مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (37) العدد (3) 2015
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (37) No. (3) 2015

تأثير استخدام المادة متغيرة الطور (PCM) على إنتاجية المقطر الصندوقي الشمسي

الدكتور رامي جورج*
الدكتورة مها أحمد**
أنس ندور***

(تاريخ الإيداع 29 / 4 / 2015. قُبِل للنشر في 15/ 6 / 2015)

□ ملخّص □

يهدف هذا البحث إلى إجراء دراسة تجريبية لتأثير استخدام المادة متغيرة الطور (PCM) في المقطرات الصندوقية الشمسية من أجل تحسين إنتاجيتها.

أظهرت نتائج البحث التجريبية المنجزة أن استخدام المادة متغيرة الطور (الشمع البارافيني) في المقطر الصندوقي الشمسي أدى إلى تحسين في إنتاجيته اليومية، حيث تبين أنها تزداد مع زيادة كمية المادة متغيرة الطور المستخدمة، حيث بلغت أعلى قيمة لنسبة الزيادة في الإنتاجية اليومية [%]26.3 عند استخدام [kg]3.5 من المادة متغيرة الطور الموضوعة ضمن عبوات بلاستيكية، والقيمة [%]34.74 عند استخدام [kg]4.5 من المادة متغيرة الطور (PCM) الموضوعة ضمن عبوات معدنية.

كما أظهرت نتائج البحث التجريبية ازدياد فترة عمل المقطر الصندوقي الشمسي المزود بالمادة متغيرة الطور مقارنة بالمقطر من دون مادة متغيرة الطور. وهذا ناتج عن الطاقة الحرارية الكامنة المخزنة في المادة متغيرة الطور والتي تقدمها للماء عند انخفاض شدة الإشعاع الشمسي مما يؤدي إلى تبخر الماء واستمرار المقطر بالعمل لفترة زمنية أطول.

الكلمات المفتاحية: المقطر الصندوقي الشمسي، المواد متغيرة الطور، تخزين الطاقة الحرارية

*أستاذ – قسم هندسة القوى الميكانيكية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين– اللاذقية– سورية
**أستاذ مساعد – قسم هندسة القوى الميكانيكية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين– اللاذقية– سورية
***طالب دراسات عليا (ماجستير) – قسم هندسة القوى الميكانيكية– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (37) العدد (3) 2015
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (37) No. (3) 2015

Influence of Using Phase Change Material (PCM) on the Productivity of the Solar basin Still

Dr. Rami George*
Dr. Maha Ahmad**
Anas Naddour***

(Received 29 / 4 / 2015. Accepted 15 / 6 / 2015)

□ ABSTRACT □

The objective of this investigation is to study the influence of application of phase change material (PCM) in solar basin stills for improving its productivity.

The experimental results of this investigation showed that using phase change material (paraffin wax) in solar basin still improved its daily productivity, which increased with increasing the mass of phase change material. The highest increase ratio of daily productivity was 26.3[%] when using 3.5[kg] of phase change material in plastic case, and it was 34.74[%] when using 4.5[kg] of phase change material (PCM) in metal case.

Also the experimental results of this investigation showed an increase in the period of working basin still provided with phase change material compared with basin still without phase change material. This is owing to the latent heat stored in phase change material, which is emitted to water when solar radiation decreases. This results in longer period of work for the basin still.

Key words: Solar basin still, Phase change materials (PCM), Thermal energy storage.

***Professor, Mechanical Power Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
****Assistant Professor, Mechanical Power Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria**
*****Postgraduate student, Mechanical Power Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

تعد المياه القاعدة الأساسية التي تقوم عليها الحياة فوق الأرض، فعلى المياه قامت أولى الحضارات البشرية وحيثما وجد الماء وجدت الحضارات. إن التزايد السريع في عدد السكان وارتفاع المستوى المعيشي والتطور الصناعي والزراعي وازدياد ملوحة المياه الجوفية وتلوثها وانتشار الجفاف في مناطق عدة من العالم، أثر بشكل كبير على الموارد المائية السطحية منها والجوفية. ونتيجةً لقلة مصادر المياه العذبة في كوكب الأرض برزت مشكلة النقص الحاد للمياه العذبة، ولقد أجريت العديد من الدراسات والبحوث حول مستقبل الوضع المائي والبحث عن مصادر مائية جديدة غير المصادر التقليدية كتحلية المياه المالحة.

مما لا شك فيه أن تحلية المياه بالطاقة الشمسية اكتسب أهمية كبيرة نتيجة لتزايد تكلفة الطاقة كما أنها تعتبر إحدى الحلول المقترحة لحل أزمة المياه وخاصة في المناطق التي تندر فيها المياه العذبة وتتمتع بإشعاع شمسي وفير. ويعتبر المقطر الصندوقي الشمسي من أشهر المقطرات التي تستخدم الطاقة الشمسية للحصول على المياه العذبة وذلك لبساطته وسهولة تصنيعه.

أجريت الكثير من الأبحاث بهدف تحسين إنتاجية المقطر الصندوقي الشمسي بإضافة مواد خازنة للحرارة المحسوسة. فمنهم من درس تجريبياً ونظرياً تأثير إضافة الحصى والآجر وبأبعاد مختلفة على إنتاجية المقطر الصندوقي الشمسي [1] أو إضافة طبقة من الرمل إلى قاعدة المقطر [2] أو إضافة قطع من الإسفنج أو المطاط أو صفيحة ألمنيوم أو زعانف [3] و[4] و[5] من أجل تحسين امتصاص الإشعاع الشمسي وتخزين الحرارة وزيادة تبخر الماء. هناك أبحاث أجريت من أجل تحسين إنتاجية المقطر الصندوقي الشمسي عن طريق إضافة عواكس داخلية أو خارجية إلى المقطر [6] و[7]، [8] و[9] و[10]. كما أجريت أبحاث اعتمدت على إضافة لاقط شمسي مسطح إلى المقطر الصندوقي الشمسي بهدف تحسين الإنتاجية [11] و[12] و[13].

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث من خلال إمكانية الاستفادة من الطاقة الحرارية الكامنة المختزنة في المواد متغيرة الطور من أجل رفع درجة حرارة الماء في المقطر الشمسي في فترة بعد الظهر والمساء مما يساعد على استمرار عملية التقطير، بينما تنخفض درجة حرارة الماء في المقطر الذي لا يحوي على المادة متغيرة الطور.

يهدف هذا البحث إلى إجراء دراسة تجريبية لتأثير استخدام المواد المتغيرة الطور على إنتاجية المقطر الصندوقي الشمسي. تعمل المادة متغيرة الطور كبطارية حرارية، فتقوم بتخزين الطاقة الحرارية لأشعة الشمس الممتصة على شكل طاقة حرارية كامنة عن طريق تغير طورها ثم تقدم الحرارة اللازمة لاستمرار عملية التقطير وخاصة في فترات انخفاض درجات حرارة الوسط الخارجي وغياب الإشعاع الشمسي، مما يؤدي إلى تحسين إنتاجية المقطر الشمسي.

طرائق البحث ومواده:

تم في هذا البحث اعتماد المنهج التجريبي للحصول على النتائج. لذلك قمنا بتصنيع مقطرين صندوقيين شمسيين متماثلين مساحة قاعة كل منهما [m^2] 0.5، ومعزولين بطبقة من الفلين سماكتها [cm] 4، كما تم تزويد كل من المقطرين بحساسات حرارية لقياس درجات حرارة الماء داخل كل منهما، ودرجة حرارة الوسط الخارجي، ودرجة حرارة الغطاء الشفاف لكل منهما كما هو مبين في الش كل (1). قمنا بتزويد أحد المقطرين بكميات مختلفة بالمادة متغيرة

الطور وهي عبارة عن (شمع النحل الطبيعي ذو درجة حرارة التغير الطوري [°C]58) كما في الشكل (2)، حيث تم في البداية وضع المادة متغيرة الطور ضمن عبوات بلاستيكية شفافة سعة كل عبوة [kg]0.5 . ثم تم وضع المادة متغيرة الطور ضمن عبوات معدنية مصنوعة من الصاج الرقيق سعة كل عبوة [kg]1.5، كما هو مبين في الشكل (3) . بينما لم يتم تزويد المقطر الآخر بمادة متغيرة الطور من أجل المقارنة مع الحالات السابقة. ولقد قمنا بإجراء جميع التجارب على المقطرين بنفس الظروف المناخية الخارجية في منطقة الكفرون بريف طرطوس، وباستخدام مياه عادية في المقطرات.

الشكل (1) المقطرين الشمسين المصنعين أحدهما مزود بمادة متغيرة الطور والثاني من دون مادة متغيرة الطور

الشكل (2) توضع العبوات الحاوية على المادة متغيرة الطور في المقطر الشمسي

العبوة المعدنية **العبوة البلاستيكية**

الشكل (3) عبوات المادة متغيرة الطور المستخدمة في المقطر الشمسي

كما يبين الشكل(4) مقياس درجات الحرارة المستخدم لقياس درجات الحرارة مع الأنبوب المدرج لقياس حجم الماء المقطر.

مقياس درجات الحرارة **الأنبوب المدرج**

الشكل (4) المقاييس المستخدمة لقياس درجة الحرارة وحجم الماء المقطر الناتج

النتائج والمناقشة:

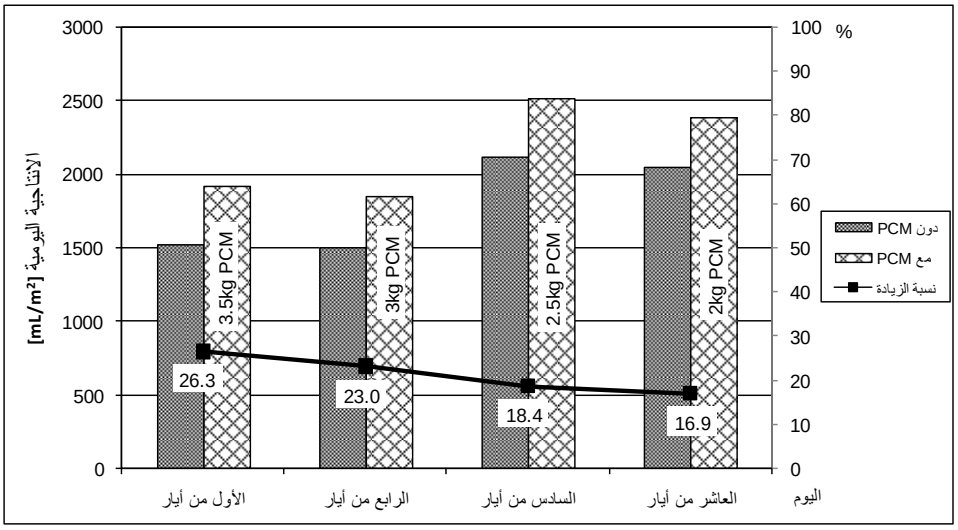
تأثير استخدام عبوات بلاستيكية شفافة مزودة بالمادة متغيرة الطور مع تغير كميتها على إنتاجية المقطر الصندوق الشمسي

أجريت التجارب في أيام مختلفة من الشهر الخامس لعام 2013 على المقطرين الصندوقيين الشمسيين: المزودة بالمادة متغيرة الطور (شمع النحل) المحتواة ضمن عبوات بلاستيكية شفافة سعة كل منها [kg] 0.5، والمقطر العادي من دون مادة متغيرة الطور. حيث تم قياس كمية الماء المقطر الناتج عن كلا المقطرين (إنتاجية المقطر) خلال

ساعات النهار. قمنا بإجراء التجارب من أجل كميات مختلفة من المادة متغيرة الطور باستخدام عدد متغير من العبوات ضمن المقطر الصندوقي الشمسي.

يبين الشكل (5) الإنتاجية اليومية للمقطر الصندوقي الشمسي المزود بكميات مختلفة من المادة متغيرة الطور [kg](3.5 ,3 ,2.5, 2)، وأيضاً إنتاجية المقطر العادي من دون مادة متغيرة الطور، وكذلك نسبة الزيادة في الإنتاجية اليومية من أجل عدة أيام من شهر أيار.

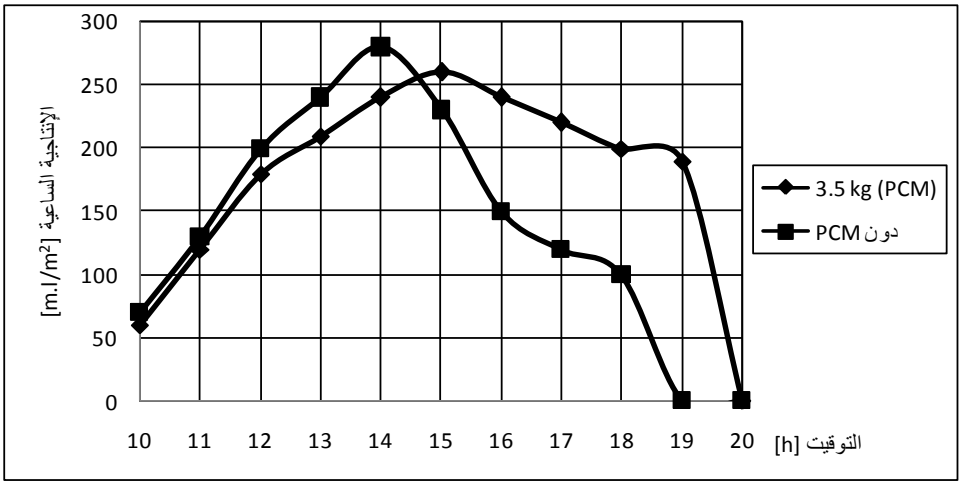
نلاحظ من الشكل (5) أن الإنتاجية اليومية تزداد عند إضافة المادة متغيرة الطور إلى المقطر، حيث تكون نسبة الزيادة في الإنتاجية (نسبة الفرق بين إنتاجية المقطرين إلى إنتاجية المقطر من دون مادة متغيرة الطور) أكبر عندما تكون كمية المادة متغيرة الطور أكبر، وذلك نتيجة امتصاصها كمية أكبر من الإشعاع الشمسي وتخزينها كطاقة حرارية كامنة عند تحولها من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة، ومن ثم طرحها وتقديمها للماء نتيجة تحولها من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة، مما يزيد عملية التبخر وبالتالي زيادة الإنتاجية من الماء المقطر. فمن الشكل (5) نجد أن نسبة الزيادة في الإنتاجية اليومية هي مثلاً [%]16.9 و [%]26.3 عند استخدام كميات من المادة متغيرة الطور مقدارها [kg]2 و[kg] 3.5 على الترتيب.



الشكل (5) الإنتاجية اليومية ونسبة الزيادة من أجل كميات مختلفة من المادة متغيرة الطور في عدة أيام من شهر أيار لعام 2013

يبين الشكل (6) تغير الإنتاجية الساعية للمقطر الشمسي العادي من دون مادة متغيرة الطور وللمقطر المزود بمادة متغيرة الطور مقدارها [kg]3.5 في يوم 2013/5/1. نلاحظ من الشكل أن إنتاجية المقطر من دون مادة متغيرة الطور تكون في الصباح أكبر منها للمقطر مع مادة متغيرة الطور، يعود السبب في ذلك أن المادة متغيرة الطور تمتص الطاقة الحرارية اللازمة لتغير طورها من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة (تنصهر) حيث تقوم بتخزين الطاقة الحرارية كطاقة كامنة. بينما في فترة بعد الظهر وعند انخفاض درجات الحرارة تتحول من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة (تتصلب) وتطرح الطاقة الحرارية المخزنة إلى الماء، لذلك نلاحظ ازدياد عملية التبخير وفترة التقطير حيث توقف المقطر العادي عن العمل عند الساعة السابعة بينما المقطر المزود بالمادة متغيرة الطور توقف عند الساعة الثامنة، وبالتالي ازدياد إنتاجية المقطر الشمسي المزود بالمادة متغيرة الطور مقارنة بالمقطر العادي غير المزود بالمادة متغيرة الطور.

ملاحظة: لم تتحمل العبوات البلاستيكية المستخدمة درجات الحرارة العالية، حيث تعرضت للتمدد وأحياناً للذوبان وخروج المادة متغيرة الطور منها. لذلك تم استخدام العبوات المعدنية في التجارب اللاحقة.

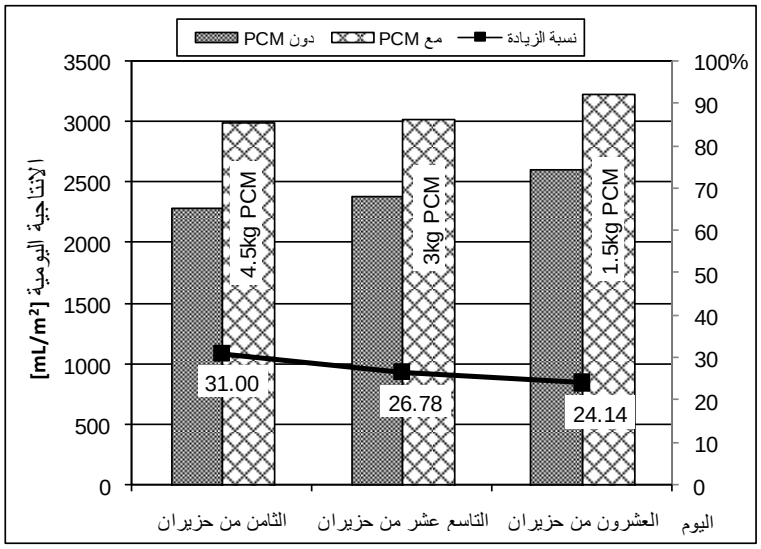


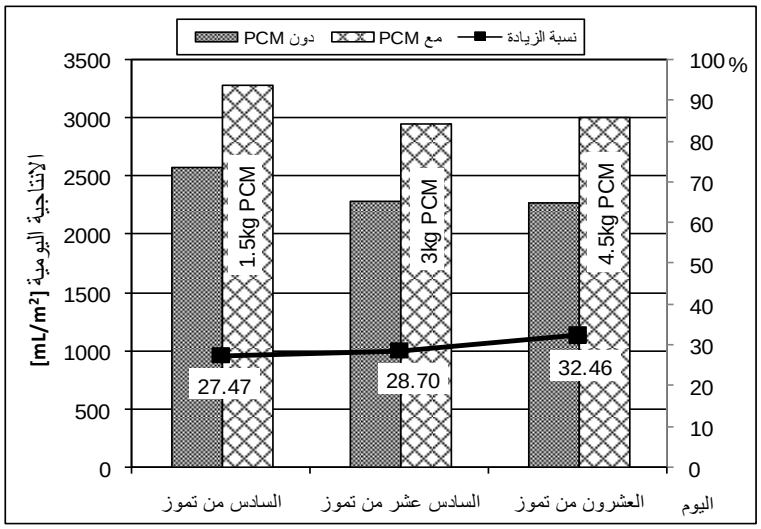
الشكل (6) تغير الإنتاجية الساعية في يوم 2013/5/1 للمقطر دون مادة متغيرة الطور ومقطر مع 3.5[kg] من مادة متغيرة الطور

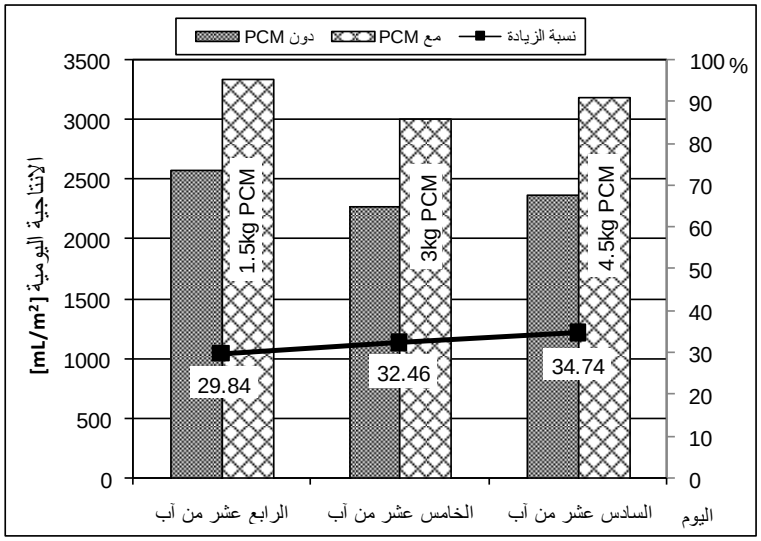
تأثير استخدام عبوات معدنية مطلية باللون الأسود مليئة بالمادة متغيرة الطور على إنتاجية المقطر الصندوقي الشمسي

أجريت التجارب في عدة أيام من أشهر السنة لعام 2013، حيث تم استخدام عدة عبوات معدنية سعة كل منها 1.5 [kg] من مادة شمع النحل كمادة متغيرة الطور. تم إجراء التجارب من أجل كميات مختلفة من المادة متغيرة الطور باستخدام عدد متغير من العبوات ضمن المقطر الصندوقي الشمسي، حيث تم قياس كمية الماء المقطر الناتج عن كلا المقطرين (إنتاجية المقطر) خلال ساعات النهار في جميع الحالات.

يبين الشكل (7) الإنتاجية اليومية للمقطر الصندوقي المزود بالمادة متغيرة الطور من أجل كميات مختلفة (1.5, 3, 4.5)[kg] مقارنة مع المقطر غير المزود بالمادة متغيرة الطور، وكذلك نسبة الزيادة في الإنتاجية اليومية. نلاحظ أن الإنتاجية اليومية تزداد عند إضافة المادة متغيرة الطور إلى المقطر، وتكون نسبة الزيادة أكبر عندما تكون كمية المادة متغيرة الطور أكبر. حيث نجد أن أعلى نسبة زيادة في الإنتاجية اليومية تكون عند استخدام 4.5[kg] من المادة متغيرة الطور وقدرها 34.74[%] تحصل في السادس عشر من شهر آب، والسبب في ذلك يعود إلى أن شدة الإشعاع الشمسي كانت كافية لانصهار كامل المادة متغيرة الطور وهذا يعني تخزين أكبر كمية من الطاقة الحرارية وتقديمها لماء المقطر لاحقاً وبالتالي تبخير كمية أكبر من الماء.







الشكل (7) الإنتاجية اليومية ونسبة الزيادة من أجل كميات مختلفة من المادة متغيرة الطور في عدة أيام من أشهر عام 2013

يبين الشكل (8) تغير الإنتاجية الساعية للمقطر الشمسي العادي من دون مادة متغيرة الطور وللمقطر المزود بمادة متغيرة الطور مقدارها 4.5[kg] في يوم 2013/8/16. نلاحظ من الشكل أن إنتاجية المقطر العادي تكون صباحاً أكبر منها للمقطر ذو المادة متغيرة الطور، يعود السبب إلى أن المادة متغيرة الطور تمتص الطاقة الحرارية اللازمة لتغير طورها من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة (الانصهار) وتقوم بتخزينها. بينما في فترة بعد الظهر وعند انخفاض درجات الحرارة يتغير طورها إلى الحالة الصلبة وتطرح الطاقة الحرارية المخزنة إلى الماء، حيث نلاحظ ازدياد عملية التبخير والتقطير، وبالتالي ازدياد في إنتاجية المقطر الشمسي المزود بالمادة متغيرة الطور مقارنة بالمقطر غير المزود بالمادة متغيرة الطور. كما نلاحظ من الشكل أن نسبة الزيادة في الإنتاجية وصلت إلى 100% عند الساعة السادسة مساءً. توقف المقطر العادي عن العمل عند الساعة السابعة مساءً، بينما بلغت إنتاجية المقطر المزود بالمادة متغيرة الطور عند نفس الساعة 350 $[ml/m^2]$ بسبب تحرير الطاقة الحرارية المخزنة في المادة متغيرة الطور عند تبريدها ثم توقف عن العمل عند الساعة الثامنة.

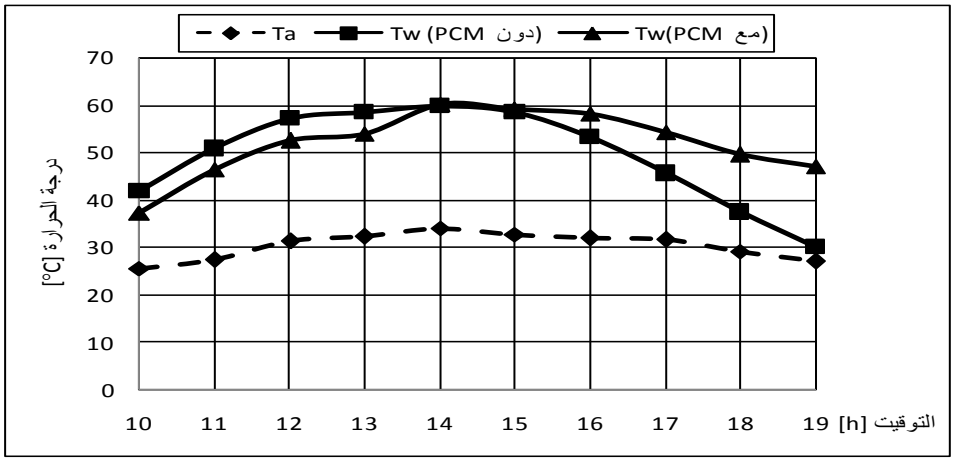
الشكل (8) الإنتاجية الساعية يوم 2013/8/16 للمقطر من دون مادة متغيرة الطور وللمقطر مع 4.5[kg] من المادة متغيرة الطور

تأثير استخدام المادة متغيرة الطور على درجة حرارة الماء ضمن المقطر

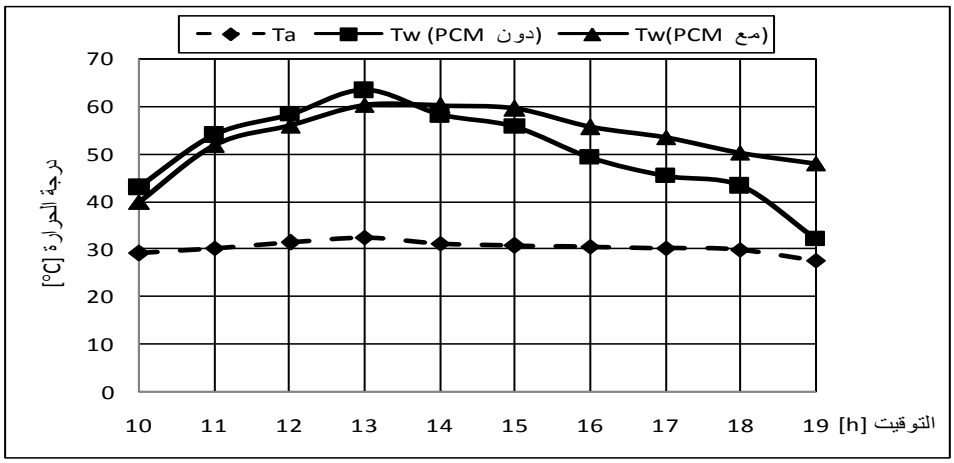
أثناء إجراء التجارب تم قياس درجة حرارة الوسط الخارجي (T_a) ودرجة حرارة الماء في كل من المقطر العادي والمقطر المزود بـ 4.5[kg] من المادة متغيرة الطور. يبين الشكل (9) تغير درجات الحرارة هذه خلال ساعات النهار من أجل عدة أيام من السنة، حيث نلاحظ أن درجة حرارة الماء ضمن المقطر الصندوقي الشمسي المزود بالمادة متغيرة الطور هي أقل بالمقارنة مع درجة حرارة الماء ضمن المقطر العادي وذلك حتى الساعة الثانية أو الثالثة تقريباً بعد الظهر حسب الشهر، وهذا يعود إلى امتصاص الحرارة وتخزينها ضمن المادة متغيرة الطور أثناء تغير طورها من الطور الصلب إلى الطور السائل.

أما في ساعات النهار اعتباراً من الساعة الثانية أو الثالثة بعد الظهر، فإننا نلاحظ ارتفاع درجة حرارة الماء ضمن المقطر المزود بالمادة متغيرة الطور حيث تصبح أعلى من درجة حرارة الماء ضمن المقطر العادي وهذا يعود إلى طرح الحرارة الكامنة المخزنة في المادة متغيرة الطور أثناء تغير طورها من الطور السائل إلى الطور الصلب وتقديمها إلى الماء ضمن المقطر. نلاحظ من الشكل (9) أن أكبر فرق بين درجة حرارة الماء في المقطر العادي

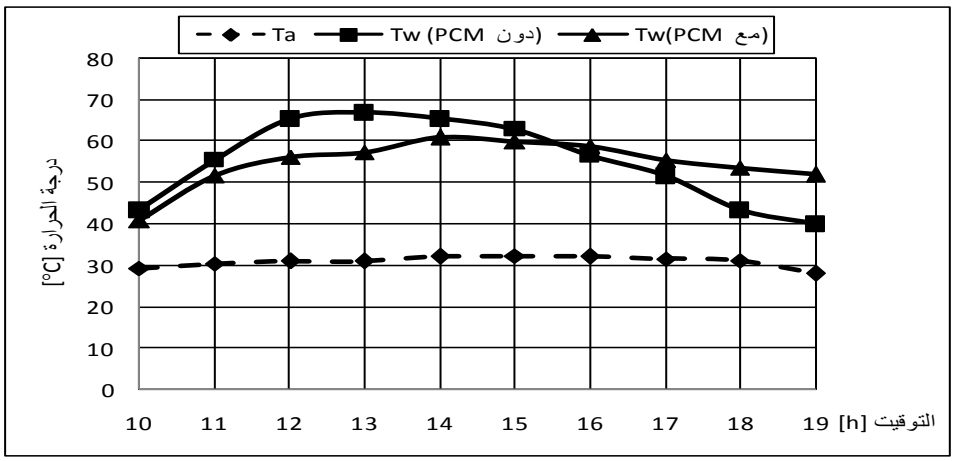
والمقطر المزود بالمادة متغيرة الطور يصل إلى [°C] 17 عند الساعة السابعة مساءً من يوم 8/6/2013، والسبب يعود في ذلك إلى استمرار تقديم الطاقة الحرارة المخزنة في المادة متغيرة الطور إلى الماء.



a: 8/6/2013



b: 20/7/2013



C: 16/8/2013

الشكل (9) تغير درجة حرارة الوسط الخارجي، ودرجة حرارة الماء في كل من المقطر العادي والمقطر المزود بـ 4.5[kg] من المادة متغيرة الطور خلال عدة أيام من السنة

الاستنتاجات والتوصيات:

1. تزداد الإنتاجية اليومية للمقطر الصندوقي الشمسي المزود بالمادة متغيرة الطور أكثر من إنتاجية المقطر العادي. وتزداد هذه الإنتاجية مع زيادة كمية المادة متغيرة الطور المستخدمة. ويعود ذلك إلى أن كون المادة متغيرة الطور تعمل كخزان للطاقة الحرارية الكامنة يقوم بتقديم طاقته عند انخفاض شدة الإشعاع الشمسي. تصل نسبة الزيادة في الإنتاجية اليومية إلى [%]26.3 عند استخدام [kg]3.5 من PCM ضمن عبوات بلاستيكية و [%]34.74 عند استخدام [kg]4.5 من PCM ضمن عبوات معدنية.
2. في بداية النهار تكون الإنتاجية الساعية للمقطر العادي أعلى منها للمقطر المزود بالمادة متغيرة الطور، ولكن في فترة بعد الظهر وعند انخفاض شدة الإشعاع الشمسي تصبح الإنتاجية الساعية للمقطر المزود بالمادة متغيرة الطور أكبر وتصل أعلى نسبة زيادة إلى [%]100 عند الساعة السادسة مساءً.
3. تزداد ساعات عمل المقطر الصندوقي الشمسي المزود بالمادة متغيرة الطور مقارنة بالمقطر العادي والذي يتوقف عن العمل عند ساعة معينة. وهذا ناتج عن الطاقة الحرارية الكامنة في المادة متغيرة الطور والتي تقدمها للماء عند انخفاض شدة الإشعاع الشمسي فتؤدي إلى تبخر الماء واستمرار المقطر بالعمل لفترة زمنية أطول.
4. في بداية النهار، تكون درجة حرارة الماء في المقطر العادي أعلى منها للمقطر المزود بالمادة متغيرة الطور ولكن في فترة بعد الظهر وعند انخفاض شدة الإشعاع الشمسي تصبح درجة حرارة الماء في المقطر المزود بالمادة متغيرة الطور أعلى و يصل أكبر فرق [°C] 17. وسبب ذلك هو طرح الحرارة من قبل المادة متغيرة الطور.
5. متابعة البحث لإيجاد طرق ووسائل جديدة لزيادة الاستفادة من الإشعاع الشمسي للوصول إلى أكبر إنتاجية للمقطرات الصندوقية الشمسية باستخدام مواد أخرى من المواد متغيرة الطور.
6. البحث عن طرق أخرى غير العبوات لوضع المادة متغيرة الطور ضمن المقطر.

المراجع:

[1]. MURUGAVEL, K. K.; SIVAKUMAR, S.; AHAMED. J. R.; CHOCKALINGAM, Kn. K.; SRITHAR, K. *Single basin double slope solar still with minimum basin depth and energy storing materials.* Applied Energy. Vol. 87, 2010, 514–523.

[2]. EL-SEBAII, A. A.; YAGHMOUR, S. J.; AL-HAZMI, F. S.; FAIDAH, A. S.; AL-MARZOUKI, A. A.; AL-GHAMDI, A. A. *Active single basin solar still with sensible storage medium.* Desalination. Vol. 249, 2009, 699–706.

[3]. MURUGAVEL, K. K.; CHOCKALINGAM, Kn. K.; SRITHAR, K. *Progresses in improving the effectiveness of the single basin passive solar still.* Desalination. Vol. 220, 2008, 677–686.

[4]. ABU-HIJLEH, B. K.; RABABA'H, H. M. *Experimental study of a solar still with sponge cubes in basin.* Energy Conversion and Management. Vol. 44, 2003, 1411–1418.

[5]. VELMURUGAN, V.; GOPALAKRISHNAN, M.; RAGHU, R.; SAITHAR, K. *Single basin solar still with fin for enhancing productivity.* Energy Conversion and Management. Vol. 49, 2008, 2602–2608.

[6]. TANAKA, H.; NAKATAKE, Y. *Theoretical analysis of a basin type solar still with internal and external reflectors.* Desalination. Vol. 197, 2006, 206–216.

[7]. TANAKA, H. *Experimental study of a basin type solar still with internal and external reflectors in winter*. Desalination. Vol. 249, 2009, 130–134.

[8]. TANAKA, H. *Tilted wick solar still with external flat plate reflector: Optimum inclination of still and reflector*. Desalination. Vol. 249, 2009, 411–415.

[9]. TANAKA, H.; NAKATAKE, Y. *Increase in distillate productivity by inclining the flat plate external reflector of a tilted-wick solar still in winter*. Solar Energy. Vol. 83, 2009, 785–789.

[10]. TANAKA, H. *Monthly optimum inclination of glass cover and external reflector of a basin type solar still with internal and external reflector*. Solar Energy. Vol. 84, 2010, 1959–1966.

[11]. BADRAN, O. O.; AL-TAHAINEH, H. A. *The effect of coupling a flat-plate collector on the solar still productivity*. Desalination. Vol. 183, 2005, 137–142.

[12]. KUMAR, S.; TIWARI, G. N.; GAUR, M. K. *Development of empirical relation to evaluate the heat transfer coefficients and fractional energy in basin type hybrid (PV/T) active solar still*. Desalination. Vol. 250, 2010, 214–221.

[13]. TRIPATHI, R.; TIWARI, G. N. *Thermal modeling of passive and active solar stills for different depths of water by using the concept of solar fraction*. Solar Energy. Vol. 80, 2006, 956–967.