

حل مشكلة درجات الحرارة الزائدة المرافقة لحالة الركود في المجمعات الشمسية في ظروف الساحل السوري

د. نادر علي *

د. صفاء الأحمد **

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٣/١٢/٢١ . قَبْلُ للنشر في ٢٠٢٤/٢/٢٢)

□ ملخص □

تعاني المجمعات الشمسية المستخدمة في تسخين المياه، مثلها مثل مختلف نظم توليد الطاقة من مشكلة الطاقة الفائضة في بعض أوقات السنة الناتجة عن وجود استهلاك منخفض للطاقة في ظروف اشعاع شمسي عالي، فيما يعرف بحالة الركود، حيث يرافق هذه الحالة حصول ارتفاعات زائدة في درجة حرارة أجزاء المجمع الشمسي تؤدي الى تدهور أداء المجمع الحراري والتكنولوجي وبالتالي مخاطر غير مرغوبة على مستوى المستثمرين.

تم في هذا البحث العمل على تطبيق تقنية "الحد من دخل الطاقة الشمسية" عبر التغطية باستخدام الأسطح العاكسة من الألمنيوم والطبقات الزجاجية المتدرجة النفاذية، وذلك بهدف حماية الصفيحة الماصة من ارتفاع درجة الحرارة فيها عن حدود تصميمية محددة، حيث أظهرت التجارب التي تم إجراؤها في محافظة طرطوس أن تغطية المجمع في حالات الركود أدى الى منع ارتفاع درجة الحرارة عن حدود تصميمية محددة حيث وصلت درجة الحرارة في المجمع غير المزود بالحماية إلى حوالي 163°C ، بينما انخفضت درجة حرارة الصفيحة الماصة في المجمعات المزودة بالحماية بنسب تتراوح ضمن المجال % [19÷44] حسب نوع الطريقة المتبعة في التغطية.

الكلمات المفتاحية: حالة الركود، التسخين المفرط، المجمعات الشمسية المسطحة، الأسطح العاكسة.

* مدرس في كلية الهندسة التقنية، قسم هندسة تقانات الطاقات المتجددة، جامعة طرطوس، سوريا.

** مدرس في كلية الهندسة التقنية، قسم هندسة تقانات الطاقات المتجددة، جامعة طرطوس، سوريا.

Solve the problem of over temperatures associated with stagnation in solar collectors in the conditions of the Syrian coast

Dr. Nader Ali*
Dr. Safaa Al Ahmad**

(Received 21/12/2023 . Accepted 22/2/2024)

□ ABSTRACT □

Solar water heating collectors, like various power generation systems, suffer from the problem of overcapacity at some times of the year resulting from low energy consumption in high solar radiation conditions, In the so-called stagnation situation, this situation is accompanied by excessive temperature rises in parts of the solar collector leading to deteriorating performance of the thermal and technological collector and thus undesirable risks at the investor level.

In this research, work has been done on the application of the "Solar input Reduction" technique. By covering using Aluminum reflective surfaces and different transmittance glasses layers, in order to protect the absorbent plate from overheating from specific design limits, Experiments in Tartous governorate showed that coverage of the collector in stagnation prevented overheating from specific design limits. The temperature in the unprotected collector reached about 163 ° C, while the absorbent plate temperature in protected collector decreased by rates in range from 19% to 44% depending on the type of coverage method.

Keywords: stagnation, Overheating, flat plate solar collectors, reflective surface

*Lecturer at the Faculty of Technical Engineering-Department of Renewable Energy Technologies Engineering-University of Tartous.

**Lecturer at the Faculty of Technical Engineering-Department of Renewable Energy Technologies Engineering-University of Tartous.

١. مقدمة

يشير مصطلح الركود Stagnation إلى تلك الحالة العابرة (خارج ظروف العمل النظامي والمستقر للمجمع) التي تصيب المجمع الشمسي، حيث تتوقف المياه فيه عن الحركة لأي سبب (مياه راكدة ومعدل تدفق المياه في المجمع مساوية للصفر)، وتتعدم بالتالي عملية إزاحة حرارة الصفيحة الماصة لعدم تدفق الماء عليها لسحب حرارتها وبالتالي ترتفع الحرارة في أجزاء النظام المختلفة نتيجة لامتناس الاشعاع الشمسي حتى تبلغ قيما عالية وحرارة [4].

تعتبر الصفيحة الماصة العمود الفقري في المجمعات الشمسية ، فهي الجزء الذي يقوم بامتصاص الاشعة الشمسية ، وتكون عبارة عن صفيحة من النحاس او الالمنيوم او الفولاذ المطلي بطبقة انتقائية ، عندما ترتفع درجة حرارتها نتيجة امتصاص الاشعة الشمسية يبدأ مائع نقل الحرارة أو الوسيط العامل بسحب الحرارة منها وازاحتها فيحصل ارتفاع بدرجة حرارة الماء وكسب مفيد للأشعة، بالإضافة الى أن ارتفاع درجة الحرارة عن درجة حرارة الوسط المحيط سيؤدي الى انتقال الحرارة الى الوسط المحيط (ضياعات حرارية بالحمل والاشعاع والتوصيل وبحسب طبيعة المجمع تتحدد النسب المئوية الشائعة لكل منهم)، وفي كلتا الحالتين يحدث تبريد للصفيحة الماصة وكلما كان الكسب الشمسي اكبر والتبريد أقل زاد ارتفاع درجة الحرارة بشكل اكبر وزادت الضياعات الحرارية بشكل أسرع الى الحد الذي ينخفض فيه التبريد المفيد بشكل كبير أن قل فيه التبريد المفيد بشكل كبير رغم استمرار الكسب الشمسي، وعليه سترتفع درجة الحرارة بتسارع أكبر الا أن يصبح الكسب الشمسي مساوي للضياعات الحرارية، وفي هذه الحالة تصل الصفيحة الماصة لأقصى درجة حرارة لها ولا تزيد بعدها الا بزيادة الكسب الشمسي. [1,2,3]

يختلف مدى التأثير السلبي لحالة الركود اعتمادا على درجة الحرارة الأعظمية التي تصل لها الصفيحة الماصة، والتي تختلف باختلاف نوع المجمع الشمسي عند ظروف الوسط المحيط المدروسة، عليه تتواجد أنواع من المجمعات التي يمكن أن يتم تصميمها بحيث تكون قادرة على تحمل درجة حرارة الركود فيها، وأنواع أخرى يجب منع حصول ارتفاع في درجة حرارتها أكبر من الحد التصميمي الخاص بها. [4]

يجب العمل في كلتا الحالتين على منع حصول ارتفاعات زائدة في درجة الحرارة فوق الحد التشغيلي الخاص في المجمع (حسب نوع التطبيق)، بهدف تلافي المشاكل المتعددة المتعلقة بالتسخين الزائد وخصوصا في حالة الأنظمة الحرة المباشرة التي تعاني كثيرا من مشاكل التآكل الناتجة عن المحتوى الملحي لماء الاستهلاك.

لذلك نجد الكثير من البحوث والدراسات النظرية والتجريبية فيما يخص حالة الركود وأسبابها ونتائجها وطرق معالجتها بهدف تحسين أداء وفعالية المجمعات الشمسية ومنها:

قدم الباحث (Stephen Harrisona. et.al) [5] شرحا موجزا لأهم الأسباب التي تؤدي لحصول حالة الركود في الأنظمة الشمسية ونتائج ذلك على مستوى المجمع والنظام والمصفوفة مع تبيان أهم الاستراتيجيات المستخدمة لتفادي هذه المشكلة والتحكم بدرجة حرارة الركود العالية.

قام الباحث (Luis E. Juanicó) [6] بإيجاد معادلات رياضية تحاكي التابعية الفعلية لمعامل انتقال الحراري الى فرق درجة الحرارة بين المجمع والوسط المحيط ، واستعرض طريقتين يتم فيهما الحد من الارتفاع

الزائد لدرجة الحرارة في المجمع الشمسي، الأولى من خلال زيادة معامل انتقال الحرارة بالحمل والثانية من خلال زيادة انبعاثيه الأشعة تحت الحمراء .

اعتمد الباحث (A. Amiche) [7] حل جديد لمنع ارتفاع درجة حرارة مجمعات الطاقة الشمسية في حالة الركود حيث يتكون الحل المقترح من إدخال صفيحة عاكسة داخل المجمع الشمسي بين الصفيحة الماصة والغطاء الزجاجي لتقليل كمية الأشعة الواردة عن طريق عكس الإشعاع الشمسي. يتم تشغيل هذه الحماية أو إيقاف تشغيلها وفقاً لدرجة حرارة الصفيحة الماصة. يحمي الحل المقترح المجمعات الشمسية المسطحة من ارتفاع درجة الحرارة دون تبيد الحرارة التي تم امتصاصها مسبقاً على عكس حالة أنظمة الصرف أو التهوية (التبريد القسري).

استخدمنا في بحثنا الأسلوب التجريبي لمجمع شمسي مسطح معرض لظروف الركود (انعدام التدفق) في ظروف الساحل السوري، حيث تم دراسة هذا السلوك بطريقتين، الأولى عبر تغطيته بطبقة عاكسة من الألمنيوم، والثانية عبر تغطيته بطبقة زجاجية متدرجة النفاذية والمساحة، و قارنا مع مجمع شمسي مسطح آخر بدون تغطية في نفس ظروف التشغيل .

٢. أهمية البحث وأهدافه

تتبع أهمية هذا البحث من العمل على تقييم السلوك الفعلي للمجمع الشمسي المسطح عند تعرضه لحالة الركود، ونوع استجابته للتغطية في ظروف محافظة طرطوس.

يهدف البحث إلى:

حماية المجمع الشمسي من الآثار السلبية المرتبطة بظروف الركود القياسية التي من الممكن أن تحصل فيه وذلك عبر دراسة تجريبية لمجمع شمسي مسطح مزود بطبقة عاكسة من الألمنيوم تهدف الى عكس الأشعة الشمسية الواردة عن الصفيحة الماصة عندما تتجاوز درجة حرارتها الحدود التصميمية وأيضاً باستخدام طبقة زجاجية متدرجة النفاذية والمساحة (تقنية الحد من الدخل الشمسي باستخدام التغطية Shades).

٣. طرائق البحث ومواده

تم تقديم تحليل رياضي للمعادلات الرياضية المعبرة عن حالة الركود في المجمعات الشمسية المسطحة وتعريف البارامترات الرياضية المختلفة المؤثرة عليها، بعدها تم استخدام المنهج التحليلي القائم على التجريب من أجل تحديد سلوك المجمع الشمسي في حالة الركود وتقديم اليتي عمل لحمايته من حصول ارتفاعات زائدة في درجة الحرارة.

١,٣ الطرق المستخدمة لحل مشكلة درجة الحرارة المفرطة المصاحبة لحالة الركود في المجمعات الشمسية المسطحة:

لحل مشكلة الركود هناك طريقتين رئيسيتين وهما:

١. إزاحة الحرارة الزائدة من المجمع الشمسي بهدف تخفيض حرارته ويتم ذلك عبر:

(١) مواد تصنيع المجمع الشمسي وتغير خصائصها مع ارتفاع درجة الحرارة. [8]

(٢) تشتيت الحرارة الضائعة سواء بزيادة معامل انتقال الحرارة في المجمع وزيادة

الضياعات أو التبريد القسري للمجمع أو التخلص من الماء الساخن وإعادة التدوير. [6]

2. منع الكسب الشمسي الحاصل باتجاه المجمع الشمسي عند ارتفاع حرارته بشكل أكبر من الحد التصميمي ويتم ذلك عبر:

- (١) استعمال الملاحقة العكسية لأشعة الشمس لتخفيض الكسب الشمسي. [5]
- (٢) استعمال المواد العاكسة على سطح المجمع لتخفيض الكسب الشمسي. [٧]

٢,٣ الحلول المتبعة لمعالجة مشكلة الركود

هنالك طريقتان للتعامل مع حالة الركود في المجمع الشمسي مبينة في الشكل (1) [4] وهي:

أولاً: معالجة الركود:

يعتبر التعامل مع الركود ضروريًا إذا كان الركود هو وضع التشغيل المقبول، وعليه يجب اجراء مجموعة من التدابير التصنيعية والتصميمية التي تمنع مكونات الحلقة الشمسية من التلف الشديد أو أن تكون درجة حرارة الركود مقبولة وليست ذات ضرر (كما في المجمعات الشمسية غير المزججة المنخفضة الكفاءة)، وعليه يوجد نوعان من التدابير:

(١) **التدابير التصنيعية:** يتم ذلك من خلال اختبار قدرة المجمع الشمسي على تحمل درجات الحرارة القصوى التي يصل اليها في ظروف الركود القياسية وفقا للعديد من المعايير الدولية مثل

EN 12975, ISO 9806, ASHRAE 93-77,93-1986 or 96-1980

ذلك من خلال التصنيع المبني على القدرة على التحمل الشديد لدرجة الحرارة وتبين البارامترات التالية

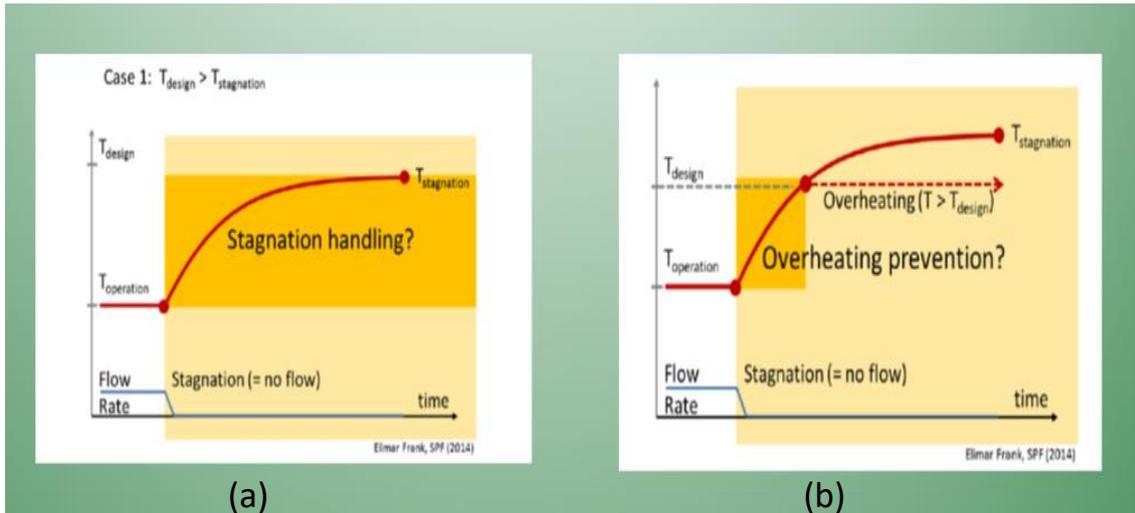
ظروف الركود القياسية التي يتم اختبار المجمع عندها [4]:

Standard Stagnation Conditions (SSC) are defined as:

Irradiation: $1000 \text{ W/m}^2 \pm 100 \text{ W/m}^2$

Ambient temperature: $30 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$

Surrounding air speed: $< 1 \text{ m/s}$



الشكل (1) الطرق العامة للتعامل مع الركود (b) منع ارتفاع درجة الحرارة، (a) معالجة الركود

٢) **التدابير التصميمية:** يتم ذلك من خلال إضافات تصميمية على مستوى المجمع أو النظام، سواء عبر اختيار خزانات التمدد المناسبة في الأنظمة المغلقة مثلاً، أو عبر استخدام خزان تخزين ماء إضافي فوق الخزان الأصلي يعمل عبر صمام حراري خاص في حال ارتفعت درجة حرارة الخزان الأصلي الى قيم تصميمية معينة وغير ذلك من الإجراءات.

ثانياً: منع ارتفاع درجة الحرارة:

بعض أنواع المجمعات الشمسية يجب ألا ترتفع درجة الحرارة فيها فوق درجة حرارة التصميم لها (كما في المجمعات الشمسية عالية الكفاءة أو المجمعات الشمسية المركزة وتكون درجة حرارة الركود لها درجة نظرية لا يمكن اختبارها عملياً خوفاً من تضرر كبير في المجمع)، وهنا يجب اتخاذ الإجراءات التي تمنع ارتفاع درجة الحرارة فوق درجة حرارة التصميم حيث يكون الركود وضع التشغيل غير المقبول [4].

3.3 التحليل الحراري لحالة الركود في المجمعات الشمسية

عندما يصل المجمع الشمسي الحراري الى حالة الركود، تصبح هنالك حادثة انتقال حراري واحدة في المجمع الشمسي وهي الضياعات الحرارية الى الوسط المحيط حيث يمكن الحصول على درجة الحرارة العظمى للصفحة الماصة في المجمع الشمسي عن طريقة مساواة الطاقة الممتصة من المجمع الشمسي (تتعلق بكل من نفاذية الطبقة الزجاجية وامتصاصية الصفحة الماصة عند شدة الإشعاع الشمسي الساقط) مع الضياعات الحرارية الحاصلة مع الوسط المحيط (تتعلق بدرجة عزل المجمع الشمسي عند فرق درجة الحرارة بين الصفحة الماصة-متوسط- والوسط المحيط) وفق المعادلة التالية [3] :

$$F_R(\tau\alpha) G_t = F_R U_L (T_p - T_a) \quad (1)$$

وعليه تكون درجة حرارة الركود:

$$T_p = T_{stag} = T_{MAX} = \frac{(\tau\alpha) G_t}{U_L} + T_a \quad (2)$$

حيث:

$$T_{MAX} = T_{stag} \quad \text{درجة حرارة الركود في المجمع الشمسي (درجة الحرارة العظمى للصفحة الماصة)}$$

.°C

G_t شدة الإشعاع الشمسي في مستوي سطح المجمع الشمسي (W/m^2).

$\tau\alpha$ جداء النفاذية-الامتصاصية الفعال للمجمع الشمسي.

F_R معامل إزاحة حرارة المجمع الشمسي.

U_L معامل انتقال الحرارة الإجمالي للمجمع الشمسي ($W/m^2.c$).

T_a درجة حرارة الوسط المحيط ($^{\circ}C$).

نلاحظ أن درجة حرارة الركود تتناسب عكساً مع معامل انتقال الحرارة الإجمالي للمجمع وعليه كلما تحسنت تقنية المجمع زاد مقدار ارتفاع درجة الحرارة اللازم لتلبية حصول الموازنة المطلوبة بين كمية الأشعة الممتصة وكمية الضياعات الحرارية.

إن معامل انتقال الحراري الكلي في المجمع الشمسي ليس ذو قيمة ثابتة وإنما تابع الى العديد من العوامل (سرعة الرياح، درجات الحرارة في المجمع والوسط المحيط) وعليه بأخذ التابعة الفعلية لمعامل انتقال الحرارة الكلي لدرجة الحرارة في المجمع الشمسي، يمكن كتابة علاقة كمية الحرارة المفيدة بالشكل التالي:

$$Q_u = A_c F_R [G_t (\tau\alpha) - C_1 (T_{MAX} - T_a) - C_2 (T_{MAX} - T_a)^2] = 0 \quad (3)$$

وباعتبار $(\Delta T_{ex} = T_{MAX} - T_a)$ (التجاوز الحاصل في درجة الحرارة-الفرق بين درجة الحرارة الأعظمية للصفحة الماصة ودرجة حرارة الوسط المحيط)، تصبح المعادلة:

$$C_2 \Delta T_{ex}^2 + C_1 \Delta T_{ex} - G_t (\tau \alpha) = 0 \quad (4)$$

عليه تكون درجة حرارة الركود الأعظمية:

$$T_{MAX} = T_{stag} = \frac{\sqrt{(\tau \alpha) G_t \cdot C_2 + (C_1/2)^2} - C_1}{C_2} \quad (5)$$

حيث:

C_1 : معامل ضياعات الحرارة من الدرجة الأولى $(\frac{W}{m^2 \cdot C})$.

C_2 : معامل ضياعات الحرارة من الدرجة الثانية $(\frac{W}{m^2 \cdot C^2})$.

A_c : مساحة سطح المجمع الشمسي (m^2) .

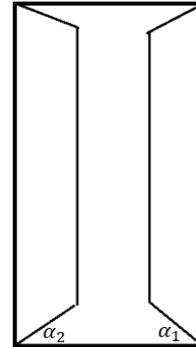
٣، ٤ المعادلة الرياضية المعبرة عن الركود في حالة التغطية:

أولاً: التغطية بالأسطح العاكسة

عند تغطية المجمع الشمسي بسطح عاكس، تقل شدة الأشعة الشمسية النافذة عبر الطبقة الزجاجية، من جهة ثانية فإن كمية الحرارة تضيع عبر مساحة أكبر من المساحة التي يسقط عليها الإشعاع (على فرض أن معامل التوصيل الحراري للألمنيوم عالي نسبياً، وبالتالي تم افتراض تأثيره على معامل التوصيل الحراري الكلي للمجمع الشمسي مهملاً).

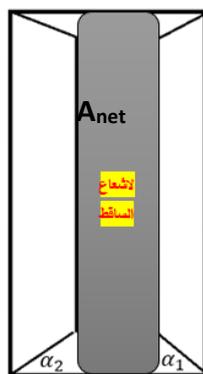
بفرض أن السطح العاكس يظل السطح الماص بزاوية مقدارها (α_1) للعاكس الأول و (α_2) للعاكس الثاني كما هو مبين في الشكل (2).

A_c
 A_{r2} A_{r1}



الشكل (2) مخطط السطح العاكس للأشعة عن المجمع

عند سقوط الإشعاع الشمسي على سطح المجمع بشكل عمودي فإنه يسقط تقريباً على المساحة المظلمة التي تختلف باختلاف زاوية تركيب العاكس كما يوضح الشكل (3).



الشكل (3) المساحة الفعالة من سطح المجمع اعتمادا على زاوية ميل العاكس

ان المساحة التي يسقط عليها الاشعاع الشمسي في هذه الحالة تساوي الى المساحة الكلية من سطح المجمع مطروح منها المساحة المغطاة وفق ما تبين العلاقة التالية:

$$A_{net} = A_c - A_{r1} \cos \alpha_1 - A_{r2} \cos \alpha_2 \quad (6)$$

عند ذلك تعطى درجة حرارة الركود وفقا للعلاقة التالية:

$$T_{Stag} = T_a + \frac{A_{net}(\tau\alpha) G_t}{A_c U} = T_a + \frac{(A_c - A_{r1} \cos \alpha_1 - A_{r2} \cos \alpha_2)(\tau\alpha) G_t}{A_c U} \quad (7)$$

حيث:

A_{ne} : المساحة الصافية (المتلقية للإشعاع الشمسي) (m^2).

A_{r1} : مساحة السطح العاكس الأول (m^2).

A_{r2} : مساحة السطح العاكس الثاني (m^2).

α_1 و α_2 : زاوية ميل السطح العاكس الأول والثاني عن سطح المجمع الشمسي على الترتيب.

مما سبق يمكن أن نستنتج أنه يمكن التحكم بمدى ارتفاع درجة حرارة المجمع عن طريق عمليات التغطية.

ثانياً: التغطية بالطبقة المتدرجة النفاذية والمساحة:

كما هو معروف، فإن كمية الطاقة التي يمتصها المجمع الشمسي تتعلق بشكل مباشر بنفاذية الطبقة الزجاجية، وعليه يمكن التحكم بارتفاع درجة الحرارة في المجمع عن طريق استعمال طبقات متدرجة النفاذية حيث يمكن الحد من الكفاءة الضوئية لسطح المجمع، وبالتالي الحد من ارتفاع درجة الحرارة في أجزاء المجمع لتصبح بتدرج أقل حسب مساحة ونفاذية كل طبقة كما تبين المعادلة التالية في حال تم استخدام طبقتين اثنتين:

$$T_{Stag} = T_a + \frac{(A_1(\tau\alpha)_1 + A_2(\tau\alpha)_2) G_t}{A_1 U_1 + A_2 U_2} \quad (8)$$

حيث:

A_1 : مساحة الطبقة الأولى ذات النفاذية τ_1 (m^2).

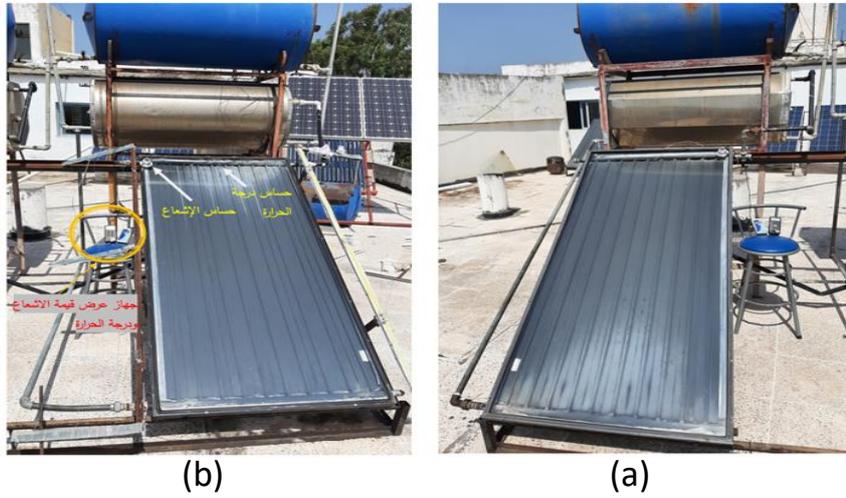
A_2 : مساحة الطبقة الثانية ذات النفاذية τ_2 (m^2).

U_1 : معامل انتقال الحرارة الكلي للمجمع المغطى بالطبقة الأولى عند المساحة A_1 ($\frac{w}{m^2.c}$).

U_2 : معامل انتقال الحرارة الكلي للمجمع المغطى بالطبقة الثانية عند المساحة A_2 ($\frac{w}{m^2.c}$).

٤. النتائج والمناقشة:

تم إجراء التجارب على مجمعين شمسيين مسطحين خلال شهر آب 2023، حيث تم أخذ قراءات لدرجة حرارة المنطقة المتوسطة من أعلى الصفيحة الماصة (حيث تمتلك هذه المنطقة أعلى درجة حرارة في المجمع) مرة كل ساعة والشكل التالي يبين المجمعان اللذان أجريت التجارب عليهما.



الشكل (4) المجمعات الشمسية المختبرة (a) مجمع مع الحماية، (b) مجمع للمقارنة.

١,٤ حل مشكلة الركود بالتغطية بالأسطح العاكسة: تم إجراء ثلاث تجارب:

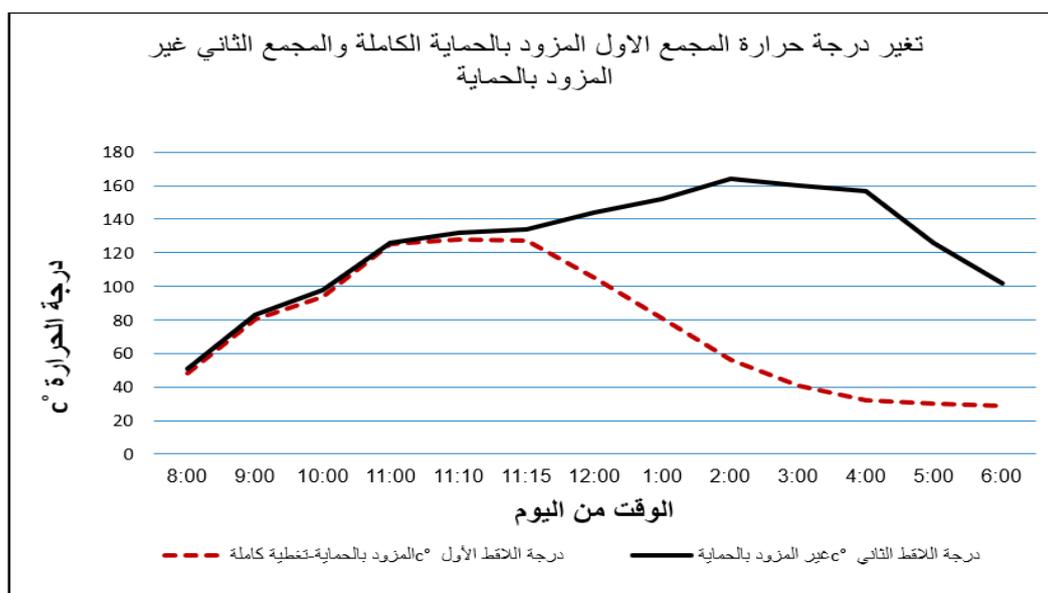
(١) التجربة الأولى: تغطية الصفيحة الماصة تغطية كاملة لحظة وصول درجة الحرارة المقاسة الى درجة حرارة التصميم المحددة، حيث تم إجراء التجارب على المجمع الشمسي عند درجتي حرارة تصميم، الأولى $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ والثانية $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ بهدف تبيان أثر قيمة درجة حرارة التصميم على منحنى درجة حرارة الصفيحة الماصة للمجمع الشمسي تحت الحماية.

يتم عكس أغلب الأشعة الشمسية الساقطة على سطح المجمع عند التغطية الكاملة له ليصبح الدخول الشمسي في حدوده الدنيا حيث يوضح الشكل (5) التغطية الكاملة للمجمع عندما يصل الى درجة حرارة التصميم.



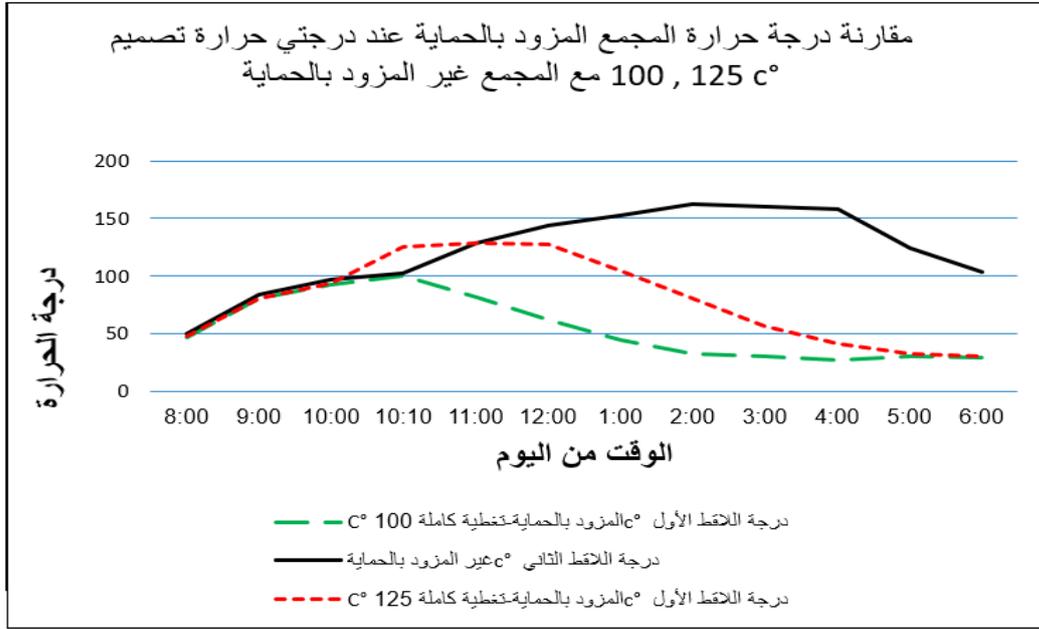
الشكل(5) تجارب المجمعات وفق آلية العمل الأولى-التغطية الكاملة عند حد التصميم الأعلى

أولاً: درجة حرارة التصميم (125°C): يبين الشكل (6) المخطط البياني لسلوك منحنى المجمع الشمسي في حالة التغطية الكاملة له عند الوصول لدرجة الحرارة التصميمية المحددة.



الشكل(6) تغير درجة حرارة المجمع عند التغطية الكاملة عند درجة حرارة التصميم الأعلى

2- كما تم الاختبار عند درجة حرارة التصميم (T_p) تساوي (100°C)، والشكل(7) يوضح سلوك المجمع عند درجتي التصميم العليا والدنيا ومقارنتها مع درجة حرارة المجمع غير المزود بالحماية.

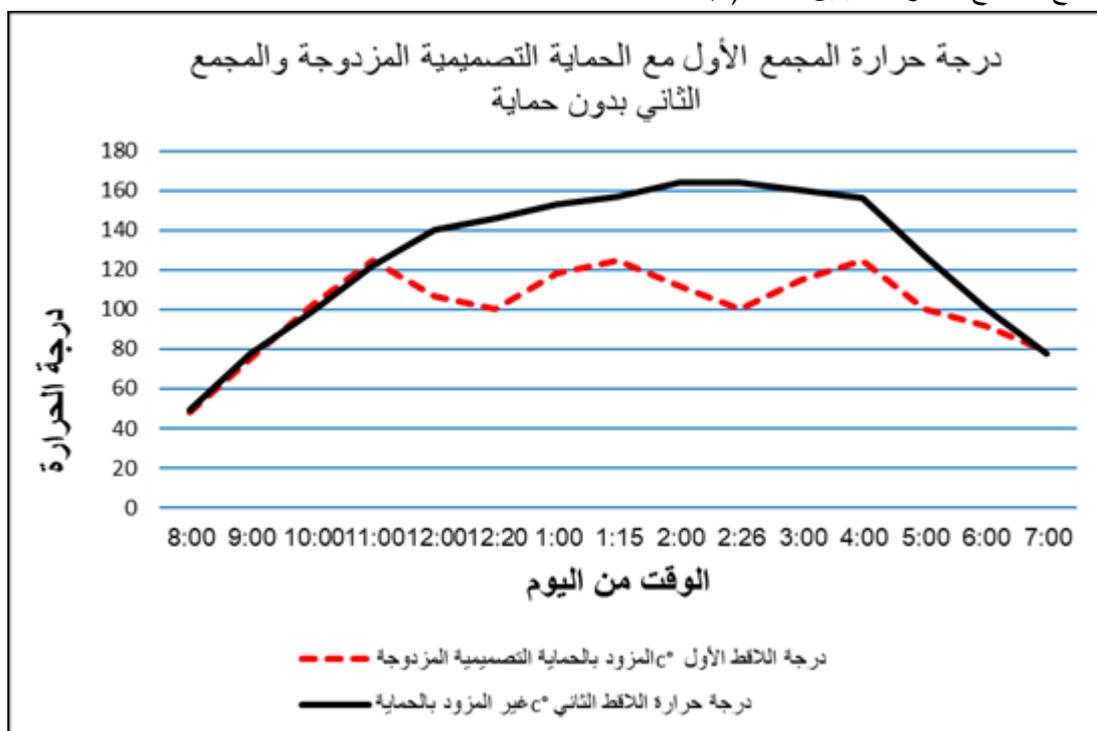


الشكل (7) درجة حرارة المجمع عند درجتى التصميم العليا والدنيا ومقارنتها مع درجة حرارة المجمع غير المغطى تبين من الشكلين (٦) و (7) ترتفع درجة حرارة الصفيحة الماصة في المجمع غير المزود بالحماية حيث تصل الى حوالي (163 °C) بينما انخفضت في المجمع الشمسي الآخر الى قيم مقبولة تحددتها درجة حرارة التصميم المختارة، وعليه تبين آلية العمل الأولى قدرة الصفيحة العاكسة على حماية الصفيحة الماصة من ارتفاع درجة حرارتها عبر تغطيتها كاملاً.

من جهة أخرى تظهر عملية التغطية أن درجة حرارة الصفيحة الماصة تنخفض خلال اليوم بشكل كبير على عكس المجمع الشمسي الآخر، الأمر الذي ينتج عنه مشاكل في حالة حصول انخفاض في الاشعاع مع حصول استهلاك في المياه.

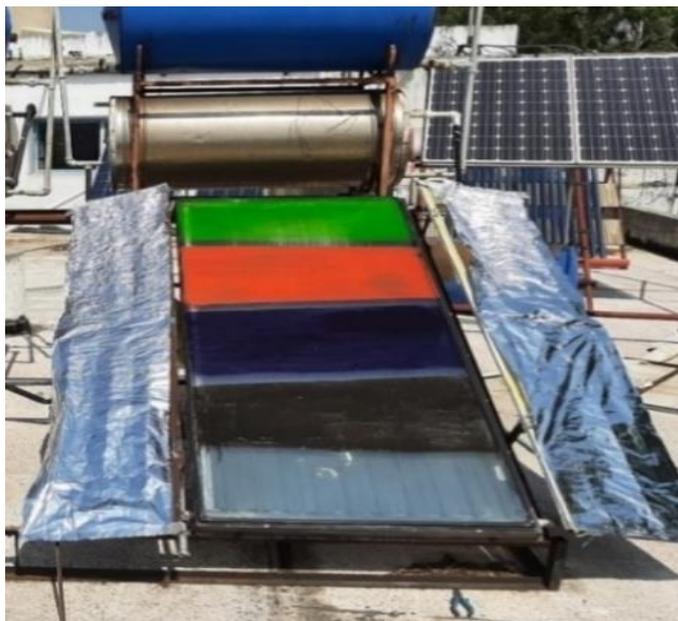
نستنتج مما سبق ضرورة تغيير آلية الحماية السابقة الى آلية تقلل من حدة الانخفاض الحاصل بدرجة الحرارة المجمع ولهذا الأمر تم تطبيق العمل بآلية تمنع حصول انخفاض في درجة حرارة الصفيحة الماصة عن حد تصميمي أدنى معين.

(٢) **التجربة الثانية:** تغطية الصفيحة الماصة كاملة لحظة وصول درجة الحرارة المقاسة الى درجة حرارة التصميم العليا وإزالة التغطية عند انخفاض درجة حرارة الصفيحة الماصة الى درجة الحرارة التصميمية الدنيا، وبفرض درجة حرارة التصميم العليا 125°C والدنيا 100°C نجد وفق التجربة درجة الحرارة المجمع مقارنة مع المجمع الآخر كما يبين الشكل(8).



الشكل (8) تغير درجة حرارة المجمع وفق التجربة الثانية-التغطية الكاملة عند حد التصميم الأعلى وإزالتها عند حد التصميم الأدنى نلاحظ من الشكل(8) أن درجة الحرارة ترتفع في المجمع غير المزود بالحماية الى (164°C) بينما وصلت في المجمع الآخر الى حوالي (128°C) ولم تنخفض عن (100°C)، وعليه تبين النتائج أن الحماية المزدوجة تمكن المجمع من العمل في مجال معين من درجة الحرارة وذلك من خلال تغطيته في حال الوصول الى الدرجة التصميمية العليا وإزالة الغطاء عن الوصول الى الدرجة التصميمية الدنيا.

(٣) **التجربة الثالثة** يمكن من خلال وضع طبقة ذات نفاذية منخفضة فوق سطح المجمع التقليل من شدة الأشعة الشمسية النافذة الى الصفيحة الماصة، وبالتالي محاكاة عملية التغطية اليدوية التي تحصل للمجمع الشمسي مع السماح لكمية من الطاقة في الوصول الى الصفيحة الماصة.



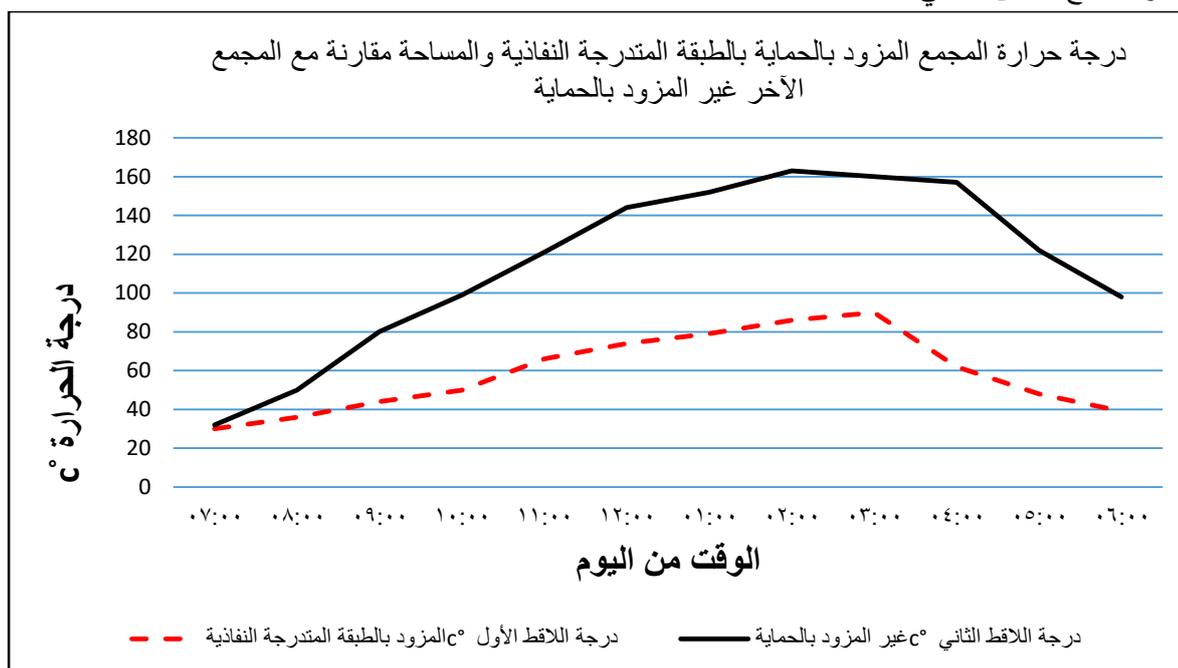
الشكل (9) المجمع المزود بالطبقة الزجاجية المتدرجة النفاذية

تم وضع مقياس الاشعاع الشمسي أمام الطبقة الملونة وخلفها عند زاوية تثبيت معينة للطبقة الزجاجية وتم تسجيل قيم القياسات في كل حالة كما يبين الجدول التالي:

الجدول(1) نفاذية الطبقات الزجاجية الملونة المستخدمة

نفاذية الطبقة التقريبية	نسبة الإشعاع	شدة الاشعاع خلف الطبقة w/m ²	شدة الاشعاع أمام الطبقة w/m ²	اللون
%34.6	0.346	173	500	الأخضر
%30	0.301	181	600	الأحمر
%29.3	0.293	173	590	البنفسجي
%24	0.240	141	587	البنّي
%76.3	0.763	430	563	الزجاج الشفاف

أظهرت نتائج القياس ما يلي:



الشكل (10) درجة الحرارة في المجمعات باستخدام التغطية الزجاجية المتدرجة النفاذية والمساحة

نلاحظ من الشكل (10) أن درجة حرارة الصفيحة الماصة ترتفع في المجمع المزود بالحماية بشكل أقل ارتفاعاً من المجمع الآخر غير المزود بالحماية حيث تصل أقصى قيمة لها إلى (90 °C) على عكس المجمع الآخر حيث تصل درجة الحرارة إلى (163 °C)، وعليه أدت هذه العملية إلى حماية المجمع من الارتفاع الكبير في درجة الحرارة.

من خلال التجارب السابقة نلاحظ ما يلي:

- ان الركود في المجمعات الشمسية المسطحة المختبرة أدى إلى ارتفاع درجة الحرارة العظمى في الصفيحة الماصة إلى أكثر من (160 °C)، حيث لا يوجد تبريد مفيد في المجمع الشمسي المسطح.
- عند تطبيق التجربة الأولى عند درجة حرارة التصميم الأولى (125 °C) فإن درجة الحرارة العظمى التي وصل لها المجمع المزود بالحماية انخفضت إلى (128 °C) وعند درجة الحرارة التصميمية الثانية (100 °C) انخفضت إلى ما دون هذه الدرجة.
- عند تطبيق التجربة الثانية المحددة بدرجتي حرارة تصميم (125 °C) حد أعلى، (100 °C) جعلت المجمع يعمل ضمن مجال من درجات الحرارة بشكل يحمي من الارتفاع والانخفاض غير التصميمي بها.
- أدت التجربة الثالثة (التغطية بالطبقة المتدرجة النفاذية) إلى حصول تخفيض كبير في كمية الأشعة الشمسية الممتصة من المجمع الشمسي حيث لم تتجاوز درجة حرارة الصفيحة الماصة (90 °C) وعليه نستنتج بأن هذه الطريقة تعتبر فعالة في أوقات الصيف ذات الإشعاع العالي والأحمال الصغيرة.

٥. الاستنتاجات والتوصيات

٥,١ الاستنتاجات:

١. إن التغطية الكاملة للمجمع الشمسي عند درجة حرارة تصميمية عليا واحدة أدى الى منع حصول ارتفاع شديد في درجة حرارة الصفيحة الماصة للمجمع الشمسي فوق الحد التصميمي المختار عند درجتي حرارة تصميم تم اختيارها (125°C , 100) بينما ارتفعت درجة حرارة الصفيحة الماصة في المجمع الآخر الى 164°C كما انحدر المنحني بعد عملية التغطية وانخفضت درجة الحرارة بشكل كبير.
٢. إن التغطية الكاملة للمجمع الشمسي عند درجتي حرارة تصميم عليا ودنيا أدى الى منع حصول ارتفاع شديد في درجة حرارة الصفيحة الماصة في المجمع الشمسي عن الحد التصميمي الأعلى المختار (125°C) ومنع أيضا من انخفاض درجة حرارة الصفيحة الماصة في المجمع الشمسي عند الحد التصميمي الأدنى المختار (100°C) وبالتالي حماه من الارتفاع والانخفاض الشديد بدرجة الحرارة.
٣. ان تغطية المجمع بطبقة ذات نفاذية متدرجة أدت الى حماية المجمع من الارتفاع المفرط بدرجة الحرارة، كما انخفضت سرعة ارتفاع درجة الحرارة خلال اليوم مع بقاء كمية من الطاقة متاحة ومناسبة للاستهلاكات المنخفضة (عادة أعمال فصل الصيف).

٥,٢ التوصيات:

- 1-تجريب واختبار طرق أخرى لحماية المجمع الشمسي في أثناء الركود مع نظام مراقبة وتحكم آلي.
- 2-تطبيق هذه الدراسة على أنواع أخرى من المجمعات الشمسية المستخدمة في تسخين الماء (الأنابيب المفرغة، الأنابيب الحرارية، المركبات الشمسية).
- 3-دراسة إمكانية استخدام تقنيات التخزين الحراري للاستفادة من الطاقة الفائضة.

المراجع:

1. Jamar, A. M. Z. A. A., Majid, Z. A. A., Azmi, W. H., Norhafana, M., & Razak, A. A. (2016). A review of water heating system for solar energy applications. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 76, 178-187.
2. Laughton, C. (2010). *Solar domestic water heating: The earthscan expert handbook for planning, design and installation*. Routledge.
3. Sayigh, A. A. M. (Ed.). (2012). *Solar energy engineering*. Elsevier.
4. Frank, E., Mauthner, F., & Fischer, S. (2015). Overheating prevention and stagnation handling in solar process heat applications. *International Energy Agency-Solar Heating and Cooling Task*, 49.
5. Harrison, S., & Cruickshank, C. A. (2012). A review of strategies for the control of high temperature stagnation in solar collectors and systems. *Energy Procedia*, 30, 793-804.
6. Juanicó, L. E. (2018). Modified vacuum tubes for overheating limitation of solar collectors: A dynamical modeling approach. *Solar Energy*, 171, 804-810.
7. Amiche, A., El Hassar, S. M. K., Larabi, A., Khan, Z. A., Khan, Z., Aguilar, F. J., & Quiles, P. V. (2020). Innovative overheating solution for solar thermal collector using a reflective surface included in the air gap. *Renewable Energy*, 151, 355-365.
8. Gladen, A. C., Davidson, J. H., & Mantell, S. C. (2015). The effect of a thermotropic material on the optical efficiency and stagnation temperature of a polymer flat plate solar collector. *Journal of solar energy engineering*, 137(2), 021003.