

## دراسة تجريبية لتأثير إضافة عواكس على الجوانب الطولانية للمجمعات الشمسية المسطحة على مردودها

د. محمود الحسين

م. أميرة الحسن

قسم هندسة الطاقة/ كلية الهندسة الميكانيكية/ جامعة حلب

### الملخص

تناول هذا البحث دراسة تجريبية حول تأثير إضافة مواد عاكسة للإشعاع (مرايا ، سولوفان) على الجوانب الطولانية للمجمع الشمسي المسطح من نوع (صفيحة ، أنبوب) على أداء المجمع، و ذلك بتصنيع ثلاثة مجمعات بنفس الأبعاد و مثبتة في نفس المكان و تخضع لنفس الظروف الجوية، بحيث يكون تدفق سائل التشغيل متساوي فيما بينها و يثبت على الجانبين الطولانيين للمجمع الأول مرايا بارتفاع 8 cm و يثبت على الجانب الطولانية للمجمع الثاني سولوفان بالارتفاع نفسه. تمت مقارنة أداء المجمعين مع أداء مجمع عادي من حيث المردود و بينت النتائج أن مردود المجمع المزود بالمرايا هو الأفضل و يبدي المجمع المزود بالسولوفان تحسناً في المردود عن المجمع العادي.

الكلمات المفتاحية: مجمع شمسي مسطح؛ العواكس (مرايا، سولوفان)؛ مردود المجمع الشمسي.

## مقدمة

تتبع أهمية الأبحاث التي تختص بدراسة المجمعات الشمسية المسطحة كونها أحد التقنيات الأساسية في تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية ليتم استخدامها في الكثير من التطبيقات الحرارية، و بالتالي فهي تخص تطوير أحد التقنيات المهمة في استغلال الطاقة الشمسية التي تعد المصدر الأهم ما بين الطاقات المتجددة، فتساهم في التخفيف من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون و بالتالي الحفاظ على سلامة كوكبنا، و كذلك تساهم في الاستمرار في إنتاج الطاقة حتى بعد نفاذ الوقود الأحفوري، و تعنى هذه الأبحاث إما بتخفيض تكلفة المجمع الشمسي، أو تخفيض الضياعات الحرارية من المجمع، وقد ركزت الدراسات التي تناولت تخفيض الضياعات الحرارية من المجمع على كيفية عزل صندوق المجمع، و إضافة أغطية خاصة على سطح الصفيحة الماصة ( أسطح انتقائية ) للتقليل من انبعاثيتها للأشعة الحرارية دون أن تنخفض امتصاصيتها، أو استخدام نظام الأغطية المتعددة للتخفيف من الضياعات الحرارية بالحمل و الإشعاع، أو إضافة مواد شفافة عازلة بين الغطاء و الصفيحة الماصة، أو تفريغ الحيز بين الغطاء و الصفيحة لمنع ضياعات الحمل من الحدوث.

### هدف البحث:

بعد نفاذ الأشعة الشمسية من خلال نظام الغطاء تصل الأشعة الشمسية إلى الصفيحة الماصة فتمتص الصفيحة جزءاً كبيراً من الإشعاع حسب خاصية امتصاصيتها، إلا أن بعض هذه الأشعة تنعكس من الصفيحة على الجوانب الداخلية للمجمع و الغطاء، ثم ترتد هذه الأشعة ثانية إلى الصفيحة حسب قابلية انعكاس الإشعاع لتلك الأسطح فتمتص الصفيحة ثانية جزءاً من الإشعاع، و يرتد الجزء الآخر على الجوانب الداخلية للمجمع و الغطاء، و هكذا تتعدد الانعكاسات، و يزداد امتصاص الصفيحة للإشعاع كلما زادت الأشعة المنعكسة عليها. لذلك فإن تزويد الجوانب الداخلية للمجمع الشمسي

المسطح و خصوصاً الجوانب الطولانية له بمواد صقيلة تمتلك قابلية كبيرة لانعكاس الأشعة يمكن أن يزيد من نسبة امتصاص الصفيحة للإشعاع، و بالتالي تخفيض الضياعات الحرارية إلى الوسط المحيط. لذلك تم الاهتمام في هذا البحث تجريبياً بدراسة تأثير إضافة مواد تتمتع بقابلية جيدة للانعكاس (مرايا، سولوفان) على الجوانب الداخلية الطولانية للمجمع الشمسي المسطح على الضياعات الحرارية الناتجة عن انعكاس الإشعاع و أثرها على زيادة المردود.

#### أهمية البحث:

- تشكل نسبة الضياعات الناتجة عن انعكاس الأشعة الشمسية عن الغطاء و الصفيحة الماصة حوالي 16% من الإشعاع الساقط على المجمع، حيث ينعكس جزء منها عن الغطاء، و الجزء الآخر ينعكس عن الصفيحة الماصة، و قد أولى هذا البحث الاهتمام بتخفيض هذه النسبة من الضياعات لما له من أثر في زيادة مردود المجمع و تحسين أدائه.

#### طريقة البحث:

تتضمن

- 1- دراسة مرجعية للأبحاث السابقة التي أنجزت على المجمعات الشمسية المسطحة.
- 2- دراسة نظرية لمردود المجمع الشمسي المسطح.
- 3- تصنيع مجمعات شمسية بتصاميم مختلفة:
  - مجمع شمسي مسطح عادي
  - مجمع شمسي مسطح جوانبه الطولية الداخلية مغلقة بالسولوفان
  - مجمع شمسي مسطح جوانبه الطولية مزودة بمرايا عاكسة
- 4- دراسة تجريبية على المجمعات التي تم تصميمها وتصنيعها (العادية، المزودة بالمرايا، المزودة بالسولوفان) وتتضمن هذه الدراسة قياس شدة

الإشعاع الشمسي و درجة حرارة الوسط المحيط وكلاً من درجة حرارة دخول وخروج السائل من المجمعات في حالة تدفق ثابت لسائل التشغيل وذلك في موقع تركيب المجمعات الثلاثة على سطح بناء واحد.

5- اختبار أداء المجمعات الشمسية المسطحة ذات التصميم العادي والمزودة بالمرآيا والمزودة بالسُلوفان.

وذلك من خلال:

• حساب المردود لكل مجمع من المجمعات حسب شروط

الاختبار

• مقارنة نتائج المجمعات الثلاثة ورسم المخططات البيانية

• مناقشة النتائج

• المقترحات والتوصيات.

## الرموز المستخدمة:

الرمز	الواحدة	البيان
$A_c$	$m^2$	المساحة الفعالة للمجمع
$A_{edge}$	$m^2$	مساحة الحواف الجانبية للمجمع
$C_b$	$W/m.C^{\circ}$	التوصيلية الحرارية لمنطقة الوصل بين الأنابيب و الصفحة
$C_p$	$J/kg.K$	السعة الحرارية للوسيط العامل في المجمع (الماء)
$D_i$	$m$	القطر الداخلي للأنبوب
$F$	-	عامل مردود المجمع
$F_R$	-	عامل إزالة الحرارة من المجمع
$h_{f,i}$	$W/m^2K$	معامل انتقال الحرارة بالحمل القسري داخل الأنابيب
$h_w$	$W/m^2K$	معامل انتقال الحرارة بالحمل بسبب الرياح
$I_{Gt}$	$W/m^2$	شدة الإشعاع الشمسي الساقط على مستوى مائل
$I_r$	$W/m^2$	شدة الأشعة الشمسية المنعكسة من الغطاء و الصفحة
$K_b$	$W/m.C^{\circ}$	معامل التوصيل الحراري للعازل الخلفي
$K_e$	$W/m.C^{\circ}$	معامل التوصيل الحراري للعازل على الحواف الجانبية
$K_f$	$W/m.C^{\circ}$	معامل التوصيل الحراري للسائل داخل الأنابيب
$K_p$	$W/m.C^{\circ}$	معامل التوصيل الحراري للصفحة الماصة
$K_t$	$W/m.C^{\circ}$	معامل التوصيل الحراري للأنبوب
$l$	$m$	طول الأنبوب
$L_b$	$m$	سماعة العازل الخلفي
$L_e$	$m$	سماعة العازل عند الحواف الجانبية
$\dot{m}$	$kg/s$	تدفق الوسيط العامل خلال الأنابيب
$N$	-	عدد الأغشية

n	-	عدد الأنابيب
Nu	-	عدد نوسلت
Pr	-	عدد برانتل
$Q_{loss}$	W	الضیاعات الحرارية الكلية من المجمع
$Q_{sp}$	W	كمية الحرارة المختزنة في المجمع
$Q_u$	W	كمية الحرارة المفيدة التي تنتقل إلى وسيط التشغيل
Re	-	عدد رينولتز
$R_{p,f}$	K/W	المقاومة الحرارية بين الصفیحة و وسيط التشغيل
$T_a$	K	درجة حرارة الهواء المحيط
$T_{f,i}$	K	درجة حرارة دخول السائل إلى المجمع
$T_{f,o}$	K	درجة حرارة خروج السائل من المجمع
$T_{pm}$	K	درجة الحرارة المتوسطة للصفیحة
$U_b$	W/m <sup>2</sup> K	عامل الضیاعات الحرارية لأسفل المجمع
$U_e$	W/m <sup>2</sup> K	عامل الضیاعات الحرارية من الحواف الجانبية للمجمع
$U_l$	W/m <sup>2</sup> K	عامل الضیاعات الإجمالي للمجمع
$U_t$	W/m <sup>2</sup> K	عامل الضیاعات الحرارية للمنطقة العلوية من المجمع
v	m/s	سرعة الوسيط العامل أثناء جريانه في الأنبوب
W	m	الخطوة بين الأنابيب
$\beta$	"درجة"	ميل المجمع الشمسي
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	كثافة وسيط التشغيل (الماء)
$\mu$	gr/s.m	لزوجة وسيط التشغيل (الماء)
$\theta$	"درجة"	زاوية خط العرض للموقع
$\delta_p$	m	سماكة الصفیحة الماصة
$\alpha_p$	-	امتصاصية الصفیحة الماصة
$\tau_g$	-	نفاذية الغطاء الزجاجي
$\eta$	-	مردود المجمع الشمسي

## دراسة مرجعية

- أجريت دراسة من قبل W. Eisenmann, K. Vajen and H. Ackermann<sup>[10]</sup> تتناول الارتباط بين عامل مردود المجمع  $F'$  و سماكة الصفيحة الماصة  $\delta$  و البعد بين الأنابيب  $w$  وذلك لدراسة إمكانية توفير المادة (النحاس في الدراسة) في اللوح الماص والأنابيب دون أن يتأثر عامل مردود المجمع بشكل يؤدي إلى انخفاض مردود المجمع الشمسي. و نتيجة هذه الدراسة أكدت أنه إذا تم توفير محتوى المادة بنسبة 25% و ذلك بالتحكم بـ  $w, \delta$  فإن هذا سيحصل دون أن تتدهور قيمة عامل مردود المجمع.

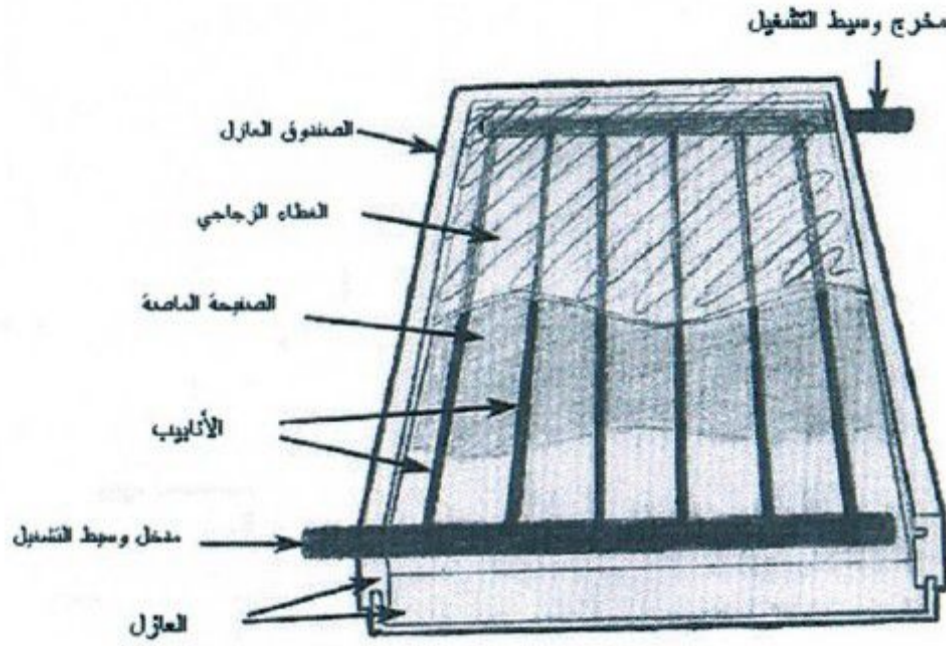
- أجريت دراسة من قبل F.L. Test<sup>[4]</sup> على شكل برنامج تحليلي لدراسة السلوك الساعي للمجمع الشمسي المسطح. تناولت تأثير العديد من العوامل المؤثرة على المجمعات الشمسية المسطحة من خلال الاستفادة من بيانات الأرصاد الجوية لمدة عشر سنوات سابقة ودراسة تأثير الغيوم على مجمل الإشعاع الشمسي وحددت النتائج أن الطاقة الممتصة من خلال المجمع الشمسي والمردود اليومي يعتمد بقوة على درجة حرارة المجمع ومعدل كمية الغيوم في الجو الخارجي، كذلك بينت الدراسة تأثير عدد الأغطية وسرعة الرياح وامتصاصية المجمع على أداء المجمع الشمسي.

- أجريت دراسة من قبل Alireza Hobbi and Kamran Siddiqui<sup>[11]</sup> تتناول كيفية تحسين انتقال الحرارة إلى سائل التشغيل عن طريق إضافة أسلاك ملتوية أو حلزونية أو حواف مخروطية داخل أنابيب السائل بحيث تولد اضطراباً في الجريان يساهم في زيادة انتقال الحرارة إلى سائل التشغيل في المجمعات الشمسية المسطحة.

## الوصف العام للمجمع الشمسي المسطح:

المجمع الشمسي هو نوع خاص جداً من المبادلات الحرارية التي تستخدم الإشعاع الشمسي لكي تسخن السائل العامل. حيث يتألف المجمع المسطح كما هو مبين بالشكل من سطح اللوح الماص مغطى بغطاء أو أكثر و هذا الغطاء إما أن يكون شفافاً أو غير شفاف و لكنه بكلتا الحالتين يسمح بمرور

الإشعاع الشمسي إلى الصفيحة الماصة، و غلاف خارجي معزول ليمنع الضياعات الحرارية الذاهبة إلى الوسط المحيط.



الشكل (1) مجمع شمسي مسطح من نوع (صفيحة، أنبوب) و أجزاءه الرئيسية يثبت عادة المجمع الشمسي المسطح في موقع ثابت (جدار أو سطح منزل) بحيث يواجه اتجاه معين في السماء ليحصل على القيمة الفضلى للإشعاع خلال اليوم وعادة ما يكون هذا الاتجاه نحو الجنوب إذا كان يقع في النصف الشمالي من الكرة الأرضية بحيث تكون زاوية الزوال لهذا السطح تساوي الصفر ويميل المجمع الشمسي بزاوية ميل معينة بحيث تعطي أكبر كمية ممكنة من الإشعاع وتحسب زوايا الميل الفضلى بالاستناد إلى الموقع الجغرافي الذي يثبت فيه المجمع الشمسي المسطح، أي تتعلق زاوية الميل الفضلى بزاوية خط العرض للموقع الذي يثبت فيه المجمع الشمسي و كذلك بحسب الفصول [5,6].

إن التنبؤ بأداء المجمع الشمسي يتطلب تحديد كمية الإشعاع الشمسي التي امتصها المجمع و هي تتعلق بكمية الإشعاع الشمسي الواردة و نفاذية نظام الأغطية و امتصاصية الصفيحة و كذلك يتطلب تحديد كمية الضياعات الحرارية التي يتبادلها مع الجو المحيط بسبب الحمل و التوصيل و الإشعاع



و الذي تم التركيز على تخفيضه من خلال هذه الدراسة هي الضياعات بسبب انعكاس الأشعة عن الصفيحة الماصة حيث بتزويد المجمع بالمواد العاكسة للإشعاع تنعكس الأشعة إلى الصفيحة ثانية وتتعدد الانعكاسات من وإلى الصفيحة مما يؤثر على خاصية امتصاصيتها.

تحليل أداء المجمعات الشمسية المسطحة:

تعطى الموازنة الحرارية في الحالة غير المستقرة بالعلاقة:

$$\frac{dQ_{sp}}{dt} = I_{Gt} A_c - (Q_u + Q_{loss} + I_r A_c) \quad (1)$$

حيث كمية الحرارة المفيدة  $Q_u$  تحسب من العلاقة التالية:

$$Q_u = \dot{m} c_p (T_{f,o} - T_{f,i}) \quad (2)$$

أما بالنسبة للأشعة الحرارية المنعكسة من الغطاء و الصفيحة الماصة فإنه يمكن تحديدها بالعلاقة:

$$I_r = [1 - (\tau_g \alpha_p)] I_{Gt} \quad (3)$$

والغاية من إضافة العواكس على الجوانب الطولانية للمجمع هي التقليل من نسبة الأشعة الحرارية المنعكسة من الصفيحة الماصة أي الاهتمام بزيادة ما تمتصه الصفيحة من الأشعة الحرارية.

و تعطى كمية الحرارة المفيدة في الحالة المستقرة بدلالة عامل الضياعات الإجمالي و درجة حرارة الصفيحة بالعلاقة:

$$Q_u = A_c [(\tau_g \alpha_p) I_{Gt} - u_l (T_{pm} - T_a)] \quad (4)$$

يمكن تحديد أداء المجمع الشمسي المسطح عن طريق تحديد مردوده ويعتبر المردود المقياس الأهم لأداء المجمع و يعرف على أنه النسبة بين الربح المفيد من الطاقة خلال فترة محددة من الوقت إلى الإشعاع الساقط في نفس الفترة الزمنية. ويعطى المردود في حالة الاستقرار كما يلي:

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c I_{Gt}} = \frac{\dot{m} c_p (T_{f,o} - T_{f,i})}{A_c I_{Gt}} \quad (5)$$

وباعتبار أن تحديد درجة الحرارة المتوسطة للصفحة صعباً تجريبياً فإنه بالاعتماد على النتائج المقدمة من Hottel و Wihilier [8] و Bliss [2] يمكن استخدام

$$Q_u = A_c F_R [I_{Gt} \tau_g \alpha_p - u_l (T_{f,i} - T_a)] \quad (6)$$

حيث عامل إزالة الحرارة  $F_R$  يعرف على أنه النسبة بين الريح المفيد الفعلي إلى الريح المفيد الممكن الأقصى إذا كان سطح المجمع عند درجة حرارة الدخول للسائل و يعطى:

$$F_R = \frac{\dot{m} c_p}{A_c u_l} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{A_c u_l F'}{\dot{m} c_p}\right) \right] \quad (7)$$

حيث  $A_c$ : المساحة الفعالة و تتعلق بعدد الأنابيب و طول الأنبوب و تعطى بالعلاقة: [9]

$$A_c = nWL \quad (8)$$

و يمثل عامل مردود المجمع  $F'$  توزع درجات الحرارة على طول الصفحة الماصة بين الأنابيب و يحسب بالعلاقة التالية:

$$F' = \frac{1/u_l}{W \left[ \frac{1}{u_l [D + (W - D)F]} + \frac{1}{\pi D_i h_{f,i}} \right]} \quad (9)$$

و مردود الـ fin يحسب من العلاقة:

$$F = \frac{\tanh m(W - D)/2}{m(W - D)/2} \quad (10)$$

$$M = \sqrt{\frac{u_l}{k_f \delta_p}} \quad (11)$$

حيث  $U_l$ : عامل الضياعات الإجمالي و هو عبارة عن مجموع الضياعات العلوية و السفلية و الضياعات على الحواف كما يلي:

$$u_l = u_t + u_b + u_e \quad (12)$$

$$u_b = \frac{k_b}{l_b} \quad (13)$$

$$u_e = \frac{u_{edge} A_{edge}}{A_c} \quad (14)$$

$$u_e = \frac{k_e}{le} \quad (15)$$

وقد طورت معادلة تجريبية من قبل Klein 1973<sup>[10]</sup> للإجراء الأساسي المقدم من قبل Hottel and woertz<sup>[7]</sup>

$$u_i = \left( \frac{N}{(344/T_p)[T_p - T_a]/(N+f)]^{0.31} + \frac{1}{h_w} \right)^{-1} \quad (16)$$

$$+ \frac{\sigma(T_p + T_a)(T_p^2 + T_a^2)}{[\varepsilon_g + 0.0425N(1 - \varepsilon_p)]^{-1} + [(2N + f - 1)/\varepsilon_g] - N}$$

$$f = 1 - 0.04h_w + 5 \times 10^{-4} h_w^2 (1 + 0.058N) \quad (17)$$

$$h_w = 5.7 + 3.8v \quad (18)$$

و عامل انتقال الحرارة بالحمل ضمن الأنبوب يعطى بدلالة رقم نوسلت بالعلاقة:<sup>[9]</sup>

$$h_{f,i} = \frac{Nuk_f}{D_i} \quad (19)$$

ومن أجل الجريان الصفحي حيث  $Re < 2100$  يكون رقم نوسلت:

$$Nu = 0.023 Re^{4/5} Pr^{1/3} \quad (20)$$

$$Re = \frac{\rho \cdot \dot{v} \cdot D_i}{\mu} \quad (21)$$

$$Pr = \frac{c_p \mu}{k_f} \quad (22)$$

ومن أجل الجريان المضطرب من أجل السوائل التي يكون عدد برانتل ما بين 1→20 يعطى نوسلت بالعلاقة:<sup>[3]</sup>

$$Nu = 0.0155 Re^{0.83} pr^{0.5} \quad (23)$$

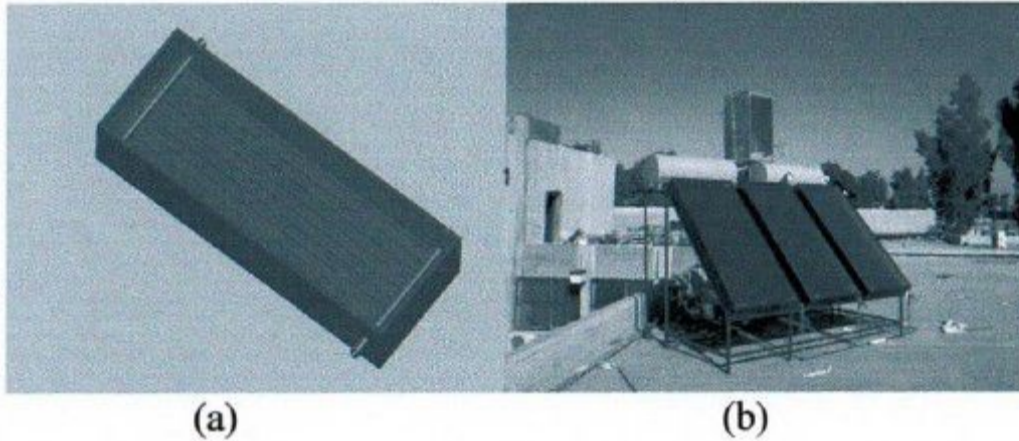
و تعطى المقاومة الحرارية بين الصفيحة و السائل بالعلاقة التالية:

$$R_{p,f} = \frac{1}{h_{f,i} \pi D_i n l} \quad (24)$$

### الدراسة التجريبية

لمقارنة الأداء الحراري للمجمعات ذات التصميم المعدل ( تغليف الجوانب الداخلية للمجمع بالمرآيا أو السولوفان مع مجمع ذي تصميم عادي تم تصنيع ثلاث مجمعات بنفس الأبعاد و المواصفات ولا تختلف عن بعضها البعض سوى أن:

- الأول ذو تصميم عادي
  - الثاني مجمع مزود بمرآيا عاكسة بارتفاع 8 cm على الجانبين
  - الثالث مجمع يغلف جانبيه الداخليين بالسولوفان بارتفاع 8 cm
- و أبعاد كل مجمع مبينة في الجدول (1)



الشكل (2) يبين (a) التصميم العادي للمجمع الشمسي المسطح ويبين (b) المجمعات الشمسية الثلاثة في موقع تثبيتها.

الجدول (1)

زاوية خط العرض لموقع المجمع	$\theta=35.20^\circ$		ظروف الاختبار
ميل المجمع	$\beta=45^\circ$		
طول المجمع	$L_c=1.76\text{ m}$	الأبعاد الكلية للمجمع	أبعاد المجمع الشمسي
عرض المجمع	$W_c=0.76\text{ m}$		
ارتفاع المجمع	$h_c=0.18\text{ m}$		
طول الصفيحة الماصة	$L_p=1.7\text{ m}$	أبعاد الصفيحة الماصة	
عرض الصفيحة الماصة	$W_p=0.75\text{ m}$		
عدد الأغشية	$N=1$		الغطاء
المادة	زجاج		
النفاذية	$\tau_g=0.87$	الطيف الشمسي	
الانبعاثية	$\varepsilon_g=0.88$	الأشعة تحت الحمراء	
الحيز بين الصفيحة والغطاء	$h=0.11\text{ m}$		
المادة	نحاس أحمر مطلي بطلاء أسود ناشف		الصفيحة
الإصلالية الحرارية	$K_p=385\text{ W/m.C}^\circ$		
السماكة	$\delta_p=0.0005\text{ m}$		
الامتصاصية	$\alpha_p=0.98$		
الانبعاثية	$\varepsilon_p=0.98$		
السماكة	$\delta_e=0.05\text{ m}$	العوازل الجانبية	العوازل الجانبية والخلفية
الإصلالية الحرارية	$K_e=0.045\text{ W/m.C}^\circ$	العوازل الخلفية	
السماكة	$\delta_b=0.05\text{ m}$		
الإصلالية الحرارية	$K_b=0.045\text{ W/m.C}^\circ$		
عدد الأنابيب	$n=9$		الأنابيب والسائل
القطر الداخلي	$D=0.01\text{ m}$		
وسيط التشغيل	الماء		
التدفق الكتلي الكلي	$\dot{m}=0.00598\text{ kg/s}$		
الحرارة النوعية	$C_p=4182\text{ J/kg.K}$		
الكثافة	$\rho=998.2\text{ kg/m}^3$		
اللزوجة	$\mu=1.006 \times 10^{-3}\text{ kg/s.m}$		
سرعة تدفق السائل في الأنبوب	$\dot{v}=0.0084\text{ m/s}$		
الإصلالية الحرارية للماء	$k_f=0.597\text{ W/m.K}$		

## **Experimental Study of the Effect of Suffixing reflectors on Longitudinal Sides of the Flat Plate Solar Collectors on Their Efficiency**

### **Abstract**

In the present study, the effect of adding reflectors (mirror, slovan) on the longitudinal sides of flat plate collector has been investigated experimentally. Three collectors - have the same dimensions and flow rate – have been manufactured and located in the same place, and exposed to the same conditions and weather. Mirrors are fixed on the longitudinal sides of the first collector on 8cm height, and slovan on the longitudinal sides of the second collector on the same height.

The result of comparison of the efficiency of the first and the second collector with the normal one reveals that the first collector efficiency is the best, and the second collector has the better efficiency than the normal one.

Keywords: Flat-plate collector; reflectors (mirror, slovan); efficiency of collector.