

## تقييم تجريبي لأداء المجمع الصندوقي المسطح لنظام PVT المصمم بالاعتماد على محاكاة CFD

د. عدنان عمران \*

د. فادي علي \*\*

م. عادل عبد الرحمن \*\*\*

(تاريخ الإيداع 2022/6/30 . قُبل للنشر في 2022/9/20 )

□ ملخص □

تم إجراء دراسة (محاكاة) رقمية بأسلوب ديناميك الموائع الحسابي Computational Fluid Dynamic (CFD)، لتحسين التصميم والأداء العام للمجمع الحراري الكهروضوئي (PVT) Photovoltaic Thermal. تهدف الدراسة إلى تصميم مجمع ذو صندوق مسطح مصنوع من مواد متوفرة في السوق المحلية. بينت الدراسة الرقمية أن تصميم المجمع على شكل صندوق مسطح مزود بشفرات (زعانف وحواجز) مدمجة مع السطح الماص يساهم بشكل كبير في تعزيز انتقال الحرارة من الماص إلى المائع (الماء) من خلال زيادة سطح التبادل الحراري واضطراب الجريان، حيث بلغ المردود % 54. تعمل الزعانف الطولية على زيادة مساحة نقل الحرارة دون التأثير بشكل كبير على اضطراب التدفق، بينما تساهم الحواجز المستعرضة المثقبة في زيادة اضطراب التدفق وزيادة زمن بقاء الماء داخل المجمع، وبالتالي زيادة درجة حرارته. أظهر التقييم التجريبي أن التصميم المقترح يحقق زيادة في درجة حرارة المائع مقارنة بدرجة الحرارة المحيطة بنسبة 20%، كما أظهرت القياسات أنه عندما يكون تدفق المائع مرتفعاً نسبياً 1200ml/min تعطي الوحدة المدمجة جهداً أفضل بسبب تبريد الخلايا الكهروضوئية (°PVT=35C، °PV=37C)، ولكن عندما ينخفض التدفق 500ml/min يتراجع أداء الخلايا الكهروضوئية وينخفض الجهد بسبب ارتفاع درجة الحرارة وخصوصاً في فترة الظهيرة (°PVT=44C، °PV=40C). إن سبب تراجع أداء الوحدة المدمجة هو ارتفاع حرارة سطح الامتصاص بسبب ارتفاع حرارة المائع مما يؤدي إلى انتقال بعض الحرارة إلى الوحدة الكهروضوئية وتراجع الأداء.

**الكلمات المفتاحية:** محاكاة CFD، الزعانف الطولية، الحواجز العرضية، تسخين المياه، الصندوق المسطح.

\* أستاذ في قسم تقانات الطاقات المتجددة، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس.

\*\* مدرس، قسم تقانات الطاقات المتجددة، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس.

\*\*\* طالب دراسات عليا (دكتوراه)، قسم تقانات الطاقات المتجددة، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس .

## Experimental evaluation of the performance of a flat box collector of a PVT system designed based on CFD simulation

Dr. Adnan Omran\*

Dr. Fadi Ali\*\*

Eng. Adel Abd Alrahman\*\*\*

(Received 30/6/2022 . Accepted 20/9/2022)

### □ ABSTRACT

A numerical study (simulation) was performed by using computational fluid dynamic (CFD) technique to improve the design and overall performance of photovoltaic thermal flat box (PVT) collector. The study aims to design a collector with flat box made from available materials in a local market. The numerical study showed that the design of the collector in the form of a flat box with blades (fins and baffles) integrated with the absorbing surface contributes significantly to enhancing the heat transfer from the absorbing surface to the heat transfer medium by increasing the heat exchange surface and turbulence of flow, where efficiency was 54%. The longitudinal fins increase the heat transfer area without significantly affecting the flow turbulence, while the perforated transverse baffles increase the flow turbulence and increase the water time within the flat box assembly, thus increasing the water temperature. Experimental evaluation shows that the proposed design achieves an increase in water temperature compared to the ambient temperature with 20%, also measurements shows that, when the high flow relatively 1200ml/min, the combined unit give higher voltage because of cooling of PV cells, (PV=37C°, PVT=35C°), but, when the flow is limited to 500 ml/min, the performance of PV cells and the voltage are worsening especially in the sun-noon (PV=40C°, PVT=44C°). the cause of worsening performance of the combined unit, the absorbing surface temperature remains high, causing some heat to transfer from the absorbing surface to the PV module and worsening performance.

**Keywords:** CFD simulation, longitudinal fins, transverse baffles, water heating, flat box.

---

\* Professor, Department of renewable energy, Faculty of Technical Engineering, Tartous University.

\*\* Professor, Department of renewable energy, Faculty of Technical engineering Tartous University.

\*\*\* PhD Student, Department of renewable energy, Faculty of Technical Engineering Tartous University.

## المقدمة

على الرغم من المشاكل البيئية المرتبطة بالوقود الأحفوري، زاد استهلاك الطاقة بشكل كبير في العقود الماضية، ومن المتوقع أن يزداد الطلب على الفحم والنفط الخام والغاز الطبيعي وفقاً لوكالة الطاقة الدولية بنسبة 37% بحلول عام 2040 [1]. تعتبر الطاقة الشمسية من أفضل البدائل لمصادر الوقود الأحفوري بسبب طبيعتها النظيفة والمتجددة والمجانية. أنظمة الطاقة الكهروضوئية الهجينة (PVT) هي أجهزة شمسية ناشئة حديثاً، يمكنها في ذات الوقت توليد الكهرباء والحرارة من الإشعاع الشمسي الساقط [2-3]. تتكون أنظمة PVT من وحدات كهروضوئية مقترنة بمستخلصات حرارية يتم فيها تسخين سائل تبريد مثل الهواء أو الماء وفي نفس الوقت تنخفض درجة حرارة الوحدة الكهروضوئية [4]. بهذه الطريقة، يمكن تحويل جزء كبير من الطاقة الشمسية المتاحة إلى حرارة واستهلاكها لتطبيقات التسخين ذات درجات الحرارة المنخفضة مثل أنظمة تسخين المياه والمباني [5-9] والمجففات الشمسية [10-11]. تتأثر كفاءة الأنظمة PVT بالتصميم والموقع الذي تستخدم فيه [12-14]. وعليه يمكن لأنظمة PVT الهجينة جيدة التصميم أن تقدم أداءً أفضل من أنظمة التدفئة الشمسية والأنظمة الكهروضوئية المنفصلة [15]. وبالنتيجة، يمثل نظام PVT الهجين أفضل استغلالاً لتوليد الطاقة من وحدة المساحة [16].

قارن Herrando (2019) وآخرون أداء المجمعات PVT الهجينة مع الأنفاق المستديرة والمسطحة. خلصت النتائج إلى أن مجمع PVT مع الصندوق المسطح (النفق) المدمج مع الماص الحراري يتفوق في الأداء بالمقارنة مع مجمع PVT ذو الأنابيب المستديرة بسبب زيادة مساحة نقل الحرارة بين الماص والسائل، علاوة على ذلك، يكون توزيع الحرارة على الخلايا الكهروضوئية أكثر تجانساً في تصميمات الصندوق المسطح، وهذا يخفف من النقاط الساخنة مقارنة بتلك التي لوحظت في تصميمات الأنابيب المستديرة المدمجة [17].

أظهر Jinshun (2017) وآخرون في مراجعة شاملة أن الأنفاق المستطيلة (مع أو بدون زعانف أو أخاديد) جنباً إلى جنب مع مجمعات PVT المسطحة والماص الحراري توفر كفاءة وبنية محسنة مرتبطة بانخفاض الوزن والتكلفة. لأن الأنابيب المسطحة أو الأنفاق يمكن دمجها بسهولة مع الوحدات الكهروضوئية [18].

اختبر جمعة وآخرون (2022) أداء المجمع PVT مربع القناة ذو الزعانف المتقاطعة رقمياً باستخدام نموذج ثلاثي الأبعاد في ANSYS. أظهرت النتائج تأثيراً واضحاً لمعدل تدفق مياه التبريد وشدة الإشعاع على أداء نظام PV/T الهجين [19].

## أهمية البحث وأهدافه

يهدف هذا البحث إلى تقديم دراسة رقمية وتجريبية من أجل تحسين تصميم وأداء المجمع PVT ذو الصندوق المسطح من خلال وضع تصميم بسيط بحيث يمكن تصنيعه محلياً والاستفادة من المواد المتوفرة في السوق المحلية، واختبار التصميم المقترح حاسوبياً ليتم بعد ذلك تنفيذه واختباره تجريبياً في مناخ الساحل السوري عند تدفقات مختلفة للمائع.

## طرائق البحث ومواده

تم تركيب منصة الاختبار على سطح مبنى كلية العلوم في محافظة طرطوس منطقة أبو عفصة، وهي عبارة عن قاعدة معدنية تثبتت على أرضية السطح البيتونية من خلال مجموعة براغي تثبيت، يمكن تحريك القاعدة بالاتجاهات الأربعة، تم تثبيت المجمع الحراري واللوح الكهروضوئي على القاعدة. إن جميع مكونات مشروع التجربة تم

شراؤها من السوق المحلية وبعض الأجهزة المستخدمة مثل المضخة وحساسات القياس والألواح الكهروضوئية، أما الأجهزة التي تم استعارتها من مخبر الطاقة الشمسية في كلية العلوم فهي جهاز قياس شدة الاشعاع الشمسي وجهاز الأفومتر لقياس الخرج الكهربائي (الجهد/التيار).

### المواد والتقنيات المستخدمة في البحث

- جهاز قياس شدة الاشعاع الشمسي LI-19- Photo Radiometer، جهاز سهل الاستخدام يعمل على مدخنة ومزود بحساس ضوئي وقاعدة يمكن أن تثبت على أي سطح مائل، الشكل (1).



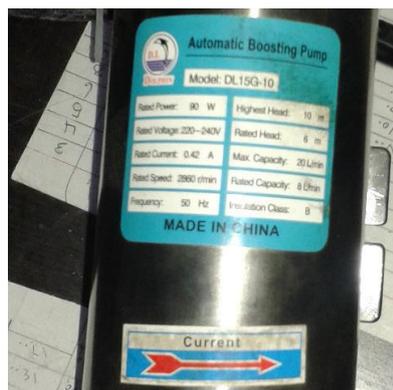
الشكل (1) جهاز قياس شدة الاشعاع الشمسي والحساس الضوئي

- حساس قياس درجة حرارة الماء، حيث يركب الحساس الأول عند مدخل المجمع الشمسي (خط الماء البارد) والحساس الثاني عند مخرج المجمع الشمسي (خط الماء الساخن) ومزود بمجس حراري. ويمكن للحساس أن يقيس درجة حرارة الجو الخارجي والرطوبة، الشكل (2).



الشكل (2) حساس قياس درجة حرارة الماء مع المجس الحراري

- مضخة الماء، تم اختيار المضخة المبينة في الشكل (3) ذات الضغط [bar] 1، وارتفاع أعظمي [m] 10، وجهد عمل [v] 220، استطاعة المضخة 90W، وقدرة تدفق 8L/min، وقدرة تدفق أعظمية 20L/min، مع وضعية عمل يدوية أو آلية.



الشكل (3) المضخة المستخدمة لتدوير وسيط نقل الحرارة

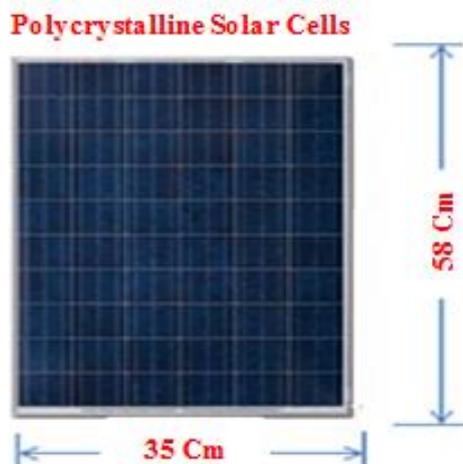
■ جهاز الأفومتر، يستخدم الجهاز في قياس الجهد والتيار الناتجان عن اللوح الكهروضوئي PV،

الشكل (4).



الشكل (4) جهاز قياس الخرج الكهربائي ( $I-V$ ) (الأفومتر)

■ اللوح الكهروضوئي من البولي كريستالين، استطاعة [30W]، والسماكة [6mm] بعد نزع الزوايا المعدنية، أبعاد اللوح [350×580mm]، يتم قياس الخرج الكهربائي الناتج من اللوح PV بعد دمج مع المجمع الشمسي الحراري، ويركب اللوح الثاني بشكل جانبي مستقل وهو عبارة عن لوح نموذجي للمقارنة، من الجدير بالذكر أن اللوحين من نفس الاستطاعة ونفس المواصفات والشركة الصانعة، الشكل (5).



الشكل (5) اللوح الكهروضوئي المستخدم في التجربة

### ■ حساس قياس درجة حرارة سطح اللوح PV

الحساس المستخدم في قياس حرارة سطح اللوح PV هو الحساس DS18B20، ومجهز بشاشة عرض رقمية قياس  $20 \times 30$  [mm]، مجال القياس  $[-55 \div 125]$  [°C]، ودقة  $0.5^\circ$  درجة مئوية، قطر المجس حوالي  $3.5$  [mm]، الحساس المستخدم مقاوم للصدأ والماء فهو مغلف ومحمي بشكل جيد، الشكل (6).



الشكل (6) حساس الحرارة المستخدم لقياس حرارة اللوح PV

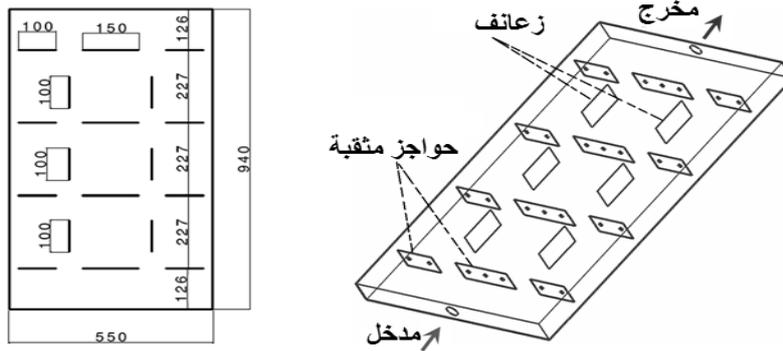
### الإجراءات الرقمية

لقد تمت مقارنة توزيع التدفق ودرجة الحرارة رقمياً لنموذجين:

- مجمع الصندوق المسطح بدون شفرات (بدون زعانف وبدون حواجز متقبة)
- مجمع الصندوق المسطح بنوعين من الشفرات (الزعانف) الموازية للتدفق والشفرات (الحواجز المتقبة) المتعامدة مع التدفق كما هو موضح في الشكل (7).

يتم إجراء المقارنة الرقمية بطريقة (CFD) في ظل ظروف حدية ثابتة: ( درجة حرارة ماء الدخول البارد  $298K^\circ$ ، شدة الإشعاع الشمسي  $900 [W/m^2]$ ، سرعة دخول الماء  $5 [mm/sec]$ . مساحة سطح الامتصاص للصندوق المسطح هي  $550 \times 940 [mm]$ ، وارتفاع (سماكة) مجمع الصندوق المسطح ثابت عند  $50 [mm]$ . قطر الثقوب في الحواجز المتقبة  $6 [mm]$ ، الغرض من الثقوب هو توفير تدفق المياه عبر الحواجز، مما يزيد من انتقال الحرارة ويقلل من مقاومة التدفق داخل المجمع، سمك الريش  $2 [mm]$ .

يتكون مجال الدراسة من الماء كسوائل (السعة الحرارية النوعية  $4184 [J/g.K]$ ، الموصلية الحرارية  $0.598 [W/mK]$ ، عند  $20 [C^\circ]$ ، واللزوجة  $1.002 [m.pa]$ ، ومجمع الألمنيوم كمادة صلبة (السعة الحرارية النوعية  $0.89 [J/g.K]$ ، والتوصيل الحراري  $239 [w/m.K]$ . يعتبر المجمع معزولاً بشكل جيد ولا يُسمح بتبديد الحرارة. تم استخدام نموذج الاضطراب من  $k-\epsilon$  (RING) مع وظائف الجدار المحسنة في المحاكاة الرقمية.



الشكل (7) أبعاد الشفرت وتوزعها في النموذج المقترح (الزعانف والحواجز المثقبة)

### معادلات رينولد-خصائص المادة (المائع)

يتم تعيين معادلات تدفق المائع كسائل غير قابل للانضغاط على النحو التالي:

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0 \quad (1) \quad \text{الاستمرارية:}$$

$$\underbrace{\left[ \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} \right]}_{\text{التوازن الخطي للزخم}} = \underbrace{\rho \vec{g}}_{\text{قوى الجسم}} - \underbrace{\nabla p}_{\text{قوى السطح}} + \underbrace{\mu \nabla^2 \vec{V}}_{\text{قوى اللزوجة}} \quad (2) \quad \text{مصونية الكتلة:}$$

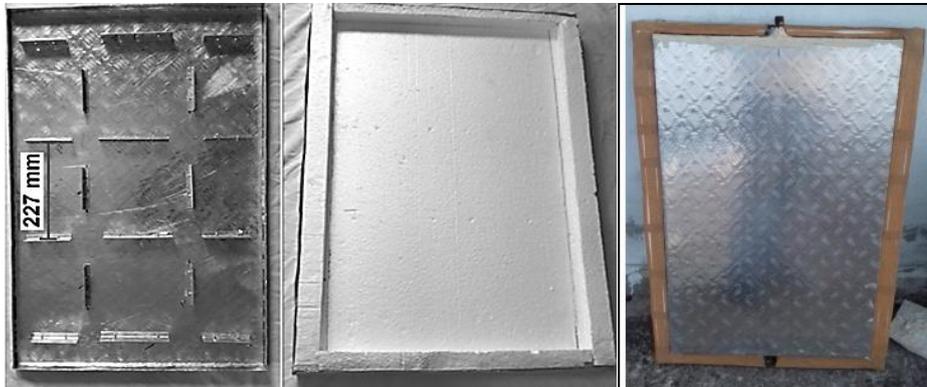
$$\rho C_p \nabla (\vec{V} T) = k \nabla^2 T \quad (3) \quad \text{مصونية الطاقة:}$$

حيث:

$V$ : سرعة المائع،  $g$ : الجاذبية الأرضية،  $\rho$ : الكثافة،  $\mu$ : اللزوجة، [20].

### النموذج التجريبي (المنصة)

يوضح الشكل (8) مجمّع الصندوق المسطح المصنوع محلياً، حيث تم تعزيزه بمجموعة من الزعانف الداخلية والحواجز المثقبة. يتم تثبيت الشفرت (الزعانف والحواجز) داخل المجمع الحراري من أجل توزيع الماء بشكل متجانس داخل مجمع الصندوق المسطح. المواد العازلة من البوليسترين، العلبة الخارجية مصنوعة من صفيحة زنك بسماكة 1.5mm.



الشكل (8) مجمّع صندوق مسطح مصنع محلياً مع زعانف داخلية وحواجز مثقبة

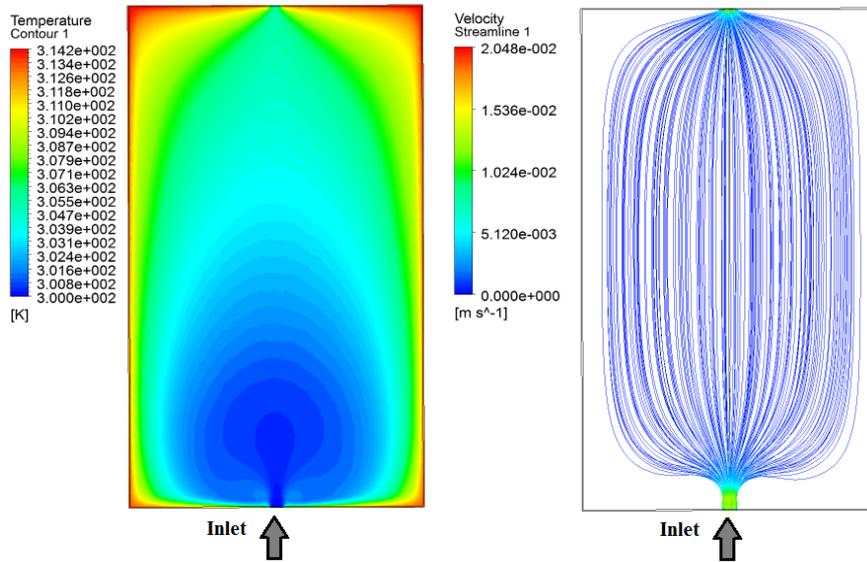
الشكل (9) يبين تجميع النموذج التجريبي النهائي للوحدة الكهروضوئية مع المجمع المسطح، حيث يتم طلاء السطح الماص للمجمع الشمسي باللون الأسود لتحسين كفاءة امتصاص الحرارة. تم تركيب نموذج PVT على سطح أحد مباني كلية العلوم بمدينة طرطوس (مناخ البحر الأبيض المتوسط). تم إجراء القياسات خلال صيف عام 2021. من خلال تشغيل المضخة بسرعة معينة، يتدفق وسيط نقل الحرارة (الماء) إلى مجمع الطاقة الشمسية ذي الصندوق المسطح. يتم تثبيت الوحدة الكهروضوئية عند مدخل الماء البارد للمجمع، وتغطي الحصة حوالي 50%. يتم قياس الخرج الكهربائي الناتج عن الوحدة الكهروضوئية المدمجة ومقارنته مع نتائج الوحدة الكهروضوئية المنفصلة المثبتة جانباً للمقارنة، علماً أن الوحدتين من نفس النوع ولديهما نفس الاستطاعة (الوحدات الكهروضوئية من البولي كريستالين استطاعة [W]30، وسماكة [mm]6). يتم تنفيذ طبقة رقيقة من الشحوم الحرارية الموصلة التجارية بين الوحدة الكهروضوئية والسطح الماص للمجمع الصندوقي المسطح.



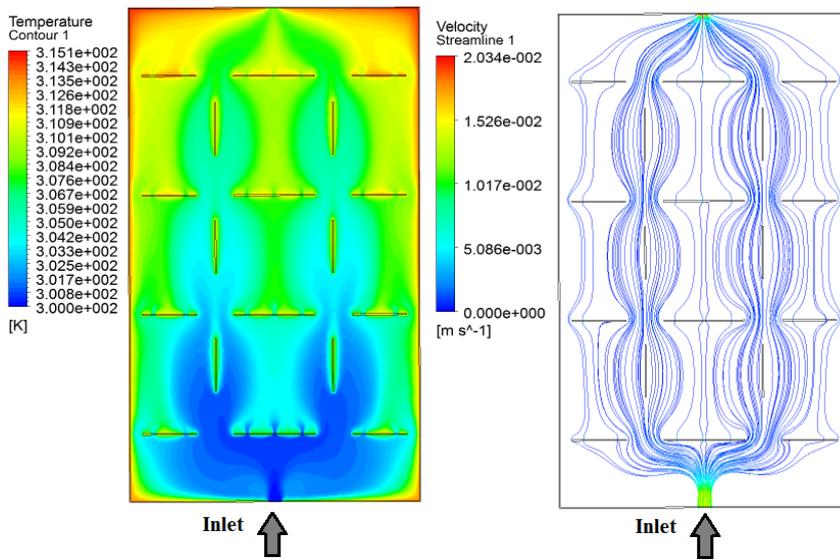
الشكل (9) تجميع منصة الاختبار التجريبية

## النتائج والمناقشة

1- دراسة تأثير الشفرات (الزعانف والحواجز المثقبة) على توزيع التدفق ودرجة الحرارة في المجمع: يوضح الشكلين (10-11) نتائج توزيع التدفق ودرجات الحرارة ضمن مجمع الطاقة الشمسية المسطح عند نفس الظروف الحدية. في حال وجود زعانف وبدونها تم اعتماد نموذج يحتوي على كلا النوعين من الشفرات (زعانف + حواجز مثقبة). من الواضح أن الشفرات الموازية للتدفق (الزعانف) لا تسبب اضطراباً كبيراً للسائل في المجمع، بينما يصبح اضطراب السائل واضحاً للشفرات المستعرضة (الحواجز).



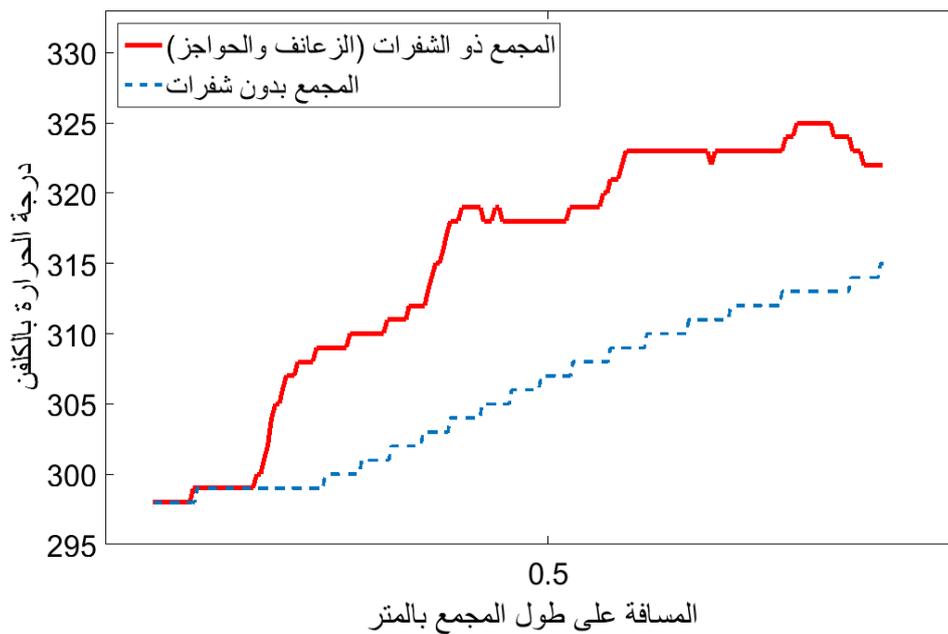
الشكل (10) توزيع التدفق ودرجة الحرارة في المجمع الصندوقي المسطح (بدون زعانف وبدون حواجز).



الشكل (11) توزيع التدفق ودرجة الحرارة في المجمع الصندوقي المسطح مع شفرات موازية للتدفق (زعانف) وشفرات متعامدة مع التدفق (حواجز مثقبة).

## 2- دراسة تأثير الشفرات على ارتفاع الحرارة على طول المحور الطولي للمجمع:

يوضح الشكل (12) مقارنة لارتفاع درجة الحرارة على طول المحور الطولي للمجمع الشمسي المسطح للتصميمين السابقين (مع حواجز وبدونها)، نلاحظ أن وجود الزعانف والحواجز المثقبة يوفر زيادة في درجة الحرارة للمائع داخل المجمع، وبالتالي زيادة كفاءة التبادل الحراري. وتجدر الإشارة إلى أن الحواجز المثقبة تسبب أيضاً انخفاضاً أكبر في الضغط مقارنة بالزعانف، وبالتالي هناك حاجة لمزيد من الطاقة لمضخة التدوير. كما يتبين أن درجة الحرارة ترتفع بمعدل أعلى للتصميم الذي يحتوي على شفرات موازية للتدفق (الزعانف) وشفرات متعامدة مع التدفق (حواجز) مقارنةً بالنموذج بدون شفرات، وكذلك درجة حرارة الخروج في هذا النموذج أعلى.



الشكل (12) تأثير الشفرات على ارتفاع درجة الحرارة على المحور الطولي للمجمع الشمسي ذي الصندوق المسطح

#### مقارنة الكفاءة

تحتسب الكفاءة الحرارية لكل نموذج وفق المعادلة التالية:

$$\eta = Q_u / A_{Absorber} \times G = \dot{m} \times C_p \times (T_{out} - T_{in}) / A_{Absorber} \times G \quad (4)$$

حيث:

$Q_u$  : الطاقة المفيدة

$\eta$  : الكفاءة الحرارية للمجمع

$\dot{m}$  : التدفق الكتلي، قطر المدخل  $25.4[\text{mm}] = 1[\text{inc}]$

$$\dot{m} = \rho \times V \times A_{inlet} = 0.0025[\text{kg/s}]$$

$$C_p = 4184[\text{J/kg} \cdot \text{C}]$$

$$A_{Absorber} \times G = 0.94 \times 0.55 \times 900 = 465.3[\text{W}]$$

تعتبر قيم سرعة الدخول والسعة الحرارية للمياه وقيمة كثافة الإشعاع الشمسي ثابتة للمجمع. يتم حساب الكفاءة الحرارية دون الأخذ بعين الاعتبار فقد الحرارة كما هو مبين في الجدول التالي:

الجدول (1)، نتائج الكفاءة الحرارية على أساس محاكاة CFD.

النموذج	درجة حرارة الدخول $T_{in}[\text{K}]$	درجة حرارة الخروج $T_{out}[\text{K}]$	المردود $(\eta)[\%]$
مجمع صندوقي مسطح بدون شفرات	298	315	38.2%
مجمع صندوق مسطح بزعانف وحواجز متقبة	298	322	54%

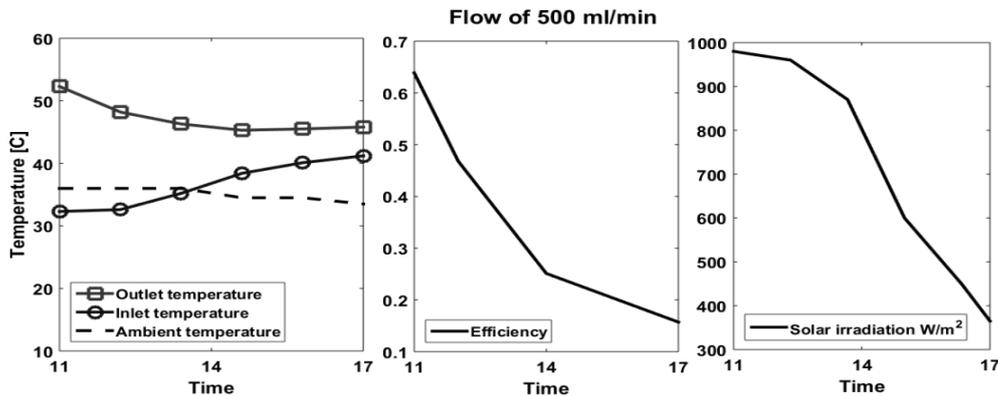
يتبين أن مجمع الصندوق المسطح المزود بزعانف وحواجز مثقبة يحقق أعلى كفاءة حرارية بسبب الفعالية المشتركة للزعانف في التبادل الحراري وفعالية الحواجز المثقبة في فرض الاضطرابات في التدفق.

### التقييم التجريبي لأداء النظام PVT

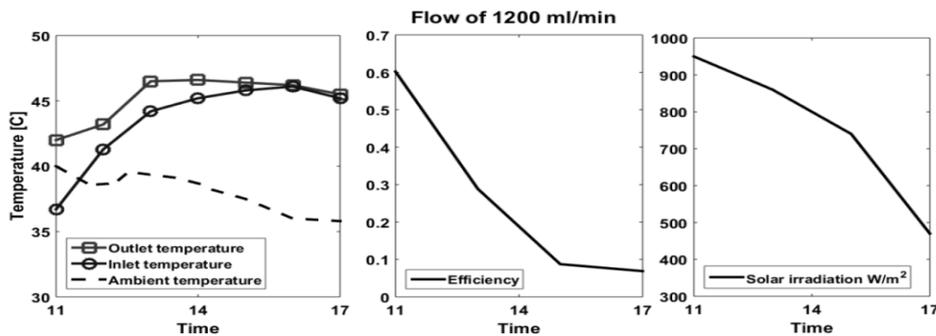
أجريت مجموعة من التجارب على سطح كلية العلوم في مدينة طرطوس وخلال فترة أربعة أشهر، من الشهر السابع حتى الشهر العاشر لعام 2021، حيث تم قياس شدة الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة المحيطة في وقت واحد مع درجة حرارة مدخل ومخرج المجمع ومخرجات الوحدات الكهروضوئية، وتمت المقارنة التجريبية ضمن قيم محددة (مرتفعة ومنخفضة) بحيث تعطي فكرة واضحة عن المتغيرات التي تحصل على الوحدة المدمجة والوحدة المنفصلة مثل ارتفاع درجة الحرارة وتغيرات التيار والجهد.

### دراسة الأداء الحراري

أظهرت التجارب أن التصميم المقترح لمجمع الصندوق المسطح المزود بشفرات عرضية وطولية مدمجة مع السطح الماص يحقق أداءً مناسباً في رفع درجة حرارة الماء عند التدفقات المختلفة مقارنة بدرجة الحرارة المحيطة. تزداد درجات حرارة المدخل والمخرج بمرور الوقت خلال النهار عند تدفق 500ml/min وعند تدفق 1200ml/min كما هو موضح في الشكلين (13-14). مع انخفاض شدة الإشعاع الشمسي، تميل درجة حرارة الماء الداخل إلى المجمع أن تكون مساوية تقريباً لدرجة حرارة المخرج.



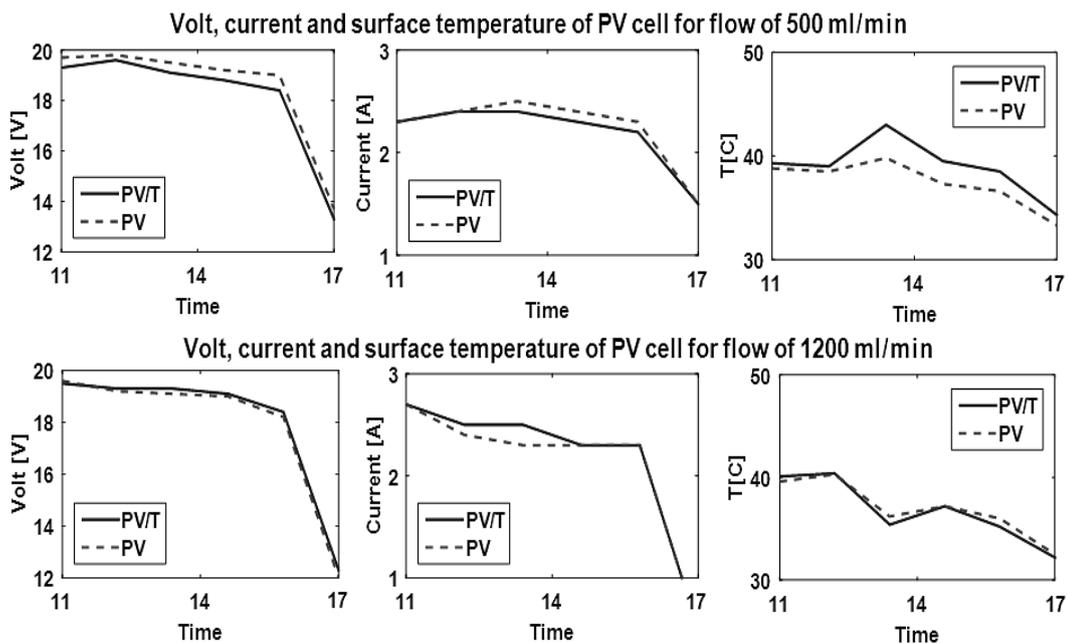
الشكل (13) الأداء الحراري للمجمع الشمسي المسطح عند تدفق 500ml/min



الشكل (14) الأداء الحراري للمجمع الشمسي المسطح عند تدفق 1200ml/min

## دراسة الأداء الكهربائي

يتم تقييم الأداء الكهربائي عن طريق قياس درجة حرارة السطح الخلفي للوحدة PV المدمجة ومن ثم قياس الجهد والتيار الناتجين ومقارنة القيم مع وحدة PV المستقلة وذلك عند التدفقين 500ml/min و 1200ml/min كما هو موضح في الشكل (15)، حيث يتضح أن قيم الجهد والتيار لوحدة PV المستقلة أفضل بالمقارنة مع الوحدة المدمجة في نظام PV/T عند التدفق 500ml/min، وذلك بسبب قلة تبريد السطح الخلفي للوحدة PV المدمجة. في الواقع، بالنسبة لمعدل التدفق المنخفض نسبياً، يتم نقل جزء من الحرارة من الصفيحة الماصة إلى السطح الخلفي للوحدة الكهروضوئية في نظام PV/T مما يؤدي إلى تراجع الأداء. من ناحية أخرى، تُظهر الوحدة PV المدمجة في نظام PV/T أداءً أفضل بالمقارنة مع الوحدة PV المستقلة عندما يتم زيادة معدل التدفق إلى 1200ml/min. يُعزى هذا السلوك إلى قدرة التدفق الأكبر على إزالة جزء أكبر من الحرارة من الصفيحة الماصة ويكون اتجاه تدفق الحرارة من السطح الخلفي للوحدة الكهروضوئية إلى تلك الصفيحة وبعد ذلك إلى وسيط نقل الحرارة. نتيجة لذلك، يتحسن أداء الوحدة الكهروضوئية المدمجة في نظام PV/T بشرط أن تكون درجة حرارة سطح الامتصاص أقل من درجة حرارة السطح الخلفي للوحدة الكهروضوئية الشمسية.



الشكل (15) الفولت والتيار ودرجة حرارة السطح الخلفي للوحدة الضوئية عند تدفق 500ml/min وعند تدفق 1200ml/min

## الاستنتاجات والتوصيات:

### الاستنتاجات:

- التصميم المقترح له أداء حراري جيد ويؤدي لرفع درجة حرارة الماء بشكل ملحوظ بالمقارنة مع درجة حرارة الوسط الخارجي وذلك بنسبة 20%.
- الزعانف العرضية تساهم في زيادة زمن بقاء الماء ضمن المجمع وبالتالي زيادة درجة حرارته من الدرجة  $25^{\circ}\text{C}$  عند الدخول إلى الدرجة  $49^{\circ}\text{C}$  عند الخروج.
- عملية الدمج أمنت تبريد واستقرار حراري للخلايا PV وبالتالي رفع الكفاءة الكهربائية ما يفوق 15%، وبشكلٍ خاص عند التدفقات الكبيرة.

### التوصيات:

- يوصى بإجراء تجارب إضافية باستخدام صفائح النحاس في تصنيع المجمع الشمسي.
- يوصى باستخدام المجمعات الشمسية المسطحة ذات الزعانف من صفائح الألمنيوم والتي يمكن تصنيعها محلياً ومن المواد المتوفرة في السوق المحلية بسبب فعاليتها الجيدة كما أن كلفة التصنيع مقبولة.
- يوصى باستخدام هذا النوع من الأنظمة في المنازل السكنية بسبب كلفته البسيطة والمردود الجيد حيث يؤمن متطلبات الماء الساخن والكهرباء بشكلٍ كافٍ.

## Reference

- [1] VAN DER HOEVEN, MARIA. (2013). "World energy outlook, (2012)." *International Energy Agency: Tokyo, Japan*.
- [2] CHARALAMBOUS, P. G., et al. (2007). "Photovoltaic thermal (PV/T) collectors: A review." *Applied thermal engineering* 27.2-3: 275-286.
- [3] CALISE, FRANCESCO, MASSIMO. (2012). "Design and dynamic simulation of a novel solar regeneration system based on hybrid photovoltaic/thermal collectors (PVT)." *Energy conversion and management* 60: 214-225.
- [4] CHOW, TIN TAI, et al. (2009). "Energy and exergy analysis of photovoltaic–thermal collector with and without glass cover." *Applied Energy* 86.3: 310-316.
- [5] HAURANT, PIERRICK. "The PHOTOTHERM project: full scale experimentation and modeling of a photovoltaic–thermal (PV-T) hybrid system for domestic hot water applications. (2014)." *Energy Procedia* 48: 581-587.
- [6] ASTE, NICCOLO, FABRIZIO LEONFORTE. (2015). "Design, modeling and performance monitoring of a photovoltaic–thermal (PVT) water collector." *Solar Energy* 112: 85-99.
- [7] VOKAS, GEORGIOS A. (2014). "Simulation of hybrid photovoltaic/thermal air systems on building facades." *Energy Procedia* 50: 917-930.
- [8] NOTTON, GILLES, et al. (2014). "Performances and numerical optimization of a novel thermal solar collector for residential building." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 33: 60-73.
- [9] ZGUIERDO, M, and P. de Agustín-Camacho. (2015). "Solar heating by radiant floor: experimental results and emission reduction obtained with a micro photovoltaic–heat pump system." *Applied Energy* 147: 297-307.
- [10] MORTEZAPOUR, Hamid, et al. (2012). "Saffron drying with a heat pump–assisted hybrid photovoltaic–thermal solar dryer." *Drying Technology* 30.6: 560-566.
- [11] BARNWAL, P., and G. N. TIWARI. (2008). "Grape drying by using hybrid photovoltaic-thermal (PV/T) greenhouse dryer: an experimental study." *Solar energy* 82.12: 1131-1144.
- [12] PATHAK, M. J. M., P. G. Sanders, and Joshua M. Pearce. (2014). "Optimizing limited solar roof access by exergy analysis of solar thermal, photovoltaic, and hybrid photovoltaic thermal systems." *Applied Energy* 120: 115-124.
- [13] DUBEE, SWAPNIL, and G. N. Tiwari. (2009). "Analysis of PV/T flat plate water collectors connected in series." *Solar Energy* 83.9: 1485-1498.
- [14] JAHROMI, S. NEMATI, A. VADIEE, and M. YAGHOUBI. (2015). "Exergy and economic evaluation of a commercially available PV/T collector for different climates in Iran." *Energy Procedia* 75: 444-456.
- [15] HERRANDO, MARIA, and CHRISTOS N. MARKIDES. (2016). "Hybrid PV and solar-thermal systems for domestic heat and power provision in the UK: Techno-economic considerations." *Applied Energy* 161: 512-532.
- [16] NORO, MARCO, and RENATO M. LAZZARIN. (2018). "Hybrid PhotoVoltaic–Thermal heat pump systems: energy and economic performance

*evaluations in different climates.*" International Journal of Low-Carbon Technologies 13.1: 76-83.

[17] HERRANDO, MARIA, et al. (2019). "A comprehensive assessment of alternative absorber-exchanger designs for hybrid PVT-water collectors." *Applied energy* 235: 1583-1602.

[18] WU, JINSHUN, et al. (2017). "A review of thermal absorbers and their integration methods for the combined solar photovoltaic/thermal (PV/T) modules." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 75: 839-854.

[19] GOMAA MR, AHMED M, REZK H. (2022). "Temperature distribution modeling of PV and cooling water PV/T collectors through thin and thick cooling cross-fined channel box". *Energy Reports*. Apr 1;8:1144-53.

[20] Howard A. Stone Division of Engineering & Applied Sciences Harvard University (2004), "*Fluid Dynamics: Physical ideas, the Navier-Stokes equations, and applications to lubrication flows and complex fluids*". A presentation for AP298r Monday, 5 April.