

## Experimental study on the influence of absorber plate shape on the thermal performance of solar air collector

Dr. Rami George\*  
Maher zouzou\*\*

(Received 7 / 11 / 2017. Accepted 5 / 3 / 2018)

### □ ABSTRACT □

The objective of the research is to improve the thermal performance of the solar air collector. By providing it by absorber plate with different dimensions and shapes. To determine the optimal shape of absorber, in order to achieve high efficiency comparing with conventional solar air collector with flat absorber plate. The experiments were carried out for both collector under the same metrological conditions of Lattakia city.

This investigation showed that the outlet air temperature from collector with corrugated absorber plate is higher than that for flat ad waved plate.

This investigation showed that the thermal performance of solar air collector with corrugated absorber plate (V shape) is biter than case of flat plate absorber. The maximum thermal performance values are 41.5[%] ad 30[%] respectively. Where the maximum difference is 14.36 [%] in 3/1/2017.

Also this investigation showed that the thermal performance of solar air collector with corrugated absorber plate placed perpendicular to air flow is higher than parallel location. The maximum thermal performance values are 32[%] and 26[%] respectively. Where the maximum difference is 10 [%] in 16/1/2017.

**Key words:** Solar air collector, absorber plate, thermal performance of air solar collector

---

\* Professor, Mechanical Power Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

\*\* Postgraduate student, Mechanical Power Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

## الدراسة التجريبية لتأثير شكل الصفيحة الماصة على الأداء الحراري للاقط الشمسي الهوائي

الدكتور رامي جورج\*

ماهرزوزو\*\*

(تاريخ الإيداع 7 / 11 / 2017. قَبْلُ للنشر في 5 / 3 / 2018)

### □ ملخص □

يهدف البحث إلى تحسين الأداء الحراري للاقط الشمسي الهوائي تجريبياً من خلال تزويده بصفيحة ماصة ذات أبعاد وأشكال مختلفة. لتحديد الشكل الأمثل بما يحقق مردوداً حرارياً أعلى للاقط مقارنة مع اللاقط الشمسي التقليدي ذو الصفيحة الماصة المستوية. أجريت التجارب لكلا اللاقطين عند نفس الشروط المناخية لمدينة اللاذقية. أظهرت نتائج البحث التجريبية أن درجة حرارة الهواء الخارج من اللاقط الشمسي المزود بصفيحة ماصة منكسرة أعلى منها في حالة اللاقط ذو الصفيحة المستوية أو المتموجة. وكلما كانت موجة الصفيحة المنكسرة أكبر، حصلنا على درجة حرارة أعلى للهواء. أظهرت نتائج البحث التجريبية أيضاً أن الأداء الحراري للاقط الشمسي الهوائي المزود بصفيحة ماصة منكسرة على شكل حرف V هو الأفضل مقارنة مع اللاقط ذو الصفيحة الماصة المستوية. حيث بلغت القيمة العظمى للمردود الحراري اللحظي للاقط [%] 41.5 بينما بلغت قيمته العظمى للاقط ذو الصفيحة الماصة المستوية [%] 30. وبلغت أكبر زيادة في المردود [%] 14.36 وذلك في يوم 2017/1/3. كما أظهرت نتائج البحث التجريبية أن مردود اللاقط الشمسي الهوائي ذو الصفيحة الماصة المنكسرة بموجات متعامدة مع اتجاه دخول الهواء أعلى منه في حالة الموجات الموازية لاتجاه دخول الهواء. وقد بلغت أعلى قيمة للمردود اللحظي [%] 32 و [%] 26 على التوالي. بينما بلغت أكبر زيادة في المردود [%] 10 وذلك في يوم 2017/1/16.

**الكلمات المفتاحية:** اللاقط الشمسي الهوائي، الصفيحة الماصة، الأداء الحراري للاقط الشمسي الهوائي.

\* أستاذ - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية  
\*\* طالب دراسات عليا (ماجستير) - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

## مقدمة:

تعد الطاقة هي القاعدة الأساسية التي تستمر عليها الحياة فوق الأرض، وإن التزايد السريع في عدد السكان وارتفاع المستوى المعيشي والتطور الصناعي والزراعي والاستهلاك الكبير للطاقة في أيامنا الحالية ونضوب مصادرها التقليدية أدى إلى البحث الدائم عن مصادر بديلة طويلة الامد ونظيفة بالنسبة للبيئة. أبرز مصادر الطاقة البديلة هي الطاقة الشمسية التي سطعت مزاياها وفوائدها الكبيرة خلال الفترة الماضية، ولقد تركز العمل على تطوير الأفكار للاستثمار الأمثل لها ومن هذه الطرائق نذكر اللواقط الهوائية الشمسية.

مما لا شك فيه أن التدفئة بالطاقة الشمسية اكتسب أهمية كبيرة نتيجة لتزايد تكلفة الطاقة التقليدية كما أنها تعتبر إحدى الحلول المقترحة لحل أزمة الطاقة وخاصة في المناطق التي تندر فيها منابع الطاقة وتتمتع بإشعاع شمسي وفير. يعتبر اللاقط الشمسي الهوائي من أشهر التصاميم التي تستخدم الطاقة الشمسية للحصول على الهواء الساخن وذلك لبساطته وسهولة تصنيعه.

أجريت الكثير من الأبحاث النظرية والتجريبية بهدف تحسين الأداء الحراري للاقط الشمسي الهوائي. فمنها من درس تأثير إضافة المواد متغيرة الطور إلى اللاقط الشمسي الهوائي، لتحسين أدائه الحراري عن طريق تخزين أكبر كمية من الطاقة الشمسية الممتصة نهاراً بتغيير الحالة الصلبة للمادة متغيرة الطور إلى الحالة السائلة، ومن ثم طرحها وتسخين الهواء بعد غياب الإشعاع الشمسي بتغيير حالتها السائلة إلى الحالة الصلبة [1,2,3,4]. بعض الأبحاث درست تأثير شكل الصفيحة الماصة على الأداء الحراري للاقط الشمسي الهوائي [5,6,7,8]. وهناك أبحاث درست إمكانية تحسين الأداء الحراري للاقط الشمسي الهوائي بجعل الهواء يمر بممرين أو أكثر على الصفيحة الماصة لزيادة سطح التماس بين الهواء والصفيحة الماصة، وبالتالي انتقال كمية أكبر من الطاقة الحرارية المخزنة في الصفيحة الماصة إلى الهواء [9,10,11,12,13]. وبعض الأبحاث ركزت على دراسة تأثير إضافة عوايق؛ بأشكال وأوضاع مختلفة؛ إلى الصفيحة الماصة بهدف تغيير اتجاه مسار الهواء ليلامس أكبر مساحة من الصفيحة الماصة [14,15,16,17,18,19].

## أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في إمكانية الاستفادة القصوى من الطاقة الشمسية الساقطة على اللاقط الشمسي الهوائي، وذلك بجعل الصفيحة الماصة تمتص أكبر كمية من الإشعاع الشمسي من أجل الحصول على درجة حرارة مرتفعة للهواء الخارج من اللاقط الشمسي. وبالتالي الحصول على كمية حرارة أكبر من اللاقط الشمسي، لاستخدامها في التطبيقات الحرارية المطلوبة. يؤدي ذلك إلى تخفيض استهلاك الوقود التقليدي وتقليل التلوث البيئي. يهدف هذا البحث إلى إجراء دراسة تجريبية لتأثير شكل الصفيحة الماصة على الأداء الحراري للاقط الشمسي الهوائي. نظراً لعدم كفاية تبادل الحرارة بين الهواء (الوسيط العامل ضمن اللاقط) والصفيحة الماصة، كان لابد من إجراء بعض التحسينات على الصفيحة الماصة من أجل زيادة مساحة سطح التبادل الحراري بينها وبين الهواء، مما يؤدي إلى رفع درجة حرارة الهواء الخارج من اللاقط وبالتالي تحسين الأداء الحراري للاقط.

### طرائق البحث ومواده:

تم في هذا البحث اعتماد المنهج التجريبي للحصول على النتائج. تم تصنيع لاقطين شمسيين هوائيين متماثلين بالأبعاد الخارجية مساحة سطح كل منهما  $0.16[m^2]$ . ومعزولين بطبقة من الفلين (الستيروبور) سماكتها  $2[cm]$ . كما تم تزويد كل من اللاقطين بحساس حراري رقمي لقياس درجة حرارة الهواء عند مخرج كل منهما. وحساس لقياس درجة حرارة الوسط الخارجي (درجة حرارة الهواء الداخل إلى كل منهما). تم تزويد أحد اللاقطين بصفيحة ماصة مستوية واللاقط الاخر بصفيحة ماصة متموجة أو منكسرة بأبعاد وأوضاع مختلفة وتم طلاء كل منهما باللون الأسود، حيث يتدفق الهواء فوق الصفيحة الماصة ضمن اللاقط كما هو مبين في الشكل (1). تم إجراء جميع التجارب على اللاقطين الشمسيين الهوائيين المستخدمين في البحث عند نفس الظروف المناخية لمدينة اللاذقية.

يحسب المردود الحراري للاقط الشمسي الهوائي من العلاقة الآتية:

$$\eta = \frac{m_f \cdot c_p (t_{c,o} - t_{c,in})}{A_c \cdot H_t} \quad (1)$$

حيث:

$m_f$ : تدفق الهواء ضمن اللاقط.

$c_p$ : السعة الحرارية النوعية للهواء.

$t_{c,in}$ : درجة حرارة دخول الهواء إلى اللاقط.

$t_{c,o}$ : درجة حرارة خروج الهواء من اللاقط.

$A_c$ : مساحة اللاقط الشمسي.

$H_t$ : شدة الإشعاع الشمسي الساقط على واحدة المساحة من اللاقط الشمسي.



الشكل (1) اللاقطين الشمسيين الهوائيين مع مكان توضع مقاييس درجات الحرارة

## النتائج والمناقشة:

## 1- تأثير شكل الصفيحة الماصة المنكسرة والمستوية على المردود الحراري للاقط الشمسي

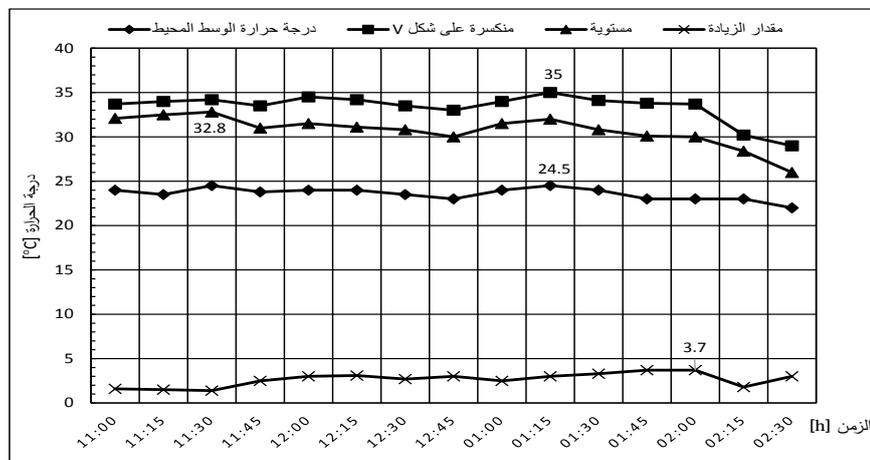
## الهوائي

أجريت عدة تجارب في شهر كانون الثاني لعام (2017) على لاقطين شمسيين هوائيين. الأول مزود بصفيحة ماصة مستوية مساحتها  $0.16[m^2]$  والثاني مزود بصفيحة ماصة منكسرة على شكل حرف V بمساحة  $0.4[m^2]$  وبطول موجة  $4[cm]$  وارتفاع للموجة  $5[cm]$  مطلية كل منها باللون الأسود كما هو مبين في الشكل (2). حيث تم قياس درجات الحرارة عند مخرج كل من اللاقطين ودرجة حرارة الوسط المحيط خلال ساعات النهار.



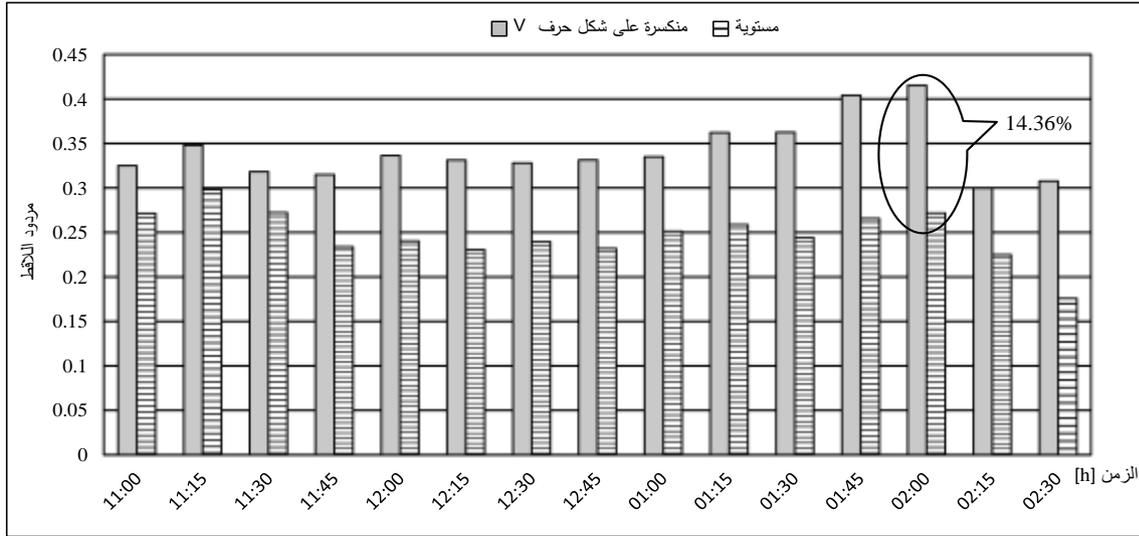
الشكل (2) الصفيحة الماصة المستوية والمنكسرة على شكل حرف V المستخدمة في التجربة

يبين الشكل (3) تغير درجات الحرارة التي تم قياسها كل 15 دقيقة من يوم 2017/1/3 عند مخرج كل من اللاقطين، ودرجة حرارة الوسط المحيط. نلاحظ من الشكل أن درجة حرارة الهواء عند مخرج اللاقط الشمسي ذو الصفيحة الماصة المنكسرة دائماً أعلى من نظيرتها للاقط ذو الصفيحة الماصة المستوية، وهذا ناتج عن زيادة مساحة سطح الامتصاص للاشعاع وزيادة سطح التماس بين الصفيحة الماصة والهواء. وقد بلغت أعلى قيمة لها  $35[°C]$  للاقط ذو الصفيحة الماصة المنكسرة بينما بلغت قيمتها  $32.8[°C]$  للاقط ذو الصفيحة الماصة المستوية. وبلغ أكبر فرق بين درجتي حرارة الهواء الخارج من كلا اللاقطين  $3.7[°C]$ .



الشكل (3) تأثير شكل الصفيحة الماصة على درجة حرارة الهواء عند مخرج اللاقط الشمسي الهوائي ليوم 2017/1/3

يبين الشكل (4) تغير المردود الحراري اللحظي لكلا اللاقطين في يوم 2017/1/3. نلاحظ من الشكل أن المردود الحراري للاقط الشمسي ذو الصفيحة الماصة المنكسرة على شكل حرف V أعلى من مردود اللاقط ذو الصفيحة الماصة المستوية على طول فترة إجراء التجربة. نلاحظ أيضاً من الشكل أن أكبر قيمة لمردود اللاقط الشمسي الهوائي ذو الصفيحة الماصة المنكسرة بلغت [%]41.5. بينما بلغت أكبر قيمة لمردود اللاقط ذو الصفيحة الماصة المستوية [%]30. في حين بلغت أكبر قيمة للزيادة في المردود الحراري للاقط الشمسي الهوائي [%]14.36 عند الساعة الثانية بعد الظهر.

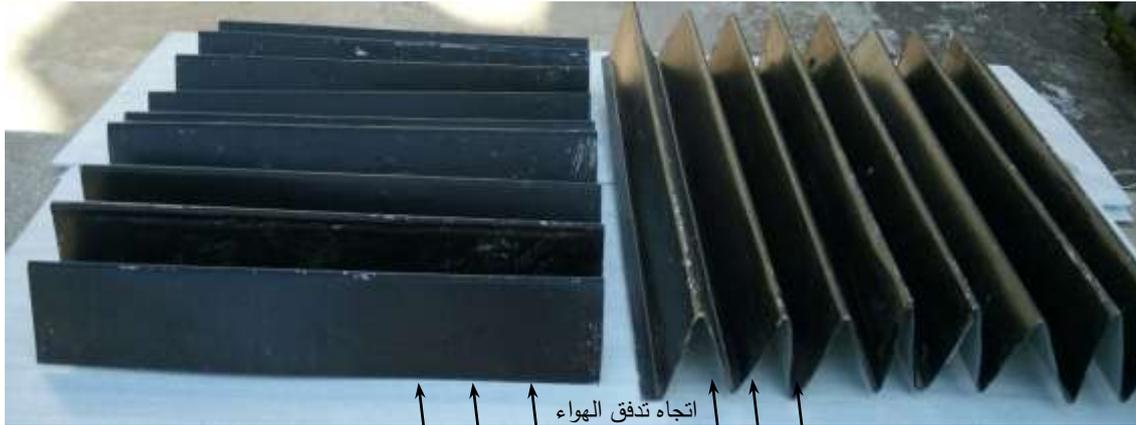


الشكل (4) تأثير شكل الصفيحة الماصة على المردود الحراري للاقط الشمسي الهوائي ليوم 2017/1/3

## 2- تأثير اتجاه موجة الصفيحة الماصة المنكسرة على المردود الحراري للاقط الشمسي

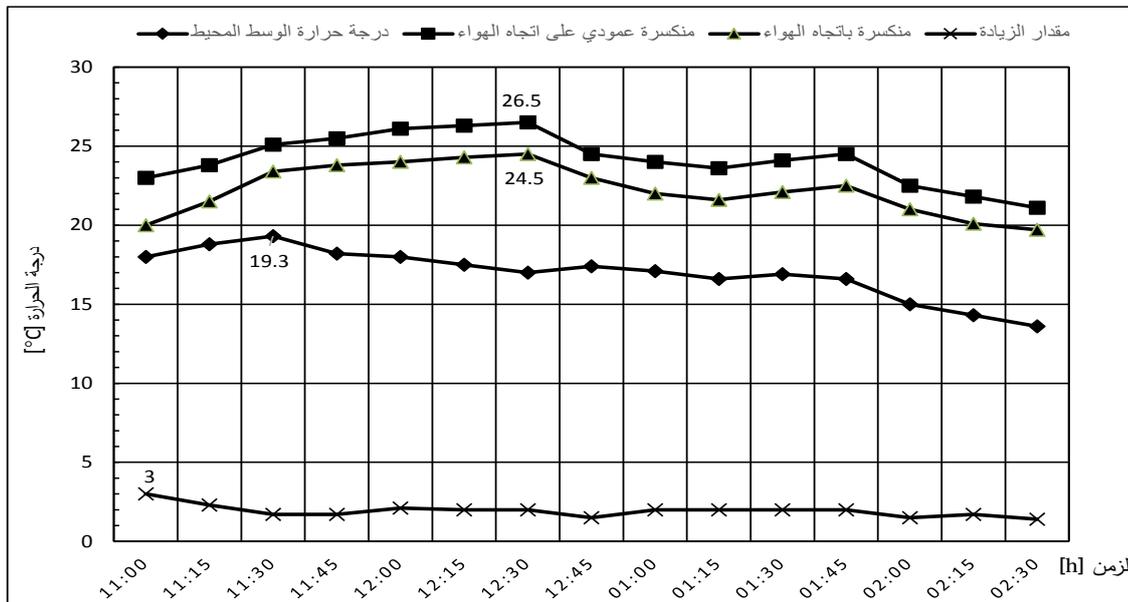
### الهوائي

أجريت التجارب في شهر كانون الثاني لعام 2017 على لاقطين شمسيين هوائيين. الأول مزود بصفيحة ماصة منكسرة بموجات متعامدة مع اتجاه الهواء الداخل للاقط، والثاني مزود بصفيحة ماصة منكسرة بموجات موازية لاتجاه دخول الهواء بطول موجة [4cm] وارتفاع [5cm] لكلا الصفيحتين ومطلبتين باللون الأسود كما هو موضح على الشكل (5).



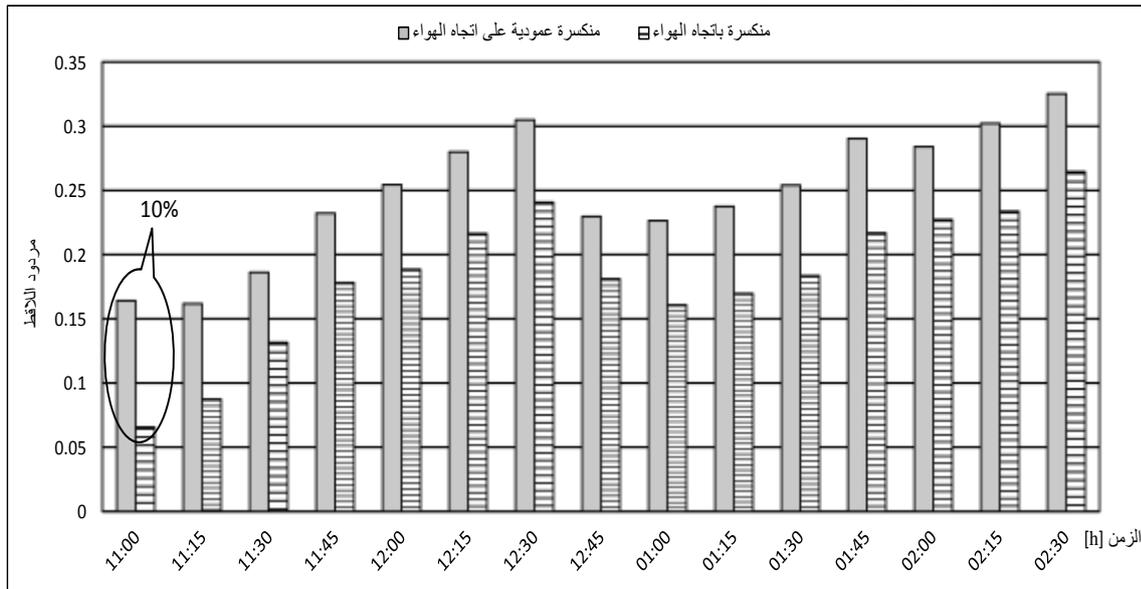
الشكل (5) اتجاه الصفيحة الماصة المستخدمة في التجارب

يبين الشكل (6) تأثير اتجاه موجة الصفيحة الماصة المنكسرة المتعامدة أو الموازية لاتجاه الهواء ضمن اللاقط على درجة حرارة الهواء الخارج من اللاقط الشمسي الهوائي ليوم 2017/1/16. نلاحظ من الشكل أن درجة حرارة الهواء عند مخرج اللاقط الشمسي الهوائي المزود بصفيحة ماصة منكسرة بموجات متعامدة مع اتجاه دخول الهواء أعلى من نظيرتها في اللاقط ذو الصفيحة الماصة المنكسرة ذات الموجات الموازية لاتجاه دخول الهواء خلال كامل فترة عمل اللاقط الشمسي الهوائي وهذا ناتج عن زيادة مدة تماس الهواء مع الصفيحة الماصة نتيجة تغير اتجاهه وبالتالي انتقال كمية حرارة أكبر من الصفيحة الماصة إلى الهواء. وقد بلغت أعلى قيمة لدرجة حرارة الهواء عند مخرجي اللاقطين  $26.5[^\circ\text{C}]$  و  $24.5[^\circ\text{C}]$  على التوالي. بينما بلغ أكبر فرق بين درجات حرارة للهواء الخارج من اللاقطين  $3[^\circ\text{C}]$ .



الشكل (6) تأثير اتجاه موجة الصفيحة الماصة المنكسرة على درجة حرارة الهواء عند مخرج اللاقط الشمسي ليوم 2017/1/16

يبين الشكل (7) تغير المردود الحراري اللحظي لكلا اللاقطين ليوم 2017/1/16. نلاحظ من الشكل أن المردود الحراري للاقط الشمسي ذو الصفيحة الماصة المنكسرة بموجات متعامدة مع اتجاه دخول الهواء أعلى من نظيرتها في اللاقط ذو الصفيحة الماصة المنكسرة ذات الموجات الموازية لاتجاه دخول الهواء خلال كامل فترة عمل اللاقط الشمسي الهوائي. وقد بلغت أعلى قيمة للمردود [%]32 عند استخدام صفيحة ماصة منكسرة بموجات متعامدة مع اتجاه دخول الهواء. بينما بلغت أعلى قيمة للمردود [%]26 عند استخدام صفيحة ماصة منكسرة بموجات موازية لاتجاه دخول الهواء. في حين بلغ أكبر فرق في المردود [%]10 عند الساعة 11 صباحاً.



الشكل (7) تأثير اتجاه موجة الصفيحة الماصة المنكسرة على المردود الحراري للاقط الشمسي الهوائي ليوم 2017/1/16

### 3- تأثير أبعاد موجة الصفيحة الماصة المنكسرة على المردود الحراري للاقط الشمسي

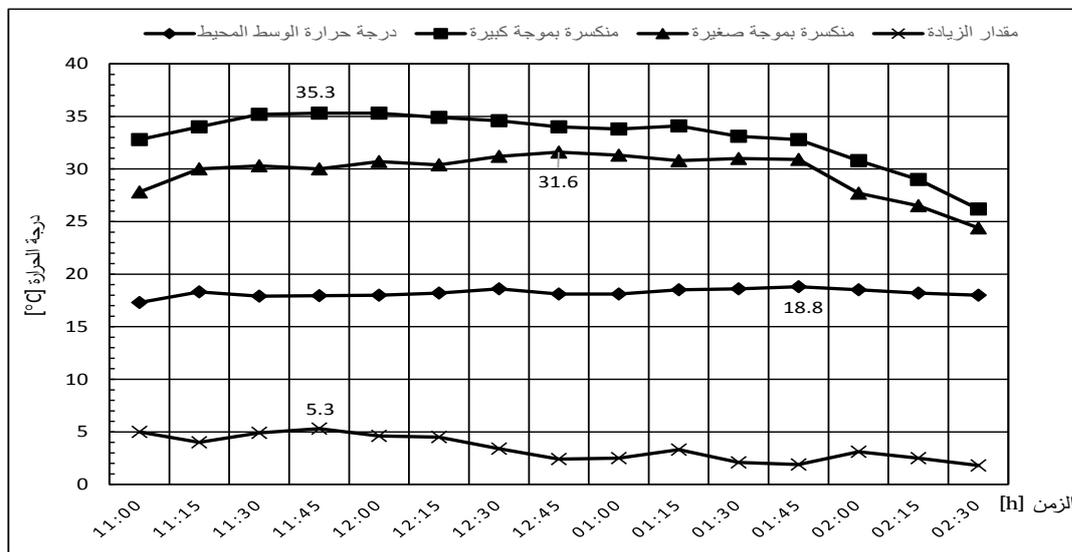
#### الهوائي

أجريت عدة تجارب خلال شهر آذار لعام 2017 على لاقطين شمسيين هوائيين. الأول مزود بصفيحة ماصة منكسرة كبيرة الموجة طولها 4[cm] وارتفاعها 5[cm]، والثاني مزود بصفيحة ماصة منكسرة صغيرة بموجة طولها 3[cm] وارتفاعها 2.5[cm] والصفيحة الماصة مطلية باللون الأسود بكلتا الحالتين. تم اعتماد نفس اتجاه التموج لكلا الصفيحتين المتعامد مع اتجاه دخول الهواء الى داخل اللاقط.



الشكل (8) الصفيحتين الماصتين المنكسرتين المستخدمتين في التجارب بأبعاد موجة مختلفة

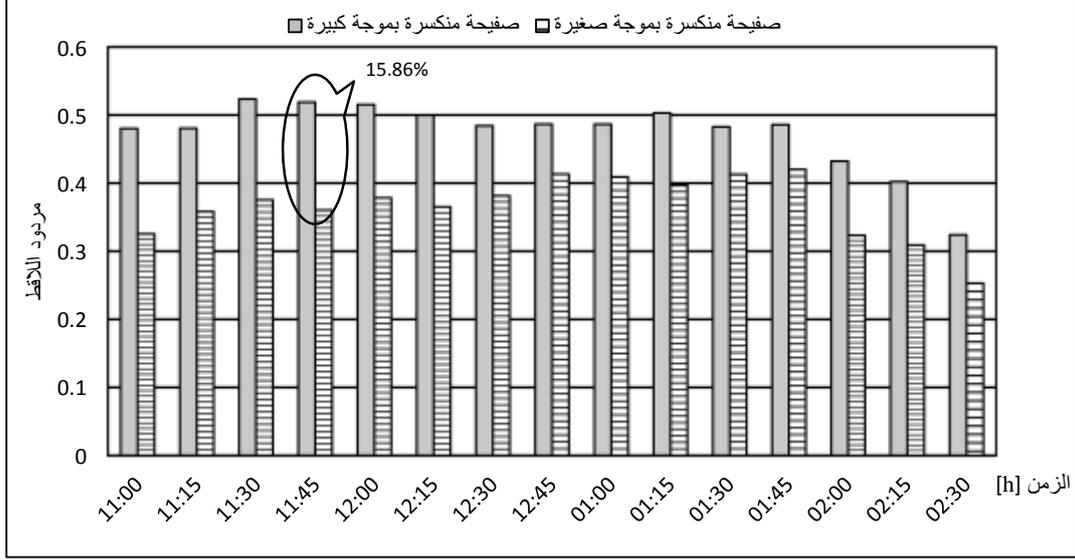
يبين الشكل (9) تغير درجات حرارة الهواء عند مخرج كلا اللاقطين خلال النهار ليوم 2017/3/18. نلاحظ من الشكل أن درجة حرارة الهواء عند مخرج اللاقط الشمسي الهوائي المزود بصفيحة ماصة منكسرة بموجة كبيرة أعلى من نظيرتها في اللاقط ذو الصفيحة الماصة المنكسرة بموجة صغيرة خلال كامل فترة عمل اللاقط الشمسي الهوائي، وهذا ناتج عن زيادة اضطرابية الهواء وكذلك زيادة سطح التماس وبالتالي زيادة التبادل الحراري مع الصفيحة الماصة. نلاحظ من الشكل أن أعلى درجة حرارة للهواء عند مخرج اللاقط الشمسي الهوائي المزود بصفيحة ماصة منكسرة بموجة كبيرة بلغت  $35.5[^\circ\text{C}]$ ، في حين بلغت أعلى قيمة لها  $31.6[^\circ\text{C}]$  عند استخدام صفيحة ماصة منكسرة بموجة صغيرة. بينما بلغ أكبر فرق بين درجات حرارة الهواء عند مخرج كلا اللاقطين  $5.3[^\circ\text{C}]$ .



الشكل (9) تأثير أبعاد موجة الصفيحة الماصة المنكسرة على درجة حرارة مخرج اللاقط الشمسي الهوائي ليوم 2017/3/18

يبين الشكل (10) تغير المردود الحراري الساعي لكلا اللاقطين ليوم 2017/3/18. نلاحظ من الشكل أن أعلى قيمة للمردود الحراري الساعي للاقط الشمسي الهوائي ذو الصفيحة الماصة المنكسرة كبيرة الموجة بلغت  $52[\%]$ .

بينما بلغت أعلى قيمة له عند استخدام صفيحة ماصة منكسرة صغيرة الموجة [%]41. في حين بلغت أكبر قيمة للزيادة في المردود الحراري للاقط الشمسي الهوائي [%]15.86.

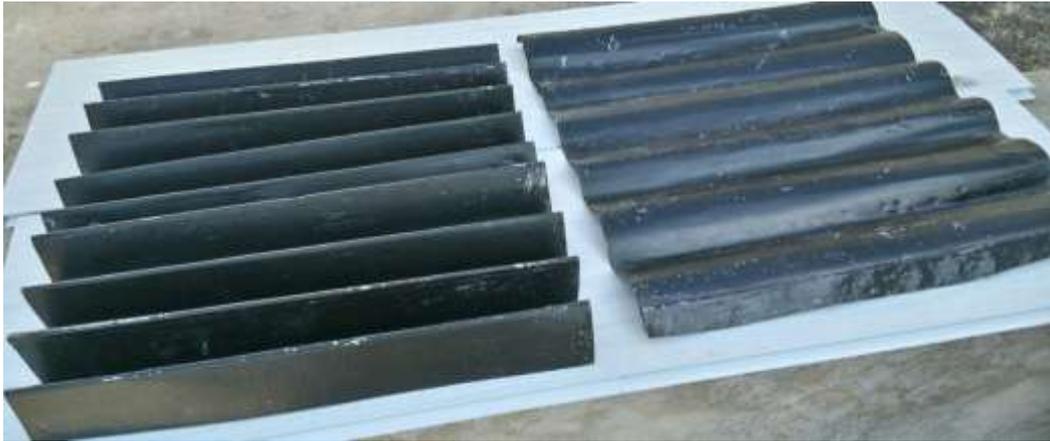


الشكل (10) تأثير أبعاد موجة الصفيحة الماصة المنكسرة على المردود الحراري للاقط الشمسي الهوائي ليوم 2017/3/18

#### 4- تأثير شكل الصفيحة الماصة المنكسرة والتموجة على المردود الحراري للاقط الشمسي

##### الهوائي

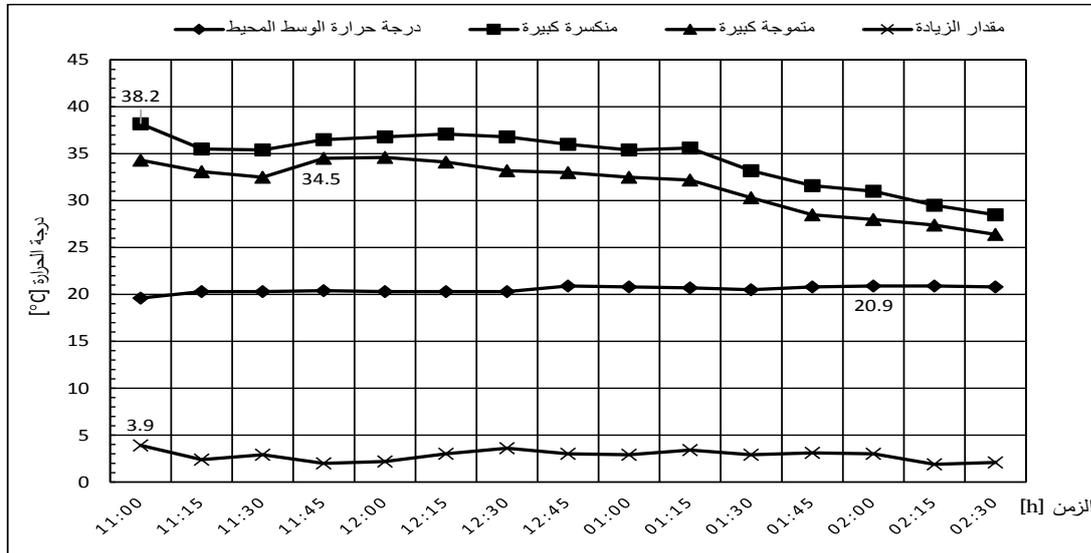
أجريت عدة تجارب في شهر آذار لعام (2017) على لاقطين شمسيين هوائيين. الأول مزود بصفيحة ماصة منكسرة على شكل حرف V والثاني مزود بصفيحة ماصة متموجة بموجات انسيابية ذات طول موجة [7cm] وارتفاع للموجة [2.5cm] مطلية كل منها باللون الأسود كما هو مبين في الشكل (11).



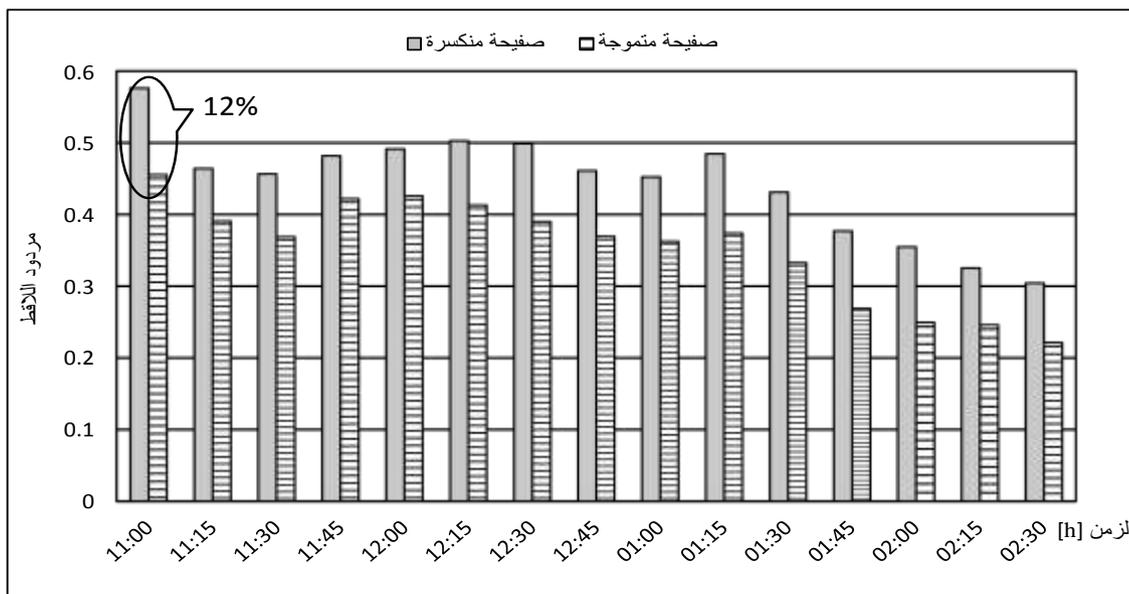
الشكل (11) الصفيحتين الماصتين المنكسرة والتموجة المستخدمتين في التجارب

يبين الشكل (12) تغير درجة حرارة الهواء عند مخرج كلا اللاقطين خلال ساعات النهار ليوم 2017/3/19. نلاحظ من الشكل أن درجة حرارة للهواء عند مخرج اللاقط المزود بصفيحة ماصة منكسرة أعلى من حالة الصفيحة

المتوجة وهذا نتيجة زيادة الحركة الاضطرابية للهواء، وبالتالي تماس أكبر للهواء مع الصفيحة الماصة مما يحقق انتقال حرارة أفضل. فقد بلغت أعلى قيمة لدرجة حرارة الهواء [38.2°C] و [34.5°C] على التوالي. بينما بلغ أكبر فرق في درجة حرارة الهواء عند مخرج كلا اللاقطين [3.9°C].



الشكل (12) تأثير شكل الصفيحة الماصة المنكسرة والمتوجة على درجة حرارة الهواء عند مخرج اللاقط ليوم 2017/3/19  
 يبين الشكل (13) تغير المردود الحراري اللحظي لكلا اللاقطين خلال النهار ليوم 2017/3/19. نلاحظ من الشكل أن أعلى قيمة للمردود الحراري الساعي للاقط الشمسي الهوائي ذو الصفيحة الماصة المنكسرة بلغت [%] 57. بينما بلغت أعلى قيمة للمردود عند استخدام صفيحة ماصة متوجة [%] 45. في حين بلغت أكبر قيمة للزيادة في المردود الحراري للاقط الشمسي الهوائي [%] 12.



الشكل (13) تأثير شكل الصفيحة الماصة المنكسرة والمتوجة على المردود الحراري للاقط الشمسي الهوائي ليوم 2017/3/19

### الاستنتاجات والتوصيات:

- من الدراسة التجريبية لتأثير شكل الصفيحة الماصة على الأداء الحراري للاقط الشمسي الهوائي نستنتج ما يلي:
1. إن درجة حرارة الهواء الخارج من اللاقط الشمسي المزود بصفيحة ماصة منكسرة أعلى منها في حالة الصفيحة المستوية أو المتموجة. وكلما كانت موجة الصفيحة المنكسرة أكبر حصلنا على درجة حرارة أعلى للهواء.
  2. إن مردود اللاقط الشمسي الهوائي ذو الصفيحة الماصة المنكسرة أكبر من مردود اللاقط ذو الصفيحة المستوية. فقد بلغت أكبر قيمة للمردود [41.5%] و [30%] على التوالي. في حين بلغت أكبر زيادة في المردود [14.36%] في شهر كانون الثاني لعام 2017.
  3. إن مردود اللاقط الشمسي الهوائي ذو الصفيحة الماصة المنكسرة بموجات متعامدة مع اتجاه دخول الهواء أعلى منه في حالة الموجات الموازية لاتجاه دخول الهواء. وقد بلغت أعلى قيمة للمردود [32%] و [26%] على التوالي. وبلغ أكبر فرق في المردود [10%] في شهر كانون الثاني لعام 2017.
  4. إن مردود اللاقط الشمسي الهوائي ذو الصفيحة الماصة المنكسرة أعلى منه في حالة الصفيحة المتموجة. وبلغت أعلى قيمة للمردود [57%] و [45%] على التوالي. في حين بلغت أكبر قيمة للزيادة في المردود الحراري للاقط الشمسي الهوائي [12%] وذلك في شهر آذار لعام 2017.
  5. متابعة البحث بدراسة تأثير إضافة عوائق بأشكال مختلفة على الصفيحة الماصة لزيادة الاستفادة من الإشعاع الشمسي للوصول إلى أكبر كسب حراري للاقط الشمسي الهوائي.

### المراجع:

- [1]. P.GOPI, T. BALUSAMY, S. PALANISAMY, P. RAJ SHANO. *Experimental Analysis of a natural convection mode solar dryer integrated with heat storage unit*. Advances in Natural and Applied Sciences. Vol. 11, 2017, 461-467.
- [2]. AYMEN EL KHADRAOUI, SALWA BOUADILA, SAMI KOOLI, ABDELHAMID FARHAT, AMENALLAH GUIZANI. *Thermal behavior of indirect solar dryer: Nocturnal usage of solar air collector with PCM*. Journal of Cleaner Production, Vol. 148, 2017, 37- 48.
- [3]. NESSIM ARFAOUI, SALWA BOUADILA, AMENALLAH GUIZANI. *A highly efficient solution of off-sunshine solar air heating using two packed beds of latent storage energy*. Solar Energy, Vol. 155, 2017, 1243-1253.
- [4]. S. S. KRISHNANANTH, K. KALIDASA MURUGAVEL. *Experimental study on double pass solar air heater with thermal energy storage*. Journal of King Saud University – Engineering Sciences, Vol. 25, 2013, 135-140.
- [5]. SHUILIAN LI, HUI WANG, XIANGRUI MENG, XINLI WEI. *Comparative study on the performance of a new solar air collector with different surface shapes*. Applied Thermal Engineering, Vol. 3, 2017, 639-644.
- [6]. MESUT ABUŞKAA, SEYFI ŞEVİK. *Energy, exergy, economic and environmental (4E) analyses of flat-plate and V-groove solar air collectors based on aluminium and copper*. Solar Energy, Vol. 158, 2017, 259-277.
- [7]. R. W. MOSS, G. S. F. SHIRE, P. HENSHALL, P.C. EAMES, F. ARYA, T. HYDE. *Optimal passage size for solar collector microchannel and tube-on-plate absorbers*. Solar Energy, Vol. 153, 2017, 718-731.

- [8]. R. K. NAYAK, S. N. SINGH. *Effect of geometrical aspects on the performance of jet plate solar air heater*. Solar Energy, Vol. 137, 2016, 434-440.
- [9]. RUDRA NANDAN PRAMANIKA, SUDHANSU SEKHAR SAHOOB, RANJAN KUMAR SWAINC, TARA PRASAD MOHAPATRAA, ASHIS KUMAR SRIVASTAVA. *Performance Analysis of double Pass Solar Air Heater with bottom Extended Surface*. Energy Procedia, Vol. 109, 2017, 331-337.
- [10]. M. W. KAREEM, KHAIRUL HABIB, M. H. RUSLAN, BIDYUT BARAN SAHA. *Thermal performance study of a multi-pass solar air heating collector system for drying of Roselle (Hibiscus sabdariffa)*. Renewable Energy, Vol. 113, 2017, 281-292.
- [11]. M. W. KAREEM, KHAIRUL HABIB, K. SOPIAN, M. H. RUSLAN. *Multi-pass solar air heating collector system for drying of screw-pine leaf (Pandanus tectorius)*. Renewable Energy, Vol. 112, 2017, 413-424.
- [12]. TABISH ALAM, MAN-HOE KIM. *Performance improvement of double-pass solar air heater – A state of art of review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews Vol. 79, 2017, 779-793.
- [13]. M.W. KAREEM, KHAIRUL HABIB, K. SOPIAN, KASHIF IRSHAD. *Performance evaluation of a novel multi-pass solar air heating Collector*. Procedia Engineering, Vol. 148, 2016, 638-645.
- [14]. SOMPOL SKULLONG, PONGJET PROMVONGE, CHINARUK THIANPONG, NUTHVIPA JAYRANAIWACHIRA, MONSAK PIMSARN. *Heat transfer augmentation in a solar air heater channel with combined winglets and wavy grooves on absorber plate*. Applied Thermal Engineering, Vol. 122, 2017, 268-284.
- [15]. ATILLA G, DEVECIOGLU, VEDAT ORUC. *Experimental Investigation of Thermal Performance of a New Solar Air Collector with Porous Surface*. Energy Procedia, Vol. 113, 2017, 251-258.
- [16]. K. AOUES, M. ZELLOUF, A. LABED, N. MOUMMI. *Experimental study of drying of green chili by solar air flat plate collector used obstacles*. Mechanika, Vol. 23, 2017, 449-455.
- [17]. A. E. KABEELA, MOFREH H. HAMEDB, Z. M. OMARAB, A. W. KANDEALB. *Solar air heaters: Design configurations, improvement methods and applications – A detailed review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 70, 2017, 1189-1206.
- [18]. SHALINI RAI, PRABHA CHAND, S. P. SHARMA. *An analytical investigations on thermal and thermohydraulic performance of offset finned absorber solar air heater*. Solar Energy, Vol.153, 2017, 25-40.
- [19]. MOHITKUMAR G. GABHANE A, AMARSINGH B. KANASE-PATIL. *Experimental analysis of double flow solar air heater with multiple C shape roughness*. Solar Energy, Vol. 155, 2017, 1411-1416.