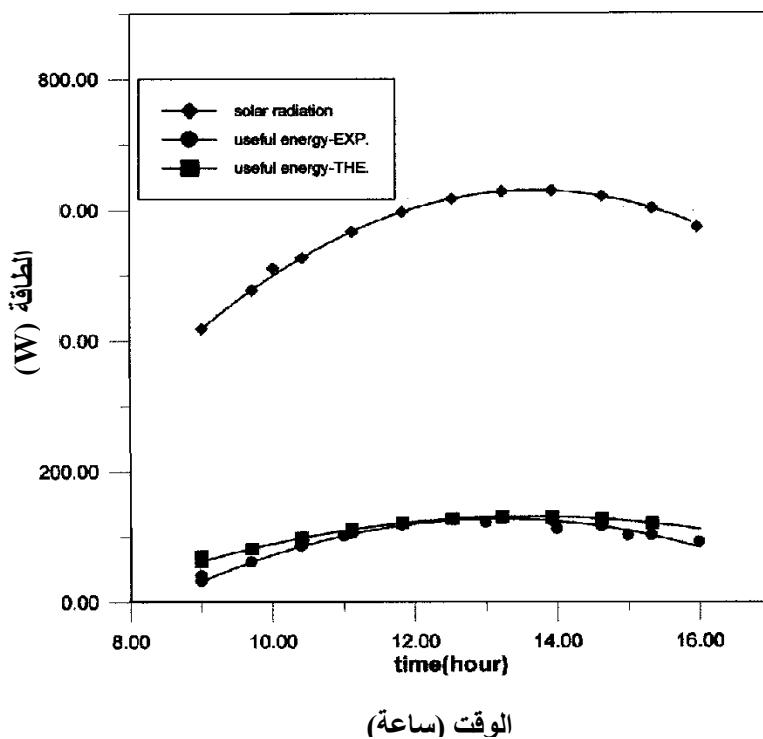
الشكل (١) أجزاء ومكونات المجمع الشمسي



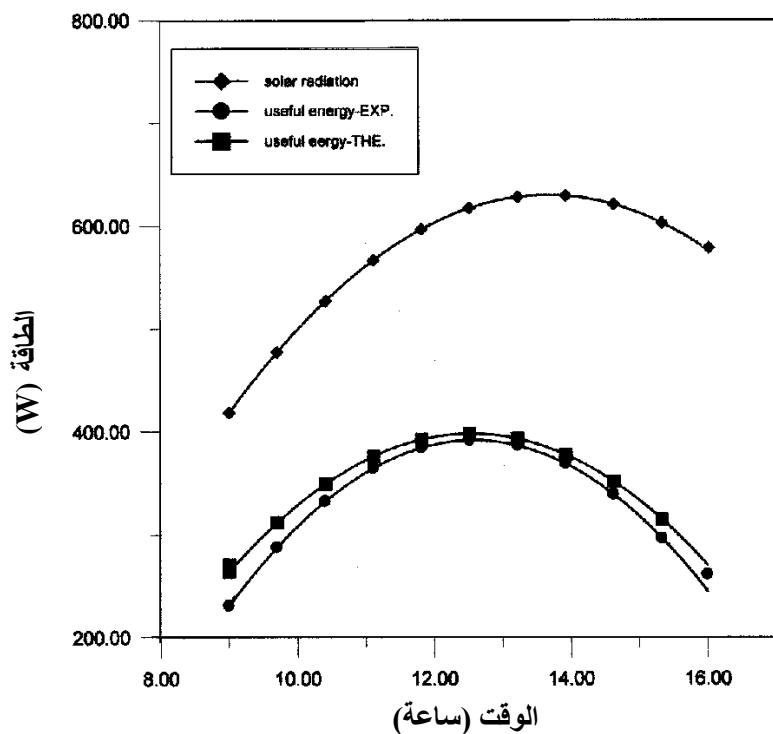
الشكل (٢) تغير درجات الحرارة لطبقات المادة المسامية مع الزمن ليوم (١٧) شباط



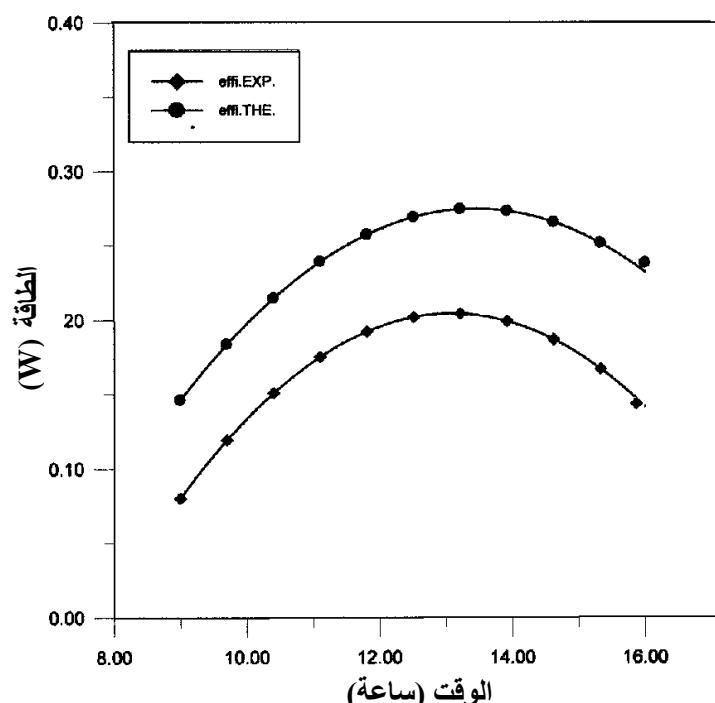
الشكل (٣) تغير درجة حرارة دخول الهواء وخروجه من المجمع الشمسي ليوم ١٧ شباط).



الشكل (٤) تغير الإشعاع الشمسي والطاقة المفيدة مع الزمن ليوم ١٧ شباط)



الشكل (٥) تغير الإشعاع الشمسي والطاقة المخزونة مع الزمن ليوم (١٧ شباط)



الشكل (٦) تغير كفاءة المجمع الشمسي مع الزمن ليوم (١٧ شباط).