

تقييم أداء نظام مجمع شمسي مدمج باستخدام مواد عازلة حرارياً منتجة من إعادة تدوير الإطارات

أ.د.م. عدنان عمران *

د.م. فادي علي **

م. علا عدنان محمود ***

(تاريخ الإيداع 2021/ 9/ 19 . قُبل للنشر في 2022/ 2/ 3)

□ ملخص □

يتم إنتاج ملايين الإطارات سنوياً في جميع أنحاء العالم، وتعد الإطارات التالفة واحدة من أهم التحديات البيئية التي تواجه جميع البلدان، يعود ذلك لصعوبة التخلص منها، فإن تراكمها يخلق مشاكل بيئية وصحية، كما إنها من أكثر المواد مقاومة للعوامل الطبيعية إذ يحتاج تحلل الإطار في الظروف العادية وبمعزل عن أي مؤثرات خارجية أو كيميائية إلى مئات السنين، كما يؤدي حرقها إلى انبعاث كميات هائلة من ثاني أكسيد الكربون مما يؤثر سلباً على طبقة الأوزون لذلك يجب العمل على معالجتها بأفضل الطرق الممكنة.

ومن ناحية أخرى إن أبرز عيوب أنظمة المجمعات الشمسية وبالأخص المدمجة هو فقدان الحرارة الكبير منها في فترات الليل أو في الظروف المناخية الباردة.

يتناول هذا البحث حلاً جزئياً للمشكلتين السابقتين حيث تم تصنيع ألواح عازلة حرارياً باستخدام مواد منتجة من إعادة تدوير الإطارات التالفة التي تتمتع بموصلية حرارية منخفضة، وذلك عن طريق تقطيع نفايات الإطارات بالطرق الميكانيكية للحصول على بودرة المطاط ثم إضافة مادة لاصقة لها بنسب مناسبة وتطبيق ضغط ميكانيكي عليها، وتم استخدام هذه الألواح في عزل مجمع شمسي مدمج تم تنفيذه تجريبياً بأبعاد (50*40*40 cm).

أظهرت النتائج فعالية هذا المجمع الشمسي المدمج بتأمين المياه الساخنة، كما أن وجود العازل بسماكة 2 cm يساعد كثيراً في الحد من الضياعات الحرارية للمجمع وحفظ الحرارة ومنع تسربها منه.

الكلمات المفتاحية: مجمع شمسي مدمج، عزل حراري، إعادة تدوير الإطارات.

* أستاذ دكتور في كلية الهندسة التقنية، قسم تقانة الطاقات المتجددة، جامعة طرطوس، طرطوس-سوريا.

** مدرس في كلية الهندسة التقنية، قسم تقانة الطاقات المتجددة، جامعة طرطوس، طرطوس-سوريا.

*** طالبة ماجستير في كلية الهندسة التقنية، قسم تقانة الطاقات المتجددة، جامعة طرطوس، طرطوس-سوريا.

Performance evaluation of an integrated solar collector system using thermal insulating materials produced from tire recycling

Pro.Dr.Eng. Adnan Imran*

Dr.Eng. Fadi Ali**

Eng. Ola Mahmoud***

(Received 19 / 9/ 2021 . Accepted 3 /2 / 2022)

□ ABSTRACT □

Millions of tires are produced annually all over the world and damaged tires are one of the most important environmental challenges facing all countries, due to the difficulty of getting rid of them, their accumulation creates environmental and health problems, as well as it is one of the most The materials are resistant to natural factors, as the decomposition of the tire needs hundreds of years in normal conditions and in isolation from any external or chemical influences, and its burning leads to the emission of huge quantities of carbon dioxide, which negatively affects the ozone layer, so we must work to treat it in the best possible way. On the other hand, the most prominent disadvantage of solar collector systems, especially integrated ones, is the great loss of heat at night or in cold weather conditions. This research deals with a partial solution to the two previous problems, where thermal insulation panels were manufactured using materials produced from recycling damaged tires that have a low thermal conductivity by cutting the waste tires by mechanical methods to obtain rubber powder, then adding Adhesive material with suitable proportions and applying mechanical pressure on it, and These panels were used to insulate experimentally an implemented integrated solar collector with dimensions (50 * 40 * 40 cm). The results showed the effectiveness of this integrated solar collector in providing hot water, and the presence of insulation with a thickness of 2 cm greatly helps in reducing the heat losses of the built-in collector, preserving heat and preventing its leakage.

Keywords: Integrated solar collector, thermal insulation, tier recycling,

* Professor, Faculty of Technical Engineering, Department of Renewable Energy Technology, Tartous University, Syria.

**Lecturer, Faculty of Technical Engineering, Department of Renewable Energy Technology, Tartous University, Syria.

***Postgraduate Student, Faculty of Technical Engineering, Department of Renewable Energy Technology Tartous University, Syria.

1- مقدمة:

إعادة تدوير الإطارات المستعملة، هي عملية إعادة تدوير نفايات الإطارات التي لم تعد مناسبة للاستخدام بسبب التآكل أو التلف الذي لا يمكن إصلاحه. إذ تمثل هذه الإطارات مصدراً إشكالياً للنفايات، نظراً لكم الهائل المتراكم منها، وصعوبة تحللها مما ينعكس على البيئة بشكل سلبي.

إن الجهود مازال مستمرة لإيجاد الفوائد من إعادة تدوير الإطارات إلى أشياء أخرى، كأن يتم طحن الإطارات المستعملة لإنتاج مساحيق يمكن استخدامها بشكل مناسب في مجال مواد أرصفة الشوارع أو مواد البناء التي تحتوي على المطاط أو كمواد عازلة رخيصة الثمن [1].

حيث تشير الإحصائيات بأن عدد الإطارات المستهلكة في العالم العربي تقدر بنحو 170 مليون إطار سنوياً، تأتي على رأس المستهلك المملكة العربية السعودية بمعدل 23 مليون إطار وهذا يشكل تهديداً كبيراً على الإنسان والبيئة، لذلك فإن التخلص منها يعد مشكلة حقيقية تحتاج إلى حلول جذرية خاصة مع تزايد عدد الإطارات المستهلكة يوم بعد يوم.

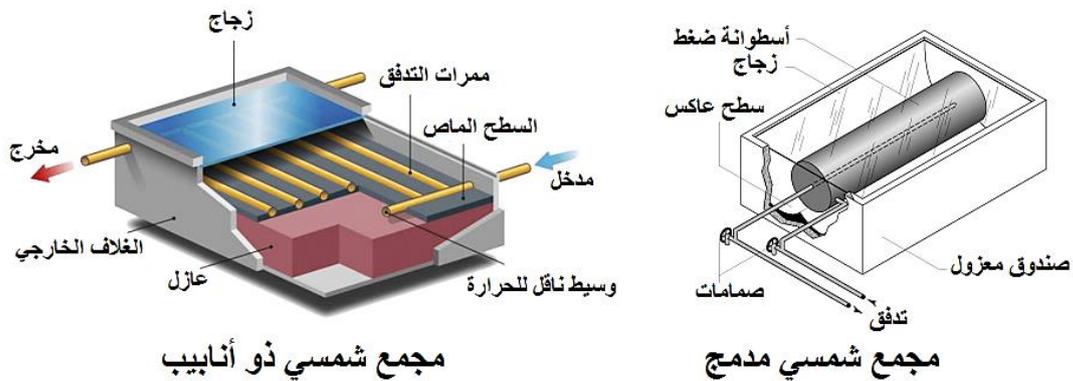
يوم:

المجمعات الشمسية وعازليتها الحرارية:

تعتبر المجمعات الشمسية من التجهيزات الصديقة للبيئة ولكنها بحاجة لتكوين مواد عازلة مناسبة حرارياً لضمان الأداء الجيد لها. وتعد تطبيقات السخانات الشمسية الأكثر انتشاراً في مجال التحويل الحراري للطاقة الشمسية إلى طاقة مفيدة [2].

يعد نظام التسخين الشمسي المدمج نظام بسيط وفعال، ويتألف من خزان معدني مطلي باللون الأسود أو مع طلاء انتقائي لنقل الحرارة، معزول بشكل جيد من خمس جهات بينما الوجه الأخير يكون مغطى بالزجاج و مواجه للشمس. ويعتبر العزل الحراري هو أحد العوامل الأساسية التي يعتمد عليها مردود النظام [3]، إذ من الممكن أن يصل فقدان الطاقة الحرارية في النظام إلى 24 % في حالة العزل الغير جيد [4]، هذا يؤكد الحاجة لإيجاد مادة عازلة تمتلك مواصفات جيدة للعزل في هذه الأنظمة.

تشكل التكلفة الاقتصادية أحد العوامل الأساسية أمام الانتشار الواسع للسخانات الشمسية، من هنا كان جديراً بالاهتمام إدراج التحسين الدقيق للعزل الحراري عند إجراء التصميم لأنظمة التسخين الشمسي، كي تحقق أفضل مردود ممكن. الشكل (1) يبين توضع المادة العازلة في كل من المجمعات الشمسية ذات الأنابيب، والمجمعات المدمجة حيث يعتبر العازل مكون أساسي في المجمعات الحرارية الشمسية بكافة أنواعها.



مجمع شمسي ذو أنابيب

مجمع شمسي مدمج

الشكل (1) : توضع المادة العازلة في المجمعات الشمسية ذات الأنابيب والمجمعات المدمجة.

قام الباحث (Fanney , 1987) وآخرون بدراسة الأهمية الاقتصادية لعزل مكونات نظام التسخين الشمسي لاسيما الخزانات والأنابيب وبيّنت النتائج إن تكلفة العزل في النظم الشمسية قد تصل إلى 15 % من التكلفة الكلية للنظام، إن فقدان الطاقة الحرارية في حال العزل الغير جيد يمكن أن يصل إلى 24 %، كما يلعب كل من قطر الأنبوب و قطر الخزان، والتوصيل الحراري للعزل وسماكته دور بالتأثير على معامل نقل الحرارة، مما يؤكد الحاجة إلى تصميم دقيق للعزل في الأنظمة الشمسية[4].

قام (SMYTH , 1999) وآخرون بتطوير تصميم جديد لوعاء المجمع الشمسي المدمج (ICS) VESSEL عن طريق وضع غلاف داخلي للتقليل من فقد الحرارة ويدرس أربع تكوينات لتصميم الغلاف الداخلي، بيّنت النتائج الوفر في فقد الحرارة بنسبة 20 % وإمكانية الاحتفاظ بالطاقة الحرارية بنسبة 30 % مقارنة بالأنظمة ذات الوعاء غير المعزول[5].

قام (Monia Chaabane , 2014) وآخرون بإجراء محاكاة عددية CFD لتحسين الأداء الحراري للمجمع الشمسي المدمج عن طريق العزل الحراري الجزئي لخزان التخزين، بيّنت النتائج إن العزل الحراري الجزئي لخزان التخزين هو حل فعال للحفاظ على الحرارة خلال الليل، حيث تم تقليل معامل الفقد الحراري من 14.6 w/k إلى 11.6 عند عزل ربع الخزان[6].

قام (Ruth , 2018) وآخرون بدراسة شاملة لأنظمة المجمعات الشمسية المدمجة لتسخين المياه بالطاقة الشمسية (ICSSWH)، ركزت هذه الدراسة على الاستفادة المثلى من الأداء الحراري، وأجمعت النتائج إن العزل الحراري يقلل من فقدان الحرارة بالحمل، والتوصيل، والإشعاع، والقمصان العازلة الداخلية تقلل من فقدان الحرارة، وتعزز الطبقات الحرارية، والزعانف تعزز نقل الحرارة إلى الماء من خلال التوصيل، والمواد متغيرة الطور تؤثر على فقدان الحرارة بالحمل والتوصيل والإشعاع، وتوفر الحرارة المخزنة في فترات عدم التجميع[7].

قام (Abdel Kader , 2012) وآخرون بدراسة الخصائص الحرارية لمخلفات الإطارات المعاد تدويرها بحسب تركيز المخلفات كمادة مضافة لمواد البناء. بيّنت النتائج بأن النفايات المطاطية المضافة توفر عزل حراري جيد وخصائص ميكانيكية مقبولة وتقلل من تكلفة مواد البناء[8].

قام (Bulei , 2018) وآخرون بدراسة أهمية وفعالية استخدام الطرق الميكانيكية لإعادة تدوير مخلفات الإطارات، وبيّنت النتائج، بأنه وبعد عملية الطحن والغرلة للإطارات، يمكن استخدام حبيبات المطاط والبودرة في صنع منتجات جديدة. تعتبر عملية الطحن الدقيق حلاً اقتصادياً ومنظوراً من أجل إعادة تدوير الإطارات المستعملة. وبالتالي، فإن مسحوق المطاط (حبيبات ملليمتر) الناتج عن إعادة التدوير للإطارات تستخدم لإنتاج مواد تدخل في مجالات الهندسة المدنية وصناعة الأرصفة (العزل الحراري الصوتي للمباني، أرضيات الملاعب الرياضية ، وما إلى ذلك)، كما يتم استخدام جزء آخر من مسحوق المطاط الناتج لإنتاج المواد الفنية المصنوعة من المطاط المعاد تدويره [9].

2- أهمية البحث وأهدافه :

تمتاز المجمعات الشمسية المدمجة بسهولة التصميم وبساطة التركيب والتصنيع ويمكن تطبيقها للاستخدامات المنزلية بسهولة ولكن من أبرز المشكلات التي تواجه هذه المجمعات فقدان الحرارة إلى الوسط الخارجي لذلك من الضروري تطبيق العزل الجيد لمكوناتها كي تحقق مردود أفضل.

تكمّن أهمية هذا البحث بإمكانية إنتاج مواد عازلة حرارية من إعادة تدوير الإطارات بالطرق الميكانيكية حيث تحقق المواد المعاد تدويرها من نفايات المطاط عازلية جيدة مقارنة مع باقي مواد العزل، إذ تمتاز بالتكلفة

الرخيصة وبالتالي إمكانية استخدام سماكات كبيرة من العزل الحراري بتكلفة منخفضة، ومن ناحية أخرى تساهم في التخفيف من الأضرار التراكمية للإطارات التي ينتج عن حرقها كميات كبيرة من الغازات الكيميائية التي تضر بصحة الإنسان والبيئة المحيطة.

تم بحثنا هذا بتنفيذ تجريبي لمجمع شمسي مدمج، وعزله حرارياً بواسطة ألواح عازلة منتجة من إعادة تدوير الإطارات التالفة، مع دراسة وتقييم العزل الحراري للنموذج المعتمد.

3- طرائق البحث ومواده:

نفذت التجارب في مبنى سكني ريفي في مدينة طرطوس خلال عام 2021 في كل من أشهر (كانون الثاني، نيسان، أيار، حزيران، تموز).

تم في هذا البحث استخدام المواد والأجهزة التالية:

1. المجمع الشمسي المدمج الذي تم تصميمه وتصنيعه بأبعاد (50*40*40 cm) يبين الشكل 2 مكوناته: خزان تخزين معدني مطلي باللون الأسود بسماكة 2 mm، لوح زجاجي، أنبوبي خروج ودخول الماء بقطر 0.5 إنش، ثقب لتوضع الحساس حراري.



الشكل (2) المجمع الشمسي المدمج.

2. مجموعة من الإطارات التالفة التي تم تحويلها لبودرة المطاط بالطرق الميكانيكية.

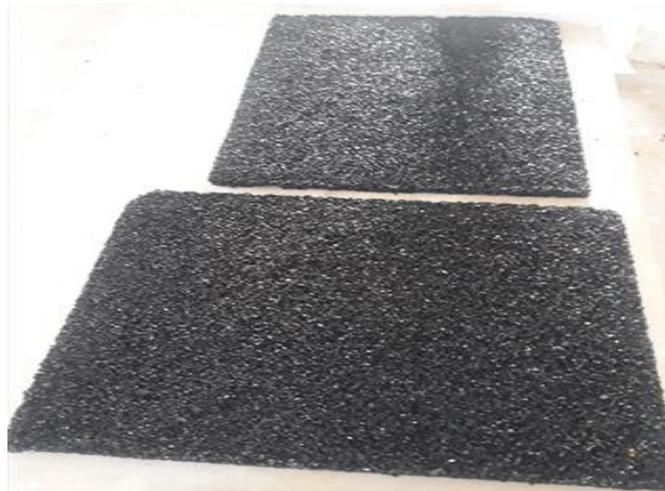


الشكل (3) بودرة المطاط المستخدمة.

3. قوالب خشبية بأبعاد (50*40*2 cm) و (40*40*2 cm) ومواد لاصقة لتشكيل الألواح العازلة حيث تم مزج بودرة المطاط مع مواد لاصقة بنسب مناسبة وبالضغط الميكانيكي حصلنا على لوحين بأبعاد (40*40 cm) وثلاثة ألواح بأبعاد (50*40 cm) وبسماكة 2 cm.



الشكل (4) القوالب الخشبية المستخدمة لتشكيل الألواح.



الشكل (5) ألواح عازلة حرارياً من نفايات المطاط.

4. حساس لقياس درجة حرارة الماء داخل المجمع ومقياس حرارة لقياس درجة حرارة الوسط المحيط



الشكل (6) حساس حراري. الشكل (7) مقياس درجة الحرارة.

5. برنامج Excel لإظهار نتائج التجارب على شكل مخططات بيانية.

الشكل النهائي للمجمع الشمسي المدمج بعد التوصيل مع عزل وبدون عزل.



الشكل (8) المجمع الشمسي المدمج المستخدم مع عزل الشكل (9) المجمع الشمسي المدمج المستخدم بدون عزل

بعد الانتهاء من تصنيع النموذج بدأنا بإجراء التجارب عليه، حيث قمنا بإجراء ثلاث أنواع من التجارب العملية:

- التجربة الأولى: الهدف منها هو اختبار أداء العازل الحراري.
- التجربة الثانية: الهدف منها هو اختبار أداء المجمع الشمسي المدمج في حالة الجريان الحر.
- التجربة الثالثة: الهدف منها هو اختبار أداء المجمع الشمسي المدمج في حالة الجريان القسري.

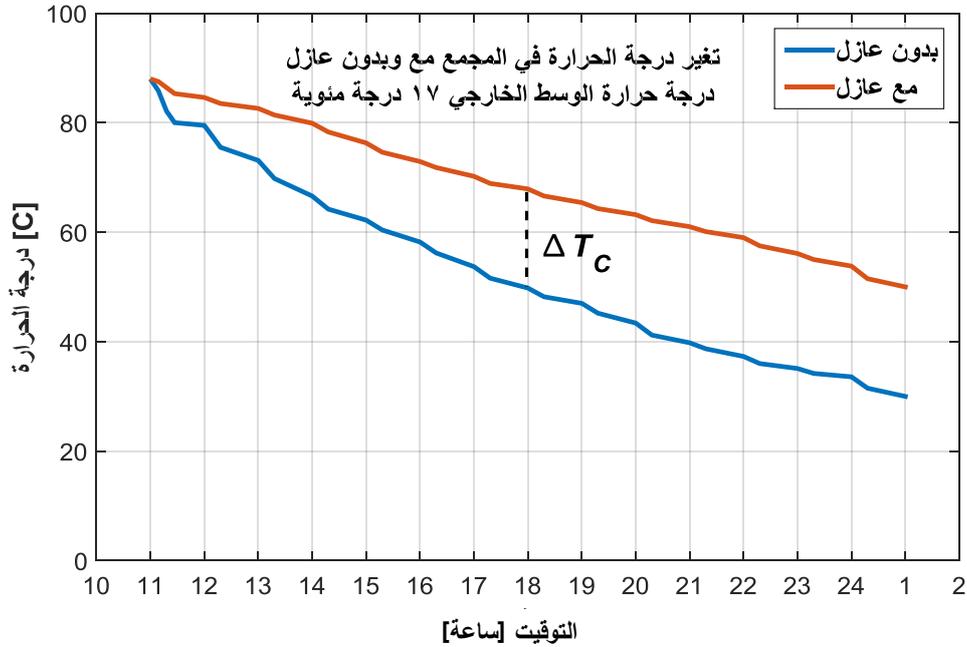
4- النتائج والمناقشة:

4-1 اختبار أداء العازل الحراري:

تم إجراء تجربتين في كل من 12 و 13 كانون الثاني بهدف دراسة فعالية العازل الحراري. أجريت التجارب في نفس الظروف المناخية بدرجة حرارة 17 C° وبجو مغلق بمعزل عن العوامل الجوية الخارجية في إحدى غرف المبنى وذلك بتعبئة المجمع الشمسي بمياه ساخنة بدرجة حرارة 88 C° ثم قياس تغير درجة حرارة الماء داخل المجمع الشمسي بواسطة حساس حراري من الساعة الحادية عشر صباحاً حتى الساعة الواحدة ليلاً في حالتين:

- 1- في حال عدم وجود عازل بالمجمع الشمسي.
- 2- في حال عزل المجمع الشمسي من خمس جهات بسماكة 2 cm.

ساعدت هذه التجربة في مقارنة الهبوط في درجة حرارة المياه داخل الخزان مع الزمن عند وجود عازل وبدون عازل عند نفس الشروط. الشكل (10) يبين مقارنة لتغير درجة الحرارة الماء في المجمع المدمج ودور العازل في الحفاظ على حرارة الماء وبالتالي إمكانية حساب معامل انتقال الحرارة الكلي عند استخدام العازل.

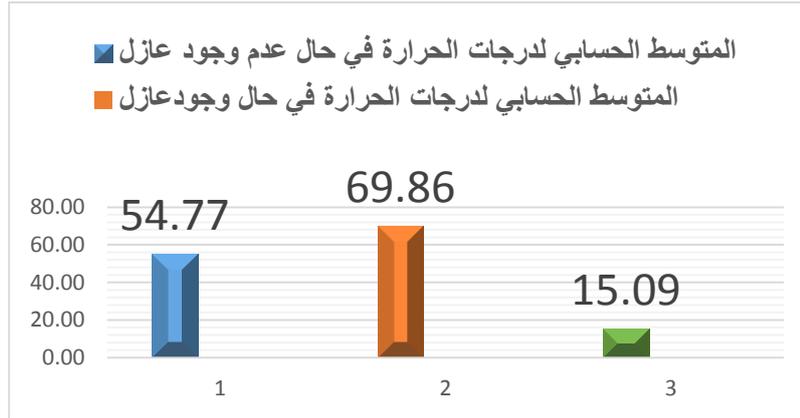


الشكل (10) مخطط بياني يوضح نقصان درجة حرارة الماء داخل المجمع مع الزمن.

بنتيجة التجربة لاحظنا:

- في حال عدم وجود عازل تتناقص درجة حرارة الماء داخل المجمع الشمسي بسرعة كبيرة من 88 C° إلى 30 C° بينما في حال وجود عازل تتناقص درجة الحرارة تدريجياً ويبطئ من 88 C° إلى 50 C°
- وجود العازل يساهم بشكل كبير في الحد من الضياعات الحرارية داخل المجمع الشمسي وحفظ الحرارة ومنع تسربها لوقت أطول.

تم حساب المتوسط الحسابي لدرجات حرارة الماء داخل المجمع الشمسي المدمج مع وبدون عزل لمعرفة الفائدة من العزل كما هو مبين بالشكل (11).



الشكل (11) المتوسط الحسابي لدرجة حرارة الماء داخل المجمع.

حساب معامل النقل الحراري للعازل:

القيمة ΔT_C في الشكل (10) تعبر عن فرق درجات الحرارة للماء في المجمع مع وبدون عازل من أجل نفس الفترة الزمنية. عند هذه النقطة يكون الفرق في كمية الحرارة للماء في المجمع مع وبدون عزل على الشكل التالي:

$$Q_d = m \cdot C_p \cdot \Delta T_C$$

$$Q_d = \rho \cdot V \cdot C_p \cdot \Delta T_C$$

Q_d : كمية الحرارة [kJ]، m : كتلة الماء في الجمع [kg].

ρ : كثافة الماء $[kg/m^3]$.

V : حجم المجمع الشمسي المدمج $[m^3]$.

C_p : السعة الحرارية للماء $[kJ/kg.k]$.

ΔT_C : عن فرق درجات الحرارة للماء في المجمع مع و بدون عازل.

كمية الحرارة Q_d في المعادلة السابقة تم توفيرها للماء بفضل العازل الذي منع تسرب هذه الكمية من الحرارة عبر الجدران. أما كمية الحرارة المتسربة عبر الجدران يمكن كتابتها على الشكل التالي:

$$Q_{loss} = K \cdot A \cdot \Delta T_i$$

حيث: K معامل النقل الحراري الكلي $[W/m^2.k]$ ، A مساحة سطح المجمع $[m^2]$ ، ΔT_i فرق درجة الحرارة

بين الماء داخل المجمع ودرجة حرارة الوسط الخارجي.

بالتالي، يمكن حساب معامل النقل الحراري تجريبيًا بالاعتماد على المخطط المبين بالشكل (10) حيث اعتبرنا

أن الفرق في كمية الحرارة للماء في المجمع مع وبدون عزل تساوي كمية الحرارة التي يمنع العازل تسربها عبر جدران المجمع عند نفس النقطة المدروسة.

فرق كمية الحرارة للماء (مع وبدون عزل) = كمية الحرارة المتسربة عبر جدران المجمع

$$m \cdot c_p \cdot \Delta T_C = K \cdot A \cdot \Delta T_i$$

حساب معامل النقل الحراري الكلي:

معامل النقل الحراري بدون عزل:

كمية الحرارة التي يفقدها الماء Q_{H2O} = كمية الحرارة الضائعة عبر جدران المجمع Q_{LOSS}

$$m \cdot c_p \cdot \Delta T = K \cdot A \cdot \Delta T$$

معامل النقل الحراري K_1 من الساعة 11 AM-2 PM:

$$Q_{H2O} = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

$$= \rho \cdot v \cdot c_p \cdot \Delta T$$

$$\begin{aligned}
&= 1000 \times (0.4 \times 0.5 \times 0.4) \times 4.186 \times (88 - 66.6) \\
&= 7166.432 \text{ [KJ]} \\
Q_{H2O} &= K. A. \Delta T \\
\rightarrow K_1 &= \frac{Q_{H2O}}{A. \Delta T} = \frac{7166.432}{[4 \times (0.4 \times 0.5) + 2(0.4 \times 0.4)] \times (77.82 - 17)} \\
K_1 &= 105.2 \text{ [KJ/m}^2 \cdot \text{k]} \\
K_1 &= \frac{105.2 \times 10^3}{3 \times 3600} = 9.74 \text{ [w/m}^2 \cdot \text{k]}
\end{aligned}$$

معامل النقل الحراري K_2 من الساعة (2-5)PM:

$$\begin{aligned}
Q_{H2O} &= m. cp. \Delta T \\
&= \rho. v. cp. \Delta T \\
&= 1000 \times (0.4 \times 0.5 \times 0.4) \times 4.186 \times (66.6 - 53.7) \\
&= 4319.9 \text{ KJ} \\
Q_{H2O} &= K. A. \Delta T \\
\rightarrow K_2 &= \frac{Q_{H2O}}{A. \Delta T} = \frac{4319.9}{[4 \times (0.4 \times 0.5) + 2(0.4 \times 0.4)] \times (60.21 - 16.42)} \\
K_2 &= 88.08 \text{ [KJ/m}^2 \cdot \text{k]} \\
K_2 &= \frac{88.08 \times 10^3}{3 \times 3600} = 8.15 \text{ [w/m}^2 \cdot \text{k]}
\end{aligned}$$

معامل النقل الحراري K_3 من الساعة (5-8)PM:

$$\begin{aligned}
Q_{H2O} &= m. cp. \Delta T \\
&= \rho. v. cp. \Delta T \\
&= 1000 \times (0.4 \times 0.5 \times 0.4) \times 4.186 \times (53.7 - 43.4) \\
&= 3449.26 \text{ KJ} \\
Q_{H2O} &= K. A. \Delta T \\
\rightarrow K_3 &= \frac{Q_{H2O}}{A. \Delta T} = \frac{3449.26}{[4 \times (0.4 \times 0.5) + 2(0.4 \times 0.4)] \times (48.41 - 15.71)} \\
K_3 &= 94.18 \text{ [KJ/m}^2 \cdot \text{k]} \\
K_3 &= \frac{94.18 \times 10^3}{3 \times 3600} = 8.72 \text{ [w/m}^2 \cdot \text{k]}
\end{aligned}$$

معامل النقل الحراري K_4 من الساعة (8-11)PM:

$$\begin{aligned}
Q_{H2O} &= m. cp. \Delta T \\
&= \rho. v. cp. \Delta T \\
&= 1000 \times (0.4 \times 0.5 \times 0.4) \times 4.186 \times (43.4 - 35.1) \\
&= 2779.50 \text{ KJ} \\
Q_{H2O} &= K. A. \Delta T \\
\rightarrow K_4 &= \frac{Q_{H2O}}{A. \Delta T} = \frac{2779.50}{[4 \times (0.4 \times 0.5) + 2(0.4 \times 0.4)] \times (38.78 - 14.28)} \\
K_4 &= 101.29 \text{ [KJ/m}^2 \cdot \text{k]} \\
K_4 &= \frac{101.29 \times 10^3}{3 \times 3600} = 9.37 \text{ [w/m}^2 \cdot \text{k]}
\end{aligned}$$

$$K = \frac{K_1 + K_2 + K_3 + K_4}{4} = \frac{9.74 + 8.15 + 8.72 + 9.37}{4} = 8.9 \text{ [w/m}^2 \cdot \text{k]}$$

معامل النقل الحراري مع عزل:

$$Q_{LOSS} = \text{كمية الحرارة التي يفقدها الماء } Q_{H2O} = \text{كمية الحرارة الضائعة عبر جدران المجمع}$$

$$m. cp. \Delta T = K. A. \Delta T$$

معامل النقل الحراري K_1 من الساعة 11 AM-2 PM :

$$Q_{H2O} = m. cp. \Delta T$$

$$= \rho. v. cp. \Delta T$$

$$= 1000 \times (0.4 \times 0.5 \times 0.4) \times 4.186 \times (88 - 79.9)$$

$$= 2712.52 \text{ KJ}$$

$$Q_{H2O} = K. A. \Delta T$$

$$\rightarrow K_1 = \frac{Q_{H2O}}{A. \Delta T} = \frac{2712.52}{[4 \times (0.4 \times 0.5) + 2(0.4 \times 0.4)] \times (84.35 - 17)}$$

$$K_1 = 35.95 \text{ [KJ/m}^2. \text{k]}$$

$$K_1 = \frac{95 \times 10^3}{3 \times 3600} = 3.3 \text{ [w/m}^2. \text{k]}$$

معامل النقل الحراري K_2 من الساعة (2-5)PM :

$$Q_{H2O} = m. cp. \Delta T$$

$$= \rho. v. cp. \Delta T$$

$$= 1000 \times (0.4 \times 0.5 \times 0.4) \times 4.186 \times (79.9 - 70.2)$$

$$= 3248.33 \text{ KJ}$$

$$Q_{H2O} = K. A. \Delta T$$

$$\rightarrow K_2 = \frac{Q_{H2O}}{A. \Delta T} = \frac{3248.33}{[4 \times (0.4 \times 0.5) + 2(0.4 \times 0.4)] \times (74.85 - 16.42)}$$

$$K_2 = 49.63 \text{ [KJ/m}^2. \text{k]}$$

$$K_2 = \frac{88.08 \times 10^3}{3 \times 3600} = 4.5 \text{ [w/m}^2. \text{k]}$$

معامل النقل الحراري K_3 من الساعة (5-8)PM :

$$Q_{H2O} = m. cp. \Delta T$$

$$= \rho. v. cp. \Delta T$$

$$= 1000 \times (0.4 \times 0.5 \times 0.4) \times 4.186 \times (70.2 - 63.2)$$

$$= 2344 \text{ KJ}$$

$$Q_{H2O} = K. A. \Delta T$$

$$\rightarrow K_3 = \frac{Q_{H2O}}{A. \Delta T} = \frac{2344}{[4 \times (0.4 \times 0.5) + 2(0.4 \times 0.4)] \times (66.64 - 15.71)}$$

$$K_3 = 41.09 \text{ [KJ/m}^2. \text{k]}$$

$$K_3 = \frac{41.09 \times 10^3}{3 \times 3600} = 3.8 \text{ [w/m}^2. \text{k]}$$

معامل النقل الحراري K_4 من الساعة (8-11)PM :

$$Q_{H2O} = m. cp. \Delta T$$

$$= \rho. v. cp. \Delta T$$

$$= 1000 \times (0.4 \times 0.5 \times 0.4) \times 4.186 \times (63.2 - 56.1)$$

$$= 2377.64 \text{ KJ}$$

$$Q_{H2O} = K. A. \Delta T$$

$$\rightarrow K_4 = \frac{Q_{H2O}}{A. \Delta T} = \frac{2377.64}{[4 \times (0.4 \times 0.5) + 2(0.4 \times 0.4)] \times (59.85 - 14.28)}$$

$$K_4 = 46.58 \text{ [KJ/m}^2. \text{k]}$$

$$K_4 = \frac{46.58 \times 10^3}{3 \times 3600} = 4.3 [w/m^2.k]$$

بالحساب من أجل ثلاث أوقات مختلفة من الشكل (10) نجد أن القيمة الوسطية لمعامل انتقال الحرارة الكلي للعازل الذي سماكته 2cm كالتالي:

$$K = \frac{K_1 + K_2 + K_3 + K_4}{4}$$

$$K = \frac{3.3 + 4.5 + 3.8 + 4.3}{4} = 3.9 [w/m^2.k]$$

$$K = 3.9 [w/m^2.k]$$

الجدول التالي يبين قيمة معامل النقل الحراري للعازل المصمم بالمقارنة مع بقية مواد العزل:

قيم معامل النقل الحراري من أجل سماكة عازل 2cm	
K [w/m ² .k]	
3.9	العازل الذي تم تصنيعه من مطاط الإطارات
1.5	الصوف الصخري (Rock wool)
1.4	الصوف الزجاجي (Glass mineral wood)
1.7	الزجاج الرغوي (Foamglass)
1.6	الياف الخشب المعدني (Mineral wood fiber)

4-2 اختبار أداء المجمع الشمسي المدمج في حالة الجريان الحر:

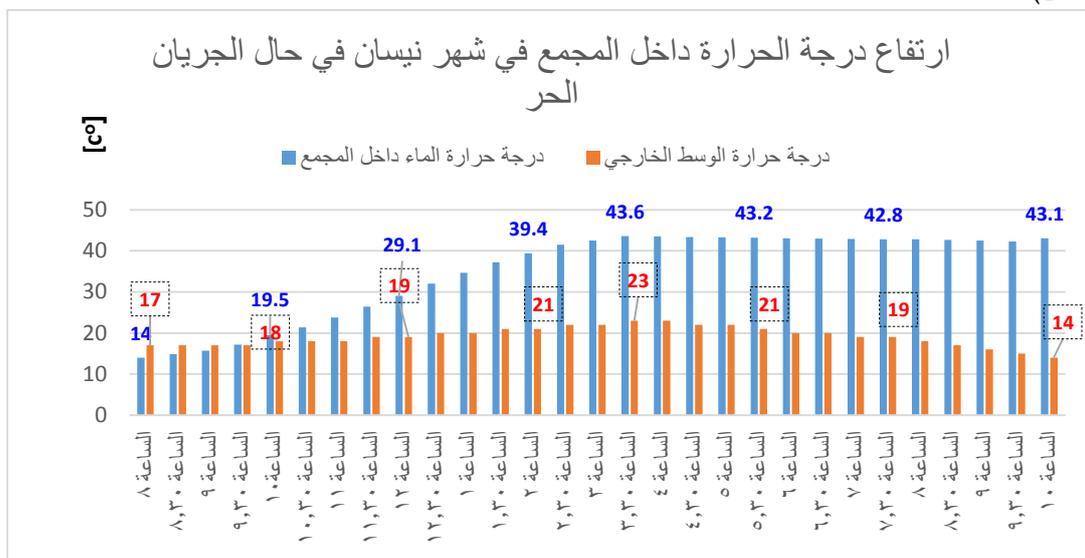
تم إجراء ثلاث تجارب في كل من 9 نيسان، و 4 أيار، و 3 حزيران، لاختبار أداء المجمع الشمسي حيث تم وضع النموذج على سطح المبنى كما هو مبين (بالشكل 12). أجريت التجارب في الظروف المناخية الخارجية وذلك بتعبئة المجمع الشمسي بماء الصنبور العادي ثم قياس درجة حرارة الوسط الخارجي ودرجة حرارة الماء داخل المجمع الشمسي بواسطة حساس حراري من الساعة الثامنة صباحاً حتى الساعة الثانية عشر ليلاً.



الشكل (12) اختبار أداء المجمع الشمسي المدمج المنفذ في حالة الجريان الحر

(الشكل 13) يبين درجة الحرارة المقاسة ضمن الخزان وتغير درجة حرارة الوسط الخارجي بالنسبة للزمن (شهر

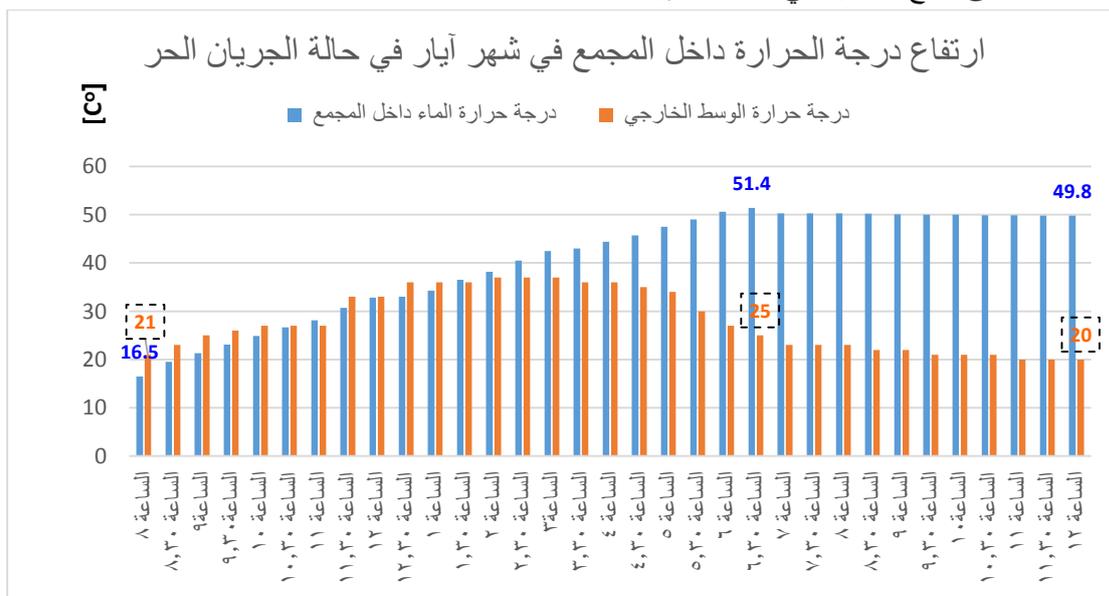
نيسان).



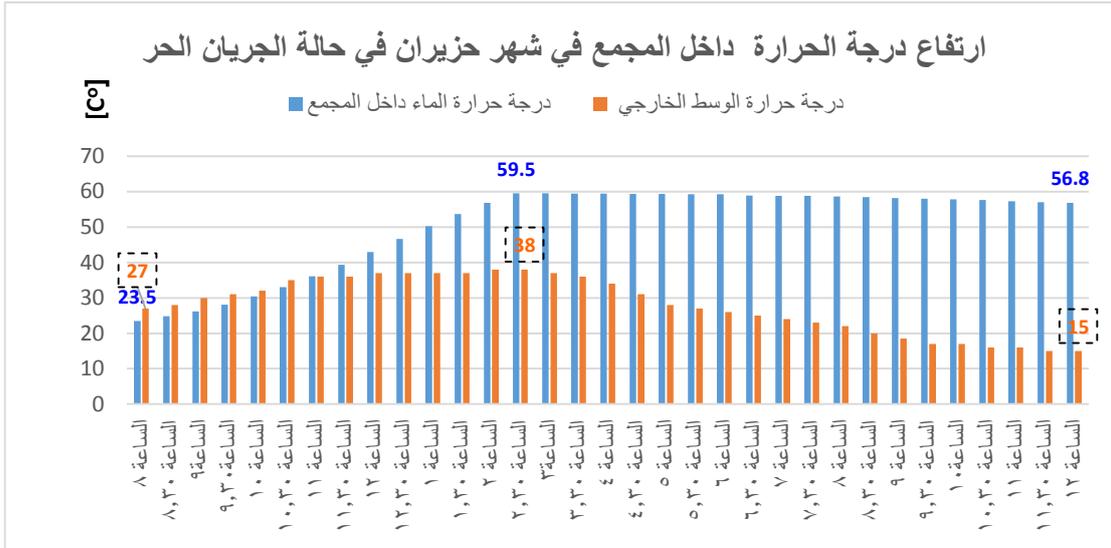
الشكل (13) مخطط بياني يوضح ارتفاع درجات حرارة الماء داخل المجمع في حالة الجريان الحر في 9 نيسان

بنتيجة التجربة لاحظنا:

- إن المجمع قام برفع درجة حرارة الماء في شهر نيسان من 14 □ عند درجة حرارة وسط خارجي بلغت 17 □ إلى 43.6 □ عند درجة حرارة وسط خارجي 23.
 - احتفظ المجمع بدرجة الحرارة بشكل مستقر إلى حد كبير حيث بلغت درجة حرارة الماء عند الساعة العاشرة مساءً 43.1 □ عند درجة حرارة للوسط خارجي 14.
- تم تكرار التجربة السابقة في كل من شهري أيار وحزيران كما هو مبين بالشكلين 14 و 15 على التوالي، وتم الحصول على نتائج متشابهة في كافة التجارب.



الشكل (14) مخطط بياني يوضح ارتفاع درجات حرارة الماء داخل المجمع في حالة الجريان الحر في 4 أيار.



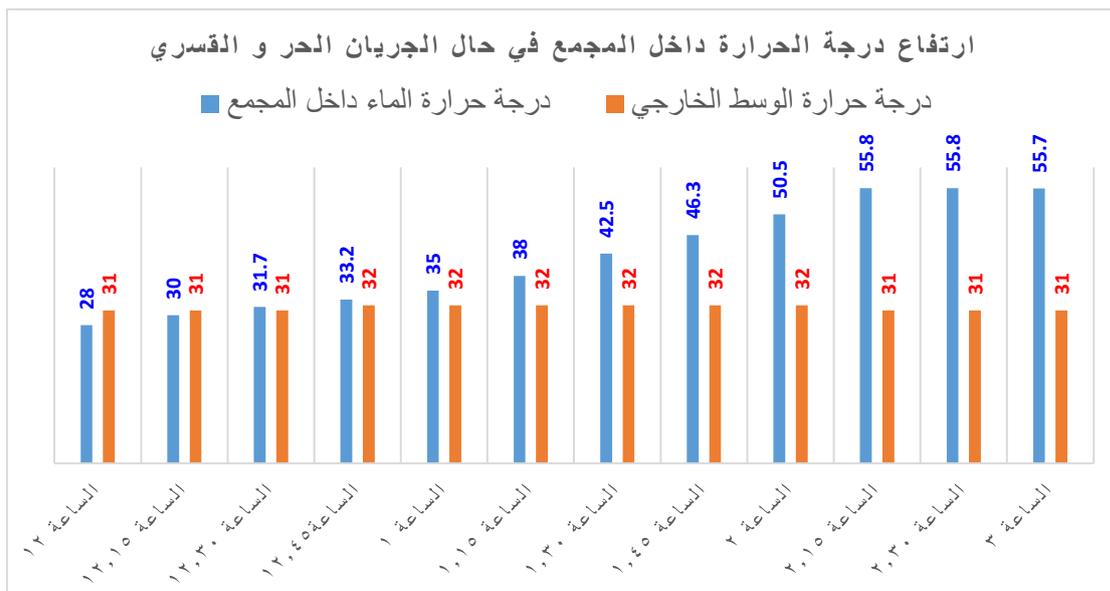
الشكل (15) مخطط بياني يوضح ارتفاع درجات حرارة الماء داخل المجمع في حالة الجريان الحر في 3 حزيران

3-4 اختبار أداء المجمع الشمسي المدمج في حال الجريان القسري:

تم إجراء التجربة الأخيرة في 16 تموز على سطح المبنى لاختبار أداء المجمع الشمسي المدمج في حال الجريان القسري، وذلك باستخدام مضخة تم توصيلها إلى بطارية 12 V كما هو مبين بالشكل 16، تمت التجربة بتعبئة المجمع بماء درجة حرارته 28°C ثم البدء بأخذ قياسات الماء والوسط الخارجي، في البداية من دون تشغيل للمضخة منذ الساعة الثانية عشر ظهراً حتى الساعة الواحدة ظهراً، ثم بتشغيل المضخة ومتابعة أخذ القياسات منذ الساعة الواحدة ظهراً حتى الساعة الثالثة ظهراً.



الشكل (16) اختبار أداء المجمع الشمسي المدمج في حالة الجريان القسري.



الشكل (17) مخطط بياني يوضح ارتفاع درجات حرارة الماء داخل المجمع في حالة الجريان الحر والقسري ليوم 16 نموز بنتيجة التجربة لاحظنا:

1. في حالة الجريان الحر (قبل تشغيل المضخة) قام المجمع برفع درجة الحرارة ببطء من 28 درجة إلى 35 درجة خلال ساعة واحدة.
2. في حالة الجريان القسري (بعد تشغيل المضخة) قام المجمع برفع درجة حرارة الماء بشكل سريع من 35 درجة إلى 55.8 درجة خلال ساعة واحدة.

الاستنتاجات:

- 1- المواد المعاد تدويرها من نفايات المطاط تحقق عازلية مقبولة وتكلفة منخفضة مقارنة مع باقي مواد العزل حيث بلغت قيمة معامل انتقال الحرارة الكلي $K = 3.9 [w/m^2.k]$
- 2- إن وجود العازل بسماكة 2cm يساعد كثيرا في الحد من الضياعات الحرارية للمجمع المدمج وحفظ الحرارة ومنع تسربها لفترة أطول، حيث في حال عدم وجود عازل تتناقص درجة حرارة الماء داخل المجمع الشمسي بسرعة كبيرة من 88 C° إلى 30 C° بينما في حال وجود عازل تتناقص درجة الحرارة تدريجياً وبتبطء من 88 C° إلى 50 C° .
- 3- النموذج المقترح للمجمع الشمسي المدمج يعمل بكفاءة عالية، حيث أعلى درجة حرارة تم الوصول إليها كانت في شهر حزيران 59.5 C° عند درجة حرارة وسط خارجي 38 C° .
- 4- يعمل المجمع الشمسي المدمج بكفاءة أعلى في حالة الجريان القسري للماء، حيث في حالة الجريان الحر (قبل تشغيل المضخة) قام المجمع برفع درجة الحرارة ببطء من 28 C° إلى 35 C° خلال ساعة واحدة بينما في حالة الجريان القسري (بعد تشغيل المضخة) قام المجمع برفع درجة حرارة الماء بشكل سريع من 35 C° إلى 55.8 C° خلال ساعة واحدة.

5- إعادة تدوير الإطارات التالفة لاستخدامها كعازل حراري يساهم في التخفيف من الأضرار التراكمية للإطارات التي ينتج عن حرقها كميات كبيرة من الغازات الكيميائية التي تضر بصحة الإنسان والبيئة المحيطة.

التوصيات:

- 1- إجراء التجارب السابقة باستخدام مواد عزل أخرى (الفوم والصوف الزجاجي) ومقارنة النتائج.
- 2- إجراء الدراسة السابقة باستخدام سماكات متعددة للعازل.
- 3- قيام الجهات المعنية بإنشاء أماكن لتكريب آلات طحن الإطارات المستهلكة لإنتاج كميات كبيرة من بودرة المطاط لاستعمالها في مجالات عديدة.
- 4- إجراء التجارب السابقة وذلك بإضافة (زعانف، جلب داخلية،....) للمجمع الشمسي المستخدم للوصول إلى الأداء الحراري الأفضل.

المراجع

- [1] Ali Al-Mohamad "Global, direct and diffuse solar-radiation in Syria" Atomic Energy Commission of Syria, (2014)• P.O. Box 6091, Damascus, Syria
- [2] Kalogirou SA Solar thermal collectors and applications. Prog Energy Combust Sci (2004),30: 231–295.
- [3] C. Garnier *, J. Currie, T. Muneer “ Integrated collector storage solar water heater: Temperature stratification” Applied Energy 86 (2009) 1465–1469.
- [4] Fannee, A. H., and S. A. Klein. "Comparison of experimental and calculated performance of integral collector-storage solar water heaters." Solar energy 38.5 (1987): 303-309
- [5] M. Smyth, P. C Eames and B. Norton, “A Comparative Performance Rating for an Integrated Solar Collector/Storage Vessel with Inner Sleeves to Increase Heat Retention,” Solar Energy Solar Energy Vol. 66, No. 4, pp. 291–303, 1999.
- [6] Monia Chaabane • Hatem Mhiri • Philippe Bournot “ Effect of the storage tank thermal insulation on the thermal performance of an integrated collector storage solar water heater (ICSSWH) “ Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014
- [7] Ruth M. Saint 1,* ID , Céline Garnier 1, Francesco Pomponi 2 ID and John Currie 3 “Thermal Performance through Heat Retention in Integrated Collector-Storage Solar Water Heaters: A Review “ Energies , Published: 20 June 2018
- [8] M.M. Abdel Kader et al. "Evaluation of thermal insulation and mechanical properties of waste rubber/natural rubber composite." HBRC Journal 8.1 (2012): 69-74
- [9] Bulei, C., et al. "Directions for material recovery of used tires and their use in the production of new products intended for the industry of civil construction and pavements." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 294. No. 1. IOP Publishing, 2018