

دراسة رقمية لتحسين أداء المجمعات الشمسية المسطحة باستخدام الزعانف والحواجز واختبارها تجريبياً

الباحث: م. عادل يونس عبد الرحمن
كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تصميم مجمع شمسي مصنّع محلياً يعمل بالماء واختباره تجريبياً باستخدام أسلوب ديناميك الموائع الحسابي CFD بحيث يحقق توزيع مناسب لوسيط نقل الحرارة ضمن المجمع بما يؤدي إلى تسخين الماء في ظروف الجو الطبيعي وعند مستويات الإشعاع الشمسي في منطقة الساحل السوري. تم تقسيم المجال المدروس في الدراسة الرقمية إلى قسمين: المائع (الماء) والهيكل الصلب للمجمع (مادة الالمنيوم). 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 السطح الماص إلى وسيط نقل الحرارة من خلال زيادة سطح التبادل الحراري واضطراب الجريان، حيث بلغ أفضل مردود % 59.6 للمجمعات المعززة بزعانف طولية وعرضية، في حين كان أقل مردود % 37.55 للتصاميم الأخرى. من جهة ثانية كان لزيادة معدل تدفق المائع أثراً كبيراً على انخفاض درجات الحرارة وتوزعها ضمن المجمع، حيث بلغت درجة حرارة خروج المائع حوالي 320K وذلك عند تدفق 700ml/min، في حين كانت حرارة خروج المائع حوالي 328K عند تدفق 300ml/min.

الكلمات المفتاحية: انتقال الحرارة، CFD، المجمعات الشمسية المسطحة، الزعانف.

Numerical study to improve performance of flat plate solar collectors by using fins and baffles and testing experimentally

ABSTRACT

this study aims by using computational fluid dynamic CFD technique to design water-hand-made solar collector and testing it in experimental way, where achieve appropriate distribution of heat transfer medium within the collector to perform water heating at solar radiation levels in the Syrian coast. In the numerical study, the studied domain was divided into two parts: the fluid (water) and the solid structure of the collector (aluminum). 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 the higher efficiency for the collector with transverse and longitudinal fins reached 59.6%, while the efficiency was 37.55% for The other designs. on the other hand, the increase of flow rate of water has significant influence on the distribution and decrease of heat within the collector. where the heat of outlet water reached about 320K at 700ml/min of flow, while reached 328K at 300ml/min.

Keywords: heat transfer, CFD, flat plate solar collectors, fins.

مقدمة:

إن الفائدة الأعظم للطاقت المتجددة بشكل عام وللطاقة الشمسية بشكل خاص مقارنة بالطاقت الأخرى هي نظافة هذه الطاقة واستدامتها (Sustainability). يتم في الواقع، استهلاك نسبة عالية من الطاقة لتسخين المياه في المنازل وفي التطبيقات الصناعية والخدمية. يتم استخدام حوالي 18% من الطاقة المنزلية لتسخين المياه. لذلك، يمثل التحول إلى سخان المياه الشمسي (solar water heater (SWH)) حلاً عملياً لتقليل استهلاك الطاقة المخصصة لتسخين المياه [1].

توجد مجموعة متنوعة من التصاميم والأشكال لمجمعات تسخين المياه بالطاقة الشمسية. بشكل عام، يعتبر نظام سخان المياه الشمسي (SWH) أداة لاستثمار الطاقة الحرارية لأشعة الشمس.

أبرزت العديد من الأبحاث طرقاً مختلفة لتحسين معامل انتقال الحرارة والكفاءة الحرارية في مجمعات تسخين المياه بالطاقة الشمسية. تعمل عناصر مختلفة مثل الزعانف أو الحواجز على تحسين نقل الحرارة ولكن تؤدي هذه العناصر أيضاً إلى زيادة الاحتكاك ومقاومة تدفق السوائل المرتبط بانخفاض الضغط في المجمع. بمعنى آخر، ترتبط عناصر الزعانف والحواجز بتشكيل التدفق العكسي في المجمعات. [2,3].

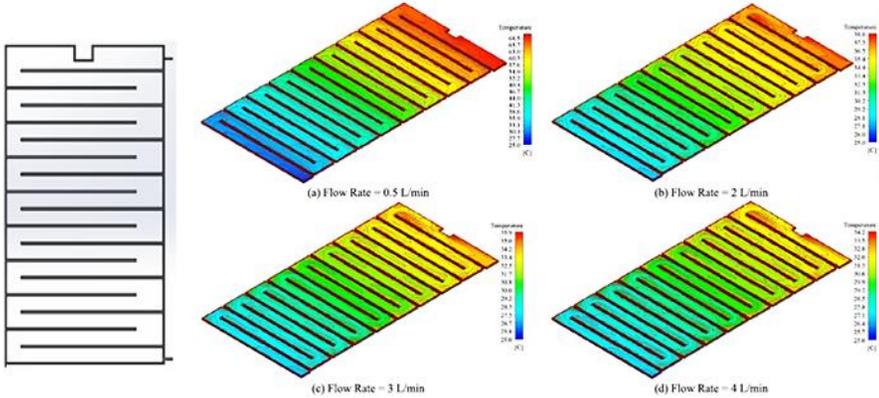
تم اختبار وتقييم أداء وتصميم أنظمة تسخين المياه بالطاقة الشمسية بعمق ومراجعتها من قبل العديد من الباحثين [4,5,6].

قام AFSHARI وآخرون [7] بتصميم ثلاثة مجمعات شمسية لتسخين الهواء لها نفس المساحة ولكن تختلف بتصميم الشفرات الداخلية (النوع الأول يحتوي حواجز عرضية متقبة بثقوب دائرية، النوع الثاني يحتوي حواجز عرضية متقبة بثقوب مستطيلة والنوع الثالث يحتوي على زعانف طولية) وتم تحليل أدائها الحراري رقمياً. أشارت نتائج المحاكاة إلى أن تعديل الزعانف في المجمع الشمسي كان له تأثير أفضل على تحسين درجة الحرارة على مخرج المجمع الشمسي. بالإضافة إلى ذلك، لا يوجد فرق كبير بين الحواجز المتقبة بثقوب دائرية أو مستطيلة.

Kim Yu-Jin وآخرون [8] قاموا بدراسة رقمية من خلال دراسة تأثير أطوال الحاجز وميلانه على درجة حرارة الهواء عند المخرج، ونقل الحرارة الكلي وهبوط الضغط داخل المجمع. وجدوا أن درجات حرارة المخرج وانتقال الحرارة يزدادان مع طول الحاجز، ويزداد انخفاض الضغط بسرعة مع طول الحاجز. يساعد ميلان الحاجز على خلط أفضل لتدفق التيار الرئيسي ويعزز معدل نقل الحرارة.

قام Tamneh وآخرون [9] بإجراء تحليل تجريبي لسخان المياه الشمسي باستخدام الحواجز مع الصفيحة الماصة المسطحة. اجريت التجارب بمعدلات تدفق مياه مختلفة داخل المجمع. أظهرت النتائج التجريبية أن درجة حرارة الماء تكون أعلى في حالة سخان الماء الشمسي مع حواجز (زعانف).

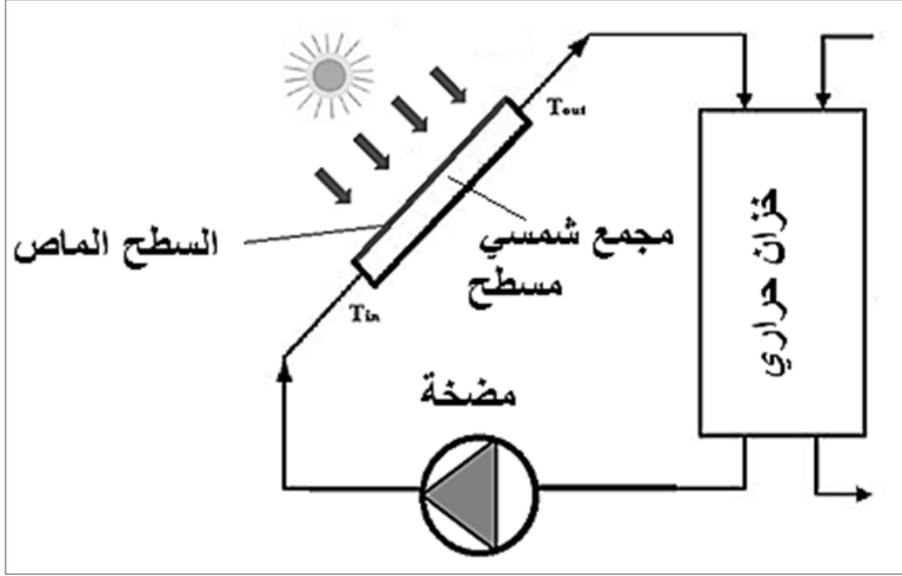
Gomaa وآخرون [10] قاموا باختبار مجمع شمسي على شكل صندوق مزود بزعانف عرضية على حد تعبيرهم (cross-fined channel box) ويستخدم الماء كوسيط عامل كما هو موضح في الشكل (1). تم تقييم أداء المجمع رقمياً وأظهرت النتائج تأثيراً كبيراً لمعدل تدفق المياه وشدة الإشعاع على أداء النظام. تمت المحاكات باستخدام نموذج ثلاثي الأبعاد باستخدام حزمة ANSYS.



الشكل (1) محاكاة رقمية لتدفق الماء في المجمع الشمسي الحراري المصمم على شكل صندوق مزود بزعانف عرضية [10]

يتم في هذه الدراسة اعتماد نظام نمذجي لمجمع تسخين المياه بالطاقة الشمسية المائل ذو سطح ماص مسطح. يتم إنشاء المجمع كصندوق من الألمنيوم مزود بحواجز داخلية

مدمجة ومخصص لتجميع الطاقة الشمسية الحرارية باستخدام الماء كمائع لنقل الحرارة. الشكل (2) يظهر الرسم التخطيطي لنظام تسخين المياه الشمسي النموذجي.



الشكل (1) نظام نمونجي لمجمع تسخين المياه بالطاقة الشمسية

$$\eta_{ther} = \frac{\dot{m}C(T_{out}-T_{in})}{GA}$$

الكفاءة الحرارية للمجمع يتم تقديمها بالمعادلة التالية:

حيث \dot{m} و C ، على التوالي، معدل تدفق الكتلة والسعة الحرارية النوعية للسائل، A مساحة المجمع، T_{in} ، T_{out} درجات حرارة السائل عند المدخل والمخرج، G الإشعاع الشمسي الساقط بشكل طبيعي على السطح.

أهمية البحث وأهدافه:

إن استخدام أنظمة تسخين المياه بالطاقة الشمسية له أهمية بالغة في تغطية متطلبات الطاقة الحرارية وتخفيض استهلاك الكهرباء وخصوصاً في التطبيقات السكنية. كما أن إمكانية الاستفادة من المواد المتوفرة في السوق المحلية في تصنيع مجمعات تسخين المياه بالطاقة الشمسية تعمل بكفاءة حرارية مناسبة في ظروف مستويات الإشعاع الشمسي في منطقة الساحل السوري، يمثل أهمية اقتصادية.

يهدف البحث إلى تحسين أداء وكفاءة المجمعات الشمسية المسطحة الحرارية من خلال الخطوات التالية:

- دراسة رقمية لتحسين أداء المجمعات الشمسية المسطحة الحرارية من خلال محاكاة توزيع الحرارة وتدفق المائع في المجمع الصندوقي وتقييم دور الشفرات المدمجة في الحصول على شروط مثالية للجريان وانتقال الحرارة.
- مقارنة تأثير الشفرات (الزعانف والحواجز) على المردود الحراري للمجمع.
- اختبار تجريبي لتقييم أداء التصميم المقترح.

الطريقة والمواد المستخدمة في البحث:

المحاكاة الرقمية:

تم الاعتماد على التقنية الرقمية لديناميك الموائع الحسابي (CFD) في تصميم واختبار النموذج الذي يحاكي المجمع الحراري الشمسي. المحاكاة الرقمية في هذا البحث تعتبر أسلوب مهم جداً للتنبؤ بالسلوك الديناميكي والحراري لوسيط نقل الحرارة ضمن المجمع ودراسة شكل وتصميم وتوضع الشفرات داخل المبادل الحراري على عملية التدفق.

المعادلات الحاكمة للنموذج:

تعتمد المحاكاة الرقمية على حل المعادلات التالية:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0 \quad \text{معادلة الاستمرارية (تمثل الشروط الحدية):}$$

معادلة Navier Stokes (تمثل الحل):

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = -\nabla p + \rho \vec{g} + \mu \nabla^2 \vec{V}$$

Total derivative

Pressure gradient

Body force term

Diffusion Term

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_i)}{\partial x_i} = 0 \quad \text{مصونية الكتلة:}$$

$$\frac{\partial \rho v_i}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_j v_i)}{\partial x_j} = \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} - \frac{\partial p}{\partial x_j} \quad \text{مصونية كمية الحركة:}$$

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_j E)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(K \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\tau_{ij} v_i) \quad \text{مصونية الطاقة:}$$

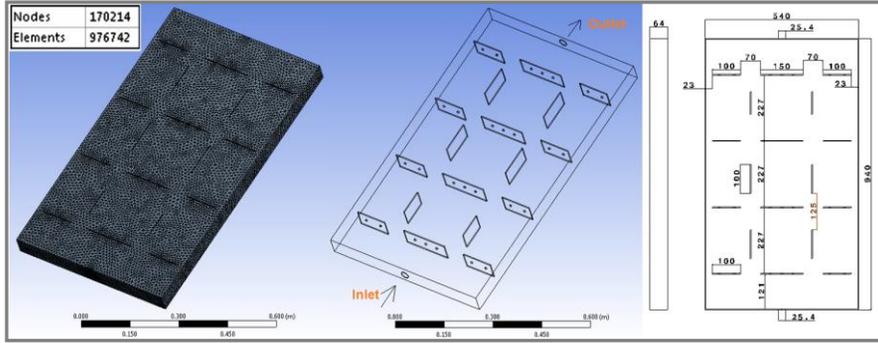
تعتبر الدراسة الرقمية والمحاكاة خطوة سابقة لدراسة تطبيقية تعتمد على تصميم المجمع الذي يحقق التدفق الأفضل والمتجانس. يمثل التصميم الذي يحتوي على الشفرات العرضية والطولية (الذي سوف نعتمده في الدراسة العملية) هو التصميم الأفضل لسهولة تصنيعه كما أنه يحقق توزيع متجانس للمائع ضمن المجمع.

أبعاد النموذج وعملية التشبيك (Mesh):

أولاً ننوه الى أن الشفرات التي تتوضع بشكل موازي للجريان يمكن أن نسميها بالزعانف، بينما الشفرات التي تتوضع بشكل متعامد مع الجريان نسميها بالحواجز. من ناحية أخرى، تصميم هذا المجمع يسمى بالمجمع الصندوقي المسطح وهو تصميم مشابه للمجمع الصندوقي المبين سابقاً بالشكل (1). المجمع الصندوقي المسطح يختلف من حيث التصميم عن المجمعات الشمسية المسطحة ذات الأنابيب. من الجدير بالذكر أنه تم اعتماد منهج الحسابات والمقارنة الرقمية الحاسوبية لتحسين تصميم المجمع الشمسي المسطح لأن اعتماد المنهج التجريبي يحتاج لتكلفة عالية ووقت طويل وجهد كبير.

أبعاد نموذج المجمع الحراري وطريقة توضع الشفرات (زعانف وحواجز) مبينة بالشكل (3). مساحة سطح المجمع $940 \times 450 \text{ mm}^2$ وارتفاعه 64 mm . سماكة جدران المجمع والشفرات 2 mm . تتوضع الشفرات بشكل طولي وعرضي بالنسبة للجريان وتحتوي الحواجز العرضية على ثقوب بقطر 7 mm . الغرض من الثقوب هو توفير جريان الماء من خلال الحواجز مما يساهم في زيادة انتقال الحرارة وتقليل مقاومة الجريان ضمن المجمع. تم استخدام الحزمة البرمجية Ansys 15 من أجل المحاكاة الرقمية للجريان وتوزيع درجات الحرارة، نسخة الإصدار المجاني. الحيز المدروس يتكون من قسمين هما: حيز المائع (الماء) وحيز الهيكل الصلب للمجمع (هيكل الألمنيوم).

لقد تم الحصول على المواد من السوق المحلية حيث بلغت الكلفة التقديرية لشراء المواد وتصنيع المجمع الشمسي حوالي 950000Sp، حيث كانت فترة الشراء في نهاية عام 2019، وهذه القيمة تعتبر مقبولة جداً بالمقارنة مع أسعار الأنظمة التجارية الموجودة في السوق.



الشكل (3) طريقة توضع الشفرت (زعانف وحواجز) داخل المجمع الحراري

تم اختيار الخواص الفيزيائية والحرارية للماء والألمنيوم من قاعدة بيانات الحزمة البرمجية Ansys 15، كما تمت عملية التشبيك على النموذج المصمم (تقسيم الحيز المدروس إلى عناصر منتهية) باستخدام عناصر Tetrahedron. وكان عدد العناصر الناتج 976742 وعدد العقد 170214.

المواد والتقنيات المستخدمة في الدراسة التجريبية:

تم إجراء مجموعة كبيرة من التجارب العملية لدراسة عملية التدفق في المجمع الحراري الشمسي وإجراء القياسات وملاحظة تأثير توضع الشفرت (زعانف وحواجز) وسرعة التدفق على الكفاءة الحرارية. حيث تم استخدام المواد التالية:

جهاز قياس شدة الاشعاع الشمسي Photo Radiometer- LI-19، الشكل (4).



الشكل (4) جهاز قياس شدة الاشعاع الشمسي

المواد العازلة المستخدمة في عزل أنابيب التوصيل وعزل المجمع الشمسي وهي عبارة عن ألواح من الفلين المضغوط وأنابيب الفلين. تستخدم في عزل الخطوط الباردة والساخنة ويمكن أن تستخدم لحرارة حتى 380K كما تستخدم في عزل الجدران الداخلية للمجمع الشمسي على شكل ألواح مسطحة تقص حسب الطلب. يضم الصندوق الخارجي المجمع الشمسي الحراري ومدخل الماء البارد ومخرج الماء الساخن مصنوع من التوتياء بسماكة 1.5mm، يتم استخدام الفلين الصناعي لعزل المجمع بشكل جيد من الداخل لمنع الضياعات الحرارية، الشكل (5).



الشكل (5) عزل المجمع باستخدام الفلين الصناعي

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. ويمكن للحساس أن يقيس درجة حرارة الجو الخارجي والرطوبة، الشكل (6).



الشكل (6) حساس قياس درجة حرارة الماء

توضع الشفرات (زعانف وحواجز) داخل المجمع الحراري بهدف توزيع الماء بشكل متجانس لامتصاص أكبر كمية من الحرارة. كما يركب المجمع الحراري بعد التجميع ضمن الصندوق الخارجي المعزول، الشكل (7).



الشكل (7) توزع الشفرات (زعانف وحواجز) على السطح الداخلي للماص

تجميع النموذج التجريبي النهائي مبين بالشكل (8)، حيث تم طلاء السطح الماص للمجمع الشمسي باللون الأسود لزيادة فعالية امتصاص الحرارة. النموذج تم تركيبه على سطح أحد الأبنية (كلية العلوم) مدينة طرطوس، وكانت فترة التجارب خلال صيف 2021.



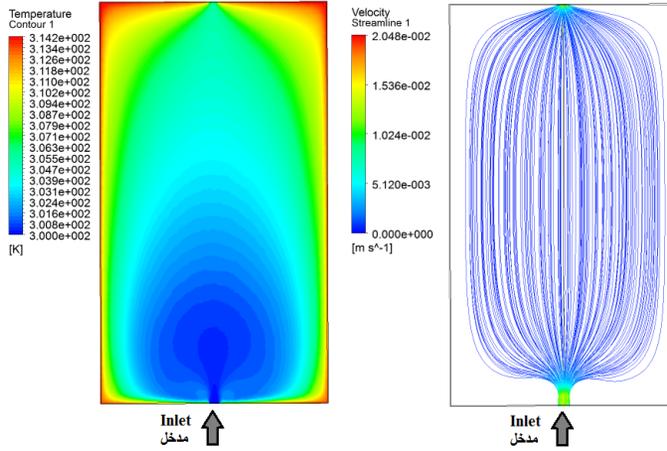
بالشكل (8) تجميع النموذج التجريبي

النتائج والمناقشة:

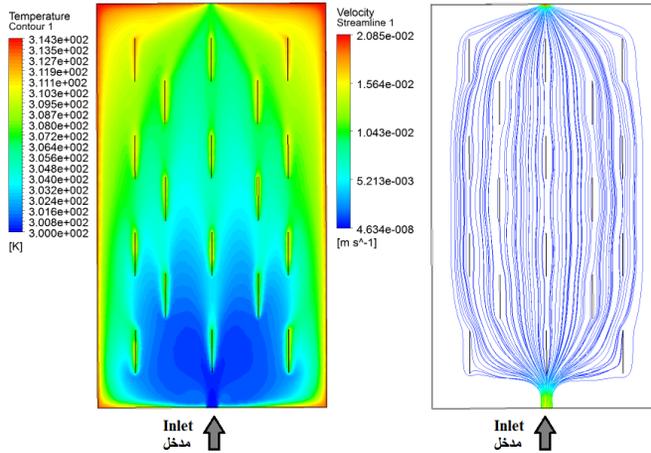
مقارنة تأثير الشفرات (الزعانف والحواجز) على التدفق وتغير درجة الحرارة في المجمع: تم دراسة أربع نماذج لتوضع الشفرات (زعانف وحواجز) في المجمع الصندوقي المسطح للمقارنة:

- 1- مجمع بدون شفرات (بدون زعانف وبدون حواجز).
 - 2- مجمع مع شفرات موازية للجريان (زعانف).
 - 3- مجمع مع شفرات متعامدة مع الجريان (حواجز).
 - 4- مجمع مع شفرات موازية للجريان (زعانف) وشفرات متعامدة مع الجريان (حواجز).
- في جميع الحالات عدد الشفرات متساوي (18 شفرة سواء كانت زعانف أو حواجز). الأشكال (9) و(10) و(11) و(12) توضح توزيع الجريان ودرجات الحرارة في المجمع

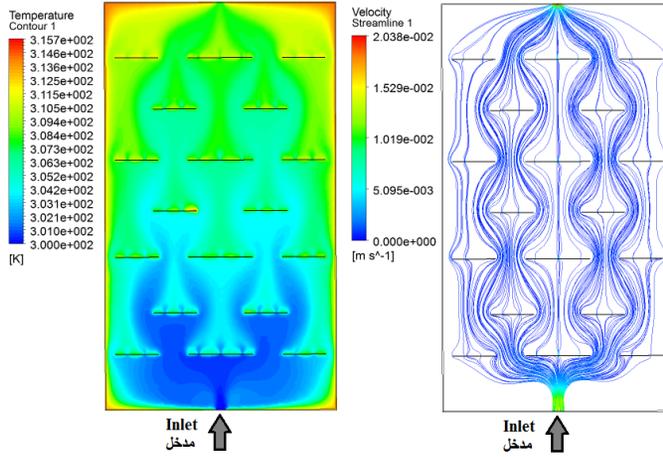
من أجل نفس الشروط الحدية (درجة حرارة دخول الماء 300K وشدة الاشعاع الشمسي 950w/m^2 وسرعة دخول الماء 15mm/s وأبعاد المجمع نفسها لجميع الحالات).



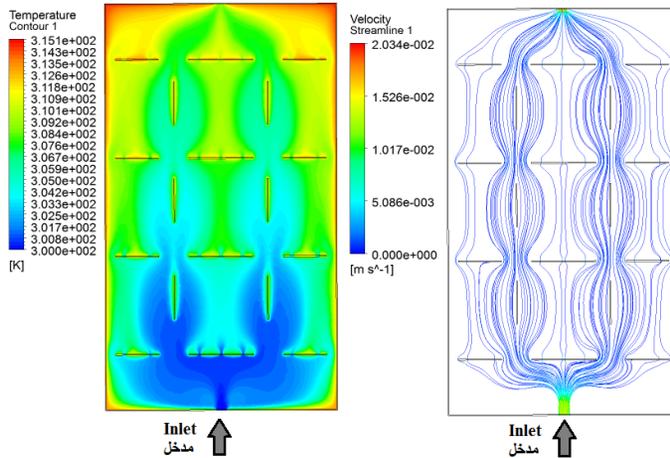
الشكل (9) توزيع الجريان ودرجة الحرارة في مجمع صندوقي مسطح بدون شفرات (بدون زعانف وبدون حواجز)



الشكل (10) توزيع الجريان ودرجة الحرارة في مجمع صندوقي مسطح مع شفرات موازية للجريان (زعانف)



الشكل (11) توزيع الجريان ودرجة الحرارة في مجمع صندوقي مسطح مع شفرات متعامدة مع الجريان (حواجز)

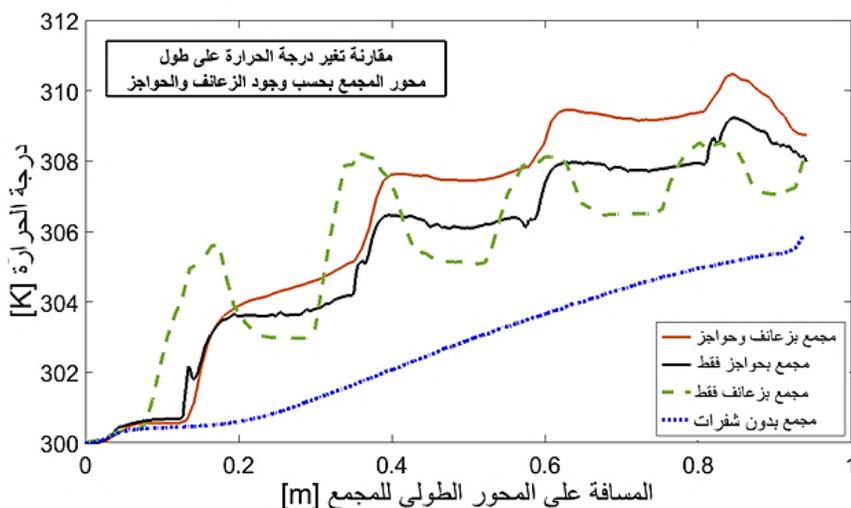


الشكل (12) توزيع الجريان ودرجة الحرارة في مجمع صندوقي مسطح مع شفرات موازية للجريان (زعانف)

وشفرات متعامدة مع الجريان (حواجز)

بالنسبة لجريان المائع، نلاحظ من الشكل (10) أن الشفرات الموازية للجريان (زعانف) لا تسبب اضطراب ملحوظ بخطوط الجريان الرئيسية في المجمع. بعبارة أخرى، توزيع الجريان للمجمع مع شفرات موازية للجريان يكاد يكون مطابق لتوزيع الجريان للمجمع بدون شفرات (بدون زعانف وبدون حواجز)، انظر الشكلين (9) و(10). عند وضع شفرات متعامدة مع الجريان (حواجز) في المجمع يحدث اضطراب ملحوظ بخطوط

الجريان كما هو مبين بالشكل (11). نلاحظ من الشكل (13) أن وجود الزعانف الطولية يوفر قفزة في درجة الحرارة في المجمع في المناطق القريبة من الزعنفة مما يدل على فعالية الزعانف في نقل الحرارة للمائع، انظر للقمم بالخط باللون الأخضر المتقطع في الشكل (13). رغم ذلك، نلاحظ أن المجمع الذي يحتوي فقط على حواجز عرضية ترتفع فيه الحرارة بشكل نسبي أفضل من المجمع المزود بزعانف طولية فقط ويعود ذلك الى دور الحواجز في فرض اضطراب بالجريان وبالتالي زيادة فعالية التبادل الحراري. من الجدير بالذكر أن الحواجز تسبب أيضاً هبوط أكبر بالضغط بالمقارنة مع الزعانف وبالتالي زيادة الاستهلاك اللازم لتدوير المضخة. للاستفادة من فعالية الزعانف في التبادل الحراري ومن فعالية الحواجز في فرض اضطراب بالجريان دون المبالغة في زيادة هبوط الضغط بالمجمع تم اعتماد نموذج يحتوي على كلا النوعين من الشفرات (زعانف وحواجز). يوضح المخطط شكل (13) أن النموذج الذي يحتوي على شفرات موازية للجريان (زعانف) وشفرات متعامدة مع الجريان (حواجز)، كما في الشكل (12) ترتفع فيه درجة الحرارة بمعدل أعلى بالمقارنة مع بقية النماذج كذلك درجة حرارة الخروج في هذا النموذج أعلى بالمقارنة مع بقية النماذج.



الشكل (13) مقارنة درجة الحرارة على طول محور المجمع بحسب توضع الشفرات (زعانف وحواجز)

مقارنة المردود الحراري:

يتم حساب المردود الحراري لكل نموذج وفق مجموعة المعادلات التالية:

$$\eta = Q_u / A \times G = \dot{m} \times C_p \times (T_{out} - T_{in}) / A \times G$$

$$\dot{m} = \rho \times V \times A_{inlet} = 0.0076 \text{ kg / s}$$

$$C_p = 4184 \text{ J/kgK}$$

$$A \times G = 0.94 \times 0.55 \times 950 = 491.15 \text{ W}$$

يتم اعتبار قيم التدفق والسعة الحرارية للماء وشدة الاشعاع الشمسي ثابتة بالنسبة لجميع النماذج السابقة. المردود الحراري يتم حسابه بدون أخذ الضياعات الحرارية بعين الاعتبار لذلك قيمه مرتفعة نسبياً كما هو موضح بالجدول التالي:

الجدول (1) المردود الحراري للنماذج المدروسة

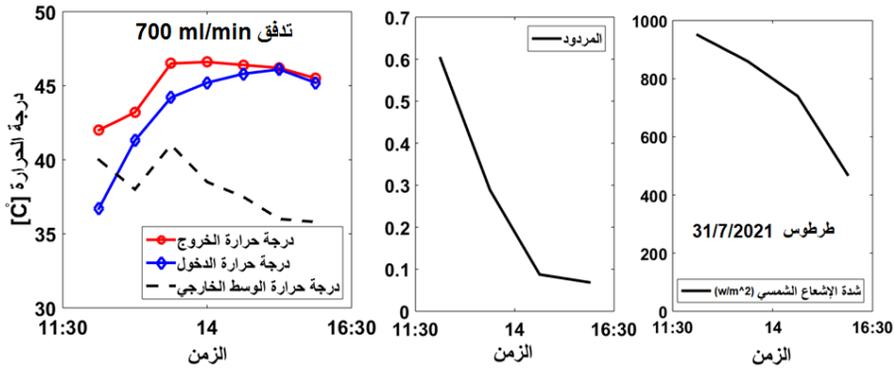
| المردود η [%] | T_{out} [K] | T_{in} [K] | النموذج التصميمي |
|-----------------------|---------------|--------------|--|
| 37.55% | 305.8 | 300 | مجمع بدون شفرات (بدون زعانف وبدون حواجز) |
| 51.79% | 308 | 300 | مجمع مع شفرات موازية للجريان (زعانف) |
| 53.74% | 308.3 | 300 | مجمع مع شفرات متعامدة مع الجريان (حواجز) |
| 59.6% | 309.2 | 300 | مجمع مع شفرات موازية للجريان (زعانف) وشفرات متعامدة مع الجريان (حواجز) |

نلاحظ أن المجمع مع شفرات موازية للجريان (زعانف) وشفرات متعامدة مع الجريان (حواجز) يحقق أعلى مردود حراري بفضل الاستفادة من فعالية الزعانف في التبادل الحراري ومن فعالية الحواجز في فرض اضطراب بالجريان لذلك سيتم اعتماد هذا النموذج للتصنيع والاختبار التجريبي.

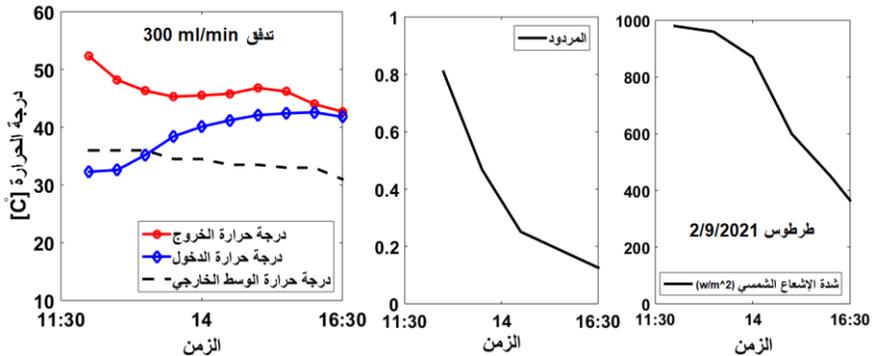
النتائج التجريبية

اختبار أداء المجمع عند تدفقات مختلفة:

تم اختيار تجربتين من ضمن مجموعة واسعة من التجارب بتاريخ 31/7/2021 وتاريخ 2/9/2021 على سطح كلية العلوم في مدينة طرطوس، وتم تسجيل درجة حرارة الوسط الخارجي T_{amp} . تبين التجارب أن التصميم المقترح للمجمع المزود بشفرات عرضية وطوليه مدمجة مع السطح الماص يحقق أداء مناسب في رفع درجة حرارة الماء عند تدفقات مختلفة بالمقارنة مع درجة حرارة الوسط الخارجي. نلاحظ من خلال التجارب العملية أن درجة حرارة الدخول T_{in} والخروج T_{out} تزداد مع مرور الوقت خلال النهار من أجل تدفق 700ml/min وتدفق 300ml/min (تم اعتماد قيمتين مختلفتين لملاحظة تأثير التدفقات المنخفضة والتدفقات المرتفعة على درجة الحرارة)، كما في الشكلين (14) و (15). يحصل هبوط واضح بالمرود مع انخفاض شدة الإشعاع الشمسي وتصبح درجة حرارة ماء الدخول للمجمع مساوية تقريباً لدرجة حرارة الخروج.



الشكل (14) أداء المجمع عند تدفق 700 ml/min



الشكل (15) أداء المجمع عند تدفق 300 ml/min

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

هذا البحث يسلط الضوء على العديد من النقاط، يمكن تلخيص أهمها بما يلي:

- ✓ تصميم المجمع الشمسي الذي يستخدم الماء كوسيط لنقل الحرارة على شكل صندوق مسطح مزود بشفرات (زعانف وحواجز) عرضية وطولية يساهم بشكل كبير في انتقال الحرارة من السطح الماص الى السائل من خلال زيادة سطح التبادل الحراري.
- ✓ استخدام صفائح الألمنيوم في تصنيع المجمع الشمسي كان له دوراً كبيراً في عملية انتقال الحرارة، وقد يكون استخدام صفائح النحاس أفضل ولكن قد تكون التكاليف أكبر.
- ✓ الحواجز العرضية تساهم بزيادة الاضطراب في الجريان وزيادة زمن بقاء الماء ضمن المجمع وبالتالي زيادة درجة حرارته.
- ✓ يمكن تحسين المردود الحراري للمجمعات الشمسية المسطحة عند استخدام الزعانف الطولية لزيادة سطح التبادل الحراري والحواجز العرضية لزيادة اضطراب الجريان.
- ✓ القياس التجريبي يبين أن التصميم المقترح له أداء حراري جيد ويؤدي لرفع درجة حرارة الماء بشكل ملحوظ بالمقارنة مع درجة حرارة الوسط الخارجي.

التوصيات:

- ✓ يوصى باستخدام المجمعات الشمسية المسطحة ذات الشفرات (زعانف وحواجز) 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 بشكلٍ كافٍ.
- ✓ يوصى بالتحكم بسرعة المضخة للحصول على سرعة التدفق المناسبة والتي تؤمن درجة حرارة الماء الساخن بما يلبي الحاجة المطلوبة.
- ✓ نوصي بإجراء المزيد من التجارب لتطوير هذا النوع من الأنظمة حيث من الممكن أن يكون نظاماً تجارياً ويلبي متطلبات الماء الساخن.

References:

- [1] AGUILAR, C. D, DAVID, L. R 2005- Domestic water heating and water heater energy consumption in Canada, Canadian Building Energy End-Use Data and Analysis Centre, 805-813.
- [2] BOJIC, M. S, KALOGIROU, K 2002- Simulation of a solar domestic water heating system using a time marching model, Renewable energy, 441-452.
- [3] MICHAELIDES, I.M 2011- An experimental investigation of the performance boundaries of a solar water heating system, Experimental Thermal and Fluid Science, 1002-1009.
- [4] KISHOR, N. et al. 2010- Fuzzy model representation of thermo-siphon solar water heating system, Solar Energy, 948-955.
- [5] JAISANKAR, S. et al. 2011- A comprehensive review on solar water heaters, Renewable and sustainable energy reviews, 3045-3050.
- [6] GUNASEKARAN, N. et al. 2021- Investigation on ETC solar water heater using twisted tape inserts, Materials Today Proceedings, 845-875.
- [7] AFSHARI, F. et al. 2019- CFD analysis on fin and baffle configurations in solar Air collector, Energy and Environmental Studies for the Near Future, 79-87.
- [8] KIM, R. Yu-Jin, et al. 2020- Validation and Numerical Sensitivity Study of Air Baffle Photovoltaic-Thermal Module, Energies, 190-197.
- [9] TAAMNEH, N. YAZAN, G. et al. 2018- Experimental analysis of inclined solar water heater with baffles, Chemical Engineering Transactions, 1339-1344.
- [10] GOMMA 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.