Improving The Thermal Performance Of Flat-Plat Solar Collector Using Nanofluid As A Working Fluid

Dr. Rami George*
Osama Khaldo**

(Received 29 / 8 / 2024. Accepted 22 / 12 / 2024)

□ ABSTRACT □

The research aims to improve the thermal performance of a flat-plate solar collector by using nanofluids as a heat transfer medium, contributing to an increase in the efficiency of solar systems. Two identical solar collectors were fabricated using aluminum and copper components, insulated with transparent glass. The collectors were tested under identical climatic conditions in Latakia city during the summer and autumn of 2023. The results demonstrated that the nanofluid, primarily composed of copper oxide nanoparticles (CuO) at a concentration of 0.2%, improved the outlet fluid temperature by 13% compared to using water alone.

The tests included monitoring solar radiation intensity and temperature changes at the optimal flow rate, which was determined to prevent energy loss due to excessive or insufficient flow. The results also showed that the outlet temperature of the nanofluid was higher than that of the traditional fluid, enhancing the thermal performance of the solar collectors.

The conclusions indicated that adding copper oxide at a specified concentration significantly improved thermal conductivity and efficiency. However, increasing the concentration of nanomaterials leads to agglomeration, reducing the thermal transport efficiency. The study recommended conducting future research to explore other types of nanofluids to further enhance performance.

This research provides a scientific model for improving the thermal efficiency of solar collectors using nanotechnology, contributing to the promotion of solar energy as a sustainable energy source.

Keywords: Flat-plat solar collector, nanofluid, Heat transfer coefficient, Efficiency, Exergy.

Copyright **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Professor - Department of Mechanical Engineering - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering -Tishreen University – Lattakia – Syria-email: dr.ramigeorge@gmail.com**

** **Postgraduate Student (Master)-Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Tishreen University –Lattakia-Syria-email: osama.khaldo@tishreen.edu.sy**

تحسين الأداء الحراري للاقط شمسي مسطح باستخدام مائع نانوي كوسيط عامل

د. رامي جورج*

اسامه خالدو**

(تاريخ الإيداع 29 / 8 / 2024. قُبِل للنشر في 22/ 12 / 2024)

□ ملخّص □

يهدف البحث إلى تحسين الأداء الحراري للاقط شمسي مسطح من خلال استخدام المائع النانوي كوسيط ناقل للحرارة، مما يساهم في زيادة كفاءة النظام الشمسي. تم تصنيع لاقطين شمسيين متطابقين بمكونات من الألمنيوم والنحاس مع عزلهما بزجاج شفاف. اختُبرت اللواقط تحت نفس الظروف المناخية في مدينة اللاذقية خلال فصول الصيف والخريف لعام 2023. أظهرت النتائج أن المائع النانوي، المكوّن أساسًا من أوكسيد النحاس النانوي (CuO) بتركيز 0.2%، أدى إلى تحسين درجة حرارة المائع الخارج بنسبة 13% مقارنةً باستخدام الماء وحده.

تضمنت الاختبارات مراقبة شدة الإشعاع الشمسي وتغير درجات الحرارة عند التدفق الأمثل الذي حُدد بقيمة معينة لتجنب فقدان الطاقة بسبب زيادة أو انخفاض التدفق. أظهرت النتائج أيضًا أن درجة حرارة المائع النانوي الخارجة تفوق تلك الناتجة عن المائع التقليدي، مما يعزز الأداء الحراري للواقط الشمسية.

أوضحت الاستنتاجات أن إضافة أوكسيد النحاس بنسبة محددة حسنت التوصيل الحراري والمردود بشكل كبير. ومع ذلك، فإن زيادة نسبة المادة النانوية تؤدي إلى تكتلات تقلل من كفاءة النقل الحراري. أوصى البحث بإجراء دراسات مستقبلية لاختبار أنواع أخرى من الموائع النانوية لتحسين الأداء.

يوفر هذا البحث نموذجًا علميًا لتحسين الكفاءة الحرارية للواقط الشمسية باستخدام تقنيات نانوية، مما يسهم في تعزيز استخدام الطاقة الشمسية كمصدر مستدام للطاقة.

الكلمات المفتاحية: المائع النانوي، اللاقط الشمسي المسطح، معامل نقل الحرارة، الكفاءة، الطاقة.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

* أستاذ – قسم هندسة القوى الميكانيكية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية –جامعة تشرين – اللاذقية – سورية – إيميل dr.ramigeorge@gmail.com

** طالب دراسات عليا (ماجستير) – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية – إيميل osama.khaldo@tishreen.edu.sy

مقدمة:

تعد الطاقة الشمسية إحدى أهم مصادر الطاقة الحرارية، يمكن الاستفادة منها في تسخين المياه باستخدام اللواقط الشمسية المسطحة السائلة، وهي عبارة عن مجمعات يتم تصميمها لتجميع الحرارة عن طريق امتصاص الأشعة الشمسية والوسيط العامل هو الماء، ويهدف زيادة الاستفادة من الطاقة الحرارية الممتصة زيادة كفاءة ومردود اللواقط الشمسية، تم استخدام الموائع النانوية حيث تنتمي المواد النانوية بشكل عام إلى المواد الموصلة حرارياً بسبب القيم المرتفعة لمعامل التوصيل الحراري وتشير الدراسات المرجعية إلى أن إضافة مواد نانوية مهما بلغت نسبتها فإنها تؤثر بشكل أو بآخر على الخواص الفيزيائية والميكانيكية والحرارية لهذه المواد، وانطلاقاً من الهدف الأساس لهذا البحث وهو تصنيع لواقط شمسية مسطحة ومواد نانوية بغية إضافتها للماء كوسيط عامل، تم اختيار أوكسيد النحاس النانوي CuO بسبب سهولة تصنيعه بطرق تكنولوجية عديدة وتوفره بالأسواق المحلية، وبسبب ارتفاع ثمنه تم اعتماد هذه المادة فقط.

أجريت الكثير من الأبحاث النظرية والتجريبية بهدف تحسين الأداء الحراري للواقط الشمسية، فمنهم من قام باستخدام حلول تقنية طورها الباحثون بهدف زيادة الكفاءة الحرارية للألواح الشمسية المسطحة [1]. ومنهم من ساهم في تعزيز فعالية مبادل حراري يعمل بالطاقة الشمسية من خلال تشتيت جسيمات النانو في المائع العامل الأساسي وزيادة مساحة سطح اللاقط وتقليل القطر الهيدروليكي للمبادل [2]. ومنهم من قام بدراسة الحد من انبعاثات ثاني أوكسيد الكربون من خلال تحسين كفاءة اللاقط الشمسي المركز وغير المركز وخفض التكاليف، باستخدام الجسيمات النانوية لتعزيز الخواص البصرية لموائع نقل الحرارة من أجل الامتصاص المباشر في اللواقط بشكل متجانس، مما يؤدي إلى زيادة الطاقة الحرارية المكتسبة، مقارنة بالطرق التقليدية [3]. وقام بعضهم بتحضير مائع أوكسيد النحاس النانوي بطريقة الترسيب الرطب وتم توصيف العينة بطريقة حيود الأشعة السينية ليكون حجم الجسيمات [nm] 20 وازدادت الموصلية بنسبة 12.4% [4]. وبعضهم درس تأثير أسلاك النحاس النانوية على الموائع النانوية حيث تظهر التجارب أن التوصيل الحراري يزداد مع زيادة حجم أسلاك النحاس النانوية [5]. كما قام باحثون بدراسة طرق تحسين ومحاكاة أنظمة تسخين المياه بالطاقة الشمسية لفهم خصائص التدفق الذي من شأنه أن يؤدي إلى تحسين الأداء الحراري لمجمعات الطاقة الشمسية [6]. واستخدم آخرون جسيمات ثاني أوكسيد السيليكون وثالث أوكسيد التنغستين بقطر 90 [nm] بتركيزات ومعدلات تدفق مختلفة فتم الحصول على كفاءة مثلى بنسبة 72.69% عند تركيز 0.03% وتدفق 60 [g/s] [7]. وبعض الباحثين استخدم جسيمات كربيد السيليكون النانوية بقطر [nm] 60 بتراكيز ومعدلات تدفق مختلفة، فتم تحقيق زيادة في التوصيل الحراري بنسبة 30.3% وفي الكفاءة بنسبة 37.4% عند تركيز 0.1% وتدفق 0.041 [kg/s] [8].

قام باحثون آخرون باستخدام الموائع النانوية الهجينة فبلغت الكفاءة 77.96% ورقم رينولدز 935.4 عند تركيز 1% وتدفق 0.1166 [kg/s] وانخفض توليد الأنتروبيا بنسبة 18.37% [9]. ومنهم من قام بدراسة تحسين نسبة الخلط لأنابيب الكربون النانوية متعددة الجدران مع أوكسيد التيتانيوم للعثور على نسبة خلط الجسيمات النانوية المثالية حيث تم إعداد خمس عينات هجينة ذات أساس مائي واختبارها بنسب خلط مختلفة بتركيز ثابت قدره 0.1% بالوزن وتم تسجيل قياسات التوصيل الحراري واللزوجة الديناميكية عند درجة حرارة 40°C وسطية وكشفت النتائج أن نسبة الخلط المثالية ذات أعلى موصلية حرارية هي 60:40 وأن الموائع النانوية الهجينة تمتلك أداء أعلى بالمقارنة مع الموائع النانوية الأحادية [10].

أهمية البحث وأهدافه:

يوفر هذا البحث من الناحية العملية، إمكانية الحصول على أفضل أداء للاقط الشمسي المسطح، ويؤمن أفضل مردود له. يعتبر هذا البحث نواة علمية لأبحاث مستقبلية لتحسين اداء اللاقط الشمسي المسطح، ويعتمد هذا البحث الدراسة التجريبية، لإمكانية الحصول على مائع نانوي ذو معامل موصلية حرارية مرتفع نسبياً، بإضافة مائع نانوي إلى الماء بغية استخدامه في اللاقط الشمسي المسطح، تم تصنيع اللاقط المطلوب بهدف الحصول على لاقط شمسي مسطح ذي مردود مقبول ومقارنة مردوده مع مردود اللاقط الشمسي المسطح الذي يستخدم الماء فقط.

متغيرات البحث:

تعتبر نسبة المادة النانوية المضافة إلى الماء وتدفق المائع ضمن اللاقط من المتغيرات التي تم دراسة تأثيرها في هذا البحث للحصول على اعلى مردود للاقط الشمسي، ومقارنة النتائج مع اللاقط الشمسي التقليدي، العامل على الماء واعتماد النسبة والتدفق المناسبين بما يحقق أعلى مردود للاقط الشمسي.

طرائق البحث ومواده:

تم اعتماد المنهج التجريبي حيث تم تصنيع لاقط شمسي مسطح من نوع الأنابيب المستقيمة عدد 2 مساحة سطح كل منهما تساوي [m^2] 0.5 ومعزولين بطبقة من الفلين سماكتها [cm] 2، كما تم تزويد كل من اللاقطين بحساس حراري رقمي لقياس درجة حرارة الماء عند مخرج كل منهما ومن ثم تأمين سوائل نانوية حيث تم تزويد أحد اللواقط بالماء والآخر بالسائل النانوي، كوسيط عامل ضمنه وبعد ذلك تم أخذ قراءات درجات الحرارة عند مخرج كلا اللاقطين خلال ساعات محددة من النهار عند الشروط المناخية لمدينة اللاذقية خلال بعض أيام فصلي الصيف والخريف وحساب كمية الحرارة المفيدة ومردود كلا اللاقطين ومقارنة النتائج وتحديد نوع السائل النانوي وكميته المثلى والتدفق الذي يعطي أفضل مردود للاقط الشمسي وكتابة النتائج وتم استخدام العلاقات الرياضية الآتية لحساب كمية الحرارة المفيدة والمردود [11]:

$$Q_u = \dot{m} C_p \left(T_{b_2} - T_{b_1}\right)$$

$$\eta_c = \frac{Q_u}{A_c H_t}$$

حيث:

$\dot{m}$: تدفق المائع $[\frac{l}{s}]$.

C_p: السعة الحرارية $[\frac{J}{kg.℃}]$.

T_{b_2}, T_{b_1}: درجة الحرارة الوسطية [℃].

A_c: مساحة اللاقط $[m^2]$.

H_t: شدة الإشعاع الشمسي $[\frac{W}{m^2}]$.

تمّ تصنيع لاقطين شمسيين متطابقين في الهيكل والمكونات باستخدام أنابيب نحاسية وصفيحة ماصة بزاوية ميل تساوي خط العرض المحلي، ومعزول بطبقة خارجية لتحقيق كفاءة حرارية.

تم وصل كل لاقط مع خزان بسعة بخزان سعة $[l]$ 20 وتم تركيب صمام فتح وإغلاق عند مدخل المياه وتم تركيب مضخة لكل لاقط يتم التحكم بالتدفق بواسطة الصمامات حيث التدفق الأعظمي $[\frac{l}{min}]$ 20 وتم أخذ قراءات درجات الحرارة بواسطة مقاييس رقمية وتسجيلها في جداول وهذا مبيّن في الشكل (1).

استخدمت أجهزة قياس متخصصة لقياس شدة الإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة عند مخرج اللاقط الشمسي لضمان دقة النتائج وهذا مبين في الشكل (2).

الشكل (1) وصل اللاقطين الشمسيين مع خزانات المياه

الشكل (2) جهاز قياس شدة الاشعاع الشمسي ومقياس رقمي لدرجة الحرارة

تمّ تحضير أوكسيد النحاس النانوي في مخابر المعهد العالي لبحوث البيئة قسم الكيمياء في جامعة تشرين في مدينة اللاذقية على يد مجموعة من طلاب الماجستير والدكتوراه عبر إذابة كبريتات النحاس في ماء مقطر وإجراء التفاعل بوجود هيدروكسيد البوتاسيوم لتشكيل الراسب المطلوب.

الشكل (3) بودرة أوكسيد النحاس النانوي

النتائج والمناقشة:

نتائج شهر حزيران:

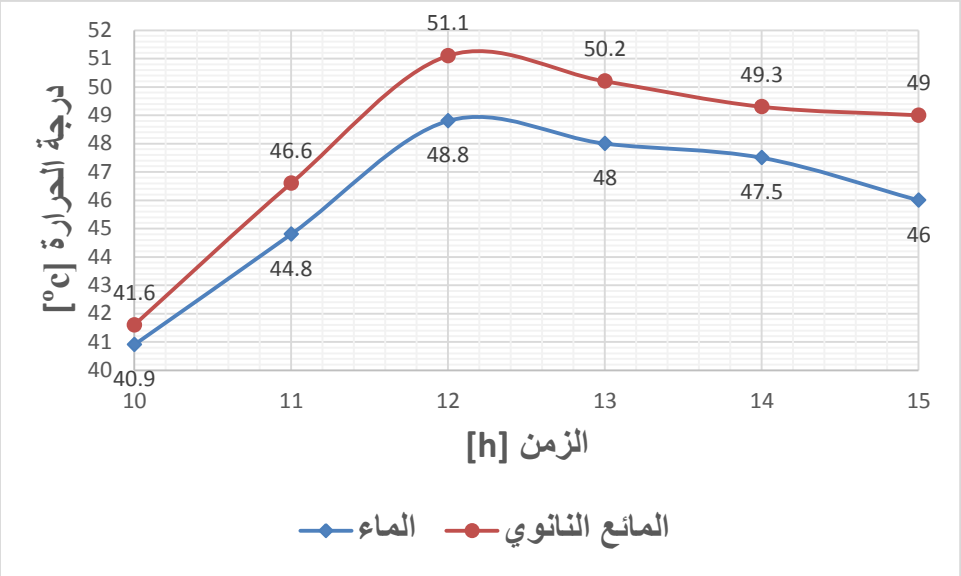
تم إجراء التجارب في اليوم الخامس عشر من شهر حزيران لعام 2023 حيث كان الطقس مشمس، وتم قياس درجات الحرارة عند مخرج كل من اللاقطين الشمسيين، النانوي والمائي ودرجة حرارة الوسط المحيط، وشدة الإشعاع الشمسي الساقط على اللاقط الشمسي، خلال ساعات النهار لهذا اليوم عند تدفق $[\frac{l}{s}]$ 0.01 وكانت نسبة المادة النانوية المضافة إلى الماء 0.1%.

يبين الجدول (1) نتائج قياس درجات الحرارة وشدة الاشعاع الشمسي لكلا اللاقطين في يوم 15 حزيران.

الجدول (1) درجات الحرارة وشدة الاشعاع الشمسي ليوم 15 حزيران 2023

النسبة المئوية للمادة النانوية	Q [l/s]	اليوم	t_a [°c]	t [h]	H_t $[\frac{W}{m^2}]$	t_{m_1}	t_{m_2}	η_{c_1}	η_{c_2}
0.1	0.01	15	22.6	10	722.7443	40.9	41.6	–	–
			22.6	11	725.5728	44.8	46.6	0.45	0.57
			22.8	12	732.6128	48.8	51.1	0.457	0.52
			22.8	13	725.5728	48	50.2	–	–
			23.4	14	722.7443	47.5	49.3	–	–
			23.2	15	661.1362	46	49	–	–

يبين الشكل (4) تغير درجات الحرارة عند مخرج كلا اللاقطين.



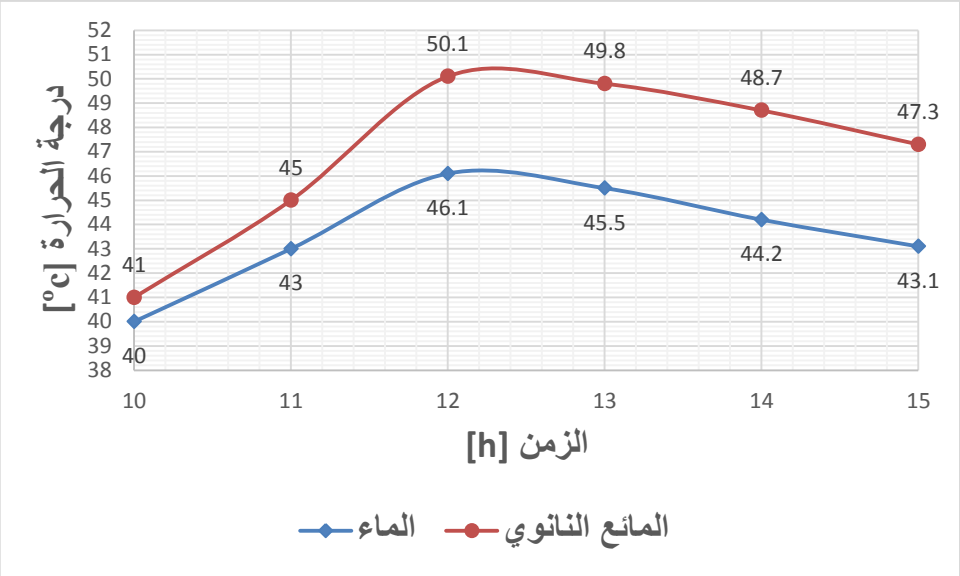
الشكل (4) تغير درجات الحرارة عند مخرج كلا اللاقطين ليوم 15 حزيران 2023

كما تم إجراء الاختبارات في اليوم الثلاثين من شهر حزيران لنفس العام حيث كان الطقس مشمس، وتم قياس درجات الحرارة عند مخرج كل من اللاقطين الشمسيين، النانوي والمائي ودرجة حرارة الوسط المحيط، وشدة الإشعاع الشمسي الساقط على اللاقط الشمسي، خلال ساعات النهار لهذا اليوم عند تدفق $0.012\ [\frac{l}{s}]$ وكانت نسبة المادة النانوية المضافة إلى الماء 0.1%. يبين الجدول (2) نتائج قياس درجات الحرارة وشدة الاشعاع الشمسي لكلا اللاقطين في يوم 30 حزيران.

الجدول (2) درجات الحرارة وشدة الاشعاع الشمسي ليوم 30 حزيران 2023

النسبة المئوية للمادة النانوية	Q [l/s]	اليوم	$t_a\ [°c]$	t [h]	$H_t\ [\frac{W}{m^2}]$	t_{m_1}	t_{m_2}	η_{c_1}	η_{c_2}
0.1	0.012	30	23.4	10	723.4861	40	41	–	–
			23.5	11	726.5032	43	45	0.41	0.55
			23.8	12	732.365	46.1	50.1	0.42	0.7
			22.8	13	726.5032	45.5	49.8	–	–
			24	14	723.4861	44.2	48.7	–	–
			24.5	15	661.349	43.1	47.3	–	–

يبين الشكل (5) تغير درجات الحرارة عند مخرج كلا اللاقطين.



الشكل (5) تغير درجات الحرارة عند مخرج كلا اللاقطين ليوم 30 حزيران 2023

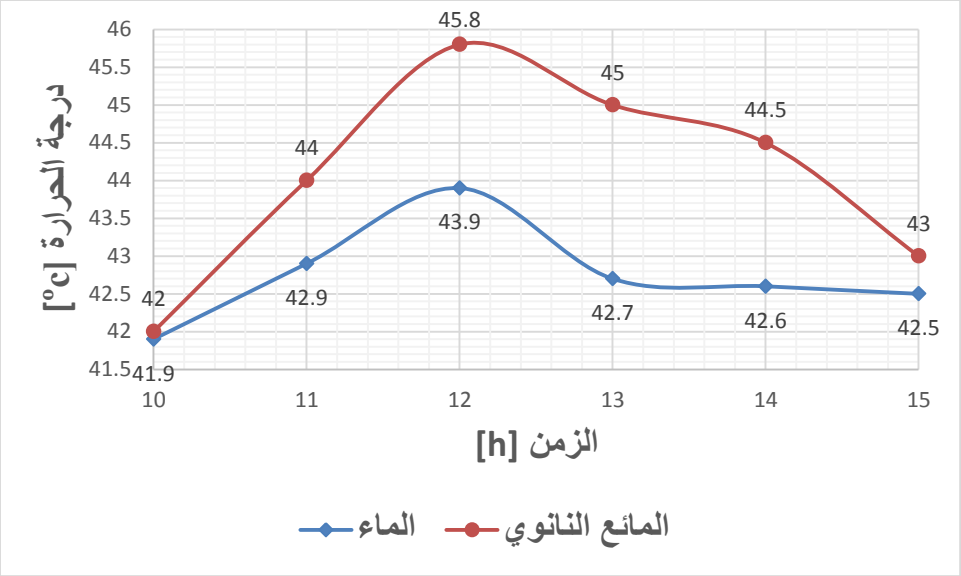
نتائج شهر تموز:

تم إجراء الاختبارات في اليوم العاشر من شهر تموز لعام 2023 حيث كان الطقس مشمس، وتم قياس درجات الحرارة عند مخرج كل من اللاقطين الشمسيين، النانوي والمائي ودرجة حرارة الوسط المحيط، وشدة الإشعاع الشمسي الساقط على اللاقط الشمسي، خلال ساعات النهار لهذا اليوم عند تدفق $[\frac{l}{s}]$ 0.015 بالثانية وكانت نسبة المادة النانوية المضافة إلى الماء 0.1%. والجدول (3) يبين نتائج قياس درجات الحرارة وشدة الاشعاع الشمسي لكلا اللاقطين في يوم 10 تموز.

الجدول (3) درجات الحرارة وشدة الاشعاع الشمسي ليوم 10 تموز 2023

النسبة المئوية للمادة النانوية	Q [l/s]	اليوم	t_a [°c]	t [h]	H_t $[\frac{W}{m^2}]$	t_{m_1}	t_{m_2}	η_{c_1}	η_{c_2}
0.1	0.015	10	25.6	10	726.6653	41.9	42	–	–
			25.8	11	731.7704	42.9	44	0.17	0.34
			26.1	12	730.7842	43.9	45.8	0.17	0.3
			26.3	13	731.7704	42.7	45	–	–
			26.2	14	726.6653	42.6	44.5	–	–
			25.2	15	660.6685	42.5	43	–	–

يبين الشكل (6) تغير درجات الحرارة عند مخرج كلا اللاقطين.



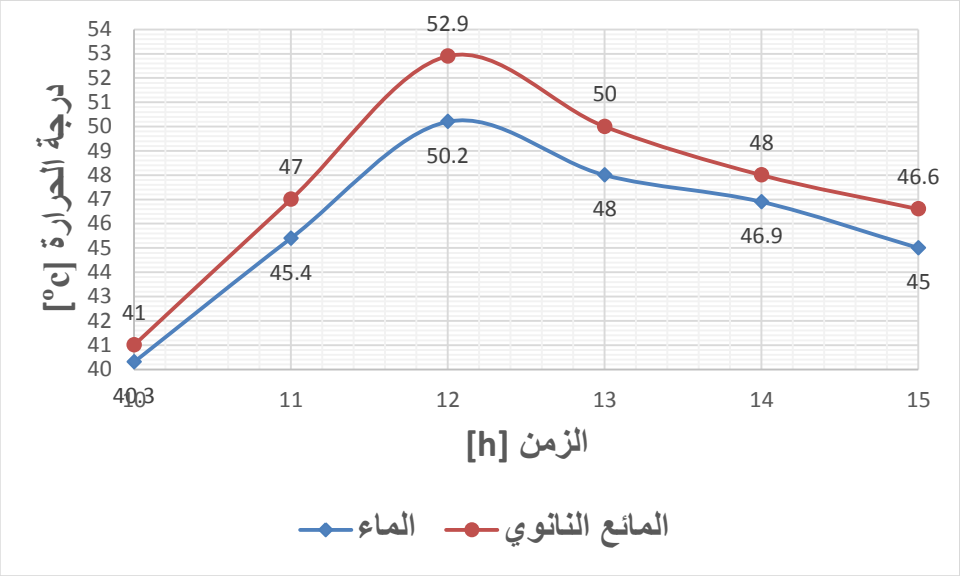
الشكل (6) تغير درجات الحرارة عند مخرج كلا اللاقطين ليوم 10 تموز 2023

تم إجراء الاختبارات في اليوم العشرين من شهر تموز لعام 2023 حيث كان الطقس مشمس، وتم قياس درجات الحرارة عند مخرج كل من اللاقطين الشمسيين، النانوي والمائي ودرجة حرارة الوسط المحيط، وشدة الإشعاع الشمسي الساقط على اللاقط الشمسي، خلال ساعات النهار لهذا اليوم عند تدفق $0.01\ [\frac{l}{s}]$ وكانت نسبة المادة النانوية المضافة إلى الماء 0.2%. يبين الجدول (4) نتائج قياس درجات الحرارة وشدة الاشعاع الشمسي لكلا اللاقطين في يوم 20 تموز.

الجدول (4) درجات الحرارة وشدة الاشعاع الشمسي ليوم 20 تموز 2023

النسبة المئوية للمادة النانوية	Q [l/s]	اليوم	$t_a\ [°c]$	t [h]	$H_t\ [\frac{W}{m^2}]$	t_{m_1}	t_{m_2}	η_{c_1}	η_{c_2}
0.2	0.01	20	25.7	10	734.915	40.3	41	–	–
			25.1	11	745.146	45.4	47	0.57	0.67
			25.7	12	738.5618	50.2	52.9	0.54	0.66
			25.9	13	745.146	48	50	–	–
			26	14	734.915	46.9	48	–	–
			25.8	15	662.2341	45	46.6	–	–

يبين الشكل (7) تغير درجات الحرارة عند مخرج كلا اللاقطين.



الشكل (7) تغير درجات الحرارة عند مخرج كلا اللاقطين ليوم 20 تموز 2023

نتائج شهر آب:

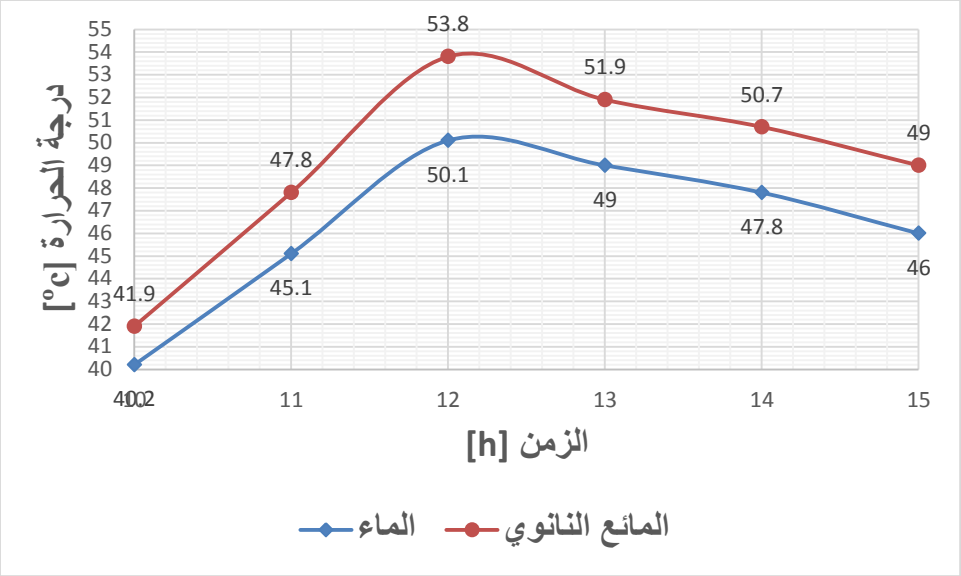
وتم إجراء التجارب يوم العشرين من شهر آب 2023 حيث كان الطقس مشمس، وتم قياس درجات الحرارة عند مخرج كل من اللاقطين الشمسيين، النانوي والمائي ودرجة حرارة الوسط المحيط، وشدة الإشعاع الشمسي الساقط على اللاقط الشمسي، خلال ساعات النهار لهذا اليوم عند تدفق $[\frac{l}{s}]$ 0.012 وكانت نسبة المادة النانوية المضافة إلى الماء 0.2%.

يبين الجدول (5) نتائج قياس درجات الحرارة وشدة الاشعاع الشمسي لكلا اللاقطين في يوم 2 آب.

الجدول (5) درجات الحرارة وشدة الاشعاع الشمسي ليوم 2 آب 2023

النسبة المئوية للمادة النانوية	Q [l/s]	اليوم	t_a [°c]	t [h]	H_t $[\frac{W}{m^2}]$	t_{m_1}	t_{m_2}	η_{c_1}	η_{c_2}
0.2	0.012	2	25	10	756.8489	40.2	41.9	–	–
			25.4	11	779.7519	45.1	47.8	0.63	0.76
			25.3	12	774.859	50.1	53.8	0.65	0.78
			25.2	13	779.7519	49	51.9	–	–
			25	14	756.8489	47.8	50.7	–	–
			24.6	15	670.6994	46	49	–	–

يبين الشكل (8) تغير درجات الحرارة عند مخرج كلا اللاقطين.



الشكل (8) تغير درجات الحرارة عند مخرج كلا اللاقطين ليوم 2 آب 2023

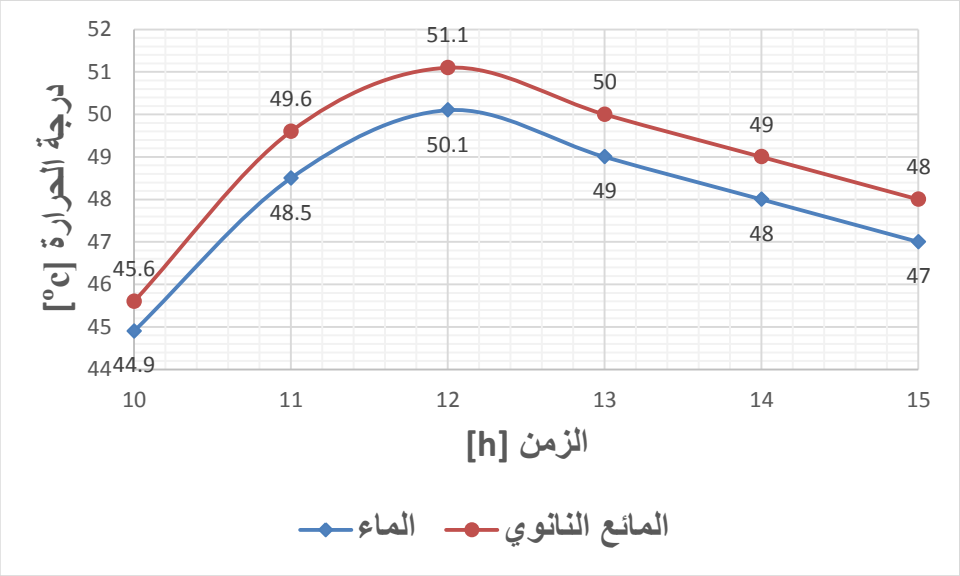
قمنا بإجراء الاختبارات في اليوم الثالث والعشرين من شهر آب حيث كان الطقس مشمس، وتم قياس درجات الحرارة عند مخرج كل من اللاقطين الشمسيين، النانوي والمائي ودرجة حرارة الوسط المحيط، وشدة الإشعاع الشمسي الساقط على اللاقط الشمسي، خلال ساعات النهار لهذا اليوم عند تدفق $0.015\ [\frac{l}{s}]$ وكانت نسبة المادة النانوية المضافة إلى الماء 0.2%.

يبين الجدول (6) نتائج قياس درجات الحرارة وشدة الاشعاع الشمسي لكلا اللاقطين في يوم 23 آب.

الجدول (6) درجات الحرارة وشدة الاشعاع الشمسي ليوم 23 آب 2023

النسبة المئوية للمادة النانوية	Q [l/s]	اليوم	$t_a\ [°c]$	t [h]	$H_t\ [\frac{W}{m^2}]$	t_{m_1}	t_{m_2}	η_{c_1}	η_{c_2}
0.2	0.015	23	25.8	10	769.5	44.9	45.6	–	–
			25.8	11	820.4	48.5	49.6	0.55	0.61
			25.7	12	831.1	50.1	51.1	0.24	0.38
			25.7	13	820.4	49	50	–	–
			26.1	14	769.5	48	49	–	–
			25.8	15	658.1	47	48	–	–

يبين الشكل (9) تغير درجات الحرارة عند مخرج كلا اللاقطين.



الشكل (9) تغير درجات الحرارة عند مخرج كلا اللاقطين ليوم 23 آب 2023

نتائج شهر أيلول:

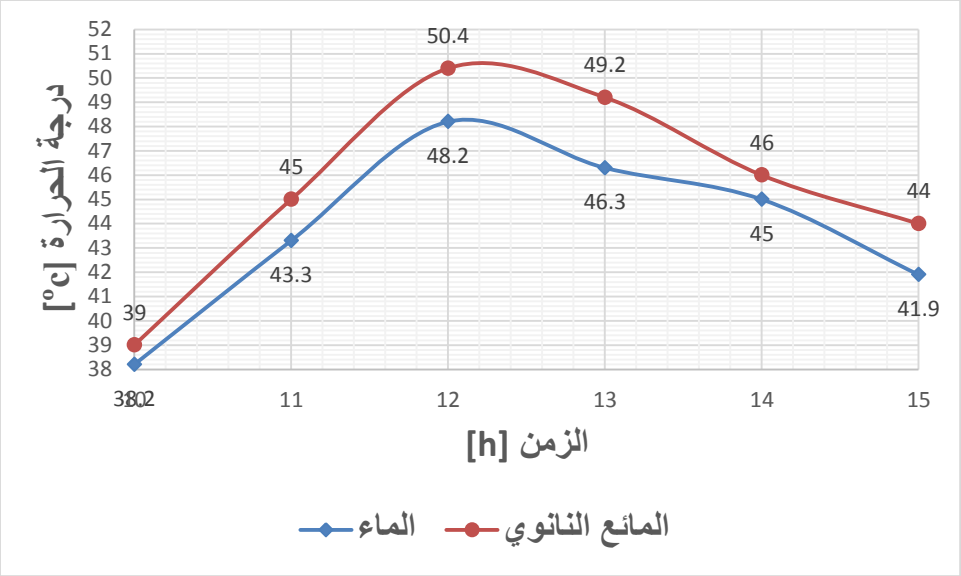
قمنا بإجراء الاختبارات في اليوم الأول من شهر أيلول حيث كان الطقس مشمس، وتم قياس درجات الحرارة عند مخرج كل من اللاقطين الشمسيين، النانوي والمائي ودرجة حرارة الوسط المحيط، وشدة الإشعاع الشمسي الساقط على اللاقط الشمسي، خلال ساعات النهار لهذا اليوم عند تدفق $[\frac{l}{s}]$ 0.01 وكانت نسبة المادة النانوية المضافة إلى الماء 0.3%.

يبين الجدول (7) نتائج قياس درجات الحرارة وشدة الاشعاع الشمسي لكلا اللاقطين في يوم 1 أيلول.

الجدول (7) درجات الحرارة وشدة الاشعاع الشمسي ليوم 1 أيلول 2023

النسبة المئوية للمادة النانوية	Q [l/s]	اليوم	t_a [°c]	t [h]	H_t $[\frac{W}{m^2}]$	t_{m_1}	t_{m_2}	η_{c_1}	η_{c_2}
0.3	0.01	1	23.5	10	796.9	38.2	39	–	–
			23.4	11	859.9	43.3	45	0.48	0.58
			23.8	12	876.35	48.2	50.4	0.47	0.51
			23.8	13	859.9	46.3	49.2	–	–
			24.4	14	796.9	45	46	–	–
			24	15	671.3	41.9	44	–	–

يبين الشكل (10) تغير درجات الحرارة عند مخرج كلا اللاقطين.



الشكل (10) تغير درجات الحرارة عند مخرج كلا اللاقطين ليوم 1 أيلول 2023

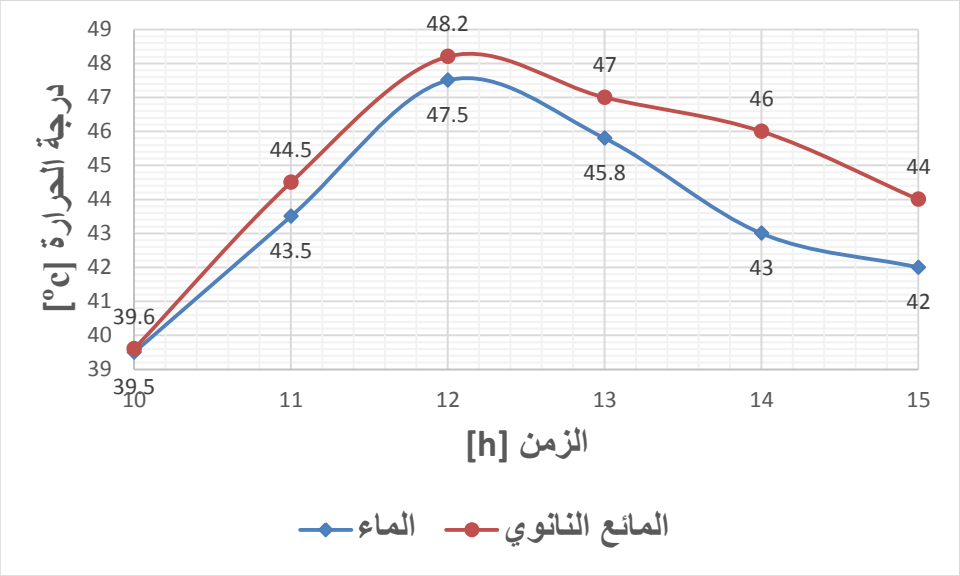
قمنا بإجراء الاختبارات في اليوم السادس عشر من شهر أيلول حيث كان الطقس مشمس، وتم قياس درجات الحرارة عند مخرج كل من اللاقطين الشمسيين، النانوي والمائي ودرجة حرارة الوسط المحيط، وشدة الإشعاع الشمسي الساقط على اللاقط الشمسي، خلال ساعات النهار لهذا اليوم عند تدفق $0.012\ [\frac{L}{s}]$ وكانت نسبة المادة النانوية المضافة إلى الماء 0.3%.

يبين الجدول (8) نتائج قياس درجات الحرارة وشدة الاشعاع الشمسي لكلا اللاقطين في يوم 16 أيلول.

الجدول (8) درجات الحرارة وشدة الاشعاع الشمسي ليوم 16 أيلول 2023

النسبة المئوية للمادة النانوية	Q [l/s]	اليوم	$t_a\ [°c]$	t [h]	$H_t\ [\frac{W}{m^2}]$	t_{m_1}	t_{m_2}	η_{c_1}	η_{c_2}
0.3	0.012	16	22.4	10	775.4	39.5	39.6	–	–
			22.8	11	853.4	43.5	44.5	0.47	0.58
			22.5	12	876.9	47.5	48.2	0.46	0.42
			23.2	13	853.4	45.8	47	–	–
			23.5	14	775.4	43	46	–	–
			23.5	15	633.5	42	44	–	–

يبين الشكل (11) تغير درجات الحرارة عند مخرج كلا اللاقطين.



الشكل (11) تغير درجات الحرارة عند مخرج كلا اللاقطين ليوم 16 أيلول 2023

نتائج شهر تشرين الاول:

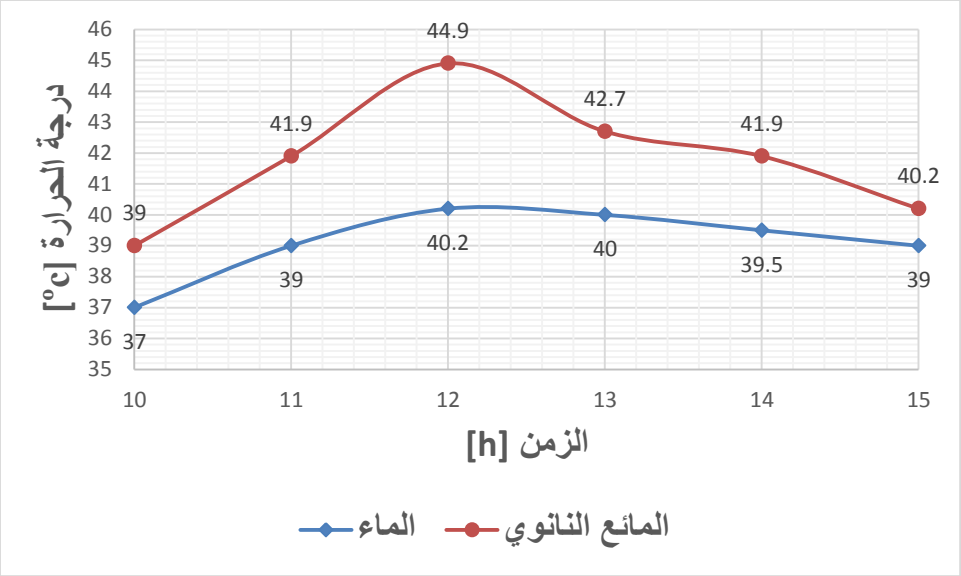
قمنا بإجراء الاختبارات في اليوم السادس عشر من شهر تشرين الأول حيث كان الطقس مشمس، وتم قياس درجات الحرارة عند مخرج كل من اللاقطين الشمسيين، النانوي والمائي ودرجة حرارة الوسط المحيط، وشدة الإشعاع الشمسي الساقط على اللاقط الشمسي، خلال ساعات النهار لهذا اليوم عند تدفق $[\frac{l}{s}]$ 0.015 وكانت نسبة المادة النانوية المضافة إلى الماء 0.3%.

يبين الجدول (9) نتائج قياس درجات الحرارة وشدة الاشعاع الشمسي لكلا اللاقطين في يوم 16 تشرين الأول.

الجدول (9) درجات الحرارة وشدة الاشعاع الشمسي ليوم 16 تشرين الأول 2023

النسبة المئوية للمادة النانوية	Q [l/s]	اليوم	t_a [°c]	t [h]	H_t $[\frac{W}{m^2}]$	t_{m_1}	t_{m_2}	η_{c_1}	η_{c_2}
0.3	0.015	16	19.6	10	694.3	37	39	–	–
			20.4	11	793.6	39	41.9	0.32	0.46
			20.4	12	825.8	40.2	44.9	0.18	0.46
			20.2	13	793.6	40	42.7	–	–
			19.5	14	694.3	39.5	41.9	–	–
			19.6	15	526.5	39	40.2	–	–

يبين الشكل (12) تغير درجات الحرارة عند مخرج كلا اللاقطين.



الشكل (12) تغير درجات الحرارة عند مخرج كلا اللاقطين ليوم 16 تشرين الأول 2023

نلاحظ من الجداول والمخططات السابقة لجميع الأشهر ازدياد درجة حرارة المائع الخارج من اللاقط الشمسي النانوي وهي أعلى من درجة حرارة الماء الخارج من اللاقط الشمسي المائي التقليدي وكانت أكبر قيمة للفرق [°C] 4.7 وذلك في يوم 16 تشرين الأول عند الساعة 12 ظهراً، كما كان مردود اللاقط الشمسي المزود بالمائع النانوي أعلى من مردود اللاقط الشمسي المزود بالماء، وبلغت أعلى نسبة زيادة في المردود 13% عند شدة الاشعاع الشمسي $[\frac{W}{m^2}]$ 774.859 مربع وعند التدفق $[\frac{l}{s}]$ 0.12 وعند إضافة المادة النانوية بنسبة مئوية 0.2% وذلك في يوم 2 آب عند الساعة 12 ظهراً.

الاستنتاجات والتوصيات:

يمكن الخلوص إلى النتائج الآتية من خلال الدراسة التجريبية لإضافة مواد نانوية لمائع اللاقط الشمسي المسطح:

1. إن إضافة نسبة 0.2% من أوكسيد النحاس النانوي إلى الماء حقق أعلى تحسن للمردود الحراري للاقط الشمسي بنسبة تصل الى 13% وأي زيادة تؤدي إلى حدوث تكتلات وتخفيض التجانس وبالتالي انخفاض بقيم معامل التوصيل الحراري.
2. تقليل التدفق يؤدي إلى زيادة المردود ولكن عند حد معين يؤدي إلى حدوث ضياعات وأيضاً زيادة التدفق تؤدي إلى زيادة عدد رينولد ولكن الزيادة الكبيرة تؤدي أيضاً إلى حدوث ضياعات والتدفق المثالي هو $[\frac{l}{s}]$ 0.012.
3. إن درجة حرارة الماء الخارج من اللاقط الشمسي النانوي كانت أعلى من درجة حرارة الماء الخارج من اللاقط الشمسي المائي التقليدي بفارق لا يتجاوز درجات مئوية.
4. يُوصى بإجراء دراسات مستقبلية لاستكشاف أنواع أخرى من الموائع النانوية لتحسين الأداء الحراري وزيادة الكفاءة.

References:

1. Miloştean D, Flori M. An overview on the flat-plate solar collectors and their thermal efficiency. Annals of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering. 2017;123-8.
2. Vidya C, Krishnaiah PG. Application of nanofluids to improve performance of a flat plate solar collector: A review. International Research Journal of Engineering and Technology. 2018;5:1290-5.
3. Sainz-Mañas M, Bataille F, Caliot C, Vossier A, Flamant G. Direct absorption nanofluid-based solar collectors for low and medium temperatures: A review. HAL Open Science. 2022.
4. Manimaran R, Palaniradja K, Alagumurthi N, Sendhilnathan S, Hussain J. Preparation and characterization of copper oxide nanofluid for heat transfer applications. Springer. 2013;4:163-7.
5. Zhu D, Wang L, Yu W, Xie H. Intriguingly high thermal conductivity increment for CuO nanowires contained nanofluids with low viscosity. Scientific Reports. 2018;8.
6. More NG, Manwatkar DT. A review on performance improvement in solar flat plate collector. International Journal of Modern Trends in Engineering and Research. 2016;3:44-51.
7. Sathish T, Kathirvel S, Dwivedi YD, Stalin N, Giri J, Saravanan R, et al. Performance enhancement by tungsten trioxide and silicon dioxide mixed nanofluids in solar collector of evacuated tube type. Case Studies in Thermal Engineering. 2024;55.
8. Ajeena AM, Farkas I, Víg P. Energy and exergy assessment of a flat plate solar thermal collector by examining silicon carbide nanofluid: An experimental study for sustainable energy. Applied Thermal Engineering. 2024;236.
9. Alklaibi AM, Chandra Mouli KV, Syam Sundar L. Experimental and support vector machine predictions of entropy generations and exergy efficiency of Fe3O4–SiO2/water hybrid nanofluid in a plate heat exchanger. Heliyon. 2023;9.
10. Alfellag MA, Alawi OA. Optimizing mixing ratio of multi-walled carbon nanotubes and titanium dioxide: A green approach to high-performance hybrid nanofluids for heat transfer. Powder Technology. 2024;436.
11. George RI. Renewable Energies and Plants. Tishreen University, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering. 2016.