

## التَّحْقُق من المردود التجريبي لمجمع شمسي منخفض التركيز

\* م. لبانة طحبوش

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٣ / ١٠ / ٣١ - تاريخ النشر 2023 / 12 / 10)

### □ ملخص □

تم في هذا البحث دراسة المردود التجريبي لمجمع شمسي على شكل قطع مكافئ، حيث تم تصنيع نموذج للمجمع الشمسي بسطح عاكس من رقائق الألمنيوم وأنبوب امتصاص من النحاس، لاختباره تجريبياً في فصل الصيف خلال الأشهر التالية (حزيران تموز، آب) عام 2023 باستخدام الماء كمائع ناقل للحرارة بمعدل تدفق كتلي مقداره 0.033 kg/s ، وفي شهر آب خلال يوم (19/٨/٢٠٢٣) تم طلاء الأنبوب الماص باللون الأسود و تم عزل أنبوبي الدخل والخرج وخزان الماء الساخن بمواد عزل مناسبة وذلك حسب الإمكانيات والمواد المتوفرة في السوق المحلية، وذلك من أجل معرفة الحد الأقصى للكفاءة الممكن الوصول إليها، ودراسة مدى تأثير العوامل التالية (شدة الإشعاع الشمسي، درجة حرارة خروج الماء، كمية الحرارة المفيدة التجريبية) على أدائه وفق الشروط المناخية لمدينة طرطوس. من خلال الدراسة تبين أن أعلى قيمة للمردود التجريبي تم الحصول عليها كانت في شهر آب خلال يوم (١٩/٨/٢٠٢٣) بعد طلاء الأنبوب الماص باللون الأسود وعزل الخزان وأنبوبي الدخل والخرج، حيث بلغت (٤٧.٠٧ %) عند درجة حرارة خروج للماء (65.5°C)، وعند شدة إشعاع شمسي (890 W/m<sup>2</sup>)، في حين بلغت كمية الحرارة المفيدة التجريبية قيمة عظمى مقدارها (417W).

الكلمات مفتاحية: المردود الحراري مجمع شمسي على شكل قطع مكافئ، سطح عاكس، أنبوب امتصاص.

\* ماجستير في هندسة الطاقة الشمسية والطاقات المتجددة-جامعة طرطوس- طرطوس -سوريا.

## Verification of the experimental performance of a low-concentration solar collector

Loubana Tahboush\*

(Received 31/10/2023.Accepted 10/12/2023)

### □ABSTRACT □

In this research, the experimental performance of a parabolic trough solar collector was studied. A model of the solar collector was manufactured with a reflective surface of aluminum foil and a copper absorption tube, to be experimentally tested in the summer during the following months (June, July, August) in 2023 using water as a heat transfer fluid at a mass flow rate of 0.033 kg/s, and in August during the day of (19/8/2023) The absorbent tube was painted black, and the input and output tubes and the hot water tank were insulated with appropriate insulation materials, according to the capabilities and materials available in the local market, to determine the maximum efficiency achieved, and to study the extent of the influence of the following factors (intensity of solar radiation, outlet temperature, the amount of experimental useful heat) on its performance according to the climatic conditions of the city of Tartous.

The study showed, that the highest value of the experimental efficiency was obtained in August during the day (8/19/2023) after painting the absorbent tube black and insulating the tank and the inlet and outlet pipes, reached (47.07%) at the water outlet temperature (65.5°). C), at the intensity of solar radiation (890 W/m<sup>2</sup>), while the amount of experimental useful heat reached a maximum value of (417 W).

Keywords: thermal effieincy, parabolic solar collector, reflective surface, absorber tube.

---

\* Loubana Tahboush, master degree of solar and renewable energy engineering - Tartous University - Tartous- Syria.

**المقدمة:**

يحتاج استثمار الطاقة الشمسية إلى آلية معينة تتمثل باستخدام المركبات الشمسية التي تعمل بمبدأ تجميع الأشعة الشمسية الساقطة وتركيزها في الجزء الذي يراد الاستفادة منه، وذلك حسب الغرض أو الهدف من التصميم. والمركبات الشمسية هي نوع من أنواع المجمعات الشمسية، والتي تختلف عن المجمعات المسطحة في كونها تعمل على تركيز الأشعة الشمسية الساقطة عليها (من خلال مساحة كبيرة تسمى مساحة فتحة المجمع) على مساحة أقل تسمى المستقبل (الماص) بواسطة عدسات أو مرايا (العاكس). ويمكن من خلال هذه الأنواع من المجمعات تقليل المفاهيم الحرارية، بالإضافة إلى الحصول على درجات حرارة أعلى لمائع التشغيل والتي لا يمكن للمجمعات المسطحة توفيرها بكفاءة عالية.

يتكون المجمع المركز من جزأين رئيسيين هما: المُرَكِّز والمُسْتَقْبِل، حيث يقوم المركز بعكس أشعة الشمس الساقطة على المستقبل، وهذا يزيد من الطاقة المُستقبلة، ويمرّ في المستقبل الوسيط العامل الذي يقوم باستخراج الطّاقة الحراريّة من الإشعاع الشمسيّ الساقط عليه [1].

وتشمل تكنولوجيا الطاقة الشمسية المُركزة المتاحة استخدام العديد من الأنظمة منها: مجمع شمسي على شكل قطع مكافئ، ومجمع شمسيّ على شكل قطع مكافئ وبعاكس مزدوج ونظام مستقبل مركزيّ ومجمع شمسي على شكل طبق قطع مكافئ، وعاكس فرينل الخطي .

ويعتبر المجمع الشمسي على شكل قطع مكافئ (Parabolic Trough Collector) PTC من أهم أنظمة التركيز الشمسي والأكثر فعالية في التطبيقات الحرارية للطاقة الشمسية والتي يتم استغلالها بشكل مركزي في إنتاج البخار المضغوط لتدوير عنفات مولدات الطاقة الكهربائية من خلال محطات توليد الطاقة الكهربائية الشمسية، أو بشكل غير مركزي من خلال استخدامها في التطبيقات الحرارية (تسخين المياه، إنتاج البخار، التقطير) وذلك لمختلف الأغراض الصناعية والمنزلية [3].

وهناك الكثير من الأبحاث والدراسات التجريبية والنظرية التي اهتمت بدراسة هذا النوع من المجمعات بغرض تحليل أدائه الحراري ودراسة تأثير بعض البارامترات المهمة على أدائه.

حيث قام الباحثان Akoshile Olufemi و Abiem Tersoo [5] عام ٢٠٢٠ في نيجيريا بدراسة هدفت لتقييم الكفاءة الحرارية لنظام حراري شمسي لتوليد البخار باستخدام مجمع شمسي PTC بمساحة  $1.5m^2$  وباستخدام أنبوب نحاسي محاط بأنبوب زجاجي مفرغ من الهواء، حيث تم تركيب أجهزة استشعار لدرجة الحرارة في أماكن مختلفة من نقاط النظام الحراري الشمسي لدراسة توزيع درجات الحرارة بشكل تجريبي داخل النظام، كما تم تركيب مستشعر الضغط في الخزان لقياس الضغط داخل النظام. أوضحت النتائج التي تم الحصول إليها أن النظام الحراري الشمسي يولد بخارًا بدرجة حرارة منخفضة ومتوسطة تصل إلى  $105^{\circ}C$  عند ضغط يبلغ حوالي 120 Kpa عندما بلغت شدة الإشعاع الشمسي قيمة  $1109.5 W/m^2$  ، وبلغت الكفاءة الأعظمية للمجمع  $46.48\%$ .

وقدم الباحثان Mohamed Yasin ALIBAR , Devrim AYDIN [7] عام ٢٠٢١ في تركيا دراسة هدفت لاختبار أداء مجمع PTC بدون نظام تتبع شمسي، لتطبيقات تسخين المياه المنزلي، باستخدام الماء كوسيط ناقل للحرارة عند تدفقين كتليين مختلفين للماء  $15 kg/h$  و  $20 kg/h$  ، وأظهرت نتائج الدراسة أنه عند التدفق الكتلي  $15 kg/h$  كانت الاستطاعة الحرارية المفيدة الناتجة من المجمع  $285W$  عند شدة إشعاع شمسي  $790.8 W$  وبلغ متوسط درجة حرارة مخرج المجمع  $51.65^{\circ}C$  ، وكانت الكفاءة  $33\%$ ، بينما عند التدفق الكتلي  $15 kg/h$  كانت الاستطاعة

الحرارية المفيدة الناتجة من المجمع 233W عند شدة إشعاع شمسي 499.9 W وبلغ متوسط درجة حرارة مخرج المجمع 53.51°C ، وكانت الكفاءة 44%.

قدم الباحثون Mokhtar Ghodbane, Boussad Boumeddane , Ahmed Hussein [6] عام 2021 في الجزائر دراسة هدفت لاختبار الأداء الحراري لمجمع شمسي على شكل قطع مكافئ بمساحة كلية 2.4 m<sup>2</sup> باستخدام سطح عاكس من المرايا العاكسة ، وأنبوب ماص نحاسي وباستخدام الماء كوسيط ناقل للحرارة ، وبينت نتائج الدراسة أن الكفاءة الحرارية بلغت قيمة قصوى مقدارها 74.30٪، وكان معامل الفقد الحراري الكلي 5.96 W/m<sup>2</sup> °C ، وتم الحصول على بخار الماء بين الساعة 10:20AM و 11:50 AM عند قيمة قصوى لدرجة حرارة الأنبوب الماص مقدارها 118.95 °C ودرجة حرارة سائل نقل الحرارة 110 °C.

قام الباحثون Asaad Al-Rabeeah, Istvan Seres, Istvan Farkas [10] عام 2023 في الهند بدراسة تجريبية هدفت لتحسين الكفاءة الحرارية لمجمع PTC باستخدام تصاميم مختلفة لأنابيب الامتصاص ، حيث تم اختبار أربعة أنابيب استقبال مختلفة مصنوعة من النحاس، حيث تم تصميم أنبوب ماص مفرغ واحد، وأنبوب ماص مفرغ مزدوج، وأنبوب ماص مفرغ حلقي، وأنبوب ماص مفرغ مزدوج بلوحة مسطحة، وذلك عند تدفقين كتليين مختلفين للماء 60 kg/h و 120 kg/h. حيث بلغ الحد الأقصى للكفاءة الحرارية عند التدفق الكتلي للماء 60 kg/h يساوي 52.7%، 46.17%، 40.26%، و 37.27% للحالات الأربعة لأنابيب الامتصاص السابقة على التوالي، وبلغ الحد الأقصى للكفاءة الحرارية عند معدل تدفق كتلي للماء 120 kg/h 59.05%، 52.39%، 46.84%، و 40.37% للحالات السابقة على التوالي. ووفقاً للنتائج التي تم الحصول عليها، فإن الأداء الحراري للمجمع المدروس باستخدام أنبوب امتصاص مزدوج التفريغ مع لوحة مسطحة أفضل منه في الحالات الأخرى، حيث أظهرت التصميمات الجديدة لأنابيب الامتصاص تحسناً ملحوظاً في الكفاءة الحرارية للمجمع حيث يعتبر أنبوب الامتصاص من أكثر العوامل فعالية لتحسين أداء المجمع الشمسي.

### أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في استثمار الطاقة الشمسية باستخدام نظام المركز الشمسي ذو القطع المكافئ الذي يعمل على تجميع الأشعة الشمسية المنعكسة وتركيزها بهدف تسخين الماء، كما يهدف إلى دراسة الأداء الحراري لمجمع شمسي منفذ في ظل الظروف المناخية لمدينة طرطوس-سوريا خلال أشهر الصيف، ودراسة تأثير كل من تغطية الأنبوب الماص بطلاء أسود، وعزل أنابيب المجمع وخزان التخزين على مردوده.

### طريقة البحث ومواده:

تم في هذا البحث اختبار الأداء التجريبي لمجمع شمسي على شكل قطع مكافئ حيث تم تصميم المجمع بسطح عاكس من رقائق الألمنيوم لتجميع الأشعة الشمسية المنعكسة في بؤرة اللاقط الشمسي بغرض الحصول على أعلى طاقة حرارية يستفاد منها في رفع درجة حرارة الماء المار في الأنبوب الماص النحاسي بعدها تم وصل الدارة اللازمة للحصول على الماء الساخن وإجراء الاختبار التجريبي، ومن ثم تمت مقارنة النتائج التي تم التوصل إليها، وصولاً إلى الاستنتاجات المناسبة.

### المجمع الشمسي ذو القطع المكافئ:

تعتبر المجمعات الشمسية ذات القطع المكافئ PTC (Parabolic Trough Collector) من أقدم أنظمة تكنولوجيا المركبات الشمسية، تتكون هذه المجمعات من أسطح عاكسة (مرايا)، ومستقبلات حرارية،

وهيكل معدني للتثبيت. تُشكّل مرايا القطع المكافئ من ألواح من مادة عاكسة من زجاج شفاف مطلي بالفضة، حيث تبلغ نسبة تركيز هذه الأنظمة من (٣٠-٨٠)، والغرض من المرايا المصنعة على شكل قطع مكافئ هو تركيز الأشعة المستقبلية من ضوء الشمس إلى أنبوب استقبال مركزي عند محور خط المجمع. حيث تستقبل أنابيب الامتصاص الموجودة في النقط المحورية لعاكسات القطع المكافئ الطاقة الشمسية المركزة وبالتالي تُسخنها، وتُصنع أنابيب الامتصاص من النحاس أو الفولاذ المقاوم للصدأ، حيث يدور ضمنها مائع نقل الحرارة لتجميع الطاقة الشمسية لتحويلها إلى بخار للمولد أو إلى نظام تخزين للحرارة. وتستخدم هذه المجمعات في المحطات الشمسية زيوت صناعية كمائع نقل للحرارة والتي تكون مستقرة عند  $400^{\circ}\text{C}$  [4].

### المجمع الشمسي المُنفذ:

#### • مواصفات المجمع الشمسي المُنفذ:

تم تصنيع نموذج المجمع الشمسي، حسب الإمكانيات والمواد المتوفرة محلياً، والذي يتكون من قاعدة التثبيت على سطح الأرض، والسطح العاكس، وإطار الدعم المعدني وعنصر تجميع الحرارة (الأنبوب الماص)، حيث تم استخدام رقائق الألمنيوم كسطح عاكس لما يتميز به من الانعكاسية العالية حيث تصل انعكاسيته إلى (٠.٩٧) [3]، والذي يبلغ طوله (125cm) وعرضه (80cm) بمساحة ( $1\text{m}^2$ ) حيث يتم تجميع الأشعة الشمسية المنعكسة في بؤرة اللاقط الشمسي لغرض الحصول على أعلى طاقة حرارية يستفاد منها في رفع درجة حرارة الماء الماز في الأنبوب الماص (المستقبل) المصنوع من النحاس بطول (125 cm) وبقطر خارجي (15.8 mm) وقطر داخلي (13.5 mm).

تم اختيار الماء كوسيط عامل في الدارة لما يتميز به من مواصفات: فهو غير سام وغير مكلف، ولديه سعة حرارية عالية ولزوجته منخفضة جداً مما يجعله سهل الضخ.

#### • وصل الدارة اللازمة للحصول على الماء الساخن:

ومن من أجل نقل الوسيط العامل (الماء) إلى الأنبوب الماص صُممت دارة مكونة من: المجمع الشمسي المُنفذ، وخزان ماء بسعة L (50)، ومضخة باستطاعة (25 W) تم وضعها داخل الخزان لتؤمن تدفق الماء المطلوب، ومقياس تدفق حساسيته (2 l/min) وصمامات ومجموعة من الأنابيب المرنة لنقل الماء في الدارة.

ويبين الشكل (١) الدارة المستخدمة في إجراء التجارب



الشكل (١) الدارة المستخدمة في إجراء التجارب.

حساب المردود التجريبي للمجمع الشمسي:

تعطى قيمة المردود التجريبي العلاقة التالية [19]:

$$\eta_{exp} = \frac{Q_{useful}}{Q_{tot}} \quad (1)$$

حيث أن:

$Q_{useful}$ : الاستطاعة الحرارية المفيدة الناتجة عن المجمع الشمسي [W].

$Q_{tot}$ : الطاقة الشمسية الكلية الساقطة على المجمع الشمسي [W].

تعطى قيمة كمية الحرارة المفيدة بالعلاقة التالية:

$$Q_{useful} = m \times C_p \times (t_{fo} - t_{fi}) \quad [W] \quad (2)$$

حيث أن:

$m$ : معدل التدفق الكتلي للمائع [kg/S] وتبلغ قيمته 0.033 [kg/s].

$C_p$ : السعة الحرارية النوعية للمائع [J/kg °C].

$t_{fo}$ : درجة حرارة المائع عند الخروج من الماص [°C].

$t_{fi}$ : درجة حرارة المائع عند الدخول إلى الماص [°C].

وتعطى قيمة الطاقة الكلية الساقطة على المجمع بالعلاقة التالية:

$$Q_{tot} = I_b \times A_{ap} \quad [w] \quad (3)$$

حيث أن:

$A_{ap}$ : مساحة فتحة المجمع [m<sup>2</sup>].

$I_b$ : شدة الإشعاع الشمسي الساقط على المجمع [W/m<sup>2</sup>].

فتكون علاقة المردود العملي (التجريبي)  $\eta_{exp}$ :

$$\eta_{exp} = \frac{m \times C_p \times (t_{fo} - t_{fi})}{I_b \times A_a} \quad (4)$$

المواد والمقاييس المستخدمة في البحث:

- مقياس الإشعاع الشمسي المستخدم (LPO2 Pyranometer-LI19) يستخدم لقياس شدة الإشعاع الشمسي ويمتلك المواصفات التالية: إخراج القيمة المقاسة بوحدة W/m<sup>2</sup>، مجال الخطأ (دقة القياس) > 0.1%، يخزن حوالي 3518 من البيانات المقاسة، يحوي على بطاريتان داخليتان نوع AA جهد كل منهما 1.5V.

- حساس الحرارة: الحساس المستخدم من النوع (MPT-10) Digital Thermometer له المواصفات التالية: مجال القياس +80°C → -50°C، دقة القياس ±1°C، يحوي على بطاريتان داخليتان نوع LR44 جهد كل منهما 1.5V.

- مضخة الماء: تم اختيار مضخة باستطاعة (25W) وجهد عمل (220V) ذات ارتفاع أعظمي (2m).

- مادة عزل الأنابيب: تم عزل أنبوبي الدخل والخرج بمادة عزل مصنوعة من الإسفنج المطاطي تستخدم لعزل مواسير الماء، وهي عبارة عن مادة عازلة حرارية عالية الجودة، لا تحتوي على كلوروفلوريد ضار بالغللاف الجوي وموفرة للطاقة ذات معامل توصيل حراري منخفض.

- مادة عزل الخزان المستخدمة: وهي عبارة عن مادة عازلة حرارية مصنوعة من الألمنيوم الاسفنجي مقاوم للماء وللحرائق ذات لون فضي، حيث تحافظ على الحرارة وتمنع تسربها ويتكون من طبقة من اسفنج البولي اتيلين بين طبقتين من الألمنيوم بسماكة 5mm وكثافة  $35 \sim 38 \text{kg/m}^3$ .
- مادة الطلاء المستخدمة: عبارة عن مادة بوليميرية بلاستيكية مصنوعة من راتنجات الاكريليك الأسود وتتمتع بالموصفات التالية: سريعة الجفاف، لديها خصائص التصاق ممتازة على السطح الذي تطلّى عليه، يؤمن حماية جيدة من التآكل.

توضح الأشكال (٢) و(٣) و(٤) و(٥) و(٦) المواد والأجهزة المستخدمة في البحث:



الشكل (٣) مقياس درجة الحرارة.



الشكل (٢) مقياس شدة الإشعاع الشمسي.



الشكل (٥) عازل حراري من الألمنيوم الاسفنجي.



الشكل (٤) مادة عازلة اسفنجية مطاطية.



الشكل (٦) المضخة المستخدمة في التجارب.

#### العمل التجريبي وأخذ القياسات:

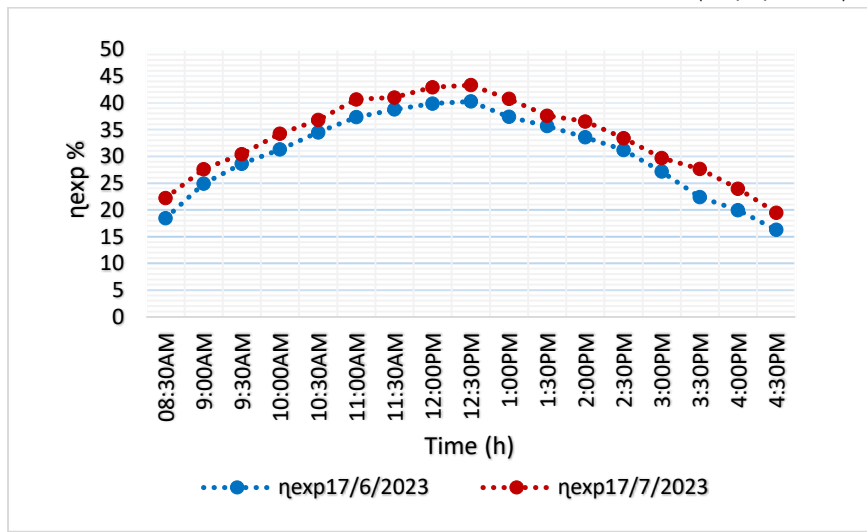
بعد تجميع أجزاء الدارة ووصلها قمنا باختبار المجمع الشمسي المدروس صيفاً خلال الأشهر التالية (حزيران، تموز، آب) عام ٢٠٢٣، وذلك ليوم محدد من كل شهر، بحيث تم تسجيل البارامترات والمتغيرات المقاسة (درجة حرارة الماء عند مدخل الأنبوب الماص ودرجة حرارة الماء عند مخرج الأنبوب الماص، وشدة الإشعاع الشمسي الساقط) كما تم

استخدام حساسين للحرارة لقياس درجة حرارة الماء الداخل إلى المجمع والماء الخارج منه، على فترات زمنية قدرها ٣٠ دقيقة بدءاً من الساعة ٨:٣٠ صباحاً حتى الساعة ٤:٣٠ بعد الظهر، وفي شهر آب خلال يوم (19/٨/٢٠٢٣) تم طلاء الأنبوب الماص النحاسي باللون الأسود وعزل أنبوبي الدخل والخرج وخزان الماء بمواد عزل مناسبة، ومن ثم تمت مقارنة النتائج التي تم التوصل إليها لمعرفة مدى تأثير الطلاء والعزل المستخدمين على أداء المجمع المدروس.

### النتائج والمناقشة:

تغير المردود التجريبي للمجمع المنفذ مع الزمن خلال شهري حزيران وتموز:

يبين (الشكل ٧) تغير المردود التجريبي للمجمع المنفذ خلال ساعات الاختبار في يومي (17/6/2023)، (17/7/2023).



الشكل (٧) تغير المردود التجريبي للمجمع المنفذ مع الزمن ليومي (١٧/٦/٢٠٢٣، ١٧/٧/٢٠٢٣).

نلاحظ من الشكل (٧) ازدياد المردود بشكل تدريجي إلى أن يصل لأعلى قيمة له عند منتصف النهار ثم تأخذ قيم المردود بالتناقص تدريجياً في الفترة المسائية حتى نهاية اليوم، ففي شهر حزيران بلغت أقصى قيمة للمردود التجريبي (٤٠.٢٣%) عند الساعة (12:30 Pm) بينما كانت أدنى قيمة له (١٦.٢٥%) عند الساعة (4:30 Pm).

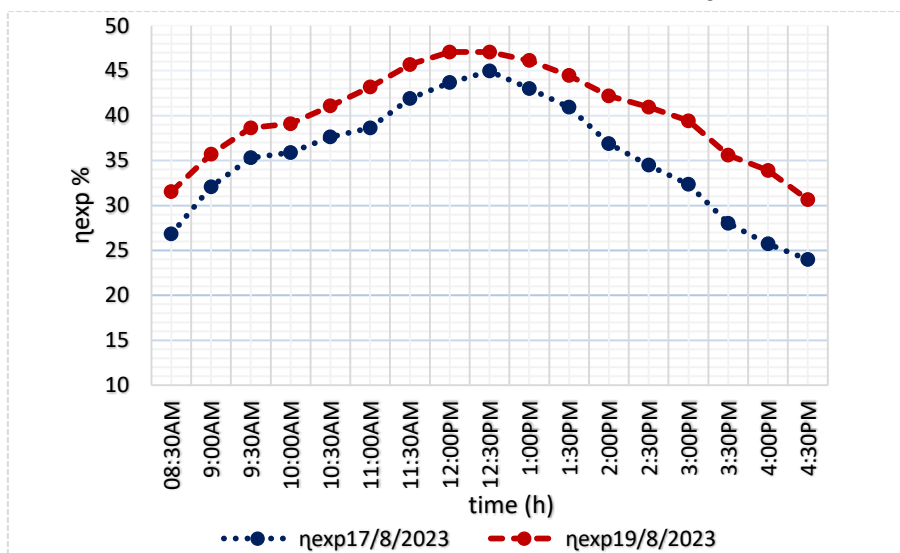
وفي شهر تموز كانت أعظم قيمة للمردود 43.3% عند الساعة (12:30 Pm) بينما كانت أدنى قيمة له (١٩.٤٥%)، ويُفسر ازدياد كفاءة المجمع الشمسي وخاصة عند الظهيرة، بسبب زيادة شدة الإشعاع الشمسي وانخفاض المفايد الحرارية وخاصة الناتجة عن الحمل الحراري بسبب ارتفاع درجة حرارة المحيط ومقاربتها لدرجة حرارة الأنبوب الماص.

تغير المردود التجريبي للمجمع المدروس مع الزمن في شهر آب:

تم اختبار أداء المجمع الشمسي خلال يومين مختلفين من شهر آب ومتقاربين في شدة الإشعاع الشمسي، حيث تم طلاء الأنبوب الماص النحاسي باللون الأسود وعزل أنبوبي الدخل والخرج وخزان الماء بمواد عزل مناسبة لمعرفة مدى تأثير كل منهما على المردود.



يبين (الشكل ٨) تغير المردود التجريبي للمجمع المنفذ خلال ساعات الاختبار في يوم (17/8/2023)، حيث لا يوجد عزل لأنابيب الدخل والخرج والخزان وبدون طلاء الماص باللون الأسود، وفي يوم (19/8/2023) حيث تمت عملية العزل وطلاء الماص بالأسود.



الشكل (٨) تغير المردود التجريبي للمجمع المنفذ مع الزمن ليومي (١٧/٨/٢٠٢٣، ١٩/٨/٢٠٢٣).

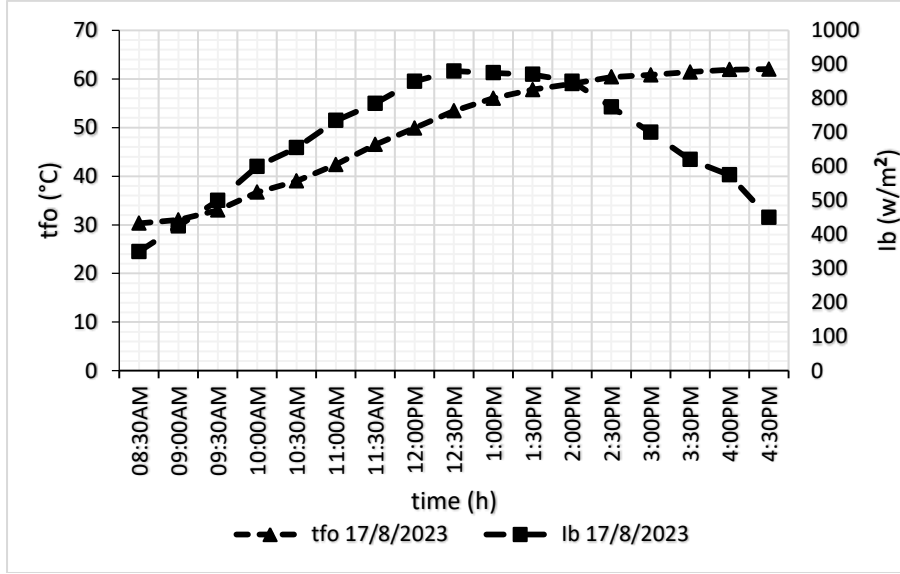
نلاحظ من الشكل (٨) أنّ قيمة المردود تزداد بنسبة (٣-٨) % عند استخدام الطلاء الأسود والعزل عن قيمته في حال عدم استخدامهما، وذلك بسبب ازدياد درجة حرارة الأنبوب الماص النحاسي ولأن اللون الأسود يمتص الأشعة الشمسية بشكل كبير وبالتالي ترتفع درجة حرارة الأنبوب بسرعة، فهو موصل جيد للحرارة ويقوم هذا الطلاء بتقليل الضياعات الحرارية الإشعاعية باتجاه الوسط المحيط.

ففي يوم ١٧/٨/٢٠٢٣ بلغت أقصى قيمة للمردود التجريبي (٤٥%) عند الساعة (12:30 Pm) بينما كانت أدنى قيمة له (٢٤%) عند الساعة (4:30 Pm)، وفي يوم ١٩/٨/٢٠٢٣ كانت أعظم قيمة للمردود ٤٧.٠٧% عند الساعة (12:30 Pm) بينما كانت أدنى قيمة له (٣٠.٦٥%).

تغير درجة حرارة خروج الماء وشدة الإشعاع الشمسي مع الزمن في شهر آب:

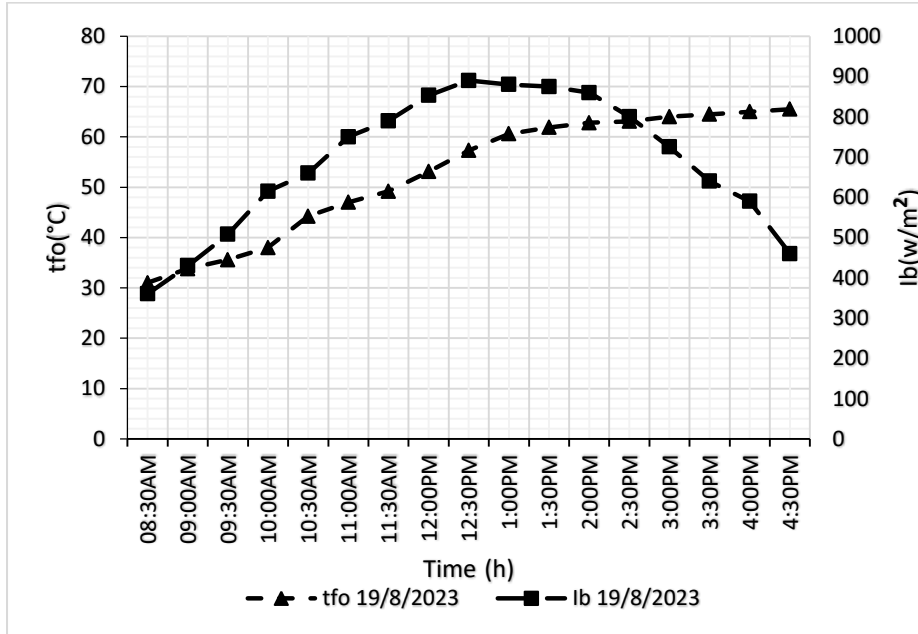
يبين الشكل (٩) تغير درجة حرارة الماء الخارج وشدة الإشعاع الشمسي خلال ساعات الاختبار ليوم

(17/٨/٢٠٢٣).



الشكل (٩) تغير درجة حرارة الخرج والإشعاع الشمسي مع الزمن ليوم (١٧/٨/٢٠٢٣).

يبين الشكل (١٠) تغير درجة حرارة الماء الخارج والإشعاع الشمسي خلال ساعات الاختبار في شهر آب ليوم (١٩/٨/٢٠٢٣).



الشكل (١٠) تغير درجة حرارة الخرج والإشعاع الشمسي مع الزمن ليوم (١٩/٨/٢٠٢٣).

نلاحظ من الشكلين (٩)، (١٠):

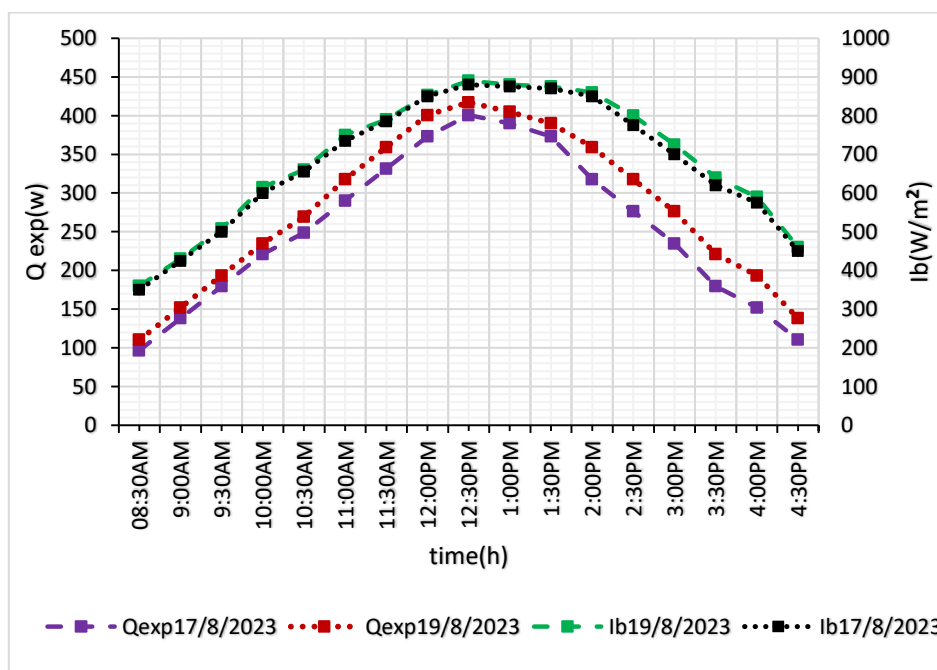
- ازدياد شدة الإشعاع الشمسي مع الزمن بشكل تدريجي إلى أن يصل لأعظم قيمة له عند الساعة (12:30 PM)، ثم يبدأ بالانخفاض تدريجياً إلى أن يصل لأدنى قيمة له عند الساعة (4:30 PM)، ففي يوم (١٧/٨/٢٠٢٣) كانت أعظم قيمة لشدة الإشعاع الشمسي ( $I_b = 880 \text{ W/m}^2$ )، بينما في يوم (١٩/٨/٢٠٢٣) بلغت القيمة الأعظمية لشدة الإشعاع الشمسي ( $I_b = 890 \text{ W/m}^2$ ).

- أعلى درجة حرارة تم الحصول عليها في يوم (١٧/٨/٢٠٢٣) كانت  $t_{fo} = 62 \text{ }^\circ\text{C}$ ، بينما أعلى درجة حرارة تم الحصول عليها في يوم (١٩/٨/٢٠٢٣) مع وجود عزل وطلاء كانت  $t_{fo} = 65.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ، ففي

حالة وجود العازل والطلاء ازدادت درجة الحرارة بمقدار ( $5^{\circ}\text{C} - 1^{\circ}\text{C}$ ) عن حالة عدم عزل الأنابيب وعدم طلاء الأنابيب الماص، والسبب هو زيادة امتصاصية الأشعة المستقبلة من السطح العاكس على الأنبوب الماص، مما يؤدي لزيادة كمية الحرارة المنتقلة بالحمل الحراري من الأنبوب الماص إلى المائع، وتستمر درجة حرارة الخرج بالارتفاع بالرغم من انخفاض شدة الإشعاع الشمسي وذلك لما يحققه العزل الحراري لخزان الماء من المحافظة على حرارة الماء الساخن وتقليل الضياعات الحرارية الذي يتسبب فيه انخفاض درجة حرارة الوسط المحيط في نهاية اليوم.

#### دراسة تغير الاستطاعة الحرارية المفيدة للمجمع المدروس والإشعاع الشمسي مع الزمن:

يوضح الشكل (١١) تغير الاستطاعة الحرارية المفيدة التجريبية والإشعاع الشمسي مع الزمن خلال ساعات الاختبار.



الشكل (١١) تغير الاستطاعة الحرارية المفيدة للمجمع المنفذ والإشعاع الشمسي مع الزمن خلال يومي (١٧/٨/٢٠٢٣، ١٩/٨/٢٠٢٣).

نلاحظ من الشكل (١١) أن:

كمية الحرارة المفيدة التجريبية للمجمع الشمسي المنفذ تزداد بزيادة شدة الإشعاع الشمسي الساقط عليه، حيث كانت أعلى قيمة لها في يوم (١٧/٨/٢٠٢٣) هي ( $Q_{exp} = 400.6 \text{ W}$ ) عند الساعة (12:30 Pm) وعند قيمة أعظمية لشدة الإشعاع الشمسي مقدارها ( $I_b = 880 \text{ W/m}^2$ ) بينما كانت أعلى قيمة لكمية الحرارة المفيدة التجريبية للمجمع بعد العزل والطلاء في يوم (١٩/٨/٢٠٢٣) هي ( $Q_{exp} = 417 \text{ W}$ )، عند الساعة (12:30 Pm) وعند قيمة أعظمية لشدة الإشعاع الشمسي ( $I_b = 890 \text{ W/m}^2$ ).

#### الاستنتاجات والتوصيات:

- أعلى مردود عملي تم الحصول عليه في شهر آب عند استخدام الطلاء والعزل 47.07%، والموافق لدرجة حرارة خروج للماء  $65.5^{\circ}\text{C}$ ، وعند شدة إشعاع شمسي  $890 \text{ w/m}^2$ ، بينما كانت أدنى قيمة له .

$$\eta_{exp} = 30$$

- ازدياد قيمة المردود التجريبي للمجمع المدروس صيفاً عند استخدام العازل الحراري والطلاء بمقدار (3-7) % عن قيمته في حال عدم استخدامهما.
- ازدياد درجة حرارة الخرج عند استخدام الطلاء والعازل عما هو عليه في حال عدم استخدامهما، حيث أعلى درجة حرارة تم الحصول عليها في يوم (17/8/2023) كانت  $t_{fo} = 62\text{ }^{\circ}\text{C}$ ، بينما أعلى درجة حرارة تم الحصول عليها في (19/8/2023) كانت  $t_{fo} = 65.5\text{ }^{\circ}\text{C}$
- كمية الحرارة المفيدة المكتسبة بعد طلاء الأنبوب الماص واستخدام العوازل الحرارية أكبر مما هي عليه في حالة عدم استخدامهما، حيث تراوحت قيمتها ما بين (110-417 W) في يوم (19/8/2023) بينما تراوحت قيمتها في يوم (17/8/2023) بين (96-400 W) وذلك بسبب ازدياد الفروقات الحرارية بين الماء الداخل للمجمع والخارج منه، نتيجة لزيادة امتصاص الأشعة الشمسية وانخفاض المفاهيم الحرارية.

#### وفيما يلي نضع بعض التوصيات في نهاية هذا البحث:

- إجراء دراسات على الأشكال المختلفة لأنابيب الامتصاص (مثل المقطع العرضي الإهليلجي) وتأثيراتها على الكفاءة الحرارية وتوزيع تدفق الحرارة.
- دراسة تأثير تغير قطر الأنبوب الماص على أداء المجمع الشمسي PTC.
- دراسة أداء المجمع المدروس عند استخدام مواد مختلفة من الأسطح العاكسة لاختيار أفضل عاكس لتصنيع PTC.
- دراسة أداء المجمع المدروس عند استخدام تدفقات كتلية مختلفة للمائع.

#### المراجع العلمية:

- [1] Matthew Orosz, Paul Mathaha " *Low-Cost Small Scale Parabolic Trough Collector Design for Manufacturing and Deployment in Africa*" AIP Conf. Proc. 1734, (2016).
- [2] Giacomo Pierucci \*, Sahand Hosouli, " *Experimental Methodology and Thermal Loss Tests on Small Size Absorber Tubes for Solar Applications*, Energies 2018, 11, 2552
- [3] Alka Bharti, Amit Dixit and Bireswar Paul, " *Experimental analysis of a solar parabolic trough collector*" International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET) Volume 9, Issue 6, June 2018, pp. 102-112.India.
- [4] F Yahi1, M Belhame1" *Modelling and Exergetic Analysis of a Parabolic Trough Solar Collector* "2019 International Conference on Environment, Resources and Energy Engineering.
- [5] Abiem Louis Tersoo1, Akoshile Clement Olufemi2" *Thermal Efficiency Evaluation of a Solar Thermal Steam Generating System Using Thermosiphon Technique with Parabolic Trough Collector* Journal of Energy and Natural Resources 2020, Nigeria.
- [6] Mokhtar Ghodbane1, Boussad Boumeddane, Ahmed Hussein, Hafiz Muhammad " *Thermal numerical investigation of a small parabolic trough collector under desert climatic conditions*" Journal of Thermal Engineering, Vol. 7, No. 3, March,2021, Algeria.
- [7] Mohamed Yasin ALIBAR1a, Devrim AYDIN1b" *Experimental Analysis of a Parabolic Trough Collector Performance Under Mediterranean Climate*

Conditions” El-Cezerî Journal of Science and Engineering Vol: 8, No: 2, 2021 (873-886) Turkey.

[8] Mayank Lambaa, Subhra Dasb” Designing of Parabolic Trough Collector using Plane Mirrors” International Symposium on Fluids, 2021 University Haryana.

[9] Chinnasamy Subramanian, Jothirathinam Subramani, ” *Investigation on the Optical Design and Performance of a Single-Axis-Tracking Solar Parabolic Trough Collector with a Secondary Reflector*” Sustainability 2021, 13, 9918.

[10] S. Arunkumar\* and K. Ramesh, *Design and optimization of solar parabolic trough collector with evacuated absorber by grey relational analysis* 2022, India.

[11] Oveepsa Chakraborty, ” *Thermal performance evaluation of Parabolic Trough Collector having different inserts and working with hybrid nanofluid*” 2022, India.

[12] Asaad Yasseen Al-Rabeeah, Istvan Seres, Istvan Farkas, “*Experimental investigation of improved parabolic trough solar collector thermal efficiency using novel receiver geometry design*” 2023 India.