مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (6) العدد(4) 2022
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (6) No. (4) 2022

تحليل أداء مجمع شمسي على شكل قطع مكافئ بظروف مناخ الساحل السوري

د. م. منذر سليمان*

(تاريخ الإيداع 4/11 /2022 . قُبِل للنشر في 2022/5/26)

□ ملخّص□

يزداد الاهتمام في العقود الأخيرة على نحو متزايد بالحصول على طاقة مفيدة من مصادر صديقة للبيئة، وتعتبر الطاقة الشمسية إحدى هذه المصادر، وجدير بالذكر بأن هذا المصدر في سوريا يتم الاهتمام به بشكل كبير نظراً لتوفر إشعاع شمسي جيد، ولعل من أبرز تطبيقات الطاقة الشمسية هو استخدام المجمعات الشمسية للحصول على الماء الساخن.

يتضمن هذا البحث تصميم وتنفيذ نموذج تطبيقي لمجمع شمسي على شكل قطع مكافئ، وإجراء مجموعة تجارب عملية على النموذج لدراسة تأثير بعض متغيرات النظام التشغيلية على مردوده، وذلك بالشروط المناخية للساحل السوري(مدينة طرطوس– سوريا)، حيث تمثّل النتائج على شكل منحنيات واضحة القيمة، ليتم التوصل من خلالها إلى توصيات ومقترحات مناسبة حول إمكانية استخدام هذه التكنولوجيا في سوريا من جهة، و إمكانية تطويرها في المستقبل من جهة أخرى

كلمات مفتاحيه: الطاقة الشمسية، إشعاع شمسي، نموذج ، مجمع شمسي.

* مدرس- قسم هندسة الطاقات المتجددة - كلية الهندسة التقنية- جامعة طرطوس- طرطوس– سورية.

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (6) العدد(4) 2022
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (6) No. (4) 2022

Performance analysis of solar parabolic trough collector under the Syrian coast climate conditions

Dr. Monzer Suleiman*

(Received 11 / 4/ 2022 . Accepted 26/ 5/ 2022)

□ ABSTRACT □

The recent few decades have witnessed growing interest in the environment- friendly energy sources. Solar Energy is considered as one of the energy sources, this energy source, gained great interest in Syria compared to other sources Due to the availability of good solar radiation, and

Perhaps one of the most prominent applications of solar energy is the use of solar collectors to obtain hot water.

This research includes the design and execute of an applied model of a parabolic trough collector. In addition, the work studies, practically, the effect of operational variables on the efficiency of the model under the Syrian coast climate conditions (Tartus city- Syria), Results in form of clear curves and diagrams will be discussed. They also will be analyzed and considered to achieve a suitable suggestion that can improve the system in the future.

Key words: Solar energy, Solar radiation, Model, Solar collector.

***Teacher, Department of Renewable Energy, Faculty of Technical Engineering, Tartous University, Tartous, Syria

المقدمة *Introduction* :

تعتبر الطاقة الشمسية المنبع الأساسي لكل أنواع الطاقات المتجددة، ولعلّ من أفضل الطرق للاستغلال المباشر لهذه الطاقة هو استخدام المجمعات الشمسية بأنواعها المختلفة (المستوية، المفرغة، المركّزة) بحيث تحقق لنا تدرجاً حرارياً، وذلك تبعاً للغاية من الاستخدام.

تستطيع المجمعات المستوية (الغير مركزة) المستخدمة في الكثير من التطبيقات الحرارية إنتاج الماء الساخن في مجال درجة حرارة بين (°C 64- 35) وبمردود حراري (% 57- 50)، في حين تستطيع المركزات الشمسية منخفضة التركيز (ذات القطع المكافئ) إنتاج الماء الساخن بتدفقات معتبرة وبكلفة منخفضة نسبياً، وبدرجات حرارة أعلى ضمن مجال(°C 100− 90) تصلح للتطبيقات الحرارية الصغيرة المنزلية والصناعية، لاسيما في فصل الشتاء حيث يتواجد إشعاع شمسي منخفض [1].

من هنا ازداد التركيز في الآونة الأخيرة على إجراء العديد من البحوث والدراسات النظرية والتجريبية التي تناولت تحسين فعالية هذه الأنواع من المجمعات من خلال استخدام طرق ومواد متعددة لإنجاز هذا التحسين.

فقد قدّم الباحثان Govindaraj Kumar و Rahul ram عام 2012 [2] في الهند بدراسة تضمنت تقييم كفاءة مجمع شمسي على شكل قطع مكافئ مع وجود خزان للمائع الناقل للحرارة إضافة إلى لوجود نظام تعقب شمسي، كما تم طلاء الأنبوب الحراري باللون الأسود، بلغت مساحة المجمع المدروس [$7.2\ m^2$] والتدفق الكتلي 0.1 [kg/sec]، وقد أظهرت النتائج بأن كفاءة المجمع تعتمد بشكل أساسي على كمية الإشعاع المباشر الساقط على المجمع وكمية الحرارة المكتسبة، وأن أفضل كفاءة للمجمع كانت عند الساعة (12.00 AM). وأن الحرارة المفقودة من الخزان أكبر من الحرارة المكتسبة بعد الساعة (14.00 PM)، وذلك بسبب انخفاض درجة حرارة المائع بعد هذا الوقت.

كما استعرض الباحث Alok kumar عام 2013 [3] في الهند دراسة تضمنت تقييم كفاءة مجمع شمسي على شكل قطع مكافئ بوجود نوعين مختلفين من الغطاء الزجاجي (المفرد والمزدوج) على كل من السطح العاكس والمستقبل، وذلك عند نسب تدفق مختلفة للمائع، وقد أظهرت نتائج الدراسة بأن الكفاءة بلغت حدها الأقصى عند استخدام المجمع الشمسي ذو الغطاء المفرد على السطح العاكس وأن أقصى كفاءة تم الحصول عليها كانت 53.11% عند إشعاع شمسي [$\frac{w}{m^2}$] 565.994 .

كما استعرض الباحث Xiaoyan Liu عام 2015 [1] في الصين دراسة تضمنت إجراء برنامج محاكاة على مجمع شمسي من نوع L_{s2} بهدف دراسة تأثير العوامل المختلفة على الكفاءة اللحظية للمجمع الشمسي من درجة حرارة الدخول، شدة الإشعاع الشمسي، القطر، معدل التدفق، درجة الحرارة المحيطة، في منطقة ذات مناخ بارد. أظهرت النتائج بأن الكفاءة اللحظية للمجمع تزداد مع زيادة قطر الأنبوب الماص حتى [75 mm] والتي تعتبر قيمة حرجة تبدأ بعدها الكفاءة بالتناقص (أي بعد زيادة القطر عن [mm] 75 فإن الطاقة الحرارية الممتصة تنخفض من قبل المجمع).

كما قدّم الباحث Copal N Tiwari عام 2017 [4] في الهند دراسة تناولت اختبار مردود أنواع مختلفة من المركزات الشمسية المستخدمة في تطبيقات توليد الطاقة الحرارية بما في ذلك المجمعات القطعية، وقد وكانت النتائج بأنه تم الوصول إلى درجات حرارة عاملة منخفضة حتى 200°C (لاستخدامها في التطبيقات المنزلية والصناعية

والتجارية كالتبريد والتكييف) باستخدام مركزات شمسية بدون آلية تتبع، وتم الوصول إلى درجات حرارة أكبر من 200°C (تستخدم لإنتاج الكهرباء) باستخدام مركزات مع آلية لتتبع حركة الشمس.

استعرض الباحث Halil Yilmaz Ibrahim عام 2017 [5] في تركيا دراسة تضمنت تنفيذ مشروع لمجموعة مكونة من ثلاث وحدات موصولة على التسلسل ومثبتة على سطح مبنى يرتفع [12 m] عن سطح الأرض باستخدام وسيط عامل هو الزيت الحراري بمعدل تدفق من [0.1- 0.5 kg/s].

• تم إجراء الاختبارات لمعرفة تأثير العوامل المختلفة (معدل تدفق المائع، درجة حرارة المائع) على كفاءة المجمع لعدة أيام من (15 و حتى 21 آب)، وتمت مقارنة النتائج التجريبية مع نتائج الدراسة النظرية للنمذجة الرياضية، وقد بينت نتائج الدراسة ما يلي:

• تزداد الكفاءة الحرارية بزيادة معدل تدفق المائع الناقل للحرارة (HTF) نتيجة زيادة كمية الطاقة الممتصة من السطح الداخلي للأنبوب.

لوحظ ازدياد الضياعات الحرارية في المستقبل عند درجات الحرارة العالية للمائع، كما بلغ الحد الأقصى للكفاءة الحرارية 57%.

إضافة لكثير من الدراسات والأبحاث التي انجزت في هذا السياق العلمي.

أهمية البحث وأهدافه:

إن أي بحث يُدرس في إطار الطاقات المتجددة من شأنه أن يشكل قيمة مضافة في مناحي عديدة، مثل النواحي البيئية أونواحي رفد الشبكة بالكهرباء، أو الحصول على الماء الساخن لاستخدامه في كثير من المجالات. وكما هو معروف فإن الطاقة الشمسية هي واحدة من أهم الطاقات المتجددة التي يعول عليها في البلدان ذات الاشعاع الحراري الجيد كسوريا.

تكمن أهميّة البحث:

1. بأنه يتناول إحدى الطرق الحديثة في الاستثمار المباشر للطاقة الشمسية عن طريق استخدام مجمعات شمسية على شكل قطع مكافئ تستفيد من الإشعاع الشمسي الساقط سواء بشكل مباشر أو بشكل منتشر، وذلك من أجل الوصول إلى درجات حرارة ماء مناسبة يمكن استخدامها لأغراض غير مركزية منزلية وصناعية (لأغراض غير توليد الكهرباء....) مما يخفف الضغط على استخدام كهرباء الشبكة الوطنية من أجل تحقيق نفس الغاية.

2. الاستفادة من معدل الإشعاع الشمسي الجيد التي تتمتع به الجمهورية العربية السورية للحصول على طاقة حرارية مفيدة تستخدم في كثير من التطبيقات الحرارية.

كما يهدف البحث إلى تصميم وتنفيذ نموذج تجريبي لمجمع شمسي على شكل قطع مكافئ واختباره عند متغيرات تشغيلية متعددة (نوعية المادة المستخدمة كسطح عاكس، وجود غطاء زجاجي، تغيّر معدل التدفق الكتلي للوسيط العامل) بغية تحسين مردوده، والوصول من خلاله إلى درجات حرارة ماء عالية نسبياً تصلح للاستخدام في العديد من التطبيقات الحرارية (غير المركزية) سواء المنزلية منها أو الصناعية.

طرائق البحث ومواده:

لتحقيق هدف البحث المذكور سابقاً كان لا بُدَّ من اتباع المنهجية الآتية:

1. تصميم نموذج تجريبي لمجمع شمسي على شكل قطع مكافئ مع الأنبوب الماص والخزان الحراري.
2. تنفيذ النموذج التطبيقي والتأكد من صحة عمله في ظروف مناخية لمدينة طرطوس.
3. وصل الدارة اللازمة للحصول على الماء الساخن.
4. الاختبار العملي للنموذج خلال أشهر مختلفة من السنة ودراسة تأثير تغيّر العديد من البارامترات على مردوده من خلال تسجيل القراءات اللازمة عند كل حالة.
5. مناقشة النّتائج وتحليلها وصولاً إلى الاستنتاجات والتّوصيات المناسبة.

أنواع أنظمة التّركيز الشمسي (المجمعات المركّزة) [6]:

تشمل تكنولوجيا الطاقة الشمسية المركزة المتاحة استخدام العديد من الأنظمة منها:

1- مجمع شمسي على شكل قطع مكافئ PTC (Parabolic Trough Collector).

2- مجمع شمسي على شكل قطع مكافئ وبعاكس مزدوج CPC (Compound parabolic Collector).

3- نظام المستقبل المركزي CRS (Central Receiver System) .

4- مجمع شمسي على شكل طبق قطع مكافئ DP (Dish Parabolic) .

5- عاكس فرينل الخطي LFR (Linear Fresnel Reflector) .

أجزاء المجمع الشمسي على شكل قطع مكافئ ومبدأ عمله (PTC) [7]:

يتكون المجمع الشمسي على شكل قطع مكافئ من الأجزاء التالية:

- العاكس (Reflector):

يكون على شكل مرآة مصنوعة من مادة عاكسة من الزجاج الشفاف المطلي بالفضة أو الألمنيوم المصقول، بحيث يتجاوز معامل انعكاسها (88%) خاصة في مجال الضوء المرئي، ويتم تثبيتها طولياً على شكل أسطواني بحيث يكون مقطعها العرضي قطع مكافئ مع وجوب أن تحافظ مادة العاكس على معامل انعكاسها لمدة طويلة تحت مختلف الظروف الجوية والمناخية.

- **الأنبوب الماص** (absorber tube):

ويسمى أيضاً بالعنصر الجامع للحرارة (HCE) ويقع في الخط البؤري للسطح العاكس للقطع المكافئ، حيث يكون الأنبوب الماص النحاس عادة أو الفولاذ المقاوم للصدأ، ويكون سطحه الخارجي مطلي بطبقة انتقائية لتحسين خواصه الضوئية (امتصاصية عالية للضوء المرئي ومعامل انبعاث ضعيف جداً للأشعة تحت الحمراء عند درجات الحرارة العالية للسطح الماص)، وبذلك يتم امتصاص جزء كبير من الإشعاع الشمسي الوارد مع الحد بشكل كبير من الضياع بالإشعاع الحراري المنبعث.

- **الغلاف الزجاجي** (glass envelope):

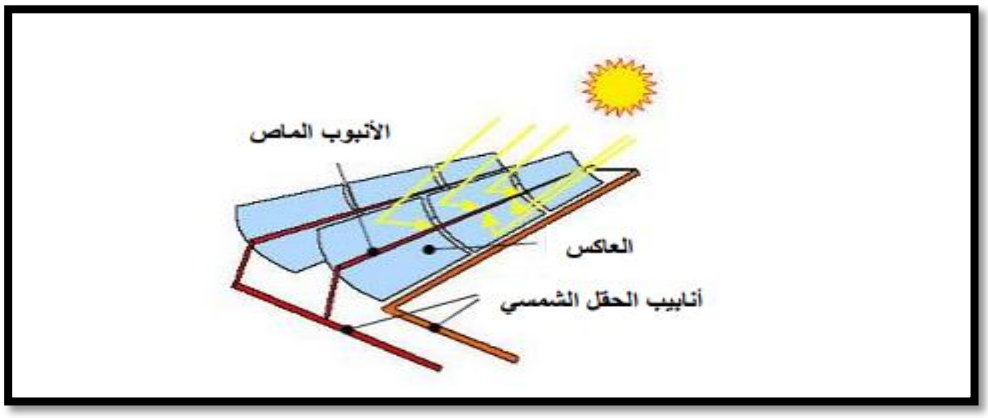
ويحاط الأنبوب الماص بظرف زجاجي يكون عادة borosilicate أو (Pyrex) الذي يحافظ على متانته ونفاذيته تحت درجات حرارة عالية، مع طلاء مضاد للانعكاس لزيادة النفاذية والتقليل من خسائر الانعكاس، ويكون الظرف الزجاجي مفرغ من الهواء لحماية السطح الانتقائي للأنبوب الماص من التدهور والتأكسد، كما يقلل من الضياع الحراري (بالحمل والتوصيل).

- المائع الناقل للحرارة Heat Transfer Fluid (HTF)**:**

يدور مائع نقل الحرارة خلال أنابيب الامتصاص لتجميع الطاقة الشمسية وتحويلها إلى بخار للمولد أو إلى نظام تخزين الحرارة، وأثناء اختيار المائع الناقل للحرارة (HTF) يجب مراعاة المعايير التالية :أن يكون معامل التمدد منخفض، ومعامل اللزوجة منخفض، والسعة الحرارية مرتفعة، ونقطة التجمد منخفضة والغليان مرتفعة. والموائع الأكثر شيوعا هي الهواء، والماء و الزيوت الهيدروكربونية.

- **مبدأ عمل النظام:**

تُركّز العواكس الطويلة التي مقطعها العرضي على شكل قطع مكافئ الإشعاع الشمسي في المحور البؤري الخطي لنظام (PTC)الذي يثبت به أنبوب امتصاص نحاسي أو فولاذي مقاوم للصدأ مطلي بطبقة انتقائية ومحاط بأنبوب زجاجي (يكون أحياناً مفرغ من الهواء للحد من الضياعات الحرارية)، بحيث يمكن للنظام امتصاص أكبر كمية من الأشعة الشمسية المباشرة والمنتشرة، وعادة ومن أجل تحقيق مردود أعلى للمجمع يزود النظام بآلية تتبع شمسي على محور دوران واحد.



الشكل (1) مجمع شمسي على شكل قطع مكافئ .

هندسة المجمع الشمسي على شكل قطع مكافئ:

يعتبر العاكس الاسطواني من أهم الأجزاء في المجمع الشمسي القطعي المكافئ ولزيادة التركيز الشمسي يكون مقطعه العرضي على شكل قطع مكافئ، حيث تنعكس الأشعة الساقطة على المحور الخطي البؤري، وتعطى معادلة القطع المكافئ بالمعادلة التالية [1]:

$$y = \frac{1}{4F}x^2 \qquad (1)$$

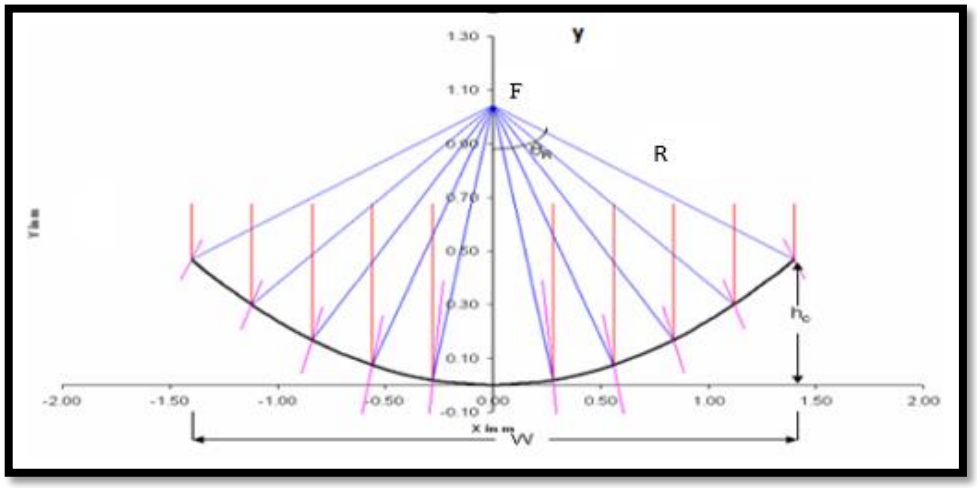
F البعد البؤري وأبعاد PTC متمثلة في الطول (L)، والعرض (W)، وارتفاع حافة العاكس (h_c)، وتتميز حافتي العاكس بالإحداثيات التالية:

$$y = h_c \quad [m] \qquad (2)$$

$$x = \frac{w}{2} \quad [m] \qquad (3)$$

وبتعويض إحداثيات الحافة في المعادلة (3−1) نحصل على قيمة البعد البؤري F بدلالة أبعاد PTC:

$$F = \frac{w^2}{16 \times h_c} \ [m] \qquad (4)$$



الشكل (2) مقطع عرضي لمجمع PTC.

- زاوية الحافة θ:

هي الزاوية المحصورة بين محور التراتيب (محور تناظر القطع مكافئ (oy) والخط الواصل بين نقطة البؤرة وحافة العاكس، كما هو مبين في الشكل (3) *وتعطى مقدرةً* بالدرجات بالعلاقة التالية:

$$\boldsymbol{\theta} = cos^{-1}\left[\frac{2F}{[(0.5w)^2 + (F - h_c)^2]^{\frac{1}{2}}} - 1\right] = cos^{-1}\left[\frac{2F}{R} - 1\right] \quad (5)$$

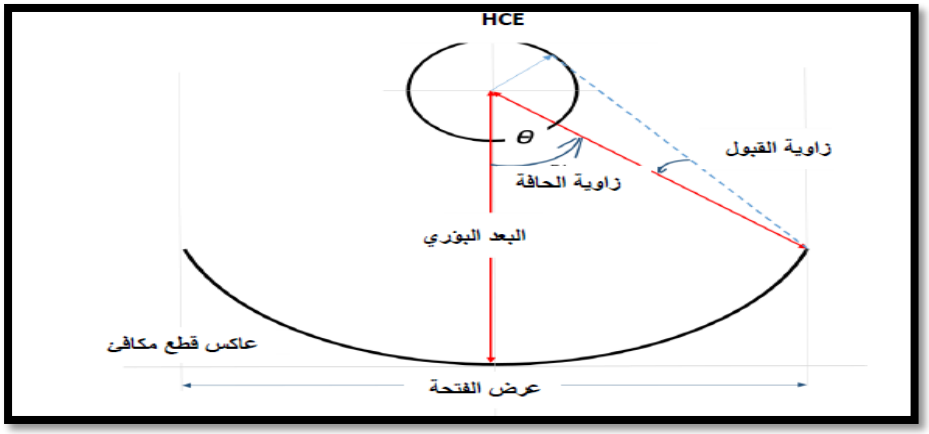
حيث أن:

R: نصف قطر حافة العاكس وتعطى حسب الشكل (3-1) بالعلاقة التالية:

$$R = (0.5w)^2 + (F - h_c)^2]^{\frac{1}{2}} \quad [m] \qquad (6)$$

تعطى زاوية الحافة بالعلاقة التالية:

$$Cos\ \theta = \frac{2F}{\sqrt{(0.5w)^2 + (F - hc)^2}} - 1 \qquad [degree] \qquad (7)$$



الشكل (3) زاوية الحافة وزاوية القبول لـ PTC.

لتحديد شكل وحجم القطع المكافئ بدقة يتطلب تحديد المقادير الثلاث(عرض الفتحة W ، البعد البؤري F ، زاوية الحافة θ)، حيث تعتبر زاوية الحافة (θ) دلالة مهمة جداً في بناء PTC ، حيث لها تأثير على قيمة التركيز الهندسي للإشعاع، كما أن لزاوية الحافة تأثير على المردود الحراري للمجمع الشمسي. m^2

- زاوية القبول:

هي الزاوية بين الشعاع المنعكس نحو البؤرة والشعاع المنحرف عنها بحيث يتم استقبال هذا الشعاع على العنصر الجامع للحرارة.

– مساحة الفتحة :

A_{ap} : المساحة التي تستقبل الإشعاع الشمسي المباشر وتتعلق بطول المجمع الشمسي L وعرض الفتحة W .

$$A_{ap} = w \times L \quad [m^2] \qquad (8)$$

- التركيز الهندسي C [8]:

هو النسبة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط على الخط البؤري بعد التركيز وشدة الإشعاع الشمسي المباشر الساقط على فتحة المجمع، وتمثل نسبة مساحة الفتحة إلى مساحة السطح المستقبل (الأنبوب الماص).

$$C = \frac{A_{ap}}{A_r} = \frac{L * w}{2\pi r_a L} \qquad (9)$$

- مساحة سطح العاكس A_{ref} [4]:

وهي مساحة العاكس الأسطواني الشكل وتعطى بالعلاقة التالية:

$$A_{ref} = L \times S_p \quad [m^2] \qquad (10)$$

حيث S_p :يمثل طول قوس القطع مكافئ من العاكس والذي يعطى بالعلاقة:

$$S_p = \left[\frac{w}{2} * \sqrt{\left(\frac{4h_c}{w}\right)^2 + 1}\right] + 2Fln\left[\frac{4F}{w} + \sqrt{\left(\frac{h_c}{w}\right)^2 + 1}\right] \quad [m\ ] \ (11)$$

- المردود التجريبي للمجمع الشمسي:

المردود التجريبي للمجمع الشمسي هو النسبة بين الطاقة الحرارية المفيدة الناتجة عن المجمع والطاقة الشمسية الكلية الساقطة عليه وفق العلاقة التالية [9] :

$$\eta_{exp} = \frac{Q_{useful}}{Q_{tot}} \qquad (12)$$

حيث أن:

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

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

تعطى قيمة الطاقة الحرارية المفيدة بالعلاقة التالية:

$$Q_{useful} = m \times C_p \times (t_{fo} - t_{fi}) \qquad [W] \qquad (13)$$

حيث أن:

m: معدل التدفق الكتلي للمائع [kg/sec].

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

t_{fo}: درجة حرارة خروج المائع [°C].

t_{fi}: درجة حرارة دخول المائع [°C].

وتعطى قيمة الطاقة الكلية الساقطة على المجمع بالعلاقة التالية:

$$Q_{tot} = I_b \times A_{ap} \qquad [w] \qquad (14)$$

حيث أن:

A_{ap}: مساحة فتحة المجمع [m^2].

I_b: شدة الإشعاع الشمسي الساقط على المجمع [W/m^2].

فتكون علاقة المردود العملي (التجريبي):

$$\eta_{exp} = \frac{m \times C_p \times (t_{fo} - t_{fi})}{I_b \times A_a} \qquad (15)$$

- **منصة الاختبار والتجارب العملية:**

I- تحديد البارامترات التصميمية للمجمع الشمسي على شكل قطع مكافئ:

تم اختيار طول المجمع حسب المتوفر في السوق (L=1.25 m) ، وعند هذا الطول يكون مستوى نسبة التركيز C=19.89 [6]، إن نسبة التركيز هذه تعطي أعظم درجة حرارة، قطر الأنبوب الماص الداخلي ($d_{r,int}$ =0.0135 m) ومقدار ارتفاع حافة العاكس (h_c=20 cm).

كما تم تحديد عرض المجمع (W)، والمحرق (F)، ومساحة فتحة المجمع (A_{ap})، وزاوية الحافة (θ)، وطول قوس القطع المكافئ (S_p) بالاعتماد على العلاقات الهندسية السابقة.

الجدول (1) مواصفات المجمع الشمسي PTC :		
الاسم	الرمز	القيمة
طول المجمع الشمسي	L	1.25 [m]
نسبة التركيز	C	18.89
عرض المجمع الشمسي	W	0.8 [m]
المحرق	F	0.2 [m]
مساحة فتحة المجمع	A_{ap}	1 [m^2]
زاوية الحافة	θ	90°
طول قوس القطع المكافئ	S_P	1.667 [m]

II- – أجزاء المجمع القطعي المكافئ الذي تم تصنيعه وفق الحسابات السابقة:

1– هيكل التثبيت والقاعدة المصنوعين من الحديد المفرغ وبشكل إشارة X وبأبعاد مقطع التيب المفرغ (3 ×4cm) وطول قضبان القاعدة (100 cm).

2- إطار القطع المكافئ واللوح العاكس المصنوع من الستانلس ستيل [11، 10].

3– الدعامات الخلفية للوح العاكس تتكون من مجموعة من الأقواس (عدد 3) مصنعة من الحديد بأبعاد (30*40 mm).

4- اللوح الزجاجي الخارجي ذو الأبعاده (126* 80 cm) وهو مصنوع من الزجاج الشفاف بسماكة (3 mm) محاط بإطار من الألمنيوم للتثبيت.

5- خزان الماء المعزل بالصوف الزجاجي بسعة (50 L).

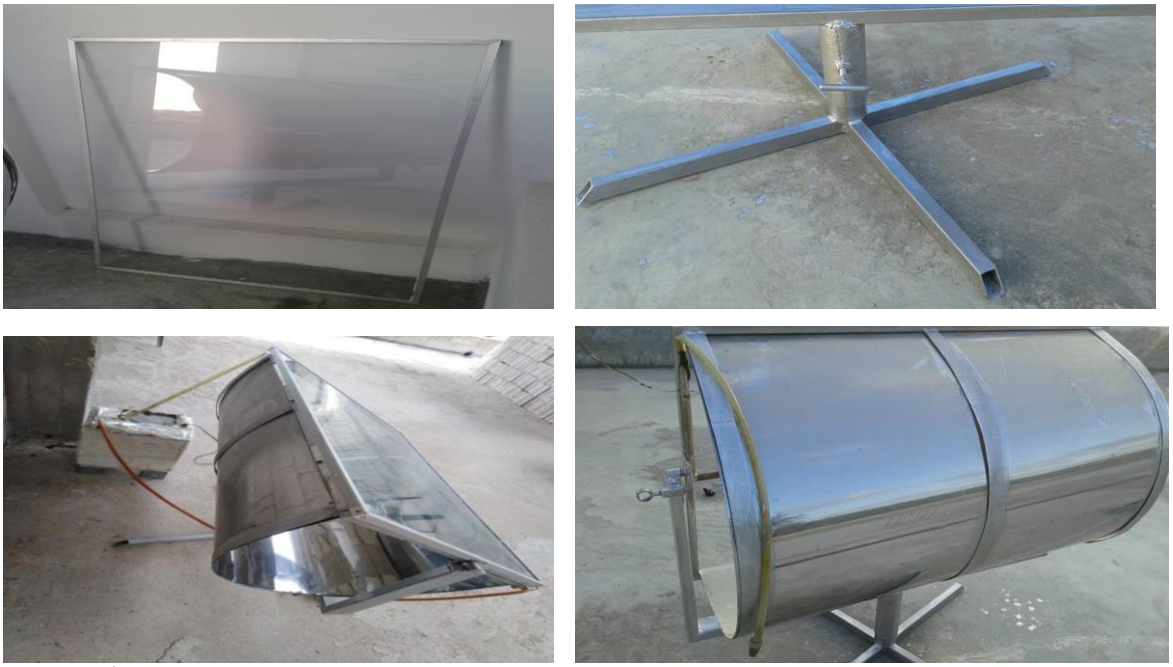
6– أنبوب الامتصاص(المستقبل) مصنوع من النحاس وقطره الخارجي حسب المتوفر في السوق(mm 15.8).

7– مضخة لسحب الماء بين الأنبوب الماص والخزان وهي باستطاعة (25W) وجهد عمل (220V) ذات ارتفاع أعظمي (2m).

8– الأنبوب الماص مصنوع من النحاس قطره الخارجي حسب المتوفر في السوق(mm 15.8).

والشكلين (4-5) يبينان أجزاء المجمع الشمسي المنفّذ.

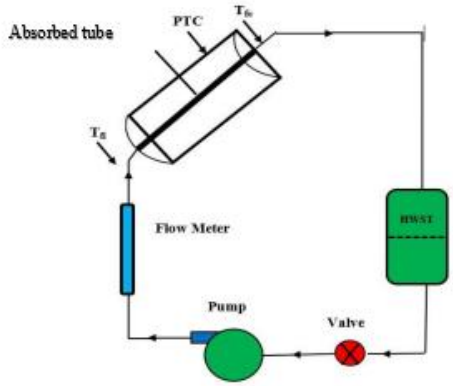
الجدول (2) مواصفات الأنبوب الماص المصنوع من النحاس:		
الاسم	الرمز	القيمة
القطر الخارجي للأنبوب الماص	$d_{r,ext}$	0.0158 [m]
القطر الداخلي للأنبوب الماص	$d_{r,int}$	0.0135 [m]
مساحة المقطع الداخلي للأنبوب الماص	$A_{r,int}$	0.00014 [m^2]
مساحة المقطع الخارجي للأنبوب الماص	A_{ext}	0.062 [m^2]
امتصاصية الأنبوب الماص	α	0.8
نفاذية الأنبوب الماص	τ	0.8
معامل اعتراض الأشعة الشمسية	γ	0.92



الشكل (4) قاعدة المجمع، والأقواس الخلفية المدعمة، واللوح العاكس، واللوح الزجاجي المنفذّين.

الشكل (5) الخزان، ومضخة الماء المستخدين في التجارب.

الشكل (6) يبين نموذج للدارة المستخدمة في إجراء التجارب مكونة من مجمع PTC، ومقياس التدفق، وخزان التخزين الحراري، ومضخة ومجموعة من الصمامات.



الشكل (6) الرسم التخطيطي، والدارة العملية المنفذّة والمستخدمة في إجراء التجارب.

- المقاييس والأدوات المستخدمة أثناء الاختبار:

- حساس الحرارة:

حساس الحرارة المستخدم من نوع Digital Thermometer (MPT-10) مجال قياسه (50-110˚C)، يتم تغذيته عن طريق بطارية داخلية (1.5 V). تم استخدام حساسين للحرارة لقياس درجة الحرارة الماء الداخل والخارج من أنبوب الامتصاص.

- مقياس الإشعاع الشمسي:

مقياس الإشعاع الشمسي المستخدم من نوع (Radio photometer LI-19)، يعمل بدقة عالية، وبجهد تغذية 3VDC(عن طريق بطاريتان نوع AA جهد كل منهما 1.5 V) ويحتوي على ذاكرة تخزين داخلية لتخزين البيانات المقاسة.

- **حوجلة زجاجية مدرجة:** تم تغيير تدفق الماء باستخدام صمام ومعايرته بواسطة حوجلة زجاجية مدرجة حتى (2000 ml).

الشكل (7) حساس الحرارة، ومقياس الاشعاع الشمسي، والحوجلة المستخدمة في التجارب.

آلية العمل والقياس:

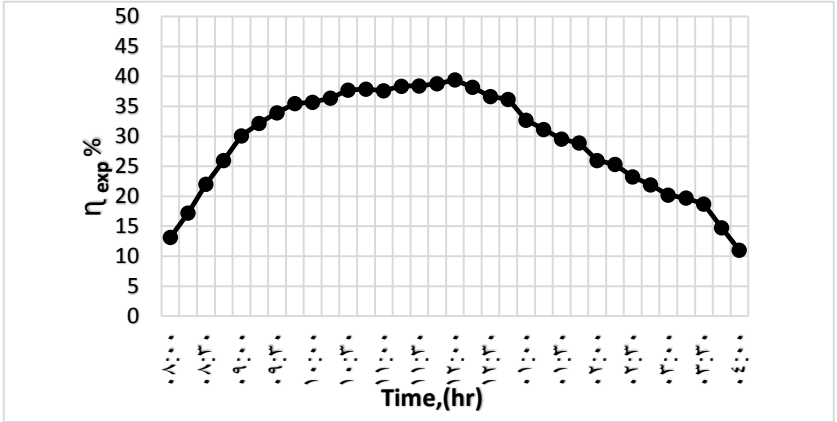
بعد تجميع أجزاء الدارة ووصلها قمنا باختبار المجمع الشمسي المصمم خلال أشهر مختلفة من السنة وذلك ليوم محدد من كل شهر من الساعة (8:00AM) حتى الساعة (4:00PM) بحيث تم تسجيل البارامترات والمتغيرات المقاسة (درجة حرارة الماء عند مدخل الأنبوب الماص، ودرجة حرارة الماء عند مخرج الأنبوب الماص، وشدة الإشعاع الشمسي الساقط) بمعدل كل 15 دقيقة على أربعة مراحل:

- **المرحلة الأولى:** تم اختبار المجمع المنفّذ خلال شهري شباط (شتاءً)، وحزيران(صيفاً) بسطح عاكس من الستانلس ستيل.
- **المرحلة الثانية:** تم اختبار المجمع في شهر تموز بسطح عاكس من الستانلس ستيل، وتم اختباره أيضاً في هذا الشهر بعد استبدال السطح العاكس بقطع من المرايا العاكسة بأبعاد(10*10 cm) بهدف تقييم كفاءة المجمع عندا استخدام هذين النوعين من العاكسين.
- **المرحلة الثالثة:** بعد تثبيت المرايا العاكسة (المادة الأفضل)، تم اختبار المجمع في شهر آب بوجود غطاء زجاجي وبدونه لمعرفة تأثير كل منهما على مردوده.
- **المرحلة الرابعة:** تم في شهر آب أيضاً اختبار المجمع بالحالة الأفضل (سطح عاكس من المرايا وبوجود غطاء زجاجي)، وعند تدفقات كتلية مختلفة للمائع، حيث تم الاستعانة بساعة ماء نظامية وحوجلة زجاجية من أجل المعايرة وضبط التدفق.

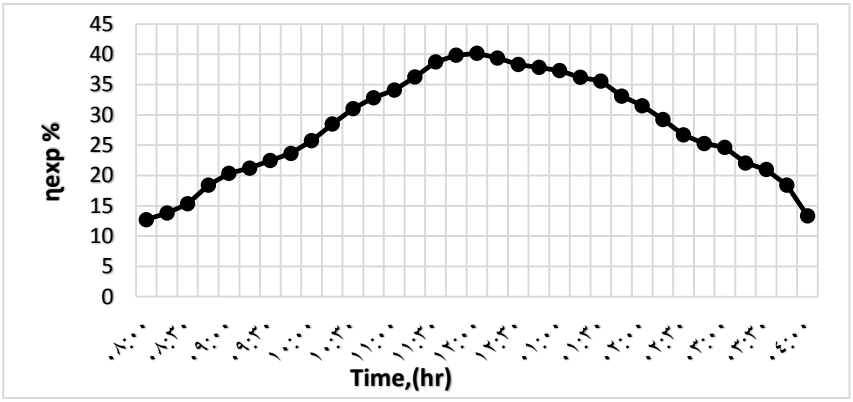
النتائج والمناقشة:

- نتائج المرحلة الأولى:

تم إجراء المرحلة الأولى من الاختبارات على المجمع الشمسي المصمم بسطح عاكس من الستانلس ستيل خلال شهرين من السنة من عام 2021 وفي يوم محدد لكل منهما (15/2/2021)، (15/6/2021). الشكل (8) يبين نتائج الاختبار في شهر شباط، وكذلك الشكل (9) يبين النتائج في شهر حزيران.



الشكل (8) تغير المردود مع الزمن خلال شهر شباط عن استخدام سطح عاكس من الستانلس ستيل.



الشكل (9) تغير المردود مع الزمن خلال شهر حزيران عند استخدام سطح عاكس من الستانلس ستيل.

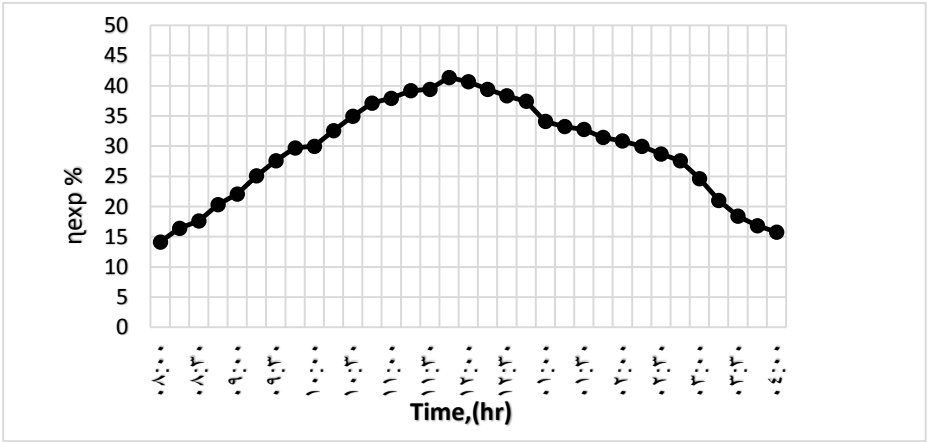
يبين الشكل (8) تغيّر مردود المجمع مع الزمن خلال شهر شباط حيث نلاحظ ازدياد المردود بشكل تدريجي نهاراً إلى أن يصل لأعلى قيمة له (39.41%) عند الساعة (12:00 PM) ثم يبدأ بالانخفاض تدريجياً إلى أن يصل (11%) عند آخر قراءة في الساعة (4:00 PM).

كما يبين الشكل (9) تغيّر مردود المجمع مع الزمن خلال شهر حويران حيث نلاحظ ازدياد المردود بشكل تدريجي إلى أن يصل لأعلى قيمة (% 40.17) عند الساعة (12:00 PM) ثم يبدأ بالانخفاض تدريجياً إلى أن يصل (13.34%)عند آخر قراءة في الساعة (4:00 PM).

نتائج المرحلة الثانية:

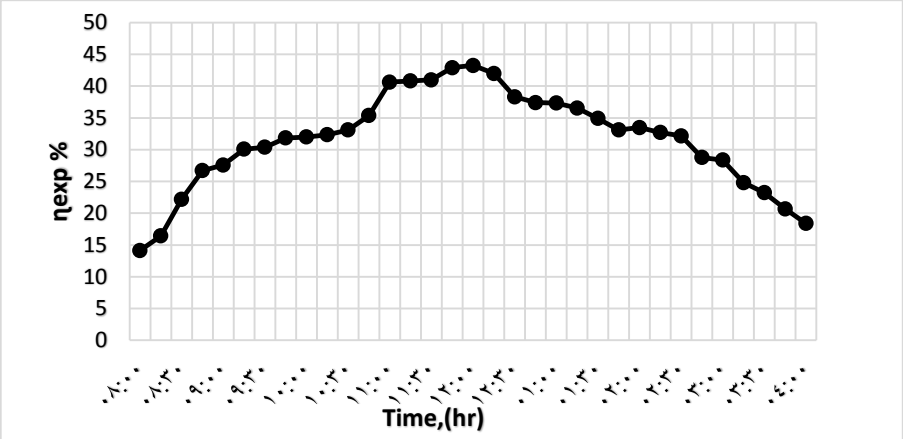
بهدف دراسة تأثير تغيير نوع المادة المستخدمة بالسطح العاكس على كفاءة المجمع تم في شهر تموز استبدال السطح العاكس واستخدام قطع من المرايا العاكسة بأبعاد (10×10 cm) وتم أخذ القراءات السابقة خلال يومين مختلفين في هذا الشهر لعاكسين مختلفين من الستانلس ستيل والمرايا العاكسة.

الشكل (10) يبين نتائج الاختبار عند استخدام سطح من الستانلس ستيل خلال شهر تموز في 15/7/2021.



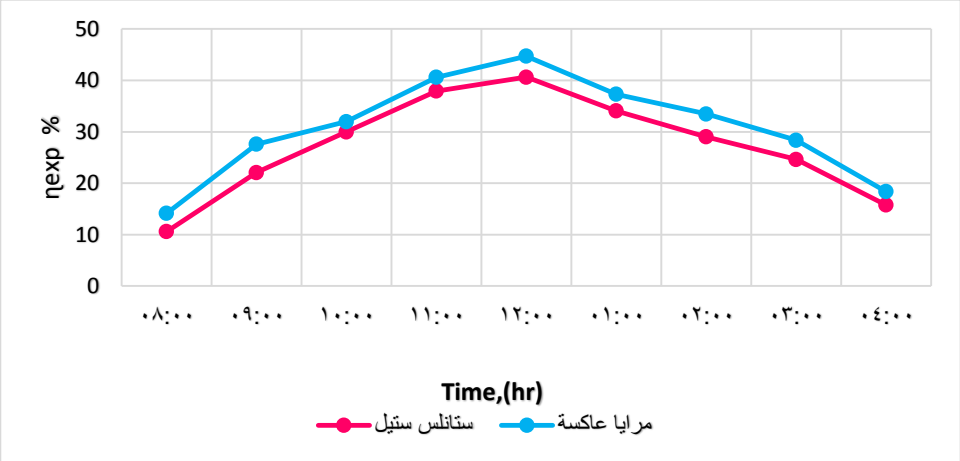
الشكل (10) تغير المردود مع الزمن خلال شهر تموز عند استخدام الستانلس ستيل.

كما يبين الشكل (11) نتائج الاختبارات عند استخدام المرايا العاكسة كمادة عاكسة خلال شهر تموز 20/7/2021.



الشكل (11) تغير المردود مع الزمن خلال شهر تموز باستخدام مرايا عاكسة.

يوضح الشكل (12) نتائج المرحلة الثانية من الاختبارات.



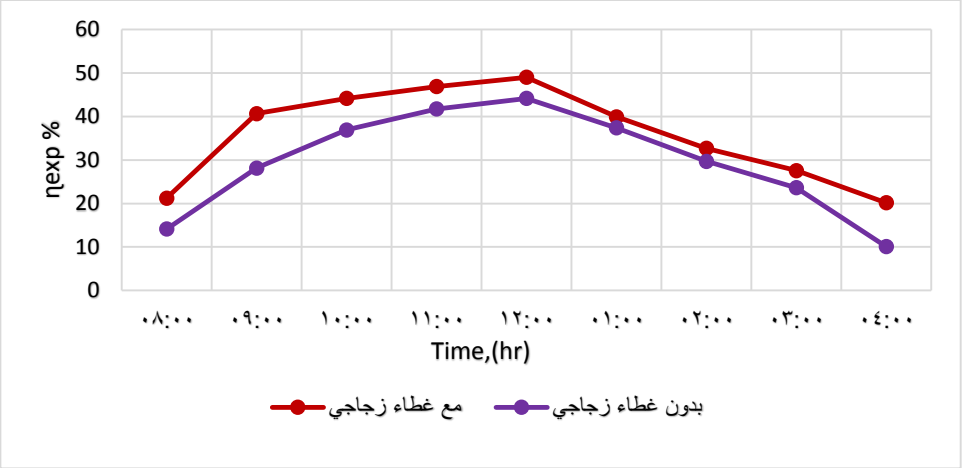
الشكل (12) مردود المجمع عند استخدام نوعين من السطح العاكس.

نلاحظ من الشكل (12) أنّ قيمة المردود تزداد عند استخدام المرايا العاكسة بنسبة (2-6 %) عن قيمته في حال استخدام الستانلس ستيل بسبب ازدياد الطاقة الحرارية المفيدة الناتجة عن المجمع الشمسي لزيادة درجة حرارة الماء عند مخرج الأنبوب الماص نتيجة لزيادة انعكاس الأشعة الشمسية على الأنبوب الماص عند استخدام المرايا الزجاجية.

نتائج المرحلة الثالثة:

بهدف دراسة تأثير وجود غطاء زجاجي على كفاءة المجمع تم اختبار المجمع الشمسي ذو المرايا العاكسة في شهر آب وذلك مع وجود غطاء زجاجي وبدونه، وتم أخذ القراءات السابقة خلال يومين مختلفين من الشهر (15/8/2021) بدون وجود غطاء زجاجي)، (20/8/2021 مع وجود غطاء زجاجي).

يوضح الشكل (13) نتائج المرحلة الثالثة من الاختبارات.



الشكل (13) مردود المجمع عند استخدام غطاء زجاجي وبدونه.

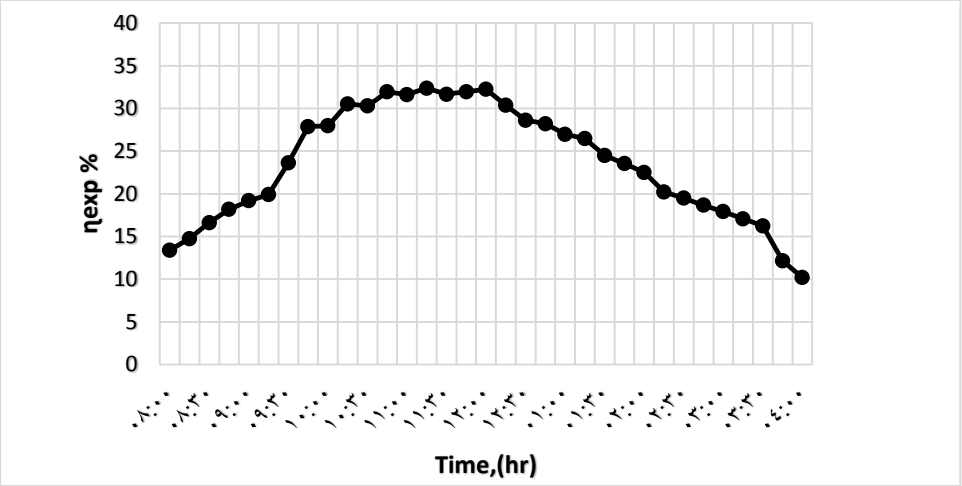
نلاحظ من الشكل(13) أن قيمة مردود المجمع عند تغطية السطح العاكس بغطاء زجاجي خارجي تزداد بنسبة (3 -13%) عما هو عليه في حالة عدم استخدام غطاء، وذلك لأنه يقلل من الضياع الحراري الذي يتسبب فيه انخفاض درجة حرارة الجو المحيط.

وجدير بالذكر بأن المراحل الثلاثة الأولى من التجارب تمت عند تدفق كتلي الماء مقداره (0.033 kg/sec).

نتائج المرحلة الرابعة:

تم اختبار المجمع الشمسي عند تدفقات كتلية متغيرة باستخدام صمام للتحكم بالتدفق، وذلك باستخدام حوجلة زجاجية مدرجة لمعايرة التدفق المستخدم.

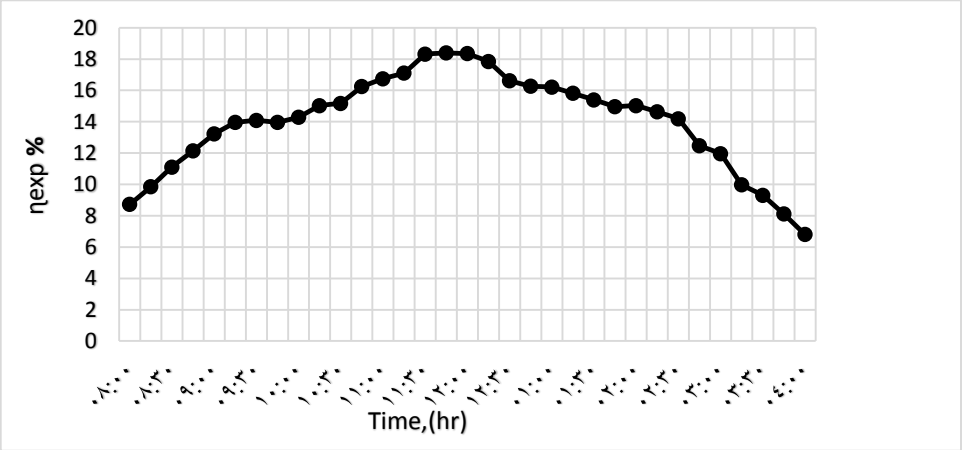
الشكل (14) يبيّن نتائج المرحلة الرابعة من الاختبارات عند استخدام المرايا العاكسة كمادة عاكسة، ومع وجود غطاء زجاجي، وذلك خلال شهر آب 25/8/2021 وبمعدل تدفق كتلي مقداره (m=0.025kg/s).



الشكل (14) تغير المردود مع الزمن خلال شهر آب عند تدفق كتلي (m=0.025 kg/s).

يبين الشكل (14) تغير كفاءة المجمع الشمسي مع الزمن خلال شهر آب عند تدفق كتلي مقداره m=0.025 (kg/s)، حيث نلاحظ ازدياد المردود تدريجياً إلى أن يصل لأعلى قيمة (32.24%) عند الساعة (12:00 PM) ثم يبدأ بالانخفاض تدريجياً إلى أن يصل (10%) عند آخر قراءة في الساعة (4:00 PM).

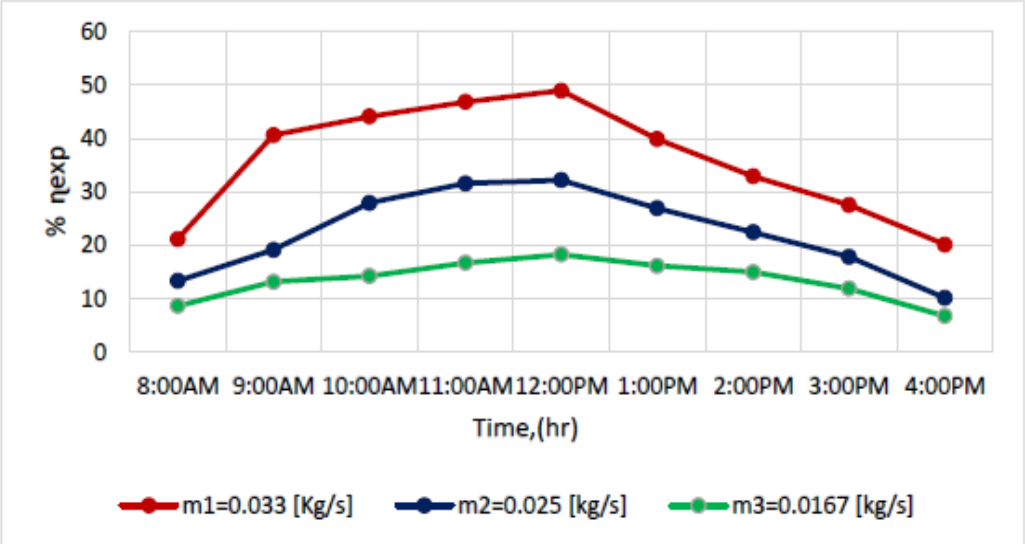
كذلك تمت الاختبارات عند استخدام المرايا العاكسة كمادة عاكسة خلال شهر آب 26/8/2021 وعند معدل تدفق كتلي (m=0.0167 kg/s)، وكانت النتائج كما في الشكل(15).



الشكل (15) تغير المردود مع الزمن خلال شهر آب وسطح عاكس من المرايا العاكسة وتدفق كتلي(m=0.0167 kg/s).

نلاحظ من الشكل(15) ازدياد تدريجي لمردود المجمع مع الزمن خلال شهر أب عند تدفق كتلي m=0.0167 (kg/s) إلى أن يصل لأعلى قيمة (18.34%) عند الساعة (12:00 PM) ثم يبدأ بالانخفاض تدريجياً إلى أن يصل إلى (6.81%) عند آخر قراءة في الساعة (4:00 PM).

يبين الشكل (16) نتائج المرحلة الرابعة من الاختبارات.



الشكل (16) مردود المجمع عند قيم تدفقات مختلفة.

نلاحظ من الشكل (16) أن:

- أعلى قيمة لمردود المجمع المنفذّ بلغت(% 49) عند تدفق كتلي للماء مقداره (m=0.033 kg/s).
- قيمة المردود العملي للمجمع المنفذّ بنسبة (31%- 13) عند زيادة معدل التدفق الكتلي للماء من m=0.0167 kg/s إلى m=0.033 kg/s (أي عند زيادة معدل التدفق الكتلي بمقدار الضعف)، وذلك لأن زيادة كمية الماء المتدفق يساعد على سحب أكبر كمية من الحرارة من المجمع الشمسي، وزيادة التدفق يؤدي لزيادة معامل انتقال الحرارة بالحمل.

الاستنتاجات:

• أعلى مردود عملي تم التوصل إليه للمجمع الشمسي المنفذّ كان في شهر آب مع وجود مرايا عاكسة، وبوجود غطاء زجاجي، وعند تدفق كتلي للماء (m=0.033 kg/s) حيث بلغ (η_{exp}=49%) عند الذروة، بينما كانت قيمته في شهر شباط (η_{exp}=39.41 %).

• انخفاض المردود العملي للمجمع الشمسي في جميع فصول الاختبار عند آخر النهار، والسبب يرجع إلى انخفاض شدة الإشعاع الشمسي، بالإضافة إلى ارتفاع درجات حرارة مكونات المجمع.

• تزداد قيمة المردود العملي للمجمع المنفذّ عند استخدام المرايا العاكسة بنسبة (6%-2) عن قيمته في حال استخدام الستانلس ستيل لزيادة انعكاس الأشعة الشمسية على الأنبوب الماص.

• تزداد قيمة المردود العملي للمجمع بوجود غطاء زجاجي بنسبة(13%-3) عما هي عليه في حالة عدم استخدام غطاء، وذلك لأن الغطاء يوفر احتباس حراري للمجمع ويقلل من الضياع الحراري.

• تزداد قيمة المردود العملي للمجمع المنفذّ بنسبة (31%-13) عند زيادة معدل التدفق الكتلي للماء من m=0.0167 (kg/s) إلى m=0.033 (kg/s) (أي عند زيادة معدل التدفق الكتلي بمقدار الضعف)، وذلك لأن زيادة كمية الماء المتدفق يساعد على سحب أكبر كمية من الحرارة من المجمع الشمسي .

• يملك المجمع الشمسي القطعي وفق التصميم المنفذّ محلياً، وبكلفة منخفضة نسبياً، قيماً كافية لكي يؤدي عمله بمردود جيد في الشروط المناخية للساحل السوري، وذلك بدون استخدام آلية تتبع شمسي. علماً أن الكثير من الدراسات أثبتت بأن مردود المجمع الشمسي يزداد بمقدار (% 20) في حال وجود آلية تتبع .

التوصيات:

- تغليف الأنبوب الماص بغلاف زجاجي خارجي من أجل تخفيض الضياعات الحرارية منه باتجاه الوسط المحيط.
- إجراء تجارب مماثلة للمجمع باستخدام أنابيب امتصاص مصنوعة من مواد أخرى، وأنابيب ماصة ذات أقطار مختلفة.
- دراسة حالة ربط مجمعات شمسية من نوع قطع مكافئ بهدف التوصل لدرجات حرارة تكون مناسبة في الاستخدامات الصناعية.

المراجع

[1] Xiaoyan Liu (2015), **sensitive Analysis for the efficiency of a parabolic trough Solar Collector Based On Orthogonal Experiment**.

1School of Civil Engineering, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China.

[**2]** Govindaraj Kumaresan and Rahulram Sridhar (2012), **performance parabolic trough collector of a solar with a thermal storage. India**

[3] Alok kumar (2013)، **improvements in efficiency of solar parabolic trough, M. Tech Research Scholar, Mechanical Engineering**, Patna, India.

[4] Copal N twiri (2017), **Solar Thermal Power Concentrators, Deepali Atheaya, Bennett university**, Greater, noida /india.

[5] Ibrahim Halil YILMAZ (2017), **Performance esting of a parabolic trough collector for a small scale process heat application**, Department of Mechanical Engineering, Gaziantep University, Gaziantep, Turkey.

[6] Joseph E. Kopp (2009), **Two-tank indirect thermal storage designs for solar parabolic trough power plants**, University of Nevada Las Vegas.

[7] سوداني محمد البار (2018)، **تحقيق عملي لمركز شمسي أسطواني مكافئ ذي غطاء زجاجي**، جامعة قاصدي مرباح و ورقلة.

[8] د. هيثم سعيد حسن و محمد فيصل أسعد (2017)، **نمذجة التوليد المباشر للبخار في المجمعات الشمسية ذات القطع المكافئ**، مجلة جامعة البعث للبحوث والدراسات العلمية.

[9] د. عيسى مراد و براءة حمادي (2016)، **تحديد الكفاءة الحرارية الأمثل لنموذج مركز شمسي خطي**، مجلة جامعة البعث للبحوث والدراسات العلمية.

[10] Yaseen. H. Mahmood (2015), **Fabrication of Parabolic-trough concentration for solar water heating**, Department of physics, Faculty of science, University of Tikrit; Tikrit, Iraq.

[11] Avadhesh Yadav, Manoj Kumar, Balram (2013), **Experimental Study and Analysis of Parabolic Trough Collector with Various Reflectors,** World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Energy and Power Engineering.