

تحسين أداء مجمّع شمسي مسطح باستخدام عواكس شمسية في ظروف الساحل السوري

د.م نادر علي *

د.م صفاء الأحمد **

م. علي ديب ***

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٣/٩/٢٠ . قُبِلَ للنشر في ٢٠٢٣/١١/٢)

□ ملخّص □

يعتبر استخدام العواكس المسطّحة في المجمعات الشمسية غير المركزة حلاً اقتصادياً يهدف إلى تحسين أدائها، حيث تعتبر شدة الإشعاع الشمسي من أهم العوامل المؤثرة على كفاءة المجمع.

يهدف هذا البحث إلى تحديد زاوية ميل العواكس اليمينية-اليسارية المثلى المتوضعة على طرفي المجمع الشمسي بهدف تحقيق كثافة في الإشعاع الشمسي الساقط على سطح المجمع، حيث قمنا بدراسة المعادلات التي توضّح طريقة إيجاد الزاوية المثلى لتوضع العواكس خلال العام في محافظة طرطوس ونمذجتها عبر MATLAB، حيث أظهرت النتائج أن الزاوية المثلى لتوضع العاكس الأيسر تكون أكبر ما يمكن في حزيران بقيمة 86° وأصغر قيمة لها تكون في كانون الثاني 58° في حين أن زاوية تركيب العاكس الأيمن المثالية تكون أكبر ما يمكن في كانون الثاني بقيمة 76° وأصغر ما يمكن في حزيران بقيمة 45° وزاوية التثبيت المثالية السنوية لكليهما 65° عند زاوية ميل لاقت مقدارها 45° .

أجريت التجارب العملية على لاقطين مسطّحين مركبين على سطح مخبر بحوث الطاقة، الأول مع العواكس عند زاوية التثبيت السنوية المثالية والآخر بدون عواكس للمقارنة، تم قياس درجة حرارة المنطقة المتوسطة من أعلى الصفيحة الماصة وشدة الإشعاع الساقط على سطح المجمع الشمسي، حيث أظهرت نتائج التجربة حصول تحسن في درجة الحرارة نسبته تتراوح بين $5\% - 12\%$ وفي شدة الإشعاع بنسبة تتراوح بين $13\% - 20\%$ وذلك خلال يوم الدراسة.

تم إجراء تحليل رياضي لتحديد أثر الزيادة الحاصلة في الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة العظمى للصفيحة الماصة على أداء المجمع، حيث تظهر منحنيات التحليل تحسناً في أداء المجمع المزود بالعواكس.

الكلمات المفتاحية: المجمع الشمسي المسطح، العواكس الشمسية، زاوية ميل العاكس المثالية، كثافة الإشعاع الشمسي، درجة الحرارة العظمى للصفيحة الماصة في المجمع .

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

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

*** طالب دراسات عليا (ماجستير) ومعيد في كلية الهندسة التقنية - قسم هندسة تقانات الطاقات المتجددة - جامعة طرطوس.

Improving the performance of a flat plate solar collector using Solar Reflectors in the conditions of The Syrian coast

Dr. Nader Ali *

Dr. Safaa Al-ahmad **

Eng. Ali Deeb ***

(Received 20/9/2023 . Accepted 2/11/2023)

□ ABSTRACT

The use of flat reflectors in non-concentrated solar collectors is considered an economical solution aimed to improve their performance, as the efficiency of solar collectors is one of the most important factors affecting on the efficiency of the collector.

The aim of this research is to determine the optimal tilt angle of the right-left reflectors located at the ends of the solar collector in order to achieve a high solar radiation density on the collector's surface. We studied the equations that illustrate the method of finding the optimal angle for the reflectors' positioning throughout the year in Tartous governorate and modeled them using MATLAB. The results showed that the optimal angle for positioning the left reflector is maximum in June at 86° and minimum in January at 58° , while the optimal installation angle for the right reflector is maximum in January at 76° and minimum in June at 45° and the optimal annual installation angle for both is 65° , with a collector tilt angle is 45° .

Practical experiments were achieved on two flat plate collectors installed on the roof of the Energy Research Laboratory, the first with reflectors at an optimal annual installation angle and the other without reflectors for comparison. The temperature of the middle area at the top of the absorber plate and the intensity of the radiation falling on the surface of the solar collector were measured. The results of experiment showed an improvement in temperature by a rate ranging between [5-12] % and in radiation intensity by a rate ranging between [13-20] % during the study day.

A theoretical analysis was achieved to determine the impact of the increasing in solar radiation and the maximum temperature of the absorbing plate on the performance of the collector. The analysis curves show an improvement in the performance of the collector equipped with reflectors.

Key Words: Flat Plate Solar Collector, Solar Reflectors, Optimal Reflector installation Angle, Solar Radiation Intensity.

* 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.

*** Postgraduate student (M.A), Teaching assistant at the Faculty of Technical Engineering - Department of Renewable Energy Technologies Engineering - University of Tartous.

مقدمة

تعتبر المجمعات الشمسية المسطحة نوع من التقنيات التي تقوم بتجميع الأشعة الشمسية بهدف رفع درجة حرارة مائع الإزاحة إلى درجة توائم التطبيق المطلوب وتتكون بشكل رئيسي من صفيحة ماصة مطلية بطلاء انتقائي يهدف إلى رفع امتصاصيتها وتخفيض انبعاثيتها الحرارية، تتشابه هذه الصفيحة مع مجموعة من الأنابيب التي يمر عبرها مائع نقل الحرارة فتنتقل بذلك الحرارة إليه بالحمل والتوصيل الحراري.

وعادة ما يتم تغطية هذه الصفيحة من الوجه الأمامي بطبقة زجاجية تهدف إلى حمايتها من الأمطار والغبار وكذلك تخفيض الضياعات الحرارية الحاصلة بالإشعاع (ظاهرة البيت الزجاجي) وبالحمل (عن طريقة تسكين طبقة الهواء المتواجدة فوق الصفيحة الماصة) ومن الوجه الخلفي والجانبية بمادة عازلة حرارياً تجعل الضياعات الحرارية فيه بالحدود الدنيا.

تلعب كمية الأشعة الشمسية الساقطة على سطح المجمع دوراً حاسماً في تحديد كمية الحرارة المفيدة للمجمع الشمسي ولهذا الأمر أتجه مصنعو المجمعات إلى استعمال ما يعرف بالعواكس الشمسية التي تعكس الأشعة على سطح معين وذلك بهدف تحقيق كثافة في الإشعاع الشمسي الساقط على سطح المجمع (بوحدة w/m^2) وبالتالي تزداد كمية الأشعة الممتصة وبالتالي كمية الحرارة المفيدة للمجمع الشمسي [1,2].

اعتماداً على مفهوم العواكس الشمسية، يوجد نوعين من المجمعات الشمسية المستخدمة للعواكس وهي:

١- المجمعات الشمسية المركزة: تعتمد هذه المجمعات بشكل أساسي على استعمال العواكس في عملها حيث تصل نسبة التركيز فيها (النسبة بين المساحة التي ينعكس عنها الإشعاع الشمسي والمساحة التي ينعكس إليها الإشعاع الشمسي) إلى قيم تصل إلى ٢٠٠٠ كما في أطباق القطع المكافئ.

٢- المجمعات الشمسية غير المركزة: في الحقيقة، يندر استخدام العواكس في مثل هذا النوع من المجمعات لعدم الحاجة إليها كونها تعمل في تطبيقات ذات درجة حرارة منخفضة ولتحسين الأداء وتخفيض التكاليف يتم عادة استخدام عواكس بسيطة تهدف إلى تركيز الأشعة الشمسية بنسب تركيز تصل

إلى ٥ في أفضل الأحوال. [3,4]

دلّت العديد من الدراسات على أن استخدام العواكس في المجمعات الشمسية المسطحة يؤدي إلى تحسّن أداء المجمع وأنّ هذا التحسن يتعلّق بكفاءة العاكس وزاوية تركيبه، من جهة أخرى يمكن أن تعوض العواكس عن الزيادة المطلوبة في مساحة المجمعات الهادفة إلى تلبية متطلبات الاستهلاك من خلال زيادة قيمة الإشعاع الشمسي التصميمي وهو الأساس الذي تبنى عليه الدراسة التحليلية الرياضية في تحديد التحسن الحاصل في أداء المجمع والمرتبّط بالتحسن الحاصل في درجة الحرارة العظمى للصفحة الماصة للمجمع الشمسي. [1,2,8,9]

بهدف تحقيق ارتفاع أكبر في درجة حرارة الصفيحة الماصة (التي تعتبر قلب المجمع الشمسي وبالتالي قلب المنظومة الشمسية كاملة) تم في هذا البحث تطبيق سطحين عاكسين على الجانب اليميني واليساري من المجمع الشمسي المسطح بحيث تؤدي العواكس إلى تحقيق كثافة في الإشعاع الشمسي الساقط على سطح المجمع وإلى ارتفاع درجة الحرارة العظمى للصفحة الماصة ليتم بعدها دراسة التأثير الرياضي لهذه النتيجة على أداء المجمع المسطح، حيث تمّ إجراء البحث على سطح مخبر بحوث الطاقة في جامعة طرطوس.

أهمية البحث وأهدافه

تتبع أهمية هذا البحث في إيجاد طريقة يمكن من خلالها تحقيق كثافة في الإشعاع الشمسي على سطح المجمع الشمسي المسطح بهدف معرفة الأثر الرياضي لذلك على أداءه الحراري، ذلك من خلال استخدام العواكس الشمسية المسطحة التي تعكس الأشعة الشمسية باتجاهه الأمر الذي يؤدي الى ازدياد درجة الحرارة العظمى للصفحة الماصة بشكل أكبر وأسرع خلال اليوم.

أهداف البحث:

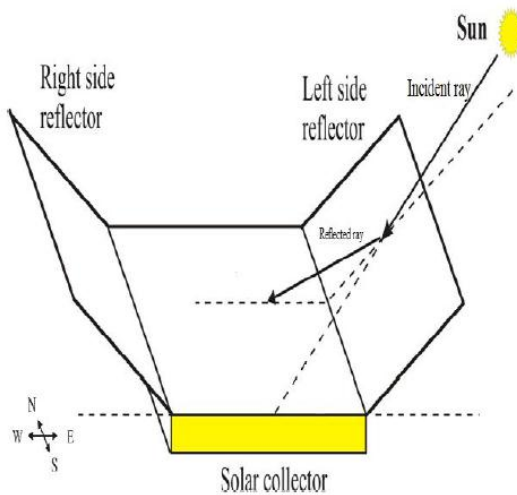
- نمذجة المعادلات الرياضية الخاصة بالعواكس عبر MATLAB لإيجاد زاوية الميل الشهرية والسنوية المثلى للعاكس اليميني واليساري.
- اختبار أثر استخدام العواكس المركبة عند زاوية ميل مثالية سنوية على جانبي المجمع الشمسي المسطح على شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح المجمع وعلى درجة الحرارة العظمى للصفحة الماصة، حيث تمت المقارنة التجريبية بين مجمعين، الأول مع عواكس والآخر بدون عواكس.
- معرفة الأثر الرياضي-التحليلي لدرجة الحرارة الأعظمية المقاسة للصفحة الماصة على أداء المجمع الشمسي المسطح.

طرائق البحث ومواده

تم نمذجة المعادلات الرياضية الخاصة بالعواكس في بيئة MATLAB من أجل الحصول على زاوية ميل العواكس المثلى على مدار السنة، ومن ثم استخدام الأسلوب التحليلي القائم على التجريب لاختبار أثر استخدام العواكس على درجة حرارة الصفحة الماصة للمجمع الشمسي وشدة الإشعاع الشمسي حيث تم إجراء الاختبارات على لاقطين اثنين من أجل المقارنة، أخيراً تم استخدام الأسلوب التحليلي الرياضي لمعرفة أثر ذلك على أداء المجمع.

أولاً: المعادلات النظرية

ليكن لدينا مجمّع شمسي مسطح عليه عاكسان جانبيين على اليمين والشمال كما هو موضح في (الشكل ١).



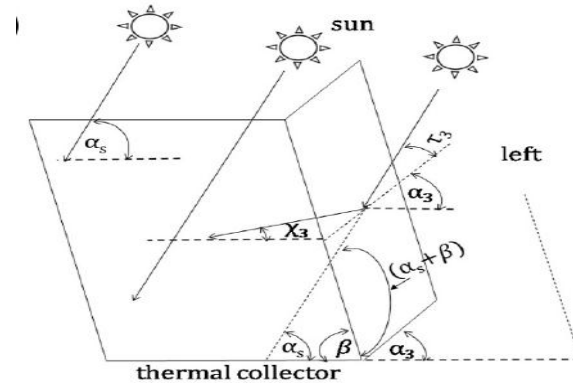
الشكل (١) مخطط المجمع الشمسي المسطح المزود بعاكس يميني-شمالي.

تم اعتماد الخطوات التالية لتحديد زاوية الميل الأمثل:

- تحديد كمية الأشعة الإجمالية الواردة على سطح المجمع (بشكل مباشر من الشمس وبشكل منعكس عن الصفيحة العاكسة) بدلالة الزوايا اللازمة (زاوية ارتفاع الشمس، زاوية ميل السطح العاكس، زاوية ميل المجمع).
- بعد الحصول على الدالة التي تشكل تابع رياضي للإشعاع الشمسي الكلي يتم اشتقاق هذه العلاقة بالنسبة لزاوية التركيب المطلوب معرفة قيمتها المثالية عند زاوية الورد الشمسي المدروسة ومساواة العلاقة بالصفر.
- يمكن معرفة الزاوية المثالية في كل يوم اعتمادا على زاوية ارتفاع الشمس اليومية في الموقع المدروس والساعة المدروسة (في حال استخدام نظام تتبع ميكانيكي) أو معرفة زاوية التثبيت المثالية على مدار العام [5,6].

التحليل الرياضي للسطح العاكس الأيسر:

يبين الشكل التالي الزوايا اللازم تحديدها لمعرفة كمية الأشعة الشمسية المنعكسة عن سطح العاكس الأيسر وهي كما يبين (الشكل ٢):



الشكل (٢) العاكس الأيسر والزوايا اللازمة لإجراء النمذجة.

- α_3 : هي زاوية ميل السطح العاكس وهي الزوايا بين مستوي السطح العاكس ومستوي سطح المجمع الشمسي.
- α_s : هي زاوية ارتفاع الشمس في الموقع المدروس في زمن الدراسة.
- β : هي زاوية ميل المجمع الشمسي.
- τ_3 : هي الزاوية بين الإشعاع الشمسي الساقط على السطح العاكس ومستوي السطح العاكس (الخط الموازي للسطح العاكس).

χ_3 : هي الزوايا بين الإشعاع المنعكس عن الصفيحة العاكسة ومستوي سطح المجمع.

بالنسبة للزاوية τ_3 يمكن تحديدها رياضيا وفق العلاقة التالية:

$$\tau_3 = \alpha_s + \beta - \alpha_3 \quad (1)$$

وفقا لقانون سنيل سينعكس الإشعاع عن السطح العاكس بنفس زاوية وروده وحيث أن زاوية الخط المستقيم يكون

مقدارها ١٨٠ درجة نجد أن:

$$180 = \theta_e + \alpha_3 \quad (2)$$

حيث أن θ_e هو الزاوية الداخلية في المثلث. وبما أن مجموع زوايا المثلث يساوي ١٨٠ درجة نجد أن:

$$180 = \chi_3 + \tau_3 + \theta_e \quad (3)$$

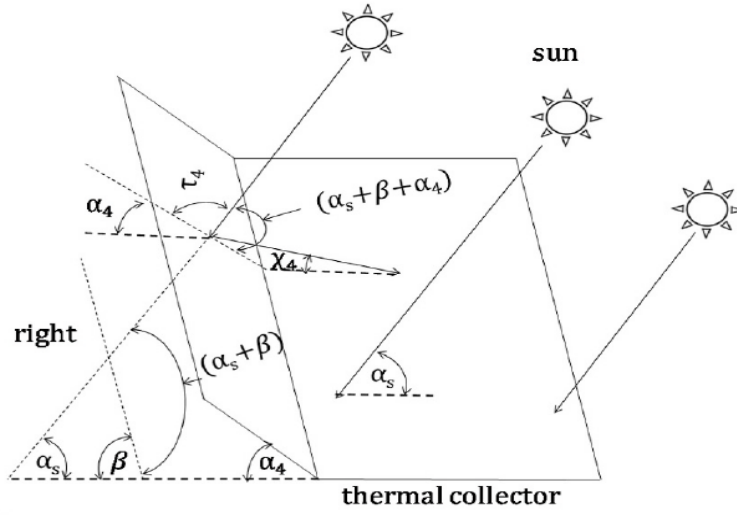
وبالتالي نجد أن:

$$\chi_3 = 2\alpha_3 - \alpha_s - \beta \quad (4)$$

وعليه اعتمادا على العلاقات المثلثية نجد أن كمية الأشعة الشمسية المنعكسة عن السطح العاكس الأيسر باتجاه الصفيحة الماصة تساوي:

$$G_{refl,3} = \rho \cdot G_{Bn} \cdot \sin(2\alpha_3 - \alpha_s - \beta) \sin(\alpha_s - \alpha_3 + \beta) = \rho G_{Bref,3} \sin(\alpha_s - \alpha_3 + \beta) \quad \left[\frac{w}{m^2} \right] \quad (5)$$

حيث أن: G_{Bn} هو كمية الأشعة الشمسية الواردة بشكل مباشر على سطح عمودي على مسارها و ρ هي انعكاسية الصفيحة العاكسة و $G_{Bref,3}$ كمية الأشعة الشمسية المنعكسة بشكل مباشر عن السطح العاكس الأيسر. بنفس الخطوات يمكن تحديد كمية الإشعاع المنعكسة عن السطح العاكس الثاني:



الشكل (٣) العاكس الأيمن والزوايا اللازمة لإجراء النمذجة

وعليه يكون الإشعاع المنعكس عنها مساوي:

$$G_{refl,4} = \rho \cdot G_{Bn} \cdot \sin(2\alpha_4 + \alpha_s + \beta - 180) \sin(180 - (\alpha_s + \alpha_4 + \beta)) = \rho G_{Bref,4} \sin(180 - (\alpha_s + \alpha_4 + \beta)) \quad \left[\frac{w}{m^2} \right] \quad (6)$$

أما كمية الإشعاع المباشر الوارد على سطح المجمع G_{Bt} فيمكن حسابه من العلاقة التالية:

$$G_{Bt} = G_{Bn} \cos \theta = G_{Bn} \sin(\alpha_s + \beta) \quad \left[\frac{w}{m^2} \right] \quad (7)$$

تحسب G_{Bn} إما تجريبيا في الموقع المدروس او اعتمادا على بيانات محطة الرصد القريبة من الموقع أو تقريبا اعتمادا على المعادلات الرياضية الحاكمة (شدة الإشعاع خارج الغلاف الجوي يتوهن عبر الغلاف اعتمادا على طول مساره ومكوناته وحالة الطقس صافي أو غائم) و θ زاوية السقوط الشمسي [7].

أما كمية الأشعة الشمسية المشتتة من السماء والساقطة على سطح المجمع فتعطي من العلاقة التالية:

$$G_{Dt} = G_D \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) \quad \left[\frac{w}{m^2} \right] \quad (8)$$

حيث G_D هو الإشعاع الشمسي المشتت على سطح أفقي $\left(\frac{w}{m^2} \right)$.

وعليه تكون كمية الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على سطح المجمع:

$$G_{tot,c} = G_{Bt} + \sum_{i=1}^2 G_{refl,i} + G_{Dt} \quad \left[\frac{w}{m^2} \right] \quad (9)$$

$$G_{tot,c} = G_{Bn} \sin(\alpha_s + \beta) + \rho \cdot G_{Bn} \cdot \sin(2\alpha_3 - \alpha_s - \beta) \sin(\alpha_s - \alpha_3 + \beta) + \rho \cdot G_{Bn} \cdot \sin(2\alpha_4 + \alpha_s + \beta - 180) \sin(180 - (\alpha_s + \alpha_4 + \beta)) + G_D \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) \quad \left[\frac{w}{m^2} \right] \quad (10)$$

كما نلاحظ فإن كمية الإشعاع تابعة لعوامل زاوية ويمكن القول بأن:

$$G_{tot,c} = F(\alpha_s, \beta, \alpha_i)$$

وعليه باشتقاق العلاقة بالنسبة لزاوية التركيب ومساواتها بالصفر يمكن إيجاد زاوية الميل المثالية.

$$\frac{dG_{tot,c}}{d\alpha_i} = 0 \rightarrow \rightarrow \rightarrow \alpha_{opt,i} = \dots \text{degree at spesific soalr elivation}$$

إن كمية الأشعة الكلية الساقطة على سطح المجمع تعتمد على هندسة نظام المجمع-العاكس (عامل الشكل بينهم) وزاوية ارتفاع الشمس [6,7,8].

ثانياً: نمذجة المعادلات الرياضية باستخدام MATLAB:

• البيانات اللازمة من موقع الدراسة:

أولاً: تحديد زاوية ميل المجمع السنوية (تركيب ثابت): تم اختيارها اعتماداً على زاوية الانحراف الشمسي وزاوية خط العرض للموقع المدروس، حيث يبين الجدول (١) زاوية ميل الشمس في سوريا على مدار العام.

جدول (١) زاوية الانحراف الشمسي خلال اشهر السنة.

الشهر	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢	المتوسط
الانحراف بالدرجات	-20.8	-12.7	-11.8	9.9	18.9	23.1	23.3	13.7	9	-8.8	-18.4	-23	0.1916

زاوية خط العرض لمحافظة طرطوس هي: $\varphi = 35^\circ$ وعليه زاوية ميل المجمع الشهرية المثلى اعتماداً على

العلاقة الرياضية $\beta = \varphi - \delta$ تكون وفق ال خطأ! المرجع الذاتي للإشارة المرجعية غير صحيح). [8,13].

جدول (٢) زاوية ميل المجمع الشهرية المثلى في محافظة طرطوس.

الشهر	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢	المتوسط
ميل المجمع بالدرجات	٧٠.٨	٤٧.٧	٤٦.٩	٢٤.٩	١٦.١	٢٣.١	٢٩.٩	٢١.٣	٢٦	٤٣.٨	٥٣.٤	٨٥	٣٥

تم التركيب عند زاوية ميل ٤٥ درجة باعتبارها زاوية تثبيت دائمة على مدار العام (للحصول على أفضل طاقة شتاء خلال العام)، كما يمكن إيجاد زاوية ارتفاع الشمس السنوية في الموقع المدروس من خلال الموقع التالي Keisan Online Collector وذلك بإدخال بيانات خط الطول والعرض واعتماد تغير الزاوية خلال سنة ٢٠٢٢ عند الساعة ١٢ ظهراً نحصل على الجدول التالي:

جدول (٣) زاوية ارتفاع الشمس الشهرية في محافظة طرطوس

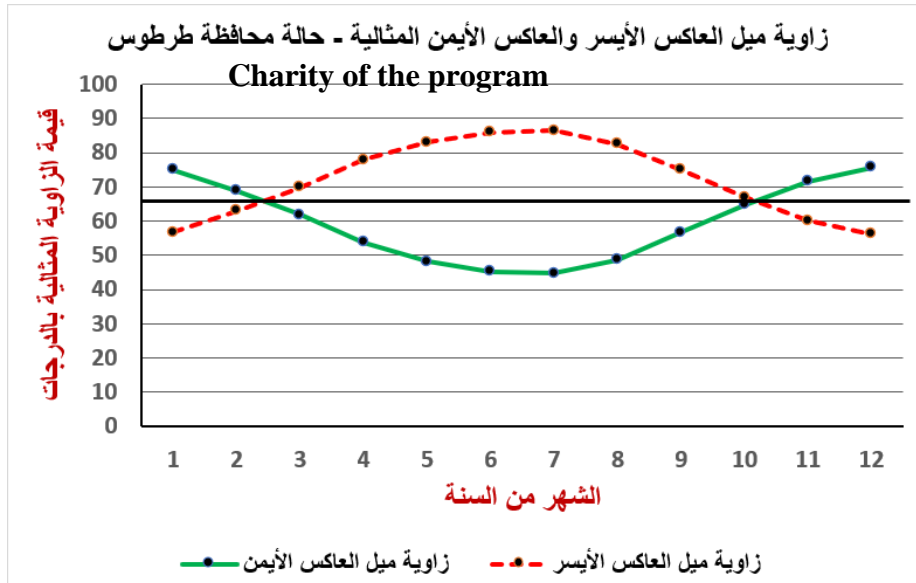
الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
زاوية الارتفاع	31.39	36.48	46.45	58	69	75	74	70	62	50.9	41	32

باستعمال برنامج MATLAB تم تحديد زاوية ميل العاكس الشهرية المثلى وفق الكود البرمجي الموضح (بعد ادخال معادلات العواكس اللازمة وبيانات زاوية الارتفاع في الموقع، سيتم إعطاء مجال قيم لزاوية ميل العاكس واختيار أكبر قيمة لمحصلة الإشعاع الواردة على سطح المجمع عند كل زاوية ارتفاع مدروسة) باعتبار زاوية ميل المجمع 45° وشدة الإشعاع على سطح عمودي على مساره $G_{bn} = 1000 \text{ w/m}^2$ [9,10,11,12].

```

b=45*pi/180;
p=0.9;
Gbn=1000;
as=[31.39 36.48 46.45 58 69 75 74 70 62
50.9 41 32];
for i=1:length(as)
syms a3 a4
as1=as(i)*pi/180;
eq1= Gbn.*sin(as1+b)+p.*Gbn.*sin(2*a3-
as1-b).*sin(as1-a3+b);
eq2=Gbn.*sin(as1+b)+p.*Gbn.*sin(2*a4+as
1+b-pi).*sin(pi-(as1+a4+b));
a3=0:0.01:pi/2;
a4=0:0.01:pi/2;
veq1=eval(eq1);
veq2=eval(eq2);
Mv1=max(veq1);
Mv2=max(veq2);
for j=1:length(a3)
if veq1(j)==max(veq1)
a3m=a3(j);
end
if veq2(j)==max(veq2)
a4m=a4(j);
end
end
E1(i)=Mv1;
E2(i)=Mv2;
a3mm(i)=a3m;
a4mm(i)=a4m;
month(i)=i;
end
plot(month,a3mm*180/pi,month,a4mm*180
/pi)
axis([1 12 0 91])
title('the optimum reflector angle alpha
3,alpha 4 during the months of year')
xlabel('month')
ylabel('alpha 3 , alpha 4')
grid('on')

```



الشكل (٤) زاوية ميل العاكس المثالية خلال أشهر السنة في محافظة طرطوس

يظهر (الشكل (٤) نتيجة الكود البرمجي ونستنتج منه بأن زاوية ميل العاكس الأيسر المثالية $\alpha_{3,opt}$ كما هو واضح تكون أكبر ما يمكن في الشهر السادس بقيمة 86° وأصغر قيمة لها في الشهر الأول تكون 58° في حين أن زاوية ميل العاكس الأيمن المثالية $\alpha_{4,opt}$ تكون أكبر ما يمكن في الشهر الأول بقيمة 76° وأصغر ما يمكن في الشهر السادس بقيمة 45° .

وعلى فرض أن العواكس يتم تركيبها بزاوية ثابتة على مدار العام سنأخذ قيمة وسطية للعواكس الاثنتين (نقطة تقاطع المنحنيات-الخط الأسود الغامق) وتكون الزاوية المختارة هي 65° .

ثالثاً: التجارب العملية

تم إجراء التجارب على مجمعين شمسيين مسطحين بتاريخ ٢٢ آب عام ٢٠٢٣، حيث تم أخذ قراءات لشدة الاشعاع الشمسي في مستوى سطح المجمعين ودرجة حرارة المنطقة المتوسطة من أعلى الصفيحة الماصة (حيث تمتلك هذه المنطقة أعلى درجة حرارة في المجمع) مرة كل ساعة والشكل التالي يبين المجمعان التي أجريت التجارب عليهما (الأول مزود بالعواكس والآخر للمقارنة).



الشكل (٥) المجمعات الشمسية المختبرة (اليمين: مجمع مع عواكس، اليسار: مجمع بدون عواكس للمقارنة).

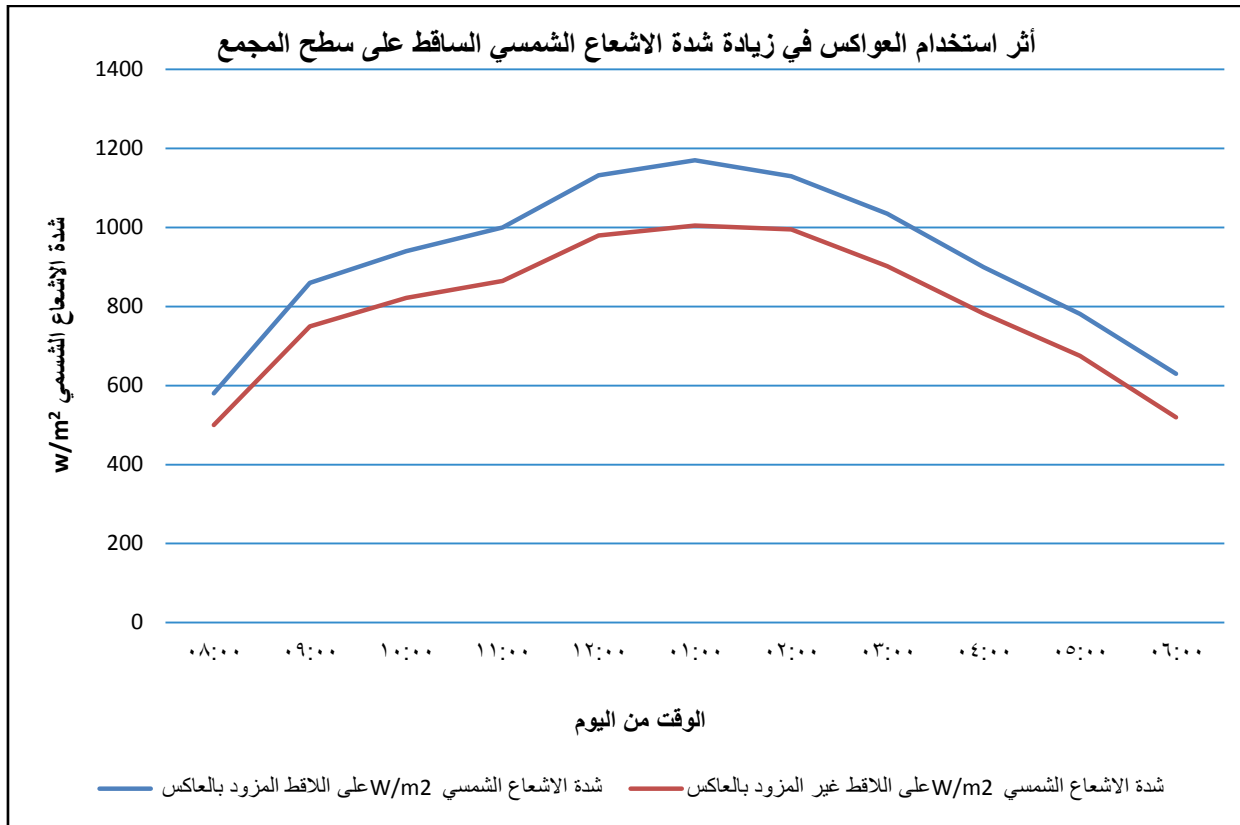
رابعاً: النتائج التجريبية

يبين الجدول التالي نتائج عمليات القياس:

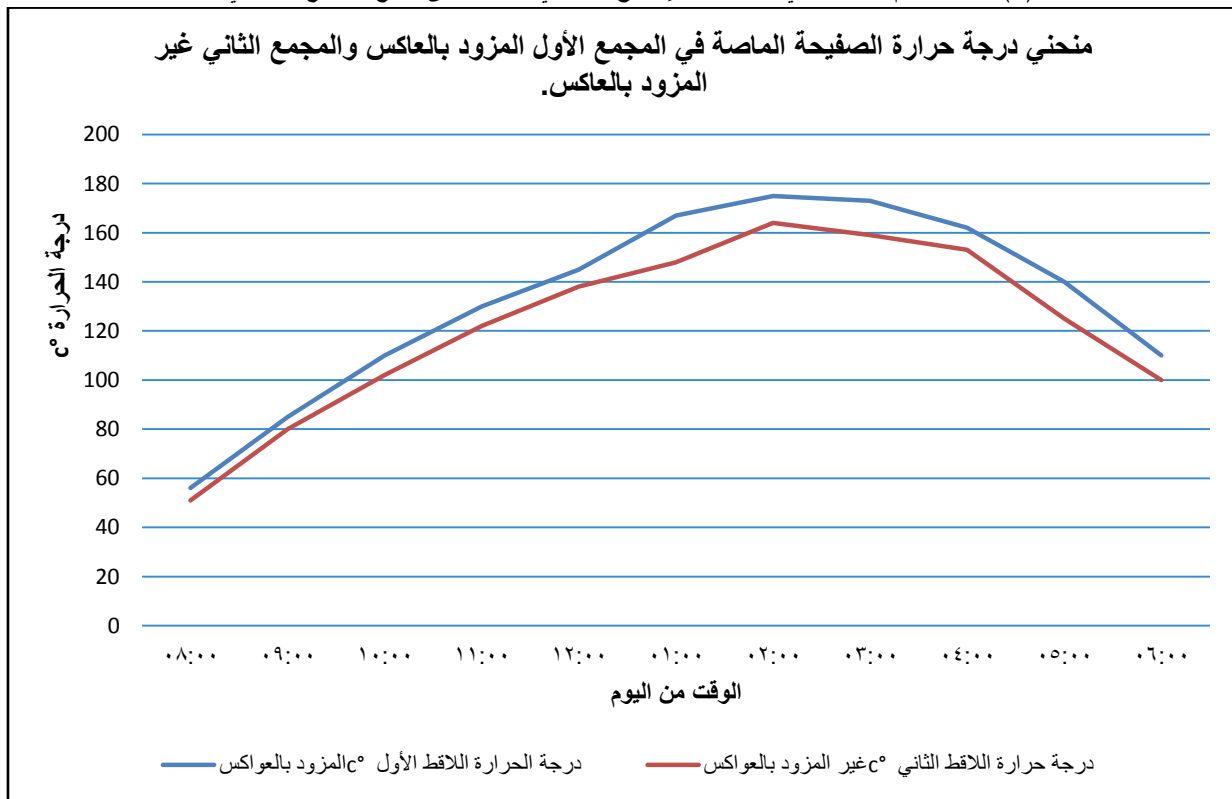
جدول (٤) نتائج عمليات القياس للمجمّع الشمسي الأول المزود بالعواكس والآخر غير المزود بالعواكس

تم عرض النتائج عبر Excel :

شدة الإشعاع الشمسي W/m^2 على المجمّع غير المزود بالعواكس	شدة الإشعاع الشمسي W/m^2 على المجمّع المزود بالعواكس	درجة حرارة الصفيحة الماصة في المجمّع الثاني غير المزود بالعواكس $^{\circ}C$	درجة حرارة الصفيحة الماصة في المجمّع الأول المزود بالعواكس $^{\circ}C$	زمن القراءة/٢٢ آب
500	580	٥١	٥٦	٨:٠٠
٧٥٠	860	٨٠	٨٥	٩:٠٠
٨٢٢	940	١٠٢	١١٠	١٠:٠٠
٨٦٥	1000	١٢٢	١٣٠	١١:٠٠
٩٨٠	1132	١٣٨	١٤٥	١٢:٠٠
١٠٠٥	1170	١٤٨	١٦٧	١:٠٠
٩٩٥	1130	١٦٤	١٧٥	٢:٠٠
٩٠٢	1035	١٥٩	١٧٣	٣:٠٠
٧٨٢	900	١٥٣	١٦٢	٤:٠٠
٦٧٥	781	١٢٥	١٤٠	٥:٠٠
٥٢٠	630	١٠٠	١١٠	٦:٠٠



الشكل (٦) أثر استخدام العواكس في زيادة شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح المجمع الشمسي.



الشكل (٧) أثر استخدام العواكس في رفع درجة حرارة الصفيحة الماصة للمجمع الشمسي.

خامسا: الدراسة التحليلية-الرياضية

إن منحنى أداء المجمع الشمسي (منحنى المجمع الشمسي الحراري) يعبر عن العلاقة بين كفاءة المجمع الشمسية الحرارية من جهة η ، والضياعات الحرارية معبرا عنها بـ $\frac{T_p - T_a}{G_t}$ أو $T_p - T_a$ من جهة أخرى. تم إجراء دراسة رياضية-تحليلية لرسم منحنى أداء المجمع الشمسي في حالتها الدراسة (مع عواكس وبدون عواكس) حيث تم الاستناد على القيم المرجعية في تحديد قيمة الكفاءة النظرية للواقط وعلى النتائج التجريبية في تحديد المعامل

$T_p - T_a$ (تم اختياره نظرا لتغير شدة الإشعاع الشمسي خلال ظروف التجربة) حيث:

T_p : درجة حرارة الصفيحة الماصة $^{\circ}\text{C}$.

T_a : درجة حرارة الوسط المحيط $^{\circ}\text{C}$.

تبلغ قيمة الكفاءة النظرية للاقط المسطح $0.75 = (\tau\alpha)$ (وتعتبر قيمة تقريبية-وسطية صحيحة لمجال واسع من المجمعات الشمسية المسطحة المزججة) وهي النقطة الأولى اللازم تحديدها في منحنى أداء المجمع الشمسي المسطح، أما النقطة الثانية فيمكن تحديدها اعتمادا على نتائج الاختبارات التجريبية عبر التعويض في العلاقة التالية

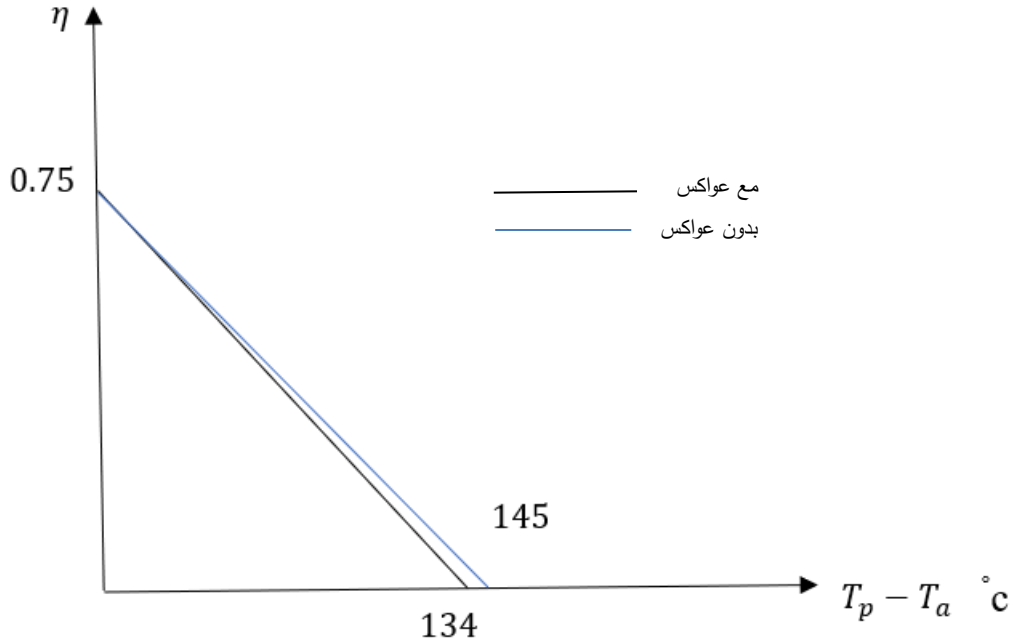
$$\cdot T_{MAX} - T_a$$

حيث T_{MAX} هي درجة الحرارة العظمى التي وصلت لها الصفيحة الماصة في المجمع الشمسي المسطح.

يبين الجدول التالي قيمة المعامل $T_{MAX} - T_a$ في حالتَي الدراسة عند القيم التجريبية المقاسة:

درجة الحرارة العظمى للصفحة الماصة °C		درجة حرارة الوسط المحيط بوحدة °C T_a	$T_{MAX} - T_a$ بوحدة °C	
المجمع المزود بالعاكس	المجمع غير المزود بالعاكس	30	المجمع المزود بالعاكس	المجمع غير المزود بالعاكس
١٧٥	١٦٤		١٤٥	١٣٤

يظهر (الشكل ٨) منحنى المجمع الشمسي في الحالتين:



الشكل (٨) منحنى أداء المجمع الشمسي في حالتَي الدراسة والناتج عن الدراسة التحليلية-الرياضية

المناقشة:

أدى استخدام عواكس الألمنيوم الى تحقيق كثافة في الإشعاع الشمسي الساقط على سطح المجمع حيث زادت قيمة شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطحه بنسبة تتراوح بين % [13 - 20] على مدار يوم الدراسة كما يبين (الشكل ٦).

بالإضافة الى ذلك، يؤدي استخدام العواكس الى سرعة في ارتفاع درجة حرارة الصفحة الماصة خلال اليوم والى حصول تحسن في درجة حرارتها بنسبة تتراوح بين % [5 - 12] خلال يوم الدراسة كما يبين (الشكل ٧). وأخيراً، تبين الدراسة التحليلية-الرياضية بأن أداء المجمع الشمسي تحسّن بسبب التحسّن الحاصل في درجة الحرارة والسبب الرئيسي لذلك هو كثافة الإشعاع الشمسي المحقّقة تحت تأثير العواكس المستخدمة حيث أن المنحنى الرياضي المبين في (الشكل ٨) يشير إلى أنّ المجمع الشمسي المزود بالعاكس يعمل عند كفاءة أكبر من المجمع الآخر غير المزود بالعاكس وذلك عند قيم درجة حرارة الصفحة الماصة للاقط.

الاستنتاجات والتوصيات

الاستنتاجات:

- ١- أدى استخدام الصفائح العاكسة على طرفي المجمع الشمسي الحراري الى تحسن في قيمة الإشعاع الساقط على سطحه بنسبة وسطية بلغت 16% حيث تتعلق هذه النسبة بزاوية تركيب العاكس وزاوية ورود الإشعاع الشمسي وشدة الاشعاع الشمسي الساقط على سطح المجمع.
- ٢- أدى استخدام الصفائح العاكسة على طرفي المجمع الشمسي الحراري الى تحسن في قيمة درجة حرارة الصفيحة الماصة المقاسة بنسبة وسطية بلغت 9% وهي نسبة تتغير بتغير بارامترات الوسط المحيط خلال أشهر السنة (عند قيم معينة لمعامل انتقال الحرارة الإجمالي للاقط والكفاءة النظرية له).
- ٣- تحقق العواكس أداء أفضل في أوقات الإشعاع الشمسي العالي عنه في أوقات الإشعاع المنخفض، حيث أن كمية الاشعة المنعكسة في حال الإشعاع المنخفض يكون ذو قيمة مهملة وغير مؤثرة بشكل كبير وعليه يكون التأثير الأكبر صيفا وليس شتاء حيث لا غنى عن استخدام مصادر احتياطية للطاقة في أيام انخفاض الإشعاع وزيادة الاستهلاك.
- ٤- إن التحسّن الحاصل في درجة الحرارة العظمى للصفحة الماصة ينتج عنه تحسّنا في أداء المجمع الشمسي كما بيّنت الدراسة التحليلية-الرياضية للاقط المسطح، وهذا يدل على أن التحسن في درجة حرارة الصفيحة الماصة يصاحبه تحسن في كمية الحرارة المفيدة المقدمة للمائع والتي تساوي الى جداء كفاءة المجمع في شدة الإشعاع الساقط على سطحه والمحسّن تحت تأثير استخدام العواكس.

التوصيات:

- ١- استخدام العواكس في المجمعّات الشمسية بهدف تحسين الأداء العام الإجمالي خلال العام.
- ٢- إجراء اختبار فعلي لأثر العواكس على أداء اللواقط المسطّحة في ظروف نظام تسخين ماء شمسي كامل وعلى مدار عام من الدراسة ومقارنته مع منحنى الأداء الناتج عن الدراسة التحليلية-الرياضية.
- ٣- إجراء تحكّم آلي لتطبيق زاوية ميل عاكس يومية مثلى على مدار العام ومقارنة النتائج مع حالة الزاوية الثابتة السنوية للعواكس.
- ٤- تجريب واختبار أنواع مختلفة من العواكس بقيم عاكسية أعلى (المرابا الفضية، عواكس الألمنيوم الانودي، الخ).

المراجع:

- 1- Sayigh, A. A. M. (Ed.). (2012). Solar energy engineering. Elsevier.
- 2- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). Solar engineering of thermal processes. John Wiley & Sons.
- 3- Akhtar, S., Hashmi, M. K., Ahmad, I., & Raza, R. (2018). Advances and significance of solar reflectors in solar energy technology in Pakistan. *Energy & Environment*, 29(4), 435-455.
- 4- Cabral, D. (2022). Reflector Optimization for Low Concentration Photovoltaic-Thermal Solar Collectors (Doctoral dissertation, Gävle University Press).
- 5- Ashari, D., & Ichsani, D. (2019). Eksperimental Study the Effect of Additional Flat Plate Reflector to Performance the Sinusoidal Solar Water Heater. *IPTEK The Journal of Engineering*, 5(1), 9-13.
- 6- Kostić, L. T., & Pavlović, Z. T. (2012). Optimal position of flat plate reflectors of solar thermal collector. *Energy and Buildings*, 45, 161-168.
- 7- El-Assal, B., Irshad, K., & Ali, A. (2020). Effect of side reflectors on the performance of flat plate solar collector: a case study for Asir Region, Saudi Arabia. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(2), 1035-1050.
- 8- Kancevica, L., Ziemelis, I., & Aboltins, A. (2015, May). Mathematical model for solar energy collector with reflectors. In *Proceedings of International conference "Engineering for rural development* (pp. 477-482).
- 9- Mulugata, N., & Tesfay, T. (2017). Improving efficiency of flat plate collector integrated with reflectors. *Int J Eng Tech Res (IJETR)*, 7(2), 1-9.
- 10- Ramesh, C., Vijayakumar, M., Alshahrani, S., Navaneethakrishnan, G., Palanisamy, R., Natrayan, L., ... & Panchal, H. (2022). Performance enhancement of selective layer coated on solar absorber panel with reflector for water heater by response surface method: A case study. *Case Studies in Thermal Engineering*, 36, 102093.
- 11- Rachedi, M. Y., Bechki, D., Marif, Y., Boughali, S., & Bouguettaia, H. (2022). A novel model for optimizing tilts of four reflectors on a flat plate thermal collector: Case study in Ouargla region. *Case Studies in Thermal Engineering*, 32, 101872.
- 12- Pavlović, Z. T., & Kostić, L. T. (2015). Variation of reflected radiation from all reflectors of a flat plate solar collector during a year. *Energy*, 80, 75-84.
- 13- Kostic, L. T., & Pavlovic, Z. T. (2016). The effect of four flat plate reflectors on light energy-harvesting system characteristics. *Facta Universitatis, Series: Physics, Chemistry and Technology*, 13(3), 171-180.