

# دراسة تجريبية لتأثير ضرب الغطاء الزجاجي الشفاف بالرمل في أداء المجمع الشمسي ذو الصفيحة المستوية

الدكتور المهندس فاروق علي العبود

أستاذ مساعد - قسم هندسة الطاقة

كلية الهندسة الميكانيكية - جامعة حلب

## الملخص :

في هذا البحث أجريت، دراسة تجريبية لتأثير ضرب الوجه الخارجي للغطاء الزجاجي في اللاقط الشمسي بالرمل على المردود الحراري في مدينة دير الزور السورية خلال الفترة 30/03/2011 وحتى 4/06/2011.

تمت مقارنة نوعين من اللواقط الشمسية المسطحة (بغطاء زجاجي عادي ، و بغطاء زجاجي مضروب بالرمل من الوجه الخارجي) المتماثلة في شروط التشغيل: درجة حرارة الوسط الخارجي ، شدة الإشعاع الشمسي ، التدفق الكتلي للماء ، درجة حرارة دخول الماء. بناءً على شروط التشغيل هذه، تم قياس درجة حرارة خروج الماء من المجمعات، ومن ثم تم حساب تغير كمية الحرارة المفيدة و مردود اللاقط الشمسي في كل نوع من المجمعات كنسبة لـ  $(\Delta T/I)$ . نتيجة الدراسة تم التوصل إلى أن قيم درجة حرارة خروج الماء من المجمع وبالتالي كمية الحرارة المفيدة ومردود المجمع "، في حال وجود الغطاء تتعلق بدرجة شفافية الغطاء، حيث تكون أكبر في حالة الغطاء الزجاجي النقي. إضافة لذلك تنخفض قيمة المردود الحراري في اللاقط بارتفاع درجة حرارة الغطاء الزجاجي.

كلمات مفتاحية: الإشعاع الشمسي-اللاقط-الغطاء الزجاجي-المردود الحراري-

## الرموز المستخدمة:

- I - شدة الإشعاع الشمسي ( $W/m^2$ ).
- $T_a$  - درجة حرارة الوسط الخارجي (K).
- $T_p$  - درجة حرارة صفيحة الامتصاص (K).
- $T_{in}$  - درجة حرارة دخول الماء (K).
- $T_{out}$  - درجة حرارة خروج الماء (K).
- N - عدد الأغشية الزجاجية، عنصر حجمي من الغطاء الزجاجي.
- $\alpha$  - معامل امتصاص صفيحة اللاقط
- $Q_{i,i}$  - معدل الطاقة الصادرة عن عنصر الإشعاع من الغطاء الزجاجي ( $W/m^2$ )
- $A_i^R$  - سطح الإشعاع الفعال للعنصر  $i$  من سطح الغطاء
- $\epsilon_i$  - إصدارية عنصر حجمي أو سطحي من الغطاء الزجاجي
- $\epsilon_g$  - إصدارية الغطاء الزجاجي
- $n$  - نسبة سرعة الضوء في الخلاء إلى سرعته عبر الوسط المقاس
- $\sigma$  - ثابت ستيفان - بولتزمان
- $T_i$  - درجة حرارة العنصر  $i$  من سطح الغطاء (K)
- $\Omega_i^D$  - نسبة نفوذ العنصر الحجمي
- $G_{i,i}$  - شدة الإشعاع الشمسي الساقط على العنصر  $i$
- $Q_{i,i}$  - معدل الحرارة المتولد من العنصر الحجمي ( $W$ )

$Q_{T,i}$  - معدل انتقال الحرارة الصادرة ( $W$ )

$h_{ext}$  - عامل انتقال الحرارة بالحمل على سطح الغطاء الخارجي الناتج عن سرعة

الرياح ( $W/m^2 K$ )

$h_{in}$  - عامل انتقال الحرارة بالحمل الناتج عن الهواء بين صفيحة الامتصاص والوجه

الداخلي للغطاء ( $W/m^2 K$ )

$F_{j,i}^4$  - معامل الامتصاص المنظور والمعروف من قبل الباحثين Maruyama و

Aihara

$\Lambda_p, \Lambda_{ext}$  - الإصالية الحرارية لطبقة الهواء بين صفيحة الامتصاص والغطاء

الزجاجي والزجاج على الترتيب ( $W/m.K$ )

$e_{ext}$  - سماكة طبقة الهواء بين صفيحة الامتصاص والغطاء الزجاجي ( $m$ )

$Nu$  - رقم نوسلت اللابيدي

$Gr$  - رقم غراشوف اللابيدي

$P_r$  - رقم برانتل اللابيدي

$g$  - ثابت الجاذبية الأرضية ( $m/s^2$ )

$T_{amb}$  - درجة حرارة صفيحة الامتصاص ( $K$ )

$T_s, T_{min}$  - درجة حرارة السماء ، درجة حرارة الوسط المحيط على الترتيب ( $K$ )

$T_s(nl)$  - درجة حرارة الزجاج من جهة صفيحة الامتصاص ( $K$ )

$\beta$  - زاوية ميل اللاقط الشمسي مقدره بالدرجات

$h_{r,p-g}$  - عامل انتقال الحرارة بالإشعاع من صفيحة الامتصاص السوداء إلى

الزجاج (  $W/m^2 K$  )

$h_{r,s-g}$  - عامل انتقال الحرارة بالإشعاع من الزجاج إلى السماء (  $W/m^2 K$  )

$v$  - اللزوجة الحركية لطبقة الهواء (  $m^2/s$  )

$(\tau\alpha)_{eff}$  - معامل الامتصاصية الفعالة لمجموعة صفيحة الامتصاص-الغطاء

الزجاجي

### 1- مقدمة:

تعتبر الطاقات المتجددة في الوقت الحالي مفتاحاً للتنمية والطاقة المستدامة، والحد من التلوث البيئي ورفع كفاءة الاقتصاد المستدام. من ناحية أخرى فإن تزايد أسعار الوقود الأحفوري والتغير المناخي والقيود التي وضعتها اتفاقية كيويتو، زاد من أهمية البحث عن مصادر الطاقة المستدامة.

تلعب الطاقة الشمسية دوراً جلياً في تعزيز تطور الطاقة المتجددة والمستدامة، فهي أحد أهم مصادرها، كما أن أحد أشكال توليد الطاقة من الطاقة الشمسية هو توليد الطاقة الحرارية، بشكل مباشر أو باستخدام اللواقط الشمسية بأنواعها المختلفة المسطحة، القطعية أو المركزة.

إن أنظمة تسخين الماء باستخدام الطاقة الشمسية هي الشكل الأكثر شيوعاً في البلدان، التي تتمتع بمعدل إشعاع شمسي جيد، كما هو الحال في بلدان حوض المتوسط، وبالأخص على شواطئه الجنوبية والشرقية حيث تستخدم غالباً هذه الأنظمة

في تسخين الماء بدلاً من الطاقة الكهربائية أو الطاقة الناتجة عن حرق الوقود الأحفوري.

بشكل عام تعتبر اللواقط الشمسية ذات الصفيحة المستوية الأكثر استخداماً في تسخين الماء ويستخدم فيها صفيحة امتصاص معدنية مع الأغشية لتحويل طاقة الإشعاع الشمسي المباشر إلى حرارة تنتقل عبر وسيط ناقل للحرارة كالماء. لقد اقترحت الكثير من التصميمات الهندسية لأنواع مختلفة من اللواقط الشمسية المسطحة، وقد أجريت الكثير من الأبحاث لمقارنة أداء مختلف أنواع التصميمات وصنفت هذه المقارنات ضمن: الأداء الحراري، عمر التصميم، وكلفته [1].

يمكن برمجة الأداء الحراري لمختلف أنواع اللواقط الشمسية المسطحة تبعاً لعوامل معقدة مثل: معطيات الأرصاد الجوية، درجة حرارة الوسط المحيط، شدة الإشعاع الشمسي، سرعة الرياح، الخ...، تصميم النظام، شروط التشغيل، وحيث أن الشروط الخارجية لا يمكن التحكم بها أو تعديلها، لذا فإن أداء اللواقط الشمسية المسطحة يمكن أن يتحسن إما عن طريق شروط التشغيل لمكونات اللاقط الشمسي، وتعطى هنا عناية خاصة لغطاء اللاقط الشمسي "عدد الأغشية وشفافيتها" واختيار صفيحة الامتصاص من مكونات التصميم [2].

يعتبر الغطاء الزجاجي خياراً جيداً للأجهزة الحرارية الشمسية، حيث أنه يمتص الأشعة تحت الحمراء infrared radiation (IR) الصادرة عن صفيحة الامتصاص، مما يقلل من تأثير ظاهرة البيت الزجاجي، ومن جهة ثانية فإن لاستخدام الأغشية الزجاجية في المناطق النائية محذورين: كلفة إنشاء مرتفعة، وقابليته للكسر خلال النقل والاستخدام [2]، لهذا أوصى عدد من الباحثين استخدام الأغشية البلاستيكية الشفافة لما لها من خفة الوزن ومقاومتها لصدمات، إلا أن لها محذور هو تدني شفافيتها بزيادة مدة

**2- أهمية البحث:**

تشير الدراسات إلى النمو المتزايد في الطلب على الطاقة عالمياً حيث وفقاً لتقرير الصادر عن الهيئة الدولية للطاقة IEO2007 يتوقع نمو استهلاك الطاقة في الفترة 2004-2030 بحدود 57% وسيكون هذا النمو على أشده في البلدان النامية خارج مجموعة التعاون الاقتصادي للبلدان المتطورة الثمانية OECD وخاصة في الصين والهند حيث يتطلب النمو الاقتصادي في هذه البلدان زيادة استخدام الطاقة، حيث يزيد استعمال الطاقة في البلدان الآسيوية خارج مجموعة التعاون الاقتصادي للبلدان المتطورة على ثلث القيمة المتوقعة تقريباً وهذا يشكل تحدياً حقيقياً عالمياً. من جهة أخرى فإن تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون أحد أهم عناصر الغازات الدفيئة المسببة لظاهرة البيت الزجاجي في الغلاف الجوي يزداد سنوياً بمعدل 0.5% والسبب الرئيسي لذلك الانبعاثات الناتجة عن حرق الوقود الأحفوري للحصول على الطاقة، وهو من العناصر المسببة للتغيرات المناخية كما يشير تقرير IEO2007 إلى أن إصدار العالم من غاز  $CO_2$  سيرتفع بشكل طردي من  $26.9 \times 10^{12} \text{kg}$  في العام 2004 حتى  $33.9 \times 10^{12} \text{kg}$  في العام 2015 وسيصل إلى  $42.9 \times 10^{12} \text{kg}$  في العام 2030 بزيادة 59% عن المتوقع .

يعد تزويد الطاقة من مصادر طبيعية أحد أهم متغيرات مقومات مجتمع التنمية المستدامة، فالطاقة الشمسية هي أكبر مصادر الطاقة المستدامة بما يصل الأرض من طاقة في الساعة  $6.3 \times 10^{20} \text{J}$  في حين أن ما تستهلكه البشرية في السنة  $4.7 \times 10^{20} \text{J}$  وفقاً لتقديرات العام 2004.

بشكل الاستثمار الحالي للطاقة المتجددة مانبته تقارب 7% من الاستهلاك الكلي للطاقة للعام 2004 . مما سبق نلاحظ أن وجود فجوة هائلة بين الاستعمال الحالي للطاقة الشمسية 4% والطاقة الهائلة المتوفرة غير

المستثمرة، مما يفرض تغييرات مستقبلية كبيرة على أبحاث الطاقة وتكنولوجيا المواد المستخدمة في تحويلها.

يلعب الزجاج دوراً هاماً في مواجهة التغيرات المناخية بسبب تميزه في حفظ الطاقة، وهو ما يتفق مع الأبحاث الهادفة لرفع المردود الحراري لأجهزة اللواقط الشمسية ذات الصفيحة المستوية، المستخدمة في تأمين الماء الساخن وذلك عن طريق التحكم بالعوامل المختلفة من تخفيض الضياعات الحرارية من قاعدة وحواف اللواقط الشمسية ومن خلال الأغشية الشفافة كالزجاج أو البلاستيك، التي تلعب دوراً هاماً في تحديد كفاءة اللواقط الشمسية [3].

## 2-1 هدف البحث:

يهدف البحث الحالي إلى بيان تأثير ضرب السطح الخارجي للغطاء الزجاجي بالرمل في اللاقط الشمسي ذو الصفيحة المستوية وذلك عن طريق إجراء دراسة مقارنة بين نوعين من اللواقط الشمسية المتماثلة في شروط التشغيل والأبعاد الهندسية ذو غطاء زجاجي صافٍ وآخر ذو غطاء زجاجي مضروب بالرمل.

## 3- طرق البحث:

تتضمن طرق البحث:

- الدراسة مرجعية .
- الدراسة نظرية .
- حساب المردود الحراري في اللاقط الشمسي ذو الصفيحة المستوية.
- رسم المخططات البيانية التي توضح النتائج التي سيتم التوصل إليها.
- النتائج والمناقشة .
- المقترحات والتوصيات.

## 4- الدراسة المرجعية :

في الواقع هناك الكثير من الأبحاث حول الأداء الحراري في اللواقط الشمسية ذات الصفيحة المستوية والتي تستخدم الغطاء الشفاف، الذي يمثل أحد

المكونات الهامة في أنظمة التسخين الشمسية ، بنوعيه الزجاجي والبلاستيكي فقد أظهر S.Maruyama,[4]M.Khoukhi تأثيراً هاماً للعلاقة اللاخطية للتبادل الحراري بالإشعاع بين صفيحة الامتصاص السوداء والغطاء الزجاجي على منحني المردود الحراري في اللاقط الشمسي، كما أن معامل الفقد الحراري من اللاقط الشمسي ليس ثابتاً بل تابعاً لدرجة الحرارة عندما يكون انتقال الحرارة بالإشعاع هو المائد.

كذلك قام S.Maruyama,[5]M.Khoukhi بدراسة لاحقة لتأثير انتقال الحرارة بالحمل الخارجي على منحني المردود الحراري في اللاقط الشمسي ووجد أنه عندما يكون انتقال الحرارة بالحمل هو سائداً مقارنة مع انتقال الحرارة بالإشعاع، فإن علاقة المردود الحراري أقل انحناءً وأقرب للعلاقة الخطية. كذلك وجد تأثير هاماً لدرجة الحرارة الوسطية للغطاء الزجاجي وسرعة الرياح على المردود الحراري .

في دراسة أخرى لتأثير الخواص البصرية والخواص الحرارية على أداء اللاقط الشمسي المسطح قام بها B.Hellstrom وآخرون،[6] ووجدوا أن إضافة طبقة من التفلون إلى الغطاء الزجاجي كمادة مقاومة للانعكاس يرفع امتصاصية الصفيحة  $\alpha$  للإشعاع الشمسي عند درجة حرارة تشغيل  $50^{\circ}\text{C}$  من 95% حتى 97% ويقلل من إصداريتها  $\epsilon$  من 0.10 حتى 0.05 وهذا يمثل زيادة في الأداء السنوي للاقط الشمسي بنسبة 6.7% ، وعند استعمال طبقة التفلون على شكل خلايا العسل يزداد بنسبة 12.1% عند نفس درجة حرارة التشغيل. تشير الدراسة السابقة إلى أن دمج التحسينين السابقين، زيادة امتصاصية صفيحة الامتصاص واستخدام طبقة التفلون على شكل خلايا العسل، يحسن الأداء السنوي للاقط الشمسي بنسبة 24.6% من أجل درجة حرارة تشغيل  $50^{\circ}\text{C}$ .

في دراسة لأمتية الأداء الحراري لمخانات الماء الشمسية ذات الصفيحة المستوية أجريت في مدينة تطوان بالمغرب العربي وقام بها H.Dagdougui

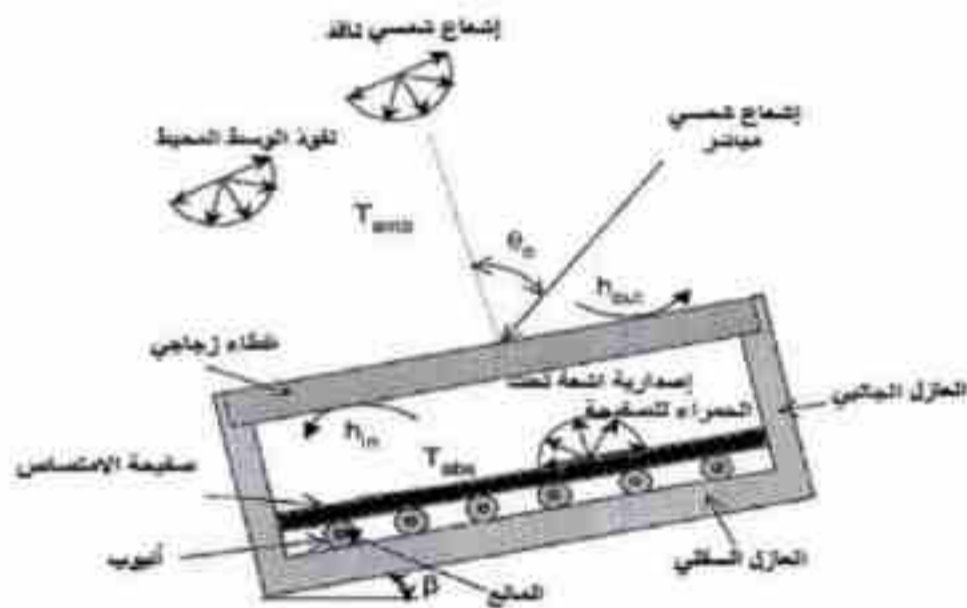


[2] تهدف لدراسة تأثير عدد الأغطية وأنواعها على الفقد الحراري الأعظمي من اللاقط الشمسي وذلك لتمكين مصممي هذه التجهيزات باتخاذ القرار بتصنيع النموذج الأمثل من حيث التدفق النوعي ومساحة اللاقط المسطح المثلى وذلك للحصول على توافق أمثل بين المردود الحراري للاقط الشمسي ودرجة حرارة خروج الماء منه، وقد خلصت الدراسة بالنتيجة، إلى أن هناك تأثيراً ملحوظاً لمعدل التدفق الكتلّي على الأداء الحراري لسخان الماء الشمسي بينما لا يوجد تأثير ملحوظ لمساحة اللاقط الشمسي.

معاً تقدم نلاحظ في الأدبيات العلمية غياب أي دراسة لتأثير ضرب غطاء اللاقط الشمسي الزجاجي بالرمل على المردود الحراري لذا سنقوم في هذا البحث بدراسة هذا العامل في سبيل الوصول إلى أداء حراري أفضل لسخانات الماء الشمسية.

### 5- الدراسة النظرية:

إن أهم مكونات اللاقط الشمسي ذو الصفيحة المستوية، كما يبدو على الشكل (1) هو: صفيحة الامتصاص ذات اللون الأسود لزيادة الطاقة الشمسية الممتصة حرارياً، الغطاء الزجاجي الذي يقوم بتخفيض الضياعات الحرارية



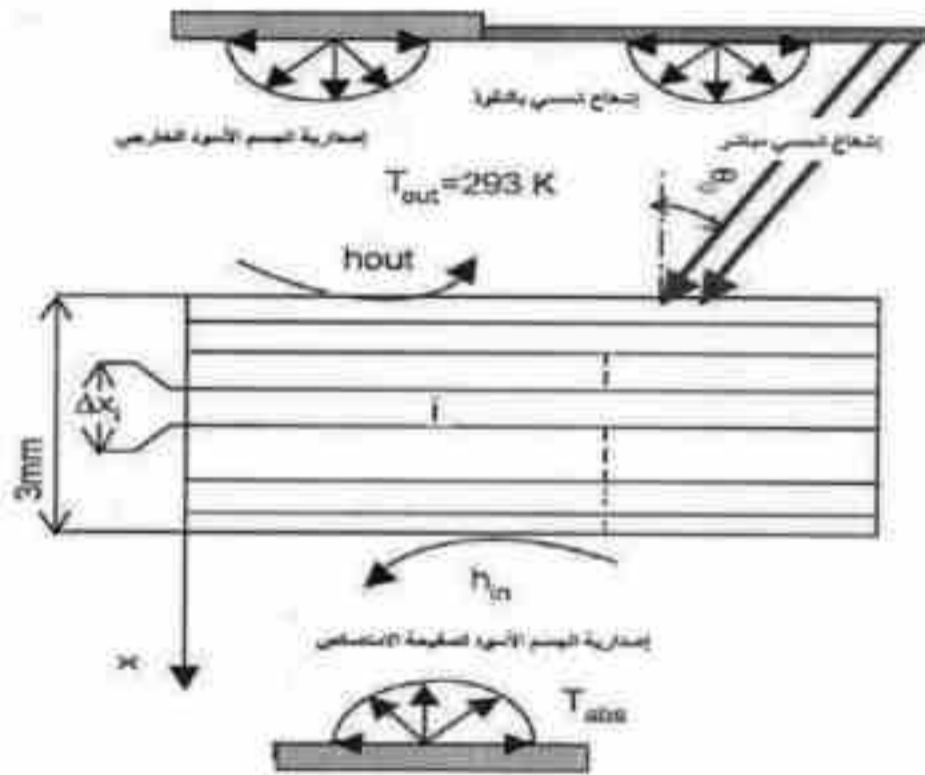
الشكل (1) مخطط بسيط للاقط شمسي ذو صفيحة مستوية يتعرض للإشعاعات الحرارية والشمسية

بالحمل إلى الوسط المحيط عبر السطح الجانبي و قاعدة اللاقط المعزولة وتقليل الضياعات الحرارية بالتوصيل وفق ما تسمح به أبعاد اللاقط. في هذه الدراسة سنهمل الضياعات الحرارية بالتوصيل عبر قاعدة وجوانب اللاقط الشمسي.

### 5-1 - انتقال الحرارة بالإشعاع خلال الغطاء الزجاجي:

يتعرض الغطاء الزجاجي في اللاقط الشمسي إلى مجموع ثلاث أشكال من الإشعاع الشمسي: المباشر، النافذ، والإشعاع الحراري الصادر عن الصفيحة الماصة، كما هو مبين على الشكل (1).

يفترض أن الغطاء الزجاجي يقع بين جسمين أسودين هما الهواء الخارجي والهواء بين صفيحة امتصاص اللاقط والوجه الداخلي للغطاء الزجاجي كما يوضح ذلك الشكل (2)



الشكل (2) - تحليل نموذج الغطاء الزجاجي في اللاقط الشمسي

سيتم الاعتماد على التحليل على تقسيم الغطاء الزجاجي إلى مجموعة من العناصر المنتهية، و سنفترض أن لكل عنصر من الغطاء الزجاجي درجة حرارة ثابتة ومتماثلة وأن نسبة

سرعة الضوء في الخلاء إلى سرعته عبر الوسط المقاس  $n$  ومعدل توليد الحرارة في واحدة الحجم أيضاً ثابتاً ومتماثل خلال العنصر. يهمل تبدد الحرارة ويفترض أن الإصالية الحرارية للزجاج ثابتة [4].

يحدد معدل الطاقة الصادرة عن عنصر الإشعاع من الغطاء الزجاجي بالعلاقة التالية [4]:

$$Q_{j,i,d} = A_i^R (\varepsilon_i n^2 \sigma T_i^4 + \Omega_i^D G_{i,d}) \quad (1)$$

حيث  $T_i$  و  $\sigma, n, \varepsilon_i$  إصدارية الغطاء الزجاجي، نسبة سرعة الضوء في الخلاء إلى سرعته عبر الوسط المقاس للغطاء الزجاجي ثابت ستيفان- بولتزمان ودرجة الحرارة على الترتيب.  $\Omega_i^D$  نسبة نفوذ العنصر الحجمي ،  $G_{i,d}$  شدة الإشعاع الشمسي الساقط على العنصر  $i$  .  $A_i^R$  سطح الإشعاع الفعال. يمكن استنتاج معدل الحرارة المتولدة من تطبيق التوازن الحراري على العنصر المشع:

$$Q_{X,i,d} = A_i^R \varepsilon_i (n^2 \sigma T_i^4 + \Omega_i^D G_{i,d}) \quad (2)$$

بإهمال انتشار الأشعة،  $\Omega_i^D = 0$ ، لذلك فإن معدل انتقال الحرارة بالإشعاع النافذ  $Q_{j,i,d}$  يساوي معدل انتقال الحرارة الصادرة المعرفة بالشكل:

$$Q_{T,i,d} = A_i^R \varepsilon_i n^2 \sigma T_i^4 \quad (3)$$

عندما تكون الجملة مكونة من  $N$  عنصر حجمي و  $(N-2)$  طبقة مشاركة وسطحين حديين، فيمكن كتابة المعادلتين (1) و (2) بالشكل:

$$\begin{aligned} Q_{j,i,d} &= Q_{T,i,d} \\ Q_{X,i,d} &= Q_{T,i,d} - \sum_{j=1}^N F_{j,i}^A Q_{j,i,d} \end{aligned} \quad (4)$$

والتي فيها  $F_{j,i}^A$  معامل الامتصاص المنظور معرف من قبل الباحثين Maruyama و Aihara معدل انتقال الحرارة لطاقة الإصدار الطيفي  $Q_{T,i,d}$  أو المعدل الصافي للحرارة المتولدة  $Q_{X,i,d}$  لكل عنصر مشع معطى ضمن الشرط الحدي. يمكن الحصول على المجاهيل  $Q_{T,i,d}$  أو  $Q_{X,i,d}$  بحل المعادلة (4). يعطى المعدل الكلي الصافي للحرارة المتولدة بالعلاقة:

$$Q_{X,i} = \int_0^{\infty} Q_{X,i,\lambda} d\lambda \quad (5)$$

يعبر عن معدل كمية الحرارة النوعية المولدة بالإشعاع من واحدة الحجم أو واحدة السطح بالعلاقة:

$$q_{X,i} = Q_{X,i} / V_i \quad (6)$$

حيث  $V_i$  حجم العنصر الحجمي أو السطحي.

كثافة التيار الحراري الناتج عن الإشعاع يشق بالعلاقة:

$$q_{i,\lambda}(x) = q_{X,i} + \sum_{i=2}^n q_{X,i,\lambda} \Delta x_i \quad (7)$$

تتضمن  $q_{X,i}$  إصدارية الجسم الأسود الناتجة عن الوسط المحيط، والنفوذ،

ومركبات الإشعاع الشمسي المباشر،  $\Delta x_i$  سماكة العنصر. انظر الشكل (2).

## 2-5 - انتقال الحرارة بالحمل:

بأخذ انتقال الحرارة بالحمل على جانبي الغطاء الزجاجي وبافتراض أن عامل انتقال الحرارة بالحمل على الوجه الخارجي للغطاء الزجاجي  $h_{out}$  الناتج عن سرعة الرياح سيحسب باستخدام المعادلة التجريبية التي اقترحها Watmuff والتي تأخذ الشكل:

$$h_{out} = 2.8 + 3V \quad (8)$$

حيث  $V$  سرعة الرياح بالقرب من الغطاء الزجاجي وتقدر بالـ  $m/s$ .

يحسب عامل انتقال الحرارة بالحمل بين الغطاء الزجاجي وشفيحة الامتصاص  $h_{in}$  وذلك باستخدام معادلة Duffie & Beckman بافتراض الحمل الحر للهواء بين هاتين الطبقتين:

$$h_{in} = \frac{Nu \cdot \Lambda_{air}}{e_{air}} \quad (9)$$

حيث  $\Lambda_{air}$  و  $e_{air}$ ، الموصلية الحرارية وسماكة طبقة الهواء بين شفيحة

الامتصاص والغطاء الزجاجي على الترتيب.

يحسب رقم نوسلت بالعلاقة:

جدول [ 1 ]-المعطيات المستخدمة لحساب عامل النقل الحراري  $h_{in}$

المتغير	الرمز	القيمة	الواحدة
رقم برانتل	$P_r$	0.7	-
سمائة الطبقة الهوائية بين الغطاء وصفحة الامتصاص	$e_{air}$	0.11	m
الإصلالية الحرارية للطبقة الهوائية	$\Lambda_{air}$	0.028 (قيمة وسطية)	W/m.K
اللزوجة الحركية لطبقة الهواء	$\nu$	$19.5 \cdot 10^{-6}$ (قيمة وسطية)	$m^2/s$
زاوية ميل اللاقط	$\beta$	45	degrees

$$Nu = [0.06 - 0.017 (\beta / 90)] Gr^{1/3} \quad (10)$$

حيث  $\beta$  زاوية ميل اللاقط الشمسي مقدرة بالدرجات.

رقم برانتل، المتضمن في العلاقة (10) الذي يدخل في حساب رقم غراشوف ، المفترض أنه لا يتعلق بدرجة الحرارة يؤخذ مساوياً  $P_r = 0.7$  [7]، أما رقم غراشوف فيحدد بالعلاقة:

$$Gr = \frac{g [T_{amb} - T_p(nl)] e_{air}^3}{\nu^2 T_{amb}} \quad (11)$$

حيث  $T_{amb}$  و  $T_p(nl)$  درجة حرارة صفيحة الامتصاص ودرجة حرارة الزجاج من جهة صفيحة الامتصاص على الترتيب، سنفرض أن قيمة  $T_{amb}$  درجة حرارة الهواء هي متوسط درجتى حرارة الغطاء الزجاجي الداخلية وصفيحة الامتصاص.

المعطيات التي تستخدم في هذه الدراسة لحساب  $h_{in}$  مبينة في الجدول [1] حيث تم اعتماد قيم خواص الهواء عند درجة حرارة وسطية للهواء بين الصفيحة والغطاء الزجاجي  $T = 60^\circ C$  [7].

تعطى علاقة انتقال الحرارة بالتوصيل أحادي البعد عبر طبقة الزجاج بالعلاقة:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \Lambda_s \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + S_s \quad (12)$$

حيث  $\rho, \Lambda_s, c_p, \rho$  و  $S_s$  الكتلة النوعية ، السعة الحرارية ، الإصلالية الحرارية للزجاج، الزمن و معدل كمية الحرارة الحجمية على الترتيب.

### 3-5- الطريقة التقليدية للحساب:

لمقارنة الطريقة الحالية في الدراسة مع طرق الدراسة الأخرى ،تم اعتماد

المقارنة مع الطريقة التقليدية، حيث في طريقة الحساب التقليدية يتم تحليل أداء اللاقط بالبداية بكتابة معادلات توازن الطاقة للغطاء من أجل قيمة مفترضة لدرجة حرارة صفيحة الامتصاص وحل معادلة التوازن من أجل درجة حرارة الغطاء، وهذا، كما سنرى، سيتطلب استخدام طريقة الحل بال تكرار.

سنفترض أن السطوح رمادية تجاه الأشعة تحت الحمراء. تكتب علاقة عامل انتقال الحرارة بالإشعاع من صفيحة الامتصاص السوداء إلى الزجاج بالشكل:

$$h_{r,p-g} = \frac{\sigma(T_p^2 + T_g^2)(T_p + T_g)}{\varepsilon_p^{-1} + \varepsilon_g^{-1} - 1} \quad (13)$$

حيث  $\sigma$ ،  $T_p$ ،  $T_g$ ،  $\varepsilon_p$  و  $\varepsilon_g$  ثابت ستيفان بولتزمان، درجة حرارة صفيحة الامتصاص السوداء، درجة حرارة الغطاء الزجاجي، إصدارية صفيحة الامتصاص وتؤخذ (0.98) وإصدارية الغطاء الزجاجي وتؤخذ (0.88) على الترتيب. تعطى علاقة عامل انتقال الحرارة بالإشعاع من الغطاء إلى السماء بالشكل:

$$h_{r,g-s} = \frac{\varepsilon\sigma(T_g^2 + T_s^2)(T_g + T_s)}{\varepsilon_p^{-1} + \varepsilon_g^{-1} - 1} \quad (14)$$

درجة حرارة السماء  $T_s$  تتعلق بدرجة حرارة الوسط المحيط وفقاً للعلاقة، التي أعطاها Swinbank [1] كما يلي:

$$T_s = 0.0552 \times T_{amb}^{1.4} \quad (15)$$

حيث تقدر كل من  $T_s$  و  $T_{amb}$  بالكلفن .

انتقال الحرارة بالحمل على وجهي الغطاء الزجاجي  $h_{in}$ ،  $h_{out}$  يبقيان كما في المعادلتين (8) و (9) على الترتيب، باستثناء رقم غراشوف في المعادلة (11)، فتستبدل  $T_g(nl)$  بدرجة الحرارة الوسطية للزجاج  $T_g$ . تعطى معادلة الفقد الحراري الإجمالي من اللاقط الشمسي بإهمال الفقد عبر قاعدة وجوانب اللاقط بالشكل:

$$U_t = \left\{ (h_{in} + h_{r,p-g})^{-1} + (h_{out} + h_{r,g-s})^{-1} \right\}^{-1} \quad (16)$$

يتم إيجاد درجة حرارة الغطاء بملاحظة أن ضياعات الحرارة من صفيحة الامتصاص إلى الغطاء هي ذاتها، التي تتم من الغطاء إلى الوسط المحيط بإهمال طاقة الإشعاع

المعتصة في الغطاء وسعته الحرارية، لهذا يكون:

$$T_g = T_p - \frac{U(T_p - T_{amb})}{h_{c,p-g} + h_{r,p-g}} \quad (17)$$

لتقدير درجة حرارة الغطاء يتم افتراض قيمة أولية، والتي يتم بناءً عليها حساب كل عوامل انتقال الحرارة ومعامل الفقد الأعظمي، بعد ذلك تستخدم هذه النتائج لحساب  $T_g$  من المعادلة (17). إذا كانت  $T_g$  قريبة من القيمة الأولية المفترضة فلا حاجة لحساب إضافي وفي الحالة الأخرى تستخدم القيمة الجديدة لـ  $T_g$  وتكرر العملية حتى الوصول لأفضل التقرب.

يحدد المردود اللحظي من أجل واحدة المسطح من اللاقط الشمسي بالمعادلة:

$$\eta = (\tau\alpha)_{eff} - \frac{U_t(T_{amb} - T_{amb})}{I} \quad (18)$$

حيث  $(\tau\alpha)_{eff}$  الامتصاصية الفعالة لمجموعة صفيحة الامتصاص-الغطاء

الزجاجي، وتعطى بالعلاقة:

$$(\tau\alpha)_{eff} = \frac{\alpha\tau_g}{1 - (1 - \alpha)\rho_g} \quad (19)$$

والتي فيها  $\alpha$ ،  $\tau_g$  و  $\rho_g$  امتصاصية الصفيحة السوداء، نفاذية الغطاء الزجاجي

ومعامل انعكاس الغطاء المحسوب بمعادلات Fresnel على الترتيب.

بحسب معامل الفقد الحراري الأعظمي  $U_t$  بتطبيق علاقة Klein [7] ويعطى

بالمعادلة:

$$U_t = \left[ \frac{1}{\left( \frac{466}{T_p} \right) \left[ \frac{(T_p - T_{amb})}{(1+f)} \right]^{0.71}} + h_{nat}^{-1} \right]^{-1} + \frac{\sigma(T_p + T_{amb})(T_p^2 + T_{amb}^2)}{\left[ \epsilon_p + 0.0059 h_{nat} \right]^2 + \left[ \frac{(1+f + 0.133 \epsilon_p)}{\epsilon_g} \right] - 1} \quad (20)$$

حيث  $f$  معامل ويعطى بالعلاقة:

$$f = 1.058(1 - 0.04h_{\text{surf}} + 0.0005h_{\text{surf}}^2) \quad (21)$$

### 6- النتائج والمناقشة :

لقد تمت الاختبارات في مدينة دير الزور خلال الفترة من خلال الفترة 05/04 وحتى

10 /4/2011 مواصفات الموقع مبينة في الجدول [2]

جدول [ 2 ]-مواصفات الموقع الذي تمت فيه الدراسة

الواحدة	القيمة	الرمز	المتغير
degrees	51-29.9	$\zeta$	زاوية السم ( تابعة لزاوية الساعة)
degrees	35.5		خط العرض
degrees	40.5		خط الطول
m	215		الارتفاع عن سطح البحر
n	95-96-97-100		رقم اليوم في السنة
degrees	16-18-18-18	$^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة الوسط المحيط
m/s	4.1-3.6		سرعة الرياح المحيطة باللاكط

أما مواصفات المجمعين ،الذين تمت عليهما الدراسة فهي مبينة على الجدول [ 3 ]

جدول [ 3 ]-مواصفات المجمعين التي تمت عليها الدراسة

الواحدة	القيمة	الرمز	المتغير
m	1.76	$\zeta$	طول
m	0.76		عرض
m	0.18		سماعة المجمع
m	1.70		طول
m	0.75		عرض
m	0.0005	$\delta_p$	سماعة الصفيحة
W/m. K	385	$k_p$	الإتصالية الحرارية
-	0.98	$\tau_p$	امتصاصية الصفيحة
-	0.98	$\epsilon_p$	إسدارية الصفيحة
m	0.11	$e_{\text{air}}$	سماعة طبقة الهواء بين صفيحة الامتصاص والغطاء
m	0.05	$\delta_e$	العازل الجانبي
		$\delta_b$	العازل الخلفي



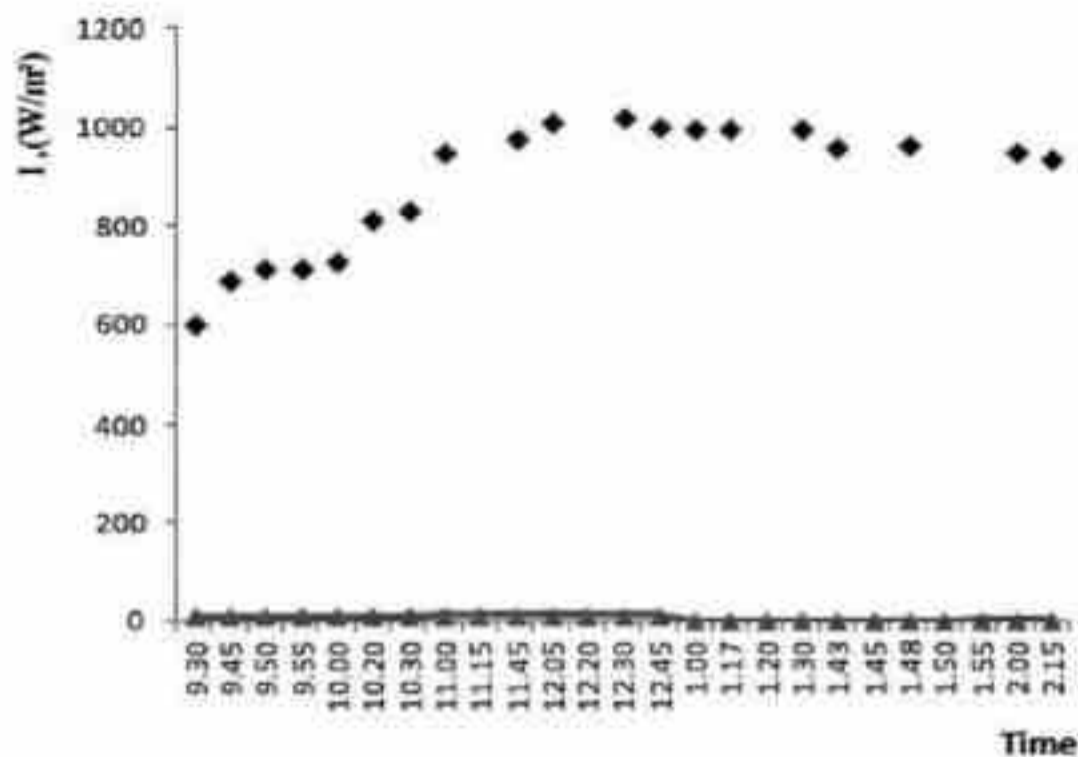
$W/m.K$	0.045	$k_{e,b}$	الإبصالية الحرارية	الأنابيب والسائل
	9		عدد الأنابيب	
$m$	0.01	$d_i$	القطر الداخلي للأنبوب	
$kg/m^3$	998.2	$\rho_w$	كثافة الماء	
$kg/m.s$	$1.006 \times 10^{-3}$	$\mu$	اللزوجة الحركية	
$m/s$	0.008419	$V$	سرعة تنفق السائل	
$W/m.K$	0.597	$k_w$	الإبصالية الحرارية للماء	الغطاء الزجاجي
-	0.87	$\tau_g$	لغونية الغطاء الزجاجي	
-	0.88	$\epsilon_g$	إصدارية الغطاء الزجاجي	
$kg/m^3$	2515	$\rho_g$	الكثافة للزجاج	

بتطبيق المعادلة (20) لحساب معامل الفقد الحراري الأعظمي  $U_1$  حيث حسب العامل  $f$  من العلاقة (21) كتابع لمعامل انتقال الحرارة بالحمل  $h_{conv}$ ، الذي يتعلق بدوره بسرعة الرياح المسجلة كما هو مبين في الجدول [2] ونسجل النتائج في الجدول [4]:

جدول [ 4 ]-نتائج الحساب للمتغيرات اعتماداً على النتائج المسجلة كتابع لدرجة حرارة صفيحة الامتصاص  $T_p$  و اللازمة لحساب المبرود الحراري النظري في اللائط

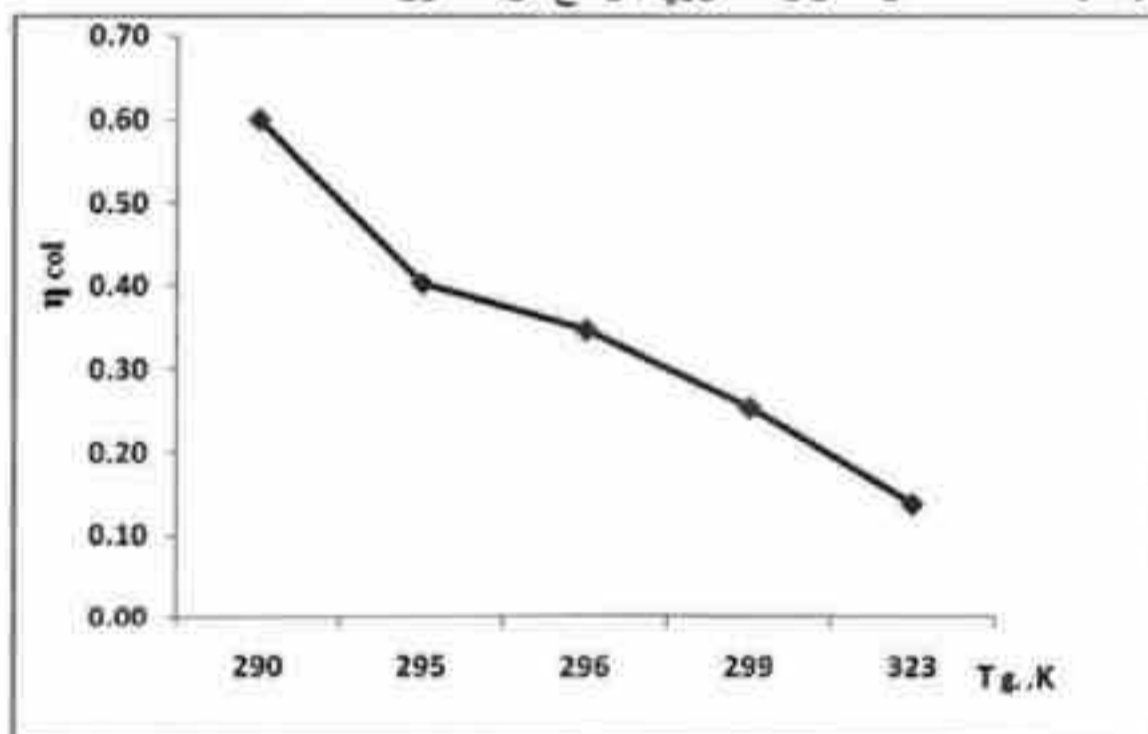
$V (m/s)$ سرعة الرياح	$T_{amb}$ [K]	$T_p$ [K]	$h_{conv}$ [W/m <sup>2</sup> K]	$f$	$U_1$ [W/m <sup>2</sup> K]	$h_m$ [W/m <sup>2</sup> K]
3.4	291	363	13	0.5972	6.3047	2.08
3.6	289	323	13.2	0.5803	5.4800	2.03
3.8	291	348	14.2	0.5637	6.0737	2.33
4.0	291	353	14.0	0.5475	6.1900	2.38
4.1	291	363	15.1	0.5396	6.3768	2.46

بعد إجراء القياسات اللازمة على اللواقط الشمسية للتأكد من سلامة عملها وتمثل النتائج تم تمثيل تغيرات شدة الإشعاع الشمسي كتابع للزمن في المنطقة التي تمت فيها الاختبارات ، ويظهر الشكل (3) هذه التغيرات. يلاحظ من الشكل (3) لزيادة شدة الإشعاع الشمسي و يبلغ حده الأقصى عند فترة الزوال الشمسي حيث تكون زاوية ورود الإشعاع الشمسي أقرب من القائمة.



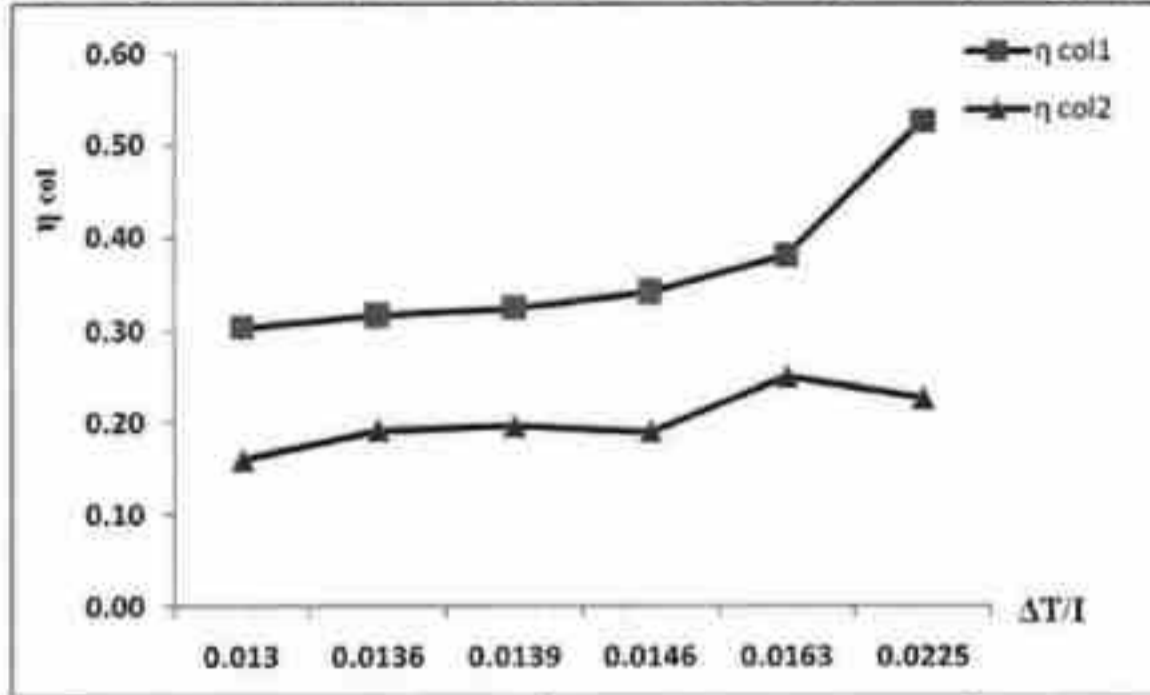
الشكل (3) - تغيرات شدة الإشعاع الشمسي المقاسة في المنطقة المدروسة

الشكل (4) يظهر علاقة مردود الالاقط الشمسي كتابع لدرجة حرارة الغطاء الزجاجي حيث يلاحظ انخفاض المردود الحراري بارتفاع درجة حرارة الغطاء



الشكل (4) - علاقة مردود الالاقط الشمسي بدرجة حرارة الغطاء الزجاجي المصنوبة وفقاً للمعادلة (17)

الشكل (5) يبين نتائج الاختبار لعلاقة مردود اللاقط الشمسي لكل من حالة الغطاء الزجاجي العادي "المنحني العلوي" والغطاء الزجاجي المضروب بالرمل "المنحني الأدنى"



الشكل (5) - علاقة مردود اللاقط الشمسي بـ  $(\Delta T/I)$  من أجل اللاقط ذو الغطاء الزجاجي العادي ( $\eta_{col1}$ ) والغطاء المضروب بالرمل ( $\eta_{col2}$ )

#### 7- المناقشة :

من نتائج الاختبارات، التي أجريت على كل من حالتي اللاقط الشمسي يلاحظ أن هناك تأثيراً سلبياً لارتفاع درجة حرارة الغطاء الزجاجي، كما يشير إلى ذلك الشكل (4) وذلك يرجع إلى انخفاض فعالية انتقال الحرارة بالإشعاع بسبب نقص الفرق بين درجة حرارة الغطاء الزجاجي  $T_p$  ودرجة حرارة صفيحة الامتصاص  $T_{abs}$  إضافة لزيادة الضياع الحراري بالحمل الناتج عن ازدياد الفرق بين درجة حرارة الغطاء ودرجة حرارة الهواء في المنطقة القريبة من الغطاء  $T_{amb}$ .

النتائج على الشكل (5) تشير إلى التأثير السلبى لضرب الغطاء الزجاجي بالرمل على مردود الحراري في اللاقط الشمسي وسبب ذلك يرجع إلى انخفاض كل من معامل النفوذية ومعامل شفافية الغطاء عند ضربه بالرمل، حيث تنخفض قيمة المردود.

## 8- المقترحات و التوصيات:

- مما تقدم من النتائج يلاحظ أن استخدام الغطاء الزجاجي المضروب وجهه الخارجي بالرمل يؤثر سلباً على مردود اللاقط الشمسي وبالتالي لا يوصى باستخدامه نظراً لخفضه كل من معامل النفوذية ومعامل شفافية الغطاء.
- إن ارتفاع درجة حرارة الغطاء الزجاجي في اللاقط الشمسي يقلل من قيمة المردود الحراري نظراً لانخفاض فعالية انتقال الحرارة بالإشعاع بسبب نقص الفرق بين درجة حرارة الغطاء الزجاجي  $T_p$  ودرجة حرارة صفيحة الامتصاص  $T_{ms}$ ، إضافة لزيادة الضياع الحراري بالحمل الناتج عن ازدياد الفرق بين درجة حرارة الغطاء ودرجة حرارة الهواء في المنطقة القريبة من الغطاء  $T_{ms}$ . لهذا نوصي بالمحافظة على نظافة الغطاء الزجاجي في اللاقط الشمسي.

## المراجع :

- 1- SRITHAR .K, MANI .A, 2004 - **Analysis of a single cover FRP flat plate collector for treating tannery effluent.** *Applied Thermal Engineering*, (24) , 873- 883.
- 2- DAGDOUGUI .H, OUAMMI .A, ROBBA .M, SACILE .R - **Thermal analysis and performance optimization of a solar water heater flat plate collector: Application to Tetouan (Morocco).** *Renewable and Sustainable Energy Reviews 15* (2011) 630 -638.
- 3- - DEUBENER .J, HELSCH ., MOISEEV .A, BORNHÖFT. H, **Glasses for solar energy conversion systems.** *Journal of the European Ceramic Society 29* (2009) 1203–1210.
- 4- - KHOUKHILM, MARUYAMA.S - **Theoretical approach of a flat plate solar collector with clear and low-iron glass covers taking into account the spectral absorption and emission within glass covers layer.** *Renewable Energy 30* (2005) 1177–1194.
- 5- KHOUKHILM, MARUYAMA.S - **Theoretical approach of a flat-plate solar collector taking into account the absorption and emission within glass cover layer.** *Solar Energy 80* (2006) 787–794.
- 6- HELLSTROM. B., ADSTEN .M, NOSTELL. P, KARLSSON. B. **The impact of optical and thermal properties on the performance of flat plate solar collectors.** *Renewable Energy 28* (2003) 331–344.
- 7- JOHN A. Duffie, WILLIAM A. BECKMAN.,2006- **Solar Engineering of Thermal Processes.**3<sup>ed</sup> ed. A Wiley-Interscience Publication-919P.

---

## **An Experimental Study Of The Impact Of Sand Cover Striking On The Performance Of Flat Plate Solar Collector**

**Dr. Eng. Farouk Al-Aboud**

**Power Department**

**Mechanical Engineering Faculty**

**Aleppo University**

### **Abstract:**

In this research An-Experimental study of the impact of strike cover glass of solar collector with sand on thermal efficiency, produced in Deir Ezzor city- Syria during the period 30/03 / to 06/04/2011.

Two types of flat plate solar collectors where compared (normal glass cover, and a glass cover outer face tricked by sand) at same operating conditions: outside temperature, solar radiation intensity, mass flow of water, inlet water temperature. Based on these conditions, measured the out flow temperature, and then calculated the change of useful heat and efficiency of solar collector as a function of  $(\Delta T/I)$ . At the result of study concluded that the values of out flow water collector temperature and amount of useful heat output and then solar collector efficiency depending on a transpiration degree of glass cover, it's higher for clear glass cover. moreover decrease collector efficiency as glass cover temperature increase.