

دراسة تحسين الإنتاجية النوعية لمحطة تحلية عاملة بالتقطير الشمسي

د. جهاد بدور *

د. رامي جورج **

م. محمد أحمد العساف ***

(تاريخ الإيداع 2022/12/19 . قَبِلَ للنشر في 2023/4/24)

□ ملخص □

يعالج البحث مشكلة هامه من مشاكل نقص المياه الصالحة للشرب في مناطق واسعه من العالم بسبب تغيرات المناخ، وأسباب أخرى.

على الرغم من توفر الاشعاع الشمسي في مناطق فقيرة بالمياه العذبة فان استخدام الطاقة الشمسية في مجال التقطير الشمسي لم يستطع ان يلاقي انتشاراً واسعاً بسبب انتاجيته المنخفضة مقارنة مع النظم الأخرى المعتمدة على الطاقة الكهربائية.

يهدف هذا البحث الى دراسة امكانية رفع كفاءة التقطير الشمسي عن طريق استرجاع قسم كبير من الطاقة الحرارية الضائعة، وإعادة استخدامها في التبخير، من خلال نمذجة نظام تقطير شمسي بشكل يتيح لنا مستقبلاً انتاج الماء بتكاليف منخفضة نسبياً في ظروف الحصار الصعبة. حيث أثبت حل النموذج الرياضي للدارة المفروضة إمكانية تحقيقها إنتاجية منافسة للنظم الحديثة.

بينت النتائج أن إنتاجية المنظومة من الماء المقطر تتأثر بدرجة حرارة الماء المتبخر في المرطب حيث تتجاوز 0.6 kg/s عند درجة الحرارة 85°C، كما تزداد مع زيادة مساحة المجمع الشمسي بشكل كبير، بسبب زيادة كمية الماء الساخن المنتج الداخل الى المرطب، بالإضافة الى أهمية استرجاع الطاقة، ودوره في تقليل مساحة المجمعات الشمسية، كذلك بلغ تحسن الكفاءة مع استرجاع بنسبة تصل حتى 61%.

كلمات مفتاحية: تحلية المياه، التقطير الشمسي.

* أستاذ في قسم هندسة القوى من كلية الهيك بجامعة تشرين .

** أستاذ في قسم هندسة القوى من كلية الهيك بجامعة تشرين .

*** طالب الدراسات العليا (دكتوراه) في قسم هندسة القوى من كلية الهيك بجامعة تشرين .

A study to improve the qualitative productivity of a solar distillation desalination plant

Dr. jihad baddor

Dr. Ramie Georg

Eng. Mohamed AL-assaf

(Received 19/12/2022 . Accepted 24/4/2023)

□ ABSTRACT

The research deals with an important problem of the shortage of portable water in large areas around the world due to climate change and other reasons.

Despite the availability of solar radiation in areas that is poor in fresh water, the use of solar energy in the field of solar distillation was not able to meet a wide spread because of its low production compared to system based on electric energy.

This research aims to study the possibility of raising the efficiency of solar distillation by recovering a large part of the lost thermal energy, and reusing it in evaporation, by modeling a solar distillation system in a way that allows us in the future to produce water at relatively low costs in difficult siege conditions. Where the solution of the mathematical model of the imposed circuit proved the possibility of achieving competitive productivity for modern systems

Where we found that the productivity of the system of distilled water is affected by the temperature of the evaporated water in the humidifier, as it exceeds 0.6 kg / s at a temperature of 85 C°, It also increases with the large increase in the solar collector area, due to the increase in the amount of hot water produced entering the humidifier, in addition to the importance of energy recovery, and its role in reducing the area of solar collectors, Efficiency has also improved with a return rate of up to 61%.

Key words: Water distillation, solar distillation.

مقدمة

➤ تحلية المياه بطرق التقطير

تكمّن الفكرة الأساسية لعمليات التقطير في رفع درجة حرارة المياه المالحة الى درجة حرارة الغليان، وتكوين بخار الماء غير المالح الذي يتم تكثيفه بعد ذلك الى ماء نقي، ومن ثمّ معالجته ليكون ماء صالحاً للشرب، أو للري.

➤ طرق التقطير

- 1- التقطير العادي.
- 2- التقطير الومضي متعدد المراحل.
- 3- التقطير متعدد المراحل (متعدد التأثير).
- 4- التقطير باستخدام الطاقة الشمسية.

تعتمد جميع طرق التقطير على مراحل متشابهة من حيث اعتمادها على تبخير الماء المراد تنقيته ثم إعادة تكثيفه، وبسبب التكاليف المرتفعة لعمليات التبخير تم اللجوء الى الطاقة الشمسية كمصدر حراري متجدد غير مكلف نسبياً.

تتكون معظم دارات التقطير من دارة هواء مفتوحة، ومن وحدتين (ترطيب-تجفيف) للهواء، ومن خلال دراسة العديد من الابحاث ذات الصلة تبين وجود ضياعات حرارية كبيرة غير مستثمرة يتم طرحها خارج الدارة. جزء من هذه الضياعات يتم طرحه مع ماء التكثيف في وحدة تجفيف الهواء، والجزء الآخر مع الهواء الجاف المغادر للمنشأة، لذلك تم اقتراح نموذج مغلق لدارة الهواء، مع استرجاع الطاقة الحرارية الممتصة من الهواء في وحدة المجفف، واستثمارها في عملية تسخين أولي للماء الداخل الى المجمع الشمسي.

الدراسات المرجعية

➤ قام (Giuseppe Franchini, 2014) بنمذجة نظام تحليه لمياه البحر (ترطيب-تجفيف) مشغل بالطاقة الشمسية [1].

“Modeling of a solar driven HD (Humidification-Dehumidification)”. يعتمد على عمل وحدتي HD (الترطيب، التجفيف) بالطاقة الشمسية عن طريق محاكاة درجات الحرارة المنخفضة لنظام تحلية المياه وفق تقنية الترطيب، والتجفيف، بهدف تحسين مساحة التبادل الحراري في المبادلات الحرارية، ومعدلات تدفق الهواء، والكتلة المائية.

قام الباحث بالمقارنة بين نموذجين مختلفين لـ HD، وهما:

1- نظام تحلية المياه، والتبريد الشمسي المدمج (CNOF A).

2- وحدات تحلية المياه بالطاقة الشمسية، والتبريد الشمسي المنفصل (CNOF B).

وقام بإجراء نمذجة لمياه البحر، والمبرد، ومحاكاة سنوية لكافة أجزاء النظام، وذلك على مدار الساعة تبعاً لظروف مناخية مختلفة في إمارة أبو ظبي (الإمارات العربية المتحدة)، وقد بينت الدراسة:

- يتأثر أداء النظام بشدة بدرجة حرارة مياه البحر.
- يتأثر أداء امتصاص المبرد بشكل سلبي مع زيادة درجة حرارة مياه البحر.
- يسمح نظام تحلية المياه، والتبريد الشمسي المدمج بزيادة إنتاج المياه العذبة، في حين كان أداء امتصاص المبرد هو أسوأ بسبب ارتفاع درجات حرارة مياه التبريد.

➤ قام الباحث (M.H. El-Awady, 2014)، في بحثه المعنون "تحقيق تجريبي للبيوت الزجاجية الشمسية المتكاملة من أجل تحلية المياه، معالجة المياه الملوثة في المجتمعات المصرية النائية، والقاحلة" [2].
 "Experimental Investigation of an Integrated Solar Green House for Water Desalination, Plantation and Wastewater Treatment in Remote Arid Egyptian Communities"
 باستخدام نظام (ISGH) (Integrated Solar Green House) الذي يعتمد على مبدأ تحلية المياه بالطاقة الشمسية عن طريق تشييع الهواء بالرطوبة بهدف تحلية مياه المزارع، ومعالجة مياه الصرف الصحي. وقد أثبتت التجارب أنه يحبذ استخدام هذا النظام للأسباب التالية:

- 1- يقوم بتخفيض احتياجات المياه، وخاصة في المناطق القاحلة حيث المياه العذبة محدودة للغاية.
- 2- يعتبر هذا النظام وسيلة مهمة للحصول على المياه المحلاة الصالحة للزراعة، والري.
- 3- يمكن استخدامه في المجتمعات التي تعاني من مشكلة نقص المياه.

النتائج:

- كمية المياه المنتجة من هذا النظام خلال 18 ساعة تعادل 120 لتر.
- كمية المياه المنتجة من المقطر الشمسي خلال 18 ساعة تعادل 16 لتر.
- كمية مياه الصرف الصحي المعالجة خلال 18 ساعة تقدر بـ 5 لتر.

➤ قام (Armando, 2014)، في بحثه "استخدام برنامج المحاكاة TRNSYS لايجاد التصميم الأمثل لمنظومة تحلية مياه شمسية" [3].

"Using TRNSYS Simulation to Optimize the Design of a Solar Water Distillation System"

باستخدام المحاكاة العددية باستخدام برنامج (TRNSYS) لتصميم نظام تقطير المياه بالطاقة الشمسية بكفاءة أعلى اعتماداً على مبدأ (الترطيب، التجفيف)(HD) بالطاقة الشمسية، حيث تم ملاحظة ان:
 1- درجة حرارة مياه التغذية العالية كانت العامل الأكثر أهمية للحصول على معدلات أعلى من المياه المقطرة الناتجة.

- 2- في نظام (HD) يمكن اخلاء أنبوب تجميع الطاقة الشمسية الحرارية، والحفاظ على درجات حرارة الزيت فوق 180 C° مما يمكن الحفاظ على درجة حرارة مياه التغذية (90 C°)، وزيادة إنتاج المشتقات المقطرة.
- 3- تغذية عمود التقطير بالمياه المتكاثفة ذات درجة الحرارة الأقرب الى حالة الغليان تجعل من الممكن تحقيق أكبر قدر من الرطوبة المحيطة الواجب نقلها لكل واحدة كتلة من الهواء المتدفق.

➤ (MiqdamT.Chaichan,2015)، في بحثه "تعزيز إنتاجية المياه المسخنة بالطاقة الشمسية بالاعتماد على تركيز المقطر الشمسي، ومواد التغير الطوري (PCM)" [4].

"Water solar distiller productivity enhancement using concentrating solar water heater and phase change material (PCM)"

تم اعتماد نظام تتبع الشمس، وتركيز الإشعاع الشمسي من خلال تركيز اللاقط مع إضافة مواد متغيرة الطور للتخزين الحراري PCM إلى نظام تسخين المياه، وهو ما أدى الى:

- زيادة زمن عمل النظام حوالي (5) ساعات.
- تحسين كفاءة النظام حوالي (64.07%).

• زيادة كفاءة نظام التدفئة حوالي (112.87%).

• زيادة إنتاجية النظام حوالي (307.54%).

➤ وفي عام 2020 قام (Amir Reza Khedmati)، في بحثه "الأمثلة متعددة الاهداف

لنظام تحلية ترطيب - تجفيف لأجل الانتاجية، والحجم " [5].

"Multi-Objective Optimization of the Humidification-Dehumidification Desalination System for Productivity and Size"

بدراسة نموذج بسيط لنظام تحلية (تسخين الماء بواسطة الطاقة الشمسية) (ترطيب -تجفيف)، ومن ثم دراسة تأثير البارامترات المختلفة على أداء النظام. تمت النمذجة من خلال المحاكاة الرقمية، كما أن فرضيات خروج الهواء المشبع من المرطب تم افتراضها وفق المعايير العالمية المعتمدة، ومن ثم تمت المقارنة بين شكلين مختلفين لهذا النظام، ومن ثم تم اختيار النموذج المناسب لهدف البحث. من خلال معادلات انتقال الحرارة، والكتلة تم حساب ابعاد الأجزاء الرئيسية للنظام (المرطب-المجفف).

حيث تم التوصل الى ان نظام مرطب، ومجفف بحجم (48 L) تبلغ انتاجيته حوالي (379 L) من الماء النقي. كما قام الباحث بنمذجة بارامترات مختلفة، وتأثيرها على أداء النظام المقترح، وبسبب التأثيرات الكبيرة للمبادلات الحرارية، ومعدل التدفق الكتلي، وبسبب إمكانية التحكم بالنظام بواسطة معدل تدفق الكتلة، تم الإعتماد على هذا البارامتر لأجراء النمذجة.

توصل الباحث الى أن الانتاجية الأعظمية كانت (132[kg/h])، عند درجة حرارة تتراوح بين (85C°-65). أهمية البحث، وأهدافه

تكمن أهمية البحث في دراسة أثر إجراء بعض التحسينات على دارات التقطير الشمسي التقليدي، والتقطير التبخيري متعدد التأثير من خلال اقتراح نموذج رياضي لنظام تقطير شمسي يسمح باسترجاع قسم من الطاقة اللازمة للتبخير، والإستفادة من الاستطاعة التبريدية للعمود التبخيري التبريدي المستخدم في تكثيف البخار من الهواء الساخن شبه المشبع بكميات كبيرة من البخار، ولتحقيق ذلك فإننا قمنا بمايلي:

- اقتراح نموذج يسمح لنا انتاج الماء بتكاليف منخفضة نسبيا من مصادر مياه غير صالحة قريبة باستخدام طريقة التقطير بواسطة مصدر حراري متجدد (الطاقة الشمسية)، والاستفادة من الحرارة المهدورة.
- حل معادلات النموذج باستخدام برنامج (EXCEL).
- دراسة بعض المؤشرات الترموديناميكية لتشغيل هذا النموذج.
- دراسة كفاءة النموذج.

منهجية البحث

توصيف النظام المقترح

يتألف النظام المبين بالشكل (1) من دارتين أحدهما دارة هواء مغلقة، والثانية دارة ماء مفتوحة.

1- الدارة الأولى: دارة الهواء المغلق لضمان الاستفادة القصوى من الطاقة الحرارية الكامنة

على شكل رطوبة في الهواء حيث تقوم مروحة بتحرك الهواء في الدارة بسرعة تصل حتى $V_i = 1.5$ [m/s]، يتم تشغيلها بواسطة مصدر كهربائي قريب، أو من خلال دارة تغذية شمسية.

2- دارة الماء المفتوحة: تتألف من عمود تبخيري تبريدي (ترطيب الهواء) A، ومن عمود

تكثيف B، يحتوي على مبادل حراري HE.

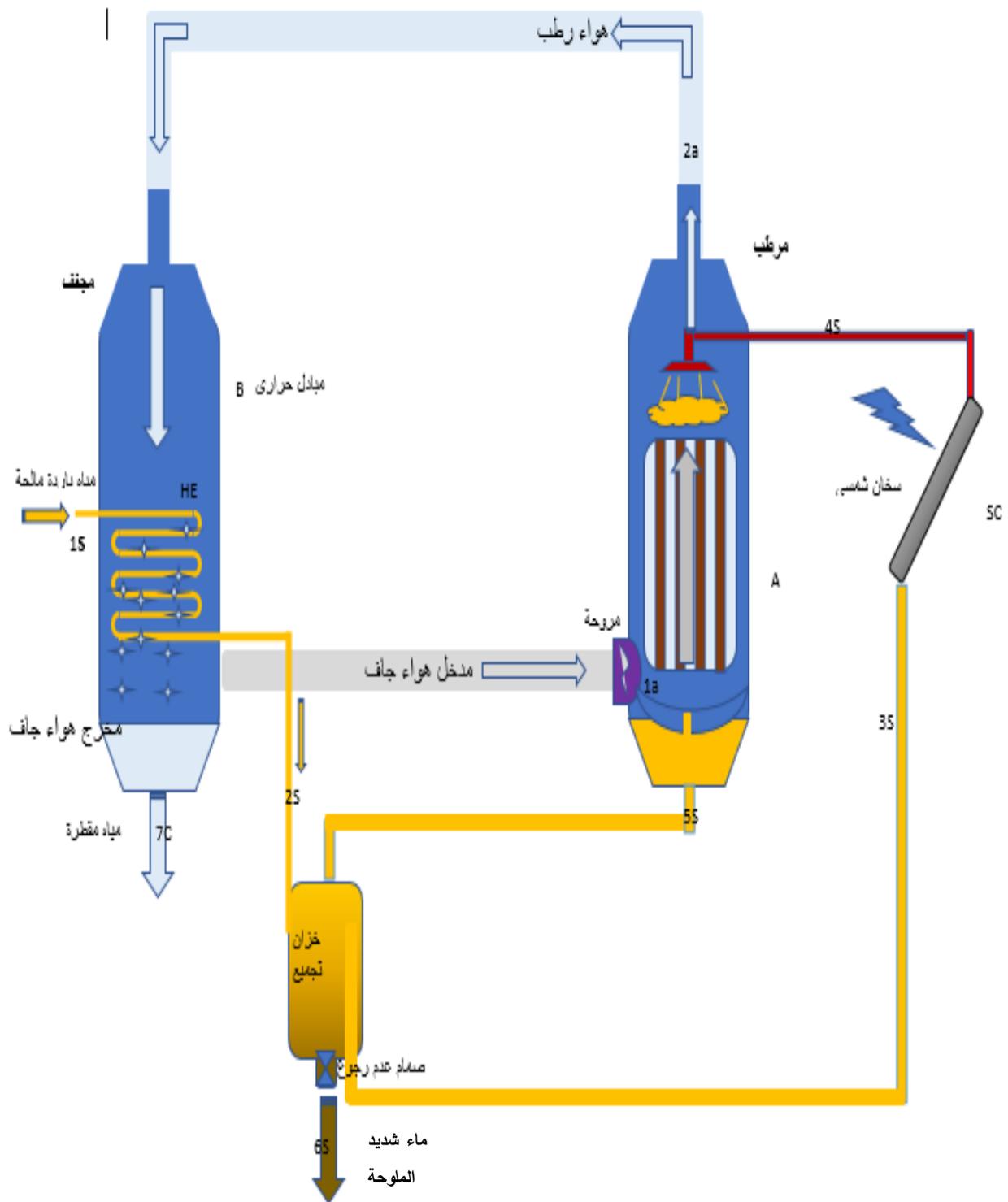
3- الطاقة الحرارية الأساسية بالدارة هي الطاقة الشمسية يتم الحصول عليها بواسطة لوح شمسي (SC) متصل مع خزان تجميع يلعب دور مبادل حراري من النوع المفتوح لاسترجاع الطاقة الحرارية الكامنة، والمحسوسة للاستفادة منها في عملية تسخين أولي لها قبل الدخول الى المجمع الشمسي.

عمل النظام

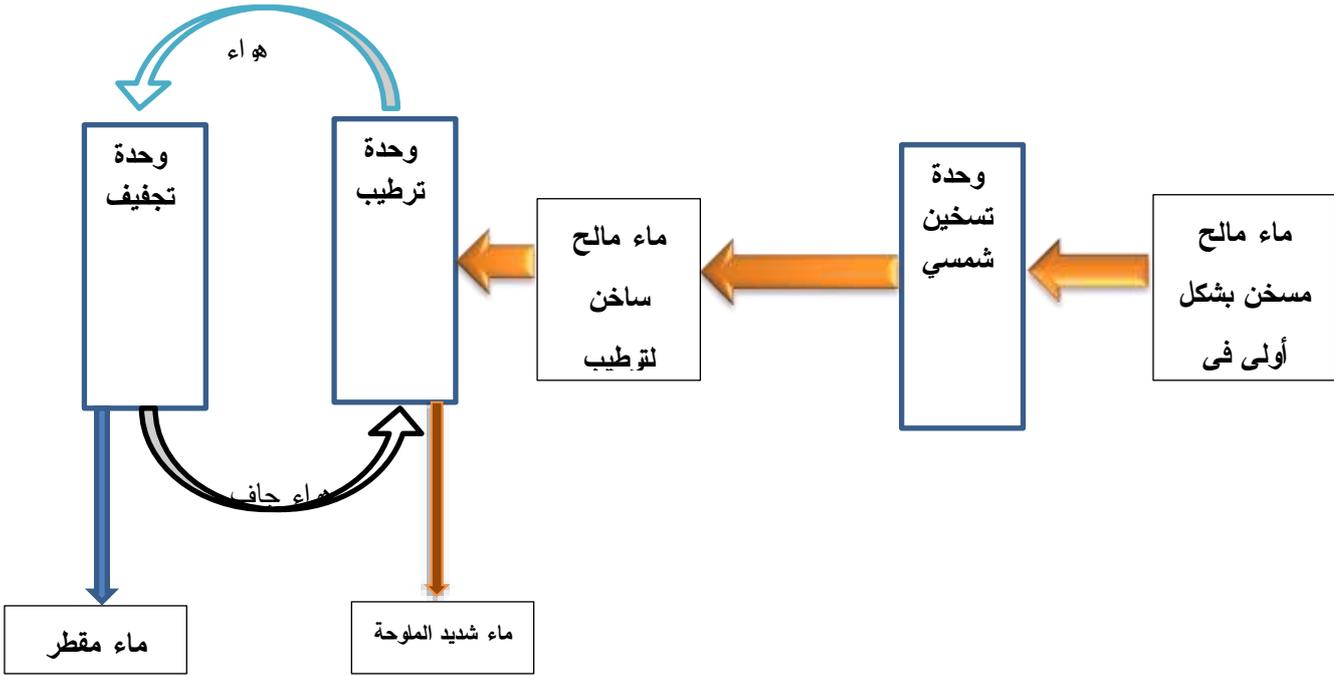
يبين الشكل (2) مخطط صندوقي لمبدأ عمل النموذج القائم على ترطيب الهواء الجاف المتحرك في دارة مغلقة بين وحدتي (المجفف - المرطب) بواسطة ماء مالح مسخن على مراحل عن طريق استرداد الطاقة الحرارية المنبذة من الدارة قبل دخوله الى وحدة تسخين شمسي، ومن ثم إعادة تجفيف الهواء للحصول على الماء المقطر.

يتم دخول الماء المطلوب تحليته مباشرة من المصدر بدرجة حرارة t_{1s} ، وتدفق m_{1s} الى المبادل الحراري HE الموجود في عمود التكثيف B حيث تتم فيه عملية تكثيف البخار من الهواء المحمل بالرطوبة النقية ليخرج الماء المقطر عند النقطة 7c.

يتابع الماء المالح بعد ان كسب عملية تسخين أولي طريقه ليخرج من المبادل الحراري HE عند النقطة 2s، ويدخل الى خزان التجميع.



الشكل (1) مخطط توضيحي لدورة تحلية مياه مفترضة عاملة على التقطير الشمسي تعتمد مبدأ (التربيط -التجفيف).



الشكل (2) مخطط صندوقي لمراحل عمل النموذج المقترح لدارة المقطر الشمسي

_ يدخل الماء المالح الى المجمع الشمسي بدرجة حرارة t_{3s} ، ويخرج منه بدرجة حرارة t_{4s} بعد ان يكون قد تعرض لعملية تسخين شمسي. يدخل الماء المالح بعدها عبر مرشحات الى عمود التبخير حيث تتم عملية تبادل حراري، وكتلي في العمود التبخيري على سطوح صفائح شاقوليه متوازية حيث ينساب الماء من أعلى الصفائح على شكل شرائط رقيقة، بينما يمر تيار من الهواء المحيط من أسفل العمود لينساب عبر الصفائح لتزداد هذه السرعة على امتداد الصفائح بسبب زيادة الحجم النوعي للهواء الناتج عن التبادل الحراري، والكتلي عند درجة حرارة T_{2a} ، ورطوبة نسبية ϕ_{2a} ، بينما يتم تبريد الماء على حساب العملية التبخرية الى درجة حرارة يحكمها تدفق الماء الساخن، ودرجة الحرارة الرطبة للهواء الموجود بالدارة.

يعود الماء الساخن غير المتبخر بعد ان يفقد جزء من حرارته المحسوسة، والكامنة بسبب الفعل التبخيري بواسطة الهواء الى خزان التجميع بدرجة حرارة t_{5s} .

يعتبر الخزان مبادل حراري من النوع المفتوح حيث يتم فيه الاستفادة من الطاقة الحرارية لهذا الماء في تسخين الماء المالح قبل دخوله الى المجمع الشمسي.

_ الفائض من الماء شديدة الملوحة، والأقل سخونة يتم طرده عبر صمام الى خارج الدارة عند النقطة 6s بدرجة حرارة t_{6s} ، وتدفق m_{6s} .

_ الماء النقي يخرج عند النقطة 7c بتدفق m_{7c} ، ودرجة حرارة t_{7c} .

النموذج الرياضي [6,7,8]

إن قدرة الهواء على استيعاب كميات من بخار الماء المشبع تعتمد على درجة الحرارة، والضغط في الدارة.

ان العلاقات النازمة لعمليات التبخير، والتكاثف تؤخذ من الخواص الترموديناميكية للهواء الرطب انطلاقاً من فرضية ان الهواء الرطب مكون من مركبتين هواء جاف، وبخار مشبع، وبالتالي فإن الضغط المطبق على عينه ما من الهواء الرطب هو مجموع مركبتين:

$$P = P_d + P_w \quad [\text{Pa}] \quad (1)$$

حيث:

d : دليل على الجاف.

w : دليل على الرطب.

P_d : الضغط الجزئي للهواء الجاف، $[\text{Pa}]$.

P_w : الضغط الجزئي لبخار الماء، $[\text{pa}]$.

يعرف ضغط الاشباع الجزئي لبخار الماء بأنه ضغط جزئي أعظمي لبخار الماء يصبح معه الهواء مشبعاً ببخار الماء، ولا يستطيع استيعاب المزيد منه P_{ws} ، وبالتالي فإن كل درجة حرارة توافقها قيمة معينة لضغط الإشباع. أما رطوبة الاشباع للهواء فهي كمية الرطوبة التي تستطيع عينه من الهواء الجاف استيعابها عند درجة حرارة، وضغط اشباع محددتين، وتتعلق بالضغط الكلي المطبق على العينة المدروسة بالعلاقة:

$$W_s = 0.622 \frac{P_{ws}}{P - P_{ws}} \quad (2)$$

P_{ws} : ضغط الإشباع الجزئي لبخار الماء، $[\text{Pa}]$.

W_s : رطوبة الإشباع للهواء، $[\frac{\text{kg}}{\text{kg da}}]$.

أما نسبة الرطوبة بالهواء عند درجة حرارة معينة، وضغط كلي معين تحسب من العلاقة:

$$W = 0.622 \frac{\phi \cdot P_{ws}}{P - \phi \cdot P_{ws}} \quad (3)$$

ϕ : الرطوبة النسبية للهواء الرطب، %.

$$W = 0.622 \frac{P_w}{P - P_w} \quad (4)$$

أما المحتوى الحراري (الإنتالبي) للهواء الرطب يحسب من العلاقة:

$$h = h_{da} + w \cdot h_w \quad (5)$$

h_{da} : دليل على الهواء الجاف.

h_{da} : إنتالبي الهواء الجاف، $[\frac{\text{kJ}}{\text{kg da}}]$.

h_w : إنتالبي بخار الماء المشبع في الهواء الرطب، $[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}]$.

h : إنتالبي الهواء الرطب، $[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}]$.

W : رطوبة الهواء، $[\frac{\text{kg}}{\text{kg da}}]$.

عند حالة الإشباع يصبح:

$$h_s = h_{da} + w_s \cdot h_w \quad (6)$$

نحسب كل من h_w ، h_{da} من العلاقات:

$$h_{da} = 1.006t \quad (7)$$

t : درجة الحرارة، [K].

$$(8) h_w = 2501 + 1.805t$$

- من الموازنة الكتلية للنظام لدينا:

$$(9) m_{7c} + m_{6s} = m_{1s}$$

- من الموازنة الحرارية للعمود التبخيري:

$$(10) \sum m_i h_i = \sum m_e h_e$$

ومنه نجد

$$\begin{aligned} m_{5s} \cdot h_{5s} + m_{2a} \cdot h_{2a} &= m_{1a} \cdot h_{1a} + m_{4s} \cdot h_{4s} \\ m_{1a} &= m_{2a} = m_a \\ m_{5s} \cdot h_{5s} - m_{4s} \cdot h_{4s} &= m_a (h_{1a} - h_{2a}) \end{aligned} \quad (11)$$

من أجل: $1 \left[\frac{kg}{s} \right] m_{4s}$

$$(12) m_{5s} = \frac{m_a (h_{1a} - h_{2a}) + h_{4s}}{h_{5s}}$$

(للماء)

$$h = C_w \cdot t$$

$$C_w: \text{السعة الحرارية للماء،} \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$$

وبالتالي:

$$(13) m_{5s} = \frac{m_a (h_{1a} - h_{2a}) + C_w \cdot t_{4s}}{C_w \cdot t_{5s}}$$

h_{1a}, h_{2a} : انتالبي الهواء قبل، وبعد عمود التبخير يتم ايجادها من علاقات الهواء الرطب من أجل

t_{db}, t_{2a} أو من جداول الهواء الرطب عند درجات الحرارة العاملة [8].

كمية الماء المتبخرة في العمود تحسب من العلاقات التالية:

$$(14) \Delta w = w_{2a} - w_{1a}$$

(Δw فرق محتوى الرطوبة بالهواء قبل، وبعد عملية الترطيب).

w_{1a} تحسب من أجل t_{db} (درجة حرارة نقطة الندى).

w_{2a} تحسب من أجل t_{2a} و ϕ .

أو عن طريق جداول الهواء الرطب عند درجات الحرارة العاملة.

- أما تدفق الماء المالح من المرش يحسب من العلاقة التالية:

$$(15) m_{4s} = m_{5s} + \Delta w$$

$$m_{5s} = 1 - \Delta w \quad (16)$$

وهي كمية الماء المالح المعادة الى الدارة.

- تدفق الماء الداخل الى اللوح الشمسي:

$$m_{3s} + m_{6s} = m_{2s} + m_{5s} \quad (17)$$

وبالتالي:

$$(18) m_{3s} = -m_{6s} + m_{2s} + m_{5s}$$

استطاعة التسخين اللازمة تحسب من العلاقة:

$$(19) Q_h = m_{3s} \cdot C_w \cdot (t_{4s} - t_{3s})$$

Q_h : استطاعة التسخين، [kW].

في حال عدم الاسترجاع الطاقى (تقطير الشمسي التقليدي):

$$(20) Q_{h0} = m_{1s} \cdot C_w \cdot (t_{4s} - t_{1s})$$

Q_{h0} : استطاعة التسخين المطلوبة في حالة عدم الاسترجاع الطاقى، [kW].

وبالتالى فإن الطاقة النوعية اللازمة لإنتاج (1[kg]) من الماء المقطر:

$$q_h = \frac{Q_h}{\dot{m}c}$$

$$q_{h0} = \frac{Q_{h0}}{\dot{m}c}$$

وبالتالى فإن معامل الاسترجاع الطاقى، والذي يعبر بدوره عن كفاءة النظام المقترح:

$$\mu_h = \frac{q_{h0} - q_h}{q_{h0}} \quad (21)$$

- من معادلة التوازن لعمود التكثيف:

$$(22) m_{1s} \cdot h_{1s} + m_{2a} \cdot h_{2a} = m_{2s} \cdot h_{2s} + m_{7c} \cdot h_{7c} + m_{1a} \cdot h_{1a}$$

- من الموازنة الحرارية للمبادل المفتوح:

$$(23) m_{2s} \cdot h_{2s} + m_{5s} \cdot h_{5s} = m_{6s} \cdot h_{6s} + m_{3s} \cdot h_{3s}$$

حساب مساحة اللوح الشمسي:

يتم إيجاد المساحة التقريبية للوح الشمسي اللازم للنظام، والتي تحددها الإنتاجية اليومية المطلوبة من الماء العذب، وكفاءة نظام التسخين الشمسي إضافة الى كفاءة أداء النموذج المدروس، ومعدل الإشعاع الشمسي المتاح.

- يتراوح معامل الإستفادة اليومي (Γ_d) من حقل شمسي بألواح مسطحة بين (0.45_0.55).

من أجل اللوح المدروس نفرض: $\Gamma_d = 0.5$.

- الطاقة اليومية اللازمة للنظام يتم حسابها من العلاقة:

$$(24) Q_{day} = q_h \cdot m_{c.day} / 3600$$

هذه الطاقة يجب أن يؤمنها اللوح الشمسي، والتي تحسب طاقته اليومية:

$$Q_{day.cF} = \Gamma_d \cdot G_d \cdot A_{cf} \quad (25)$$

A_{cf} : مساحة اللوح الشمسي، [m^2].

حيث G_d : معدل الإشعاع الشمسي اليومي على واحدة السطح للمنظومة [$kW/m^2.day$]

وبالتالى فإن:

$$(26) A_{cf} = \frac{q_h \cdot m_{c.day}}{3600 \cdot \Gamma_d \cdot G_d}$$

$A_{cf,qh}$: مساحة المجمع الشمسي بوجود استرجاع طاقى، [m^2].

$A_{cf,qh0}$: مساحة المجمع الشمسي دون استرجاع طاقى، [m^2].

الفرضيات

من أجل إيجاد النتائج من النموذج الرياضي سيتم اعتماد الفرضيات التالية:

- 1- الفواقد الحرارية في الدارة، وفي المبادلات الحرارية، وخزان التجميع مهملة، عند اعتماد عزل مناسب.
- 2- في العمود التبخيري يتم تسخين الهواء، وترطيبه حتى ($\phi=0.9$).
- 3- درجة حرارة دخول الماء المالح للتبريد ($T_{1s}=15\text{ C}^\circ$).
- 4- تم استنباط القيم من جداول الاشباع للهواء الرطب [10].
- 5- تم اعتبار شدة الاشعاع الشمسي بشكل تقريبي حسب كود العزل الحراري الصادر عن المركز الوطني لبحوث الطاقة، والمعتمد في الجمهورية العربية السورية [11], $G_d = 6.7 \left[\frac{kWh}{m^2.day} \right]$ ، حيث يبلغ المعدل اليومي الوسطي السنوي $G_d = 5.5 \left[\frac{kWh}{m^2.day} \right]$ ، وعند استثناء شهور الشتاء الثلاثة حيث يكون معدل الاشعاع منخفض، والحاجة الى المياه العذبة ايضا منخفض، فإنه تم اعتماد المعدل اليومي لبقية الشهور $G_d = 6.7 \left[\frac{kWh}{m^2.day} \right]$.

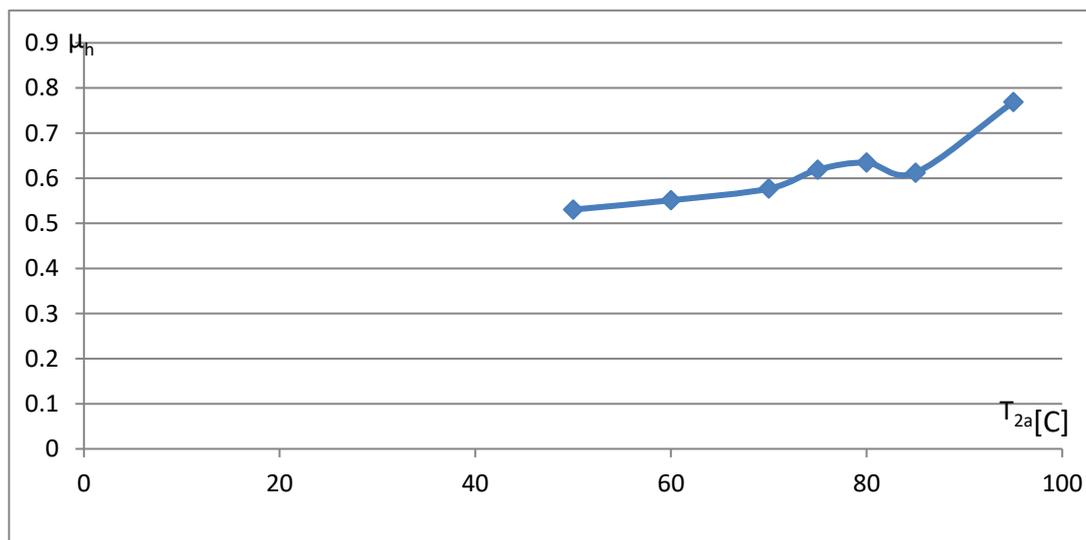
الجدول (1) القيم التصميمية للحسابات الحرارية حسب كود العزل السوري

| الرقم | المدينة | درجة الحرارة التصميمية C° | | الرطوبة النسبية التصميمية % | | المدى اليومي C° | معدل الاشعاع الشمسي الكلي التصميمي [kWh/m².day] | | سرعة الرياح [m/s] | اتجاه الرياح | | الارتفاع [m] | خط العرض | خط الطول |
|-------|-----------|---------------------------|-------|-----------------------------|-------|-----------------|---|-------|-------------------|--------------|-------|--------------|----------|----------|
| | | صيفاً | شتاءً | صيفاً | شتاءً | | صيفاً | شتاءً | | صيفاً | شتاءً | | | |
| 1 | دمشق | 40 | -2 | 20 | 75 | 19.69 | 7700 | 2820 | 5.5 | NW | W | 729 | 33.29 | 36.13 |
| 2 | حلب | 41 | -3 | 20 | 75 | 14.82 | 7630 | 2165 | 5.5 | W | E | 385 | 36.11 | 37.13 |
| 3 | حمص | 38 | -3 | 35 | 85 | 12.18 | 7500 | 2410 | 6 | SW | W | 483 | 34.48 | 36.43 |
| 4 | حمص | 40 | -2 | 25 | 80 | 14.74 | 7700 | 2315 | 5 | SW | W | 305 | 35.07 | 36.42 |
| 5 | الربيع | 40 | -3 | 30 | 75 | 15.3 | 7600 | 2350 | 4 | W | W | 390 | 34.58 | 36.44 |
| 6 | السلمية | 40 | -2 | 30 | 80 | 16.74 | 7700 | 2315 | 4 | SW | SW | 448 | 35.1 | 37.02 |
| 7 | اللب | 38 | -2 | 32 | 75 | 12.1 | 7580 | 2275 | 7 | W | W | 451 | 35.56 | 36.36 |
| 8 | طرطوس | 34 | 4 | 60 | 65 | 6.43 | 7120 | 2530 | 4.5 | SW | E | 5 | 34.52 | 35.53 |
| 9 | اللاذقية | 34 | 4 | 60 | 65 | 5.18 | 6590 | 2300 | 5.5 | S | NE | 7 | 35.32 | 35.46 |
| 10 | صافيتا | 35 | 1 | 40 | 75 | 7.97 | 7170 | 2385 | 6.5 | W | NE | 370 | 34.49 | 36.07 |
| 11 | مصيف | 37 | 0 | 30 | 65 | 15.28 | 7200 | 2380 | 5.5 | S | NE | 530 | 35.04 | 36.21 |
| 12 | صانق | 33 | -3 | 50 | 65 | 11 | 7200 | 3380 | 6 | S | NE | 1100 | 35.36 | 36.11 |
| 13 | كسب | 33 | 0 | 30 | 65 | 11.1 | 7650 | 2600 | 6 | S | NE | 730 | 35.56 | 35.59 |
| 14 | الفرع | 35 | 1 | 50 | 65 | 9.78 | 7200 | 2380 | 3.5 | S | NE | 370 | 35.25 | 36.05 |
| 15 | حميميم | 35 | 3 | 50 | 70 | 8.76 | 6700 | 2300 | 5 | S | SE | 48 | 35.24 | 35.57 |
| 16 | المسلمية | 40 | -4 | 22 | 75 | 15.33 | 7565 | 2350 | 5 | W | E | 415 | 36.2 | 37.13 |
| 17 | درعا | 39 | -1 | 20 | 75 | 14.04 | 7280 | 2880 | 4.5 | W | SW | 543 | 32.36 | 36.07 |
| 18 | السويداء | 37 | -3 | 25 | 75 | 14.57 | 7275 | 2570 | 5 | W | SW | 1015 | 32.41 | 36.34 |
| 19 | الزرع | 38 | -2 | 20 | 70 | 17.75 | 7200 | 2900 | 4.5 | W | SW | 570 | 32.51 | 36.14 |
| 20 | المتنطرة | 37 | -2 | 32 | 85 | 13.65 | 7275 | 2800 | 8 | NW | W | 941 | 33.07 | 35.49 |
| 21 | تدمر | 43 | -3 | 20 | 75 | 16.17 | 7640 | 2755 | 7 | W | W | 400 | 34.33 | 38.18 |
| 22 | التف | 42 | -3 | 20 | 75 | 17.54 | 8000 | 3020 | 5.5 | W | W | 712 | 33.29 | 38.39 |
| 23 | اليوكمال | 44 | -3 | 20 | 65 | 15.16 | 7850 | 2940 | 4 | W | W | 175 | 34.26 | 40.55 |
| 24 | دير الزور | 43 | -3 | 16 | 75 | 14.62 | 7320 | 2630 | 5.5 | NW | NW | 215 | 35.17 | 40.1 |
| 25 | الركبة | 42 | -3 | 20 | 75 | 14.95 | 7660 | 2490 | 5 | W | E | 246 | 35.54 | 39 |
| 26 | الغابلس | 43 | -2 | 30 | 70 | 16.31 | 7255 | 3355 | 3.5 | W | N | 449 | 37.02 | 41.12 |
| 27 | الحسكة | 44 | -4 | 18 | 75 | 18.44 | 7465 | 2380 | 4 | W | NW | 307 | 36.31 | 40.42 |
| 28 | جرابلس | 41 | -3 | 20 | 70 | 17.5 | 7200 | 2275 | 4 | W | SE | 351 | 36.49 | 38 |
| 29 | تل أبيب | 42 | -3 | 25 | 75 | 19.8 | 7300 | 2280 | 3 | W | SE | 348 | 36.42 | 38.57 |
| 30 | التريا | 40 | -1 | 30 | 80 | 15.18 | 7750 | 2760 | 7 | W | SW | 460 | 35.24 | 37.5 |
| 31 | النيك | 35 | -5 | 25 | 75 | 14.69 | 7645 | 2610 | 5 | N | S | 1329 | 34.01 | 36.44 |
| 32 | سرغايا | 35 | -5 | 25 | 75 | 18.5 | 7785 | 2630 | 5.5 | NW | NW | 1400 | 33.48 | 36.1 |
| 33 | الزبداني | 35 | -5 | 20 | 75 | 15.61 | 7650 | 2610 | 5 | NW | NW | 1200 | 33.43 | 36.07 |
| 34 | قطنا | 39 | -3 | 25 | 75 | 18.14 | 7600 | 2700 | 5.5 | NW | W | 875 | 33.26 | 36.04 |
| 35 | خرايب | 40 | -3 | 20 | 75 | 22.36 | 7720 | 2770 | 2 | W | W | 620 | 33.3 | 36.28 |
| 36 | الثل | 38 | -3 | 25 | 75 | 16.5 | 7700 | 2800 | 4.5 | W | N | 950 | 33.36 | 36.19 |

يبين الجدول (2) نتائج دراسة نموذج لمنظومة تحلية مياه مالحة قيد الانشاء كجزء من أطروحة دكتوراة تبين علاقة الانتاجية بدرجة حرارة الهواء الرطب، وكمية الحرارة اللازمة للتسخين مع أو بدون استرجاع، ومساحة المجمعات الشمسية المطلوبة.

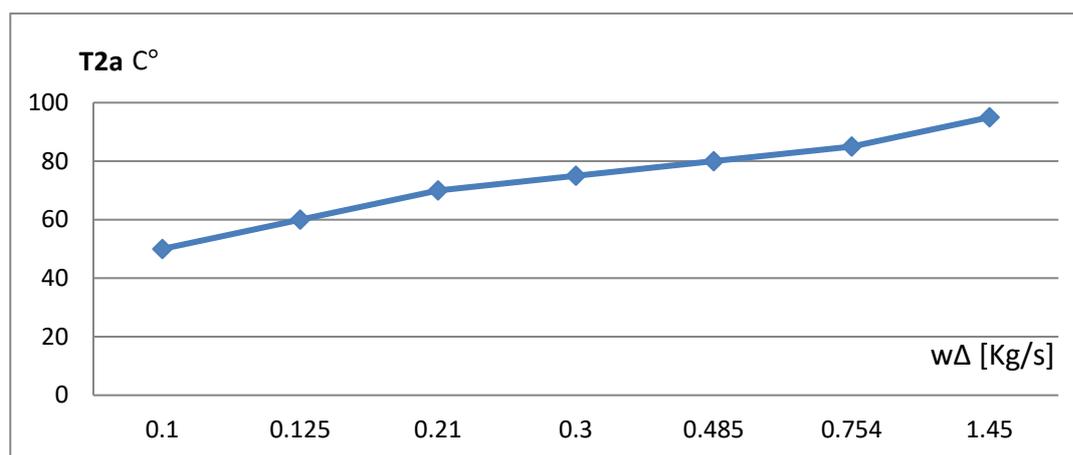
الجدول(2) نتائج حساب النموذج الرياضي لدارة المقطر الشمسي المفترضة

| T_{2a} | Δw | \dot{m}_c | q_h | q_{ho} | μ_h | A_{cf,q_h} | $A_{cf,q_{ho}}$ | $\frac{A_{cf,q_{ho}} - A_{cf,q_h}}{A_{cf,q_{ho}}}$ |
|----------|------------|-------------|-------|----------|-------------|--------------|-----------------|--|
| C° | Kg/s | Kg/s | KJ/kg | kJ/kg | ----- | m^2 | m^2 | % |
| 50 | 0.1 | 0.045 | 2700 | 5750 | 0.530434783 | 36.26866 | 77.23881 | 53.0435 |
| 60 | 0.125 | 0.085 | 2020 | 4500 | 0.551111111 | 51.25373 | 114.1791 | 55.11 |
| 70 | 0.21 | 0.142 | 1354 | 3200 | 0.576875 | 57.39343 | 135.6418 | 57.68 |
| 75 | 0.4 | 0.3 | 1145 | 3004 | 0.618841545 | 102.5373 | 269.0149 | 61.88 |
| 80 | 0.55 | 0.45 | 1005 | 2750 | 0.634545455 | 135 | 369.403 | 63.454 |
| 85 | 0.754 | 0.6 | 950 | 2450 | 0.612244898 | 170.1493 | 438.806 | 61.22 |



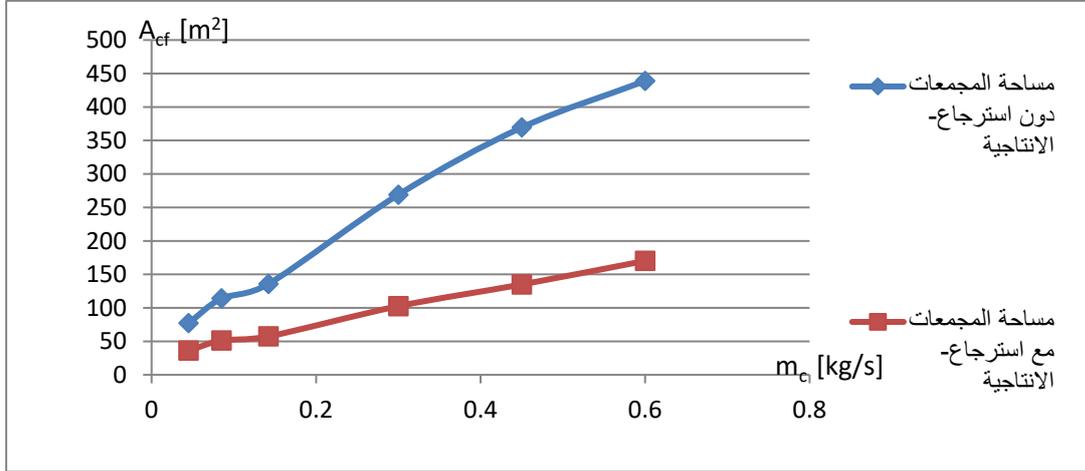
الشكل(3) تأثير درجة حرارة الهواء الرطب على معامل استرجاع الطاقة

يبين (الشكل 3) زيادة معامل استرجاع الطاقة مع زيادة درجة حرارة الهواء الرطب، وهو ما يتطلب بالضرورة سطوح مبادلات حرارية أكبر في وحدة التجفيف.



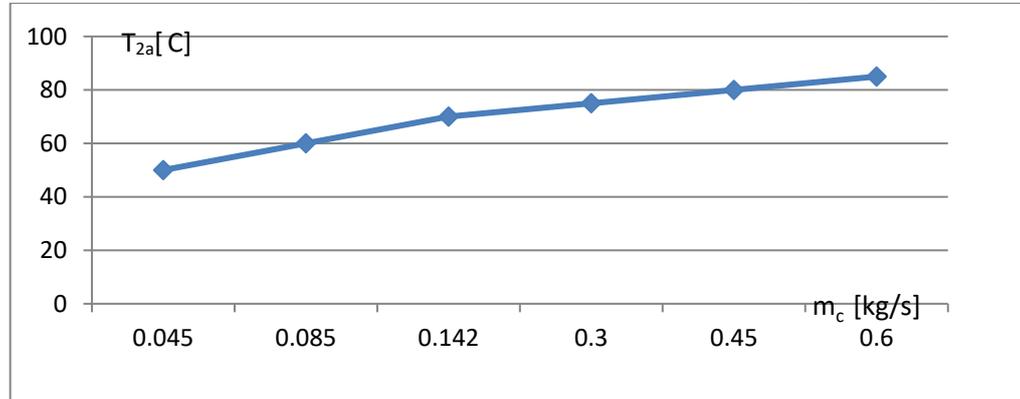
الشكل(4) تأثير درجة حرارة الهواء الرطب على كمية البخار المحمول

يبين (الشكل 4) أنه كلما زادت درجة حرارة الهواء المتدفق عبر المرطب كلما زادت كمية البخار المحمول حيث يزداد الحجم النوعي له كلما زادت رطوبته النوعية.



الشكل (5) تأثير استرجاع الطاقة على مساحة المجمع الشمسي عند انتاجيات مختلفة

نلاحظ من (الشكل 5) بأنه عند نفس الانتاجية تتناقص مساحة المجمع الشمسي الى النصف، أو أكثر تقريباً عند استرجاع الطاقة. وذلك بسبب عدم الحاجة الى اعادة تسخين الماء البارد الداخل الى الدارة، وتوفير الحرارة المهدورة في تسخين اولي للماء الداخل الى المجمع.



الشكل (6) تأثير درجة حرارة الهواء الرطب على الانتاجية

يبين (الشكل 6) زيادة الانتاجية مع زيادة درجة حرارة الهواء الخارج من المرطب، والذي يفسر بسبب زيادة كمية بخار الماء المحمولة مع الهواء.

النتائج والمناقشة

توصلنا من خلال نمذجة النظام المفترض الى أن:

- 1- إنتاجية المنظومة من الماء المقطر تتأثر بدرجة حرارة الماء المتبخر في المرطب حيث انها تتجاوز 0.6 kg/s عند درجة الحرارة 85°C ، وتتناقص بشكل كبير حتى تصل الى 0.045 kg/s عند 50 C°، وهذا بسبب زيادة الرطوبة النوعية للهواء الرطب مع زيادة درجة حرارة الماء المرشوش، وزيادة الحجم النوعي للهواء الصاعد في المرطب مما يؤدي لزيادة الماء المقطر المنتج.
- 2- تقدر الانتاجية النوعية لمقطر شمسي صندوقي عالمياً (3.5 [kg/m² day]) وفق [9]، في حين بلغت الانتاجية النوعية لدارة تعتمد دارة الهواء المفتوحه (15.7 [kg/m² day]) [9]، أما الانتاجية للدارة المقترحة فقد بلغت وسطياً (21.6 [kg/m² day]).
- 3- معامل استرجاع الطاقة يتغير بشكل كبير مع درجة حرارة الماء الساخن، وكلما ارتفعت درجة حرارة المسخن كلما زادت فعالية استرجاع الطاقة، لذا سوف يتم العمل على استخدام مجمع شمسي بمواصفات عالية للاستفادة القصوى من استرجاع الطاقة.
- 4- تؤكد الدراسة على ان إنتاجية الماء المقطر تزداد مع زيادة مساحة المجمع الشمسي بشكل كبير، بسبب زيادة كمية الماء الساخن المنتج الداخلى الى المرطب.
- 5- للحصول على نفس الانتاجية من الماء المقطر وجدنا أن عملية استرجاع الطاقة ساهمت في تخفيض مساحة المجمعات الشمسية بحدود (58%) وسطياً، مما يؤدي الى تقليل التكاليف، وتخفيض المساحات المطلوبة لعمل مثل هذه المنظومات.
- 6- يعبر معامل استرجاع الطاقة عن كفاءة النظام المقترح حيث بلغت كفاءته بشكل وسطي (58%).
- 7- تنخفض الطاقة النوعية اللازمة لإنتاج (1kg) من الماء النقي مع ارتفاع درجة حرارة التسخين، وهو يعني بالضرورة زيادة كفاءة المحطة، ومنافستها، حيث يصل معدل الاستهلاك الطاقى النوعي للمقطرات التبخيرية الى (0.75 [kWh/kg]) [6].

التوصيات: دراسة تأثير استخدام مجمع شمسي بدارة مغلقة تستخدم وسيط عامل من الزيت المغلي على انتاجية المنظومة، ومساحة المجمعات المطلوبة للتسخين، ودوره في تطوير عمل المنظومة واسترجاع الطاقة.

Reference

1. Giuseppe Franchini, Antonio Perdichizzi, **Modeling of a solar driven HD (Humidification-Dehumidification), desalination system**, Energy Procedia 45 (2014) 588 – 597.
2. M.H. El-Awady, H.H. El-Ghetany, M. Abdel Latif, **Experimental Investigation of an Integrated Solar Green House for Water Desalination, Plantation and Wastewater Treatment in Remote Arid Egyptian Communities**, Energy Procedia 50 (2014) 520 – 527 .
3. Armando Juarez-Trujillo, Ignacio R. Martín-Domínguez, **Using TRNSYS Simulation to Optimize the Design of a Solar Water Distillation System**, Energy Procedia 57 (2014) 2441 – 2450.
4. Miqdam T. Chaichan , Hussein A. Kazem , **Water solar distiller productivity enhancement using concentrating solar water heater and phase change material (PCM)**, Case Studies in Thermal Engineering 5(2015)151–159 .
5. Amir Reza Khedmati, Mohammad Behshad Shafii, **Multi-Objective Optimization of the Humidification-Dehumidification Desalination System for Productivity and Size**, Journal of Renewable Energy and Environment, Vol.7, No.1, (Winter 2020) 1-11.
6. Xing Li, Guofeng Yuan, Zhifeng Wang, Hongyong Li, Zhibin Xu, **Experimental study on a humidification and dehumidification desalination system of solar air heater with evacuated tubes**, {Desalination 351 (2014) 1–8}.
7. Bahy Gabra, Mohamed Rady, **Modeling and control of solar- driven humidification–dehumidification desalination plant**, {Journal of Electrical Systems and Inf Technol 6:7(2019)}.
8. BAEHR, H. D.; STEPHAN, K.M, 2006- **Heat and Mass Transfer**.
John Willey, 2nd.ed. New York, 705.
9. DAWOOD, M.; TEAMAH, M, 2020- **A Review Study of Experimental and Theoretical Humidification Dehumidification Solar Desalination Technology**
{Computational Water, Energy, and Environmental Engineering, 2020, 9, 48–74}.

المراجع العربية

- 10- نبيل، غدير، 2008- **التدفئة وتكييف الهواء**، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، جامعة تشرين، 400 صفحة.
- 11- كود العزل الحراري للأبنية في الجمهورية العربية السورية، وزارة الكهرباء، المركز الوطني لبحوث الطاقة، 2007.

A study to improve the qualitative productivity of a solar distillation desalination plant

Professor Doctor Engineer jihad baddor; Professor Doctor Engineer Ramie Georg; Engineer Mohamed AL-assaf.