

الدراسة النظرية لنظام تحلية مياه البحر بطريقة التجفيف والترطيب باستعمال مسخن هواء شمسي مسطح مضاعف

الباحث: م. بشار شيخ عبد الله

□ ملخص □

الهدف من هذا البحث هو إجراء دراسة نظرية لتأثير ظروف التشغيل المختلفة لنظام التحلية، وأنواع سخانات الهواء، وبعض معايير التصميم المختلفة وحالة الطقس على تحلية المياه بالطاقة الشمسية تحت الشروط المناخية لمدينة اللاذقية والتي تقع على خط عرض (35.5°) شمال خط الاستواء .

ولهذا الهدف تم وضع برنامج في بيئة (matlab) على أساس النموذج الرياضي لهذا النظام , تتألف وحدة التحلية المقترحة من مسخن هواء شمسي مسطح مضاعف بغطاء زجاجي مزدوج , حجرة ترطيب (تبخير), مسخن ماء شمسي, حجرة تجفيف (تكثيف) . ويستند هذا النظام على مبدأ الدارة المغلقة للماء والدارة المفتوحة للهواء . يتم تسخين الهواء باستخدام مسخن هواء شمسي مسطح مضاعف القناة ويتم تسخين الماء بمسخن ماء شمسي مسطح.

تبين الدراسة أن عملية (التسخين - الترطيب) في حجرة الترطيب هي أفضل من حيث الإنتاجية مقارنة مع عملية (التبريد - الترطيب) من أجل نفس الشروط الابتدائية للهواء . كما تبين أن الإنتاجية تزداد بنسبة (30%) على الأقل عند استخدام مسخن هواء شمسي مضاعف مقارنة مع إنتاجية الدارة بدون استخدام مسخن هواء شمسي , وأن زيادة تدفق هواء التغذية يلعب دورا أكبر في الإنتاجية مقارنة مع زيادة تدفق ماء التغذية , وإن درجة حرارة المزيج (بخار + هواء) على مخرج حجرة الترطيب تتأثر بشكل ضئيل بمعدل تدفق ماء التغذية , وتتأثر بشكل كبير بمعدل تدفق هواء التغذية , وأن أفضل إنتاجية للدارة نظريا هي (57 kg/day) .

الكلمات المفتاحية : تحلية مياه البحر بالطاقة الشمسية , التجفيف والترطيب, مسخن هواء شمسي مسطح مضاعف, طاقة شمسية .

Theoretical investigation of a humidification dehumidification desalination sea water system configured by a double-pass flat plate solar air heater

Eng. Bashar shikh Abdullah

Faculty of Mechanical and Electrical , Tishreen University.

□ Abstract □

The aim of this research is to conduct a theoretical study of the impact of different operating conditions of the desalination system, types of air heater, and some different design parameters and a weather condition on a solar water desalination system performance under the climatological conditions of Lattakia, located at 35.5 ° latitude north of the Equator.

For this purpose, a program has been developed in a matlab environment based on the mathematical model of this system. The proposed desalination unit consists of a double flat solar air heater with a double glass cover, a fumigation chamber, a solar water heater, and a condensing chamber. This system is based on the principle of closed water circuit and open air circuit.

The air is heated using a flat solar heater and the water is heated by a flat solar water heater. It turns out that the process of heating - humidification in the humidification chamber is better in terms of productivity compared to the process of cooling - humidification for the same conditions of the initial air.

It is also shown that productivity increases by at least 30% when using a double solar air heater compared to the circuit without the use of a solar air heater, and that the increase in the flow of nutrition air plays a greater role in productivity compared to increasing the flow of water. Steam and air) on the outlet of the humidification chamber are minimally affected by the flow rate of feed water, and are significantly affected by the flow rate of feed air, Theoretically the best productivity of the circuit is (57 kg / day).

Keywords: Solar desalination, Humidification-dehumidification , Double-pass flat plate solar air heater, Solar power, Energy conservation

1- مقدمة :

على مدى العقود الأربعة الأخيرة بدأت تشح المياه في سوريا مع ما يرافقها من جفاف لبعض الأنهار مثل القويق وبردی والكبير الشمالي مع انحسار للمناطق الخضراء ذلك بسبب التغيرات المناخية العالمية والناجمة عن التلوث، مما سيؤجج الصراع على المياه في هذه المنطقة. لذا لا بد من البحث عن مصادر مستقبلية لمياه الشرب والري مثل تحلية مياه البحر. بينت الأبحاث [1], [2], [3] أن عمليات التحلية الرئيسية لمياه البحر تستهلك كمية كبيرة من الطاقة الحرارية والكهربائية الناتجة عن النفط والغاز الطبيعي، كما ينبعث عنها غاز CO_2 الضار. بينما تستخدم عملية التحلية بواسطة الطاقة الشمسية تقنيات الطاقة المتجددة لإنتاج المياه العذبة. إن الجمع بين مبدأ التجفيف والترطيب والتحلية بالطاقة الشمسية يؤدي إلى زيادة كفاءة ومردود محطات التحلية. وسوف تتم مقارنة طرق التحلية المختلفة مع بعضها البعض من أجل تحديد الطريقة الأكثر الاقتصادية مقارنة مع الطرق الأخرى. في الدراسة التي قام بها العالم (Delyannis) [4] للمحطات ذات الإستطاعات الصغيرة تقريباً أقل من ($70 m^3/day$)، بينما تكلفة محطات التحلية باستخدام اللواقط الشمسية كبيرة مقارنة مع الطرق الأخرى لأنها تحتاج إلى مساحات كبيرة من اللواقط الشمسية، كما ظهر بأنه لإنتاج ($1 m^3/day$) من المياه العذبة فإننا نحتاج إلى ($250 m^2$) من اللواقط الشمسية المسطحة، وبالتالي فهذه الطريقة غير اقتصادية والسبب في ذلك هو ضياع الحرارة الكامنة في المكثف إلى الوسط الخارجي وعدم الاستفادة منها. قام العالم (Glueckstern) [5] بالمقارنة بين طريقتي التناضح العكسي (RO) ومتعدد التأثير (MED) وذلك لمحطتين تعملان تقريباً بنفس الشروط والإستطاعات وكلفة البناء. وذلك من أجل إستطاعتين مختلفتين ($20000 - 200000 m^3/day$) فبين بان الكلفة الإستثمارية للمحطة التي تعمل بطريقة (RO) بإستطاعة ($20000 m^3/day$) هي ($20 \$/L$) مقارنة مع ($48 \$/L$) للمحطة التي تعمل بطريقة (MED)، وأيضاً الكلفة الإستثمارية للمحطة التي تعمل بـ (RO) بإستطاعة ($200000 m^3/day$) هي ($160 \$/L$) مقارنة مع ($380 \$/L$)

للمحطة التي تعمل بـ (MED). أيضاً الكلفة الكلية لإنتاج الماء (كلفة الإنشاء + كلفة الاستثمار) في الطريقة (RO) أقل منها للمحطة التي تعمل بالطريقة (MED) . حيث أن المحطة التي تعمل باستطاعة (20000 m³/day) بالطريقة (RO) تكلف (0.77 \$/m³) مقارنة مع (0.89 \$/m³) بالطريقة (MED)، والمحطة التي تعمل باستطاعة (200000 m³/day) بالطريقة (RO) تُكلف (0.66 \$/m³) مقارنة مع (0.71 \$/m³) بالطريقة (MED). بالتالي فإن طريقة التناضح العكسي أكثر اقتصادية من طريقة (MED).

قام العالم (El – Dessouky) [6] ، بمقارنة ثلاث محطات إحداها تعمل بطريقة التجفيف والترطيب (HD) والثانية بطريقة التحلية الوميضية متعددة المراحل (MSF) والثالثة بطريقة التناضح العكسي (RO) ، حيث تم تشغيل هذه المحطات بالاستفادة من حرارة الغازات المغادرة للنفثات الغازية والمطروحة إلى الوسط الخارجي. المحطات الثلاثة تقريباً نفس الحجم ونفس كلفة الإنشاء .

ولقد تمت مقارنتها من ناحية كلفة الاستثمار وكمية استهلاك الطاقة ، فتبين بأن طريقة التجفيف والترطيب تستهلك (3.9772 kw) لإنتاج (1 L) من المياه العذبة مقارنة مع (23.9 kw) لإنتاج (1 L) ليتر من المياه العذبة بطريقة (MSF) و (49 kw) بطريقة التناضح العكسي (RO)، كما أن تكلفة إنتاج (1 m³) من الماء المنتج هي (287 \$) لطريقة التجفيف والترطيب مقارنة مع (3642\$) و (1906\$) للطريقتين (RO) و (MSF) على الترتيب . وبالتالي فإن طريقة التجفيف والترطيب هي الأكثر اقتصادية مقارنة مع الطرق الأخرى .

2- أهمية البحث وأهدافه :

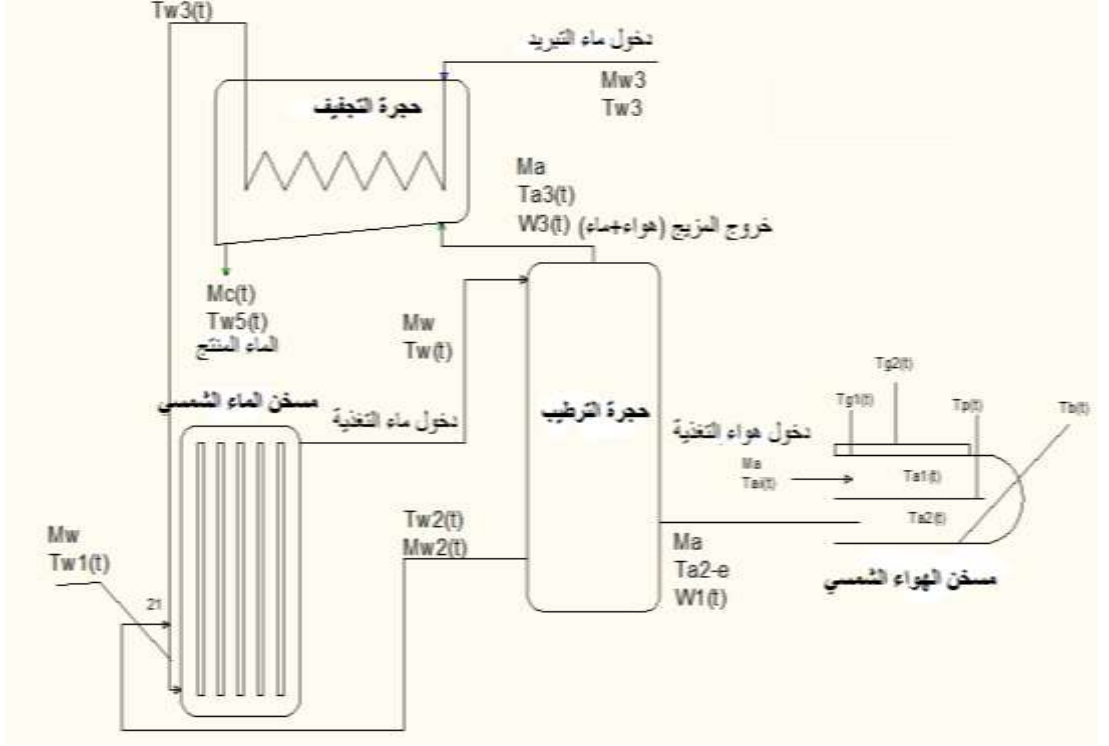
بما أن مصادر الطاقة محدودة وفي طريقها إلى النفاذ لا بد من الاستفادة من الطاقات المتجددة في تحلية مياه البحر مثل الطاقة الشمسية، أن الهدف من هذا البحث هو دراسة محطة لتحلية مياه البحر وتصميم منشأة - نموذج لتحلية مياه البحر باستخدام الطاقة الشمسية، من ثم وضع نموذج رياضي لهذه المنشأة ووضع برنامج في بيئة الـ (Matlab) تحت الشروط المناخية لمدينة اللاذقية والتي تقع على خط عرض (35.5) شمال خط

الاستواء. حيث تم في البداية إجراء دراسة مرجعية لبعض طرق تحلية مياه البحر من حيث الانتاجية والكلفة الاقتصادية، وأيضاً دراسة مرجعية موثقة لمنشآت تحلية مياه البحر بطريقة الترطيب والتجفيف .

وقد تم توضيح بنية كل منشأة من هذه المنشآت وكذلك الخصائص المميزة لها والنتائج التي تم التوصل إليها من قبل الباحثين وتحديد العوامل المؤثرة في إنتاجيتها، تبين الدراسات المرجعية أن معظم منشآت تحلية مياه البحر تعتمد إما على تسخين الهواء أو تسخين الماء المالح أو كليهما دون توثيق علمي نظري وتوصيف لأهمية كل حالة من هذه الحالات . ومن دون توضيح قيم درجات حرارة الهواء وماء البحر، ومن الممكن تمييز عمليتين في حجرة الترطيب اعتماداً على المخطط البسايكومتري للهواء وهي إما عملية (التبريد - الترطيب)، أو (التسخين - الترطيب) ، وبالرجوع الى العمليتين تبين أن عملية (التسخين - الترطيب) يمكن أن تعطي نتائج أفضل في الانتاجية مقارنة مع (التبريد - الترطيب)، ولذا تم تبني هذه العملية، حيث تم تسخين ماء البحر في مسخن ماء باستخدام الطاقة الشمسية الى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الهواء المسخن في مسخن الهواء الشمسي.

3- مخطط دارة التحلية العاملة بطريقة الترطيب والتجفيف

يبين الشكل (1) مخطط دارة التحلية والتي تتكون من حجرة الترطيب، وحجرة التجفيف، ومسخن هواء شمسي، ومسخن ماء شمسي. يدخل الهواء إلى مسخن الهواء الشمسي الذي يقوم بتسخين الهواء، ثم إلى حجرة الترطيب، أما ماء البحر فيدخل الى حجرة التجفيف (المكثف) ثم إلى مسخن الماء الشمسي والذي يقوم بتسخين ماء البحر الى درجة الحرارة المطلوبة، فيمتزج الهواء مع بخار الماء المشكل داخل حجرة الترطيب، فيخرج هذا المزيج من أعلى حجرة الترطيب إلى المكثف فيتم تكثيف بخار الماء والحصول على الماء النقي.



الشكل (1) مخطط دائرة التحلية

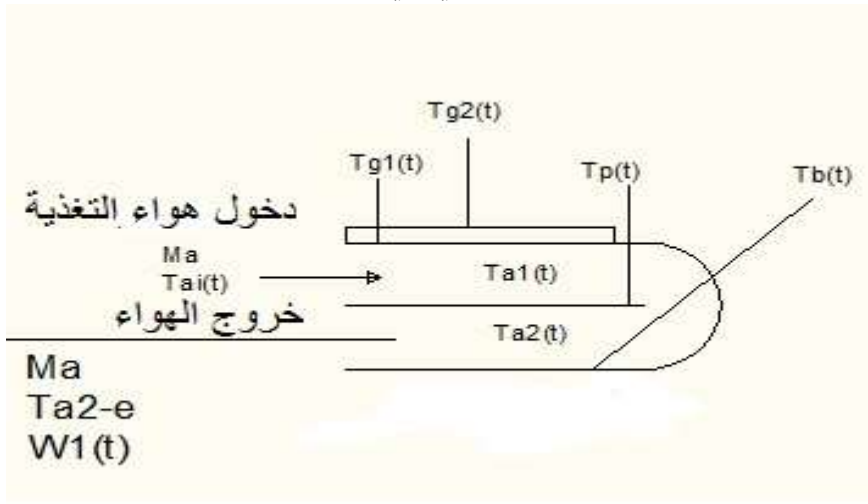
3-1- الدراسة النظرية ومعادلات التوازن

قبل دراسة توازن الطاقة لكل جزء من أجزاء الدارة, لا بد من الأخذ بعين الاعتبار

الفرضيات التالية :

- 1- إهمال التبادل الحراري بين كل من مسخن الهواء الشمسي , حجر الترطيب , حجر التجفيف مع الوسط الخارجي مهمل .
- 2- لا يوجد تسرب للهواء من الدارة وعندما يمر الهواء خلال المسخن الشمسي أو حجر الترطيب أو حجر التجفيف .
- 3- درجة حرارة الماء المغادر لحجرة الترطيب تساوي درجة حرارة الهواء الرطب المغادر لحجرة الترطيب .
- 4- فعالية حجر الترطيب تساوي الواحد عندما يغادر الهواء حجر الترطيب عند شروط الإشباع . لذا فان درجة الحرارة الرطبة تساوي درجة الحرارة الجافة .

- 5- تتم عملية التجفيف (إزالة الرطوبة) على منحنى الإشباع .
 - 6- درجة حرارة الماء الداخل الى حجرة الترطيب تساوي درجة حرارة الماء داخل الخزان المجمع .
 - 7- تبقى درجة حرارة ماء التبريد ثابتة خلال اليوم .
 - 8- الإشعاع الشمسي , درجة حرارة الوسط الخارجي , سرعة الرياح , والرطوبة النسبية للهواء الخارجي تبقى ثابتة خلال الساعة .
- معادلة توازن الطاقة لمسخن الهواء الشمسي هي:



الشكل (2) مخطط مسخن الهواء الشمسي

الغطاء الزجاجي الثاني: [7]

$$m_g \cdot C_{p-g} \cdot \frac{dT_{g2}}{dt} = I \cdot \alpha_g \cdot A_a + q_{r,g1-g2} - q_{c,g2-amb} - q_{r,g2-sky} + q_{c,g1-g2} \quad (1)$$

الغطاء الزجاجي الأول :

$$m_g \cdot C_{p-g} \cdot \frac{dT_{g1}}{dt} = I \cdot \alpha_g \cdot \tau_g \cdot A_a - q_{r,g1-g2} - q_{c,g1-a1} + q_{r,p-g1} - q_{c,g1-g2} \quad (2)$$

قناة الهواء الأولى (الأعلى) :

$$m_a \cdot C_{p-a} \cdot \frac{dT_{a1}}{dt} = q_{c,p-a1} + q_{c,g1-a1} - M_a C_{p-a} (T_{a1-e} - T_{a-i}) \quad (3)$$

الصفحة الماصة: [7]

$$m_p \cdot C_{p-p} \cdot \frac{dT_p}{dt} = I \cdot \alpha_g \cdot \tau_g^2 \cdot A_a - q_{c,p-a2} - q_{c,p-a1} - q_{r,p-g1} - q_{r,p-b} \quad (4)$$

قناة الهواء الثانية :

$$m_a \cdot C_{p-a} \cdot \frac{dT_{a2}}{dt} = q_{c,p-a2} + q_{c,b-a2} - M_a C_{p-a} (T_{a2-e} - T_{a1-e}) \quad (5)$$

الصفحة الخلفية (السفلية): [8]

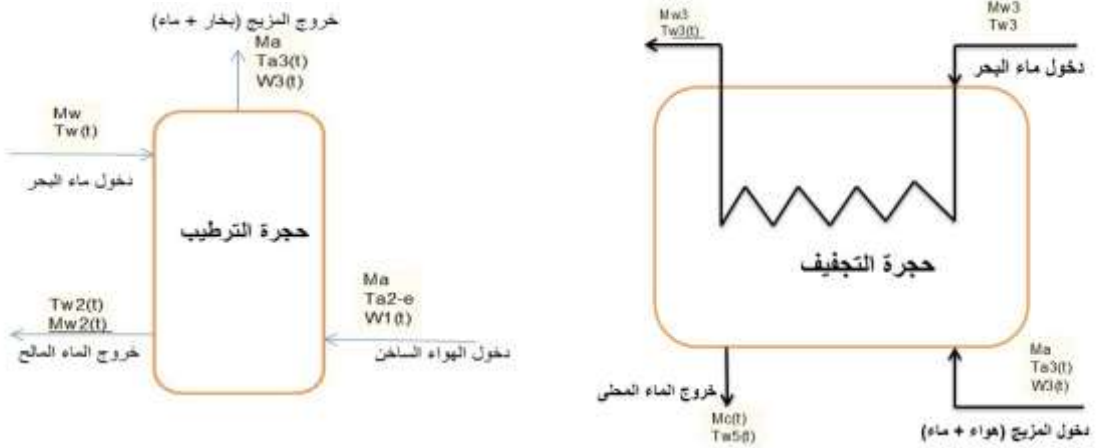
$$m_b \cdot C_{p-b} \cdot \frac{dT_p}{dt} = q_{r,p-b} - q_{c,b-a2} - q_{1,b-amb} \quad (6)$$

حيث : $-q_c$ معدل انتقال الحرارة بالحمل (w) ، $-q_r$ معدل انتقال الحرارة بالإشعاع . (w)

I - الإشعاع الشمسي (w/m^2) ، α_g عامل الامتصاص للزجاج ، amb الوسط الخارجي ،

a_1-e الهواء الخارج من القناة الأول ، a_2-e الهواء الخارج من القناة الثانية ،
 τ_g عامل النفاذية ، M_a - كتلة الهواء (kg) ، M_w - كتلة الماء (kg) ، M_g - كتلة الزجاج (kg) ، M_b - كتلة الصفحة الخلفية

○ معادلات توازن الطاقة للمسخن الشمسي ، حجرة الترطيب ، حجرة التجفيف



الشكل (3) مخطط حجرة الترطيب والتجفيف

حجرة الترطيب :

$$M_a \cdot (h_{a3}(t) - h_{a2-e}(t)) = M_w \cdot C_{p-w} \cdot T_w(t) - M_{w2}(t) \cdot C_{p-w} \cdot T_{w2}(t) \quad (7)$$

حجرة التجفيف (المكثف) :

$$M_a \cdot (h_{a3}(t) - h_{a4}(t)) = M_{w3} \cdot C_{p-w} \cdot (T_{w4}(t) - T_{w3}) + M_c(t) \cdot C_{p-w} \cdot T_{w5}(t) \quad (8)$$

معادلة العقدة (21) :

$$M_{w3} \cdot T_{w3}(t) + M_{w2}(t) \cdot T_{w2}(t) = M_w \cdot T_{w1}(t) \quad (9)$$

معادلة مسخن الماء الشمسي :

$$M_w \cdot C_{p-w} \cdot T_w(t) = M_w \cdot C_{p-w} \cdot T_{w1}(t) + Qu \quad (10)$$

3-2- معادلات انتقال الحرارة :

معادلات انتقال الحرارة في العلاقات السابقة تعطى كالاتي :

$$q_{r,g1-g2} = A_c \cdot h_{r,g1-g2} \cdot (T_{g1} - T_{g2}) \quad (11)$$

حيث :

$$A_c = w \cdot L \quad \text{مساحة اللاقط الشمسي} \quad (12)$$

$$h_{r,g1-g2} = \frac{\sigma \cdot (T_{g1}^2 + T_{g2}^2) \cdot (T_{g1} - T_{g2})}{\left(\frac{1}{\epsilon_{g1}} + \frac{1}{\epsilon_{g2}} - 1\right)} \quad (13)$$

$$q_{c,g2-amb} = A_c \cdot h_{c,g2-amb} \cdot (T_{g2} - T_{amb}) \quad (14)$$

يعطى معامل انتقال الحرارة بالحمل للهواء الذي يتدفق على الغطاء الزجاجي العلوي

بالمعادلة التجريبية التالية حسب ما اقترحه العالم [9]Watmuff:

$$h_{c,g2-amb} = 2.8 + 3 \cdot v_{wind} \quad (15)$$

وتكون كمية الحرارة:

$$q_{r,g2-sky} = A_c \cdot h_{r,g2-sky} \cdot (T_{g2} - T_{sky}) \quad (16)$$

حيث :

$$T_{sky} = T_{amb} - 6 \quad (17)$$

معامل انتقال الحرارة بالإشعاع من الغطاء الزجاجي الثاني إلى الجو الخارجي :

$$h_{r,g2-sky} = \varepsilon_{g2} \cdot \sigma \cdot (T_{g2}^2 + T_{sky}^2) \cdot (T_{g2} + T_{sky}) \quad (18)$$

$$q_{c,g1-g2} = A_c \cdot h_{c,g1-g2} \cdot (T_{g1} - T_{g2}) \quad (19)$$

ومعامل انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي بين الصفيحة الزجاجية الأولى والثانية :

$$h_{c,g1-g2} = Nu_{g1-g2} \cdot \frac{K_a}{X} \quad (20)$$

يحسب رقم نوسلت من العلاقة التجريبية التالية (حسب العالم Hollands [10]):

$$Nu_{g1-g2} = 1 + 1.44 \times \left[1 - \frac{1708}{Ra \times \cos B} \right] \times \left[1 - \frac{(\sin(1.8) \times B)^{1.6} \times 1708}{Ra \times \cos B} \right] + \left[\left(\frac{Ra \times \cos B}{5830} \right)^{1.3} - 1 \right] \quad (21)$$

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{g1} - T_{g2}) \cdot X^3}{\alpha \cdot \gamma} \quad (22)$$

الخصائص الحرارية للهواء الرطب تعطى حسب العالم (Tiwari[9]) كتابع لدرجة الحرارة بالشكل التالي:

$$K = 0.0244 + 0.6773 \times 10^{-4} \times T \quad (23)$$

$$\alpha = 7.7255 \times 10^{-10} \times T^{1.83} \quad (24)$$

$$\gamma = 0.1284 \times 10^{-4} + 0.00105 \times 10^{-4} \times T \quad (25)$$

$$q_{c,g1-a1} = A_c \cdot h_{c,g1-a1} \cdot (T_{g1} - T_{a1}) \quad (26)$$

يعطى معامل انتقال الحرارة بالحمل القسري في القناة العلوية للمسخن الهواء الشمسي بالعلاقة التالية :

$$h_{c,g1-a1} = Nu_{g1-a1} \cdot \frac{K_a}{X} \quad (27)$$

$$D_h = \frac{4 \cdot A_{sec}}{2 \cdot w + 2 \cdot D} \quad (28)$$

من أجل الجريانالصفحي يعطى رقم نوسلت بالعلاقة التالية (حسب [9] Mercer) :

$$Nu_{g1-a1} = 4.9 + \frac{0.0606 \cdot (Re_{a1} \cdot Pr \cdot D_h / L)^{1.2}}{1 + 0.0909 \cdot (Re_{a1} \cdot Pr \cdot D_h / L)^{0.7} \cdot Pr^{0.17}} \quad (29)$$

حيث : B : زاوية ميلان المسخن الشمسي D_h : القطر الهيدروليكي (m)

ومن أجل الجريان المضطرب فان رقم نوسلت يعطى بالعلاقة التالية حسب (Gnielinski[10]):

$$Nu_{g1-a1} = \frac{\left(f_{a1}/8\right) \times (Re_{a1} - 1000) \times Pr}{1 + 12.4 \times \left(f_{a1}/8\right)^{0.5} \times (Pr^{0.67} - 1)} \quad (30)$$

حيث Re_{a1} رقم رينولدز و f_{a1} عامل الاحتكاك :

$$Re_{a1} = \frac{V_{a1} \cdot D_h}{\gamma_{a1}} \quad (31)$$

$$f_{a1} = (0.79 \times \ln Re_{a1} - 1.64)^{-2} \quad (32)$$

$$q_{r,p-g1} = A_c \cdot h_{r,p-g1} \cdot (T_p - T_{g1}) \quad (33)$$

يحسب معامل انتقال الحرارة بالإشعاع بين الصفيحة النحاسية الماصة والغطاء الزجاجي

الأول من المعادلة (12) بتبديل T_p بـ T_{g2} و تبديل ε_p بـ ε_{g2} :

$$q_{c,p-a1} = A_c \cdot h_{c,p-a1} \cdot (T_p - T_{a1}) \quad (34)$$

$$h_{c,p-a1} = h_{c,g1-a1} \quad (35)$$

ودرجة حرارة الهواء على مخرج القناة العلوية للمسخن الشمسي :

$$T_{a1-e} = 2 \cdot T_{a1} - T_{a-i} \quad (36)$$

$$q_{c,p-a2} = A_c \cdot h_{c,p-a2} \cdot (T_p - T_{a2}) \quad (37)$$

يحسب معامل انتقال الحرارة بالحمل داخل القناة السفلية لمسخن الهواء الشمسي من

العلاقة السابقة التي تحسب معامل انتقال الحرارة بالحمل للقناة العلوية وذلك باستبدال :

$$h_{c,p-a2} = h_{c,b-a2} \quad (38)$$

يجب أن تؤخذ الخصائص الحرارية للهواء المتدفق من القناة السفلية للمسخن الشمسي عند

درجة الحرارة الوسطية للهواء في القناة الثانية .

$$q_{r,p-b} = A_c \cdot h_{r,p-b} \cdot (T_p - T_b) \quad (39)$$

بتبديل $T_p \rightarrow T_{g1}$ ، $T_b \rightarrow T_{g2}$ و $\epsilon_p \rightarrow \epsilon_{g1}$ و $\epsilon_b \rightarrow \epsilon_{g2}$ فان معامل انتقال الحرارة بالإشعاع يحدد من العلاقة (11) .

$$q_{c,b-a2} = A_c \cdot h_{c,b-a2} \cdot (T_p - T_{a2}) \quad (40)$$

وبتطبيق الفرضية (3) فإنه يمكن حساب T_{a2-e} من العلاقة التالية :

$$T_{a2-e} = 2 \cdot T_{a2} - T_{a1-e} \quad (41)$$

$$q_{1,b-amb} = A_c \cdot U_{loss} \cdot (T_b - T_{amb}) \quad (42)$$

$$M_{w2(t)} = M_{w1} - M_a \cdot [W_3(t) - W_1(t)] \quad (43)$$

بتطبيق الفرضية (5-6):

$$T_{w2}(t) = T_{a3}(t) \quad (44)$$

$$M_c(t) = M_a \cdot [W_3(t) - W_4(t)] \quad (45)$$

بتطبيق الفرضية (7-8) فإننا نحصل على العلاقة التالية :

$$T_{q4}(t) = T_{w4}(t) = T_{w5}(t) \quad (46)$$

$$M_{mw}(t) = M_a \cdot [W_3(t) - W_1(t)] \quad (47)$$

$$Q_u = 0.6 \cdot I \cdot A_c \quad (48)$$

3-3 حل جملة المعادلات :

إن حل جملة المعادلات تجري في بيئة (MATLAB) لدراسة تأثير البارامترات المختلفة على معدل إنتاج الدارة. في البداية نفرض قيم درجات الحرارة عند مدخل ومخرج المسخن الشمسي ($T_{g1}, T_{g2}, T_{a1}, T_{a2}, T_{w1}$) قريبة من قيمة درجة حرارة الجو الخارجي ، ونفرض أن درجات الحرارة (T_b, T_p) أعلى من درجة حرارة الوسط الخارجي بـ $(5-10)^\circ C$ على الترتيب. ثم نستفيد من درجات الحرارة الأولية هذه في حساب معاملات انتقال الحرارة التي تعتمد على درجات الحرارة ، وبعد ذلك وباستخدام شروط درجات الحرارة الابتدائية وحساب معاملات انتقال الحرارة عند هذه الشروط يتم حل المعادلات التفاضلية (1-2-3-4-5-6) للحصول على درجات الحرارة الجديدة والتي ستكون شروط ابتدائية للعملية القادمة وهكذا... يتم حساب كمية الماء المكثف (الناتج) في كل لحظة من العلاقة (8) بمعرفة درجة حرارة الهواء الداخل والخارج من وإلى حجرة التجفيف .

وأيضاً يتم حساب نسبة الرطوبة وانتالبي الإشباع للهواء من العلاقة التجريبية التالية
 كتابع لدرجة حرارة الهواء: [11]

$$= 7.7 e^{-7} \times T^3 - 1.95 e^{-5} \times T^2 + 0.00071 \times T + 0.002 \quad (50)$$

$$h_a = 2.82 e^{-5} \times T^4 - 0.00106T^3 + 0.0615 \times T^2 + 1.32 \times T + 10.5 \quad (51)$$

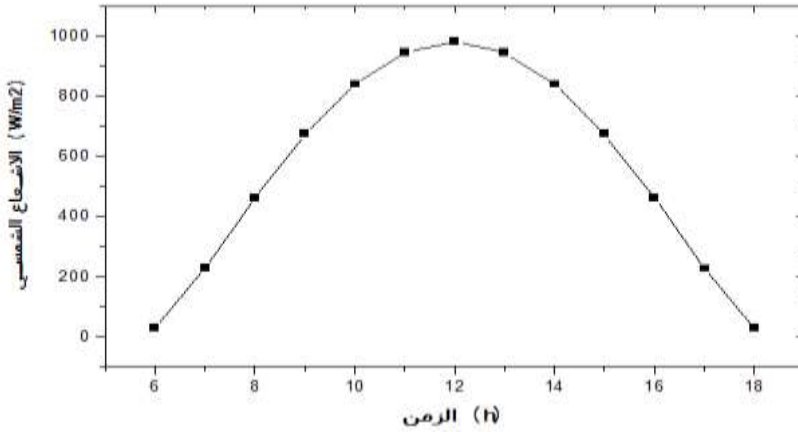
ان بارامترات التصميم والتشغيل التي استخدمت في البرنامج نظمت في الجدول التالي :

جدول (1) بارامترات التصميم

بارامترات التصميم	
$W=0.5$ (أبعاد مسخن الهواء) , $L=1$, $D=0.05$, $x= 0.025$ (m)	
$m_g = 3.75$, $m_b = m_p = 4.5$ (Kg)	
الحرارية $c_{p-g} = 800$, $c_{p-p} = c_{p-b} = 385$, $c_{p-a} = 1006$, $c_{p-w} = 4178$ $\left(\frac{J}{Kg.C}\right)$	
$\varepsilon_{g1} = \varepsilon_{g2} = 0.9$, $\varepsilon_b = \varepsilon_p = 0.95$, $\alpha_g = 0.05$, $\alpha_p = 0.95$, $\tau_g = 0.95$	
$T_{wm} = T_{w3} = 20$ (°C) بارامترات التشغيل	

2-3 النتائج والمناقشة :

إن جميع البارامترات في هذه الدراسة تم أخذها في منتصف شهر أب . يوضح الشكل (4) متوسط الإشعاع الشمسي لسطح مائل في شهر أب من كل سنة في مدينة اللاذقية والتي تقع على خط عرض (35.5)شمال خط الاستواء.

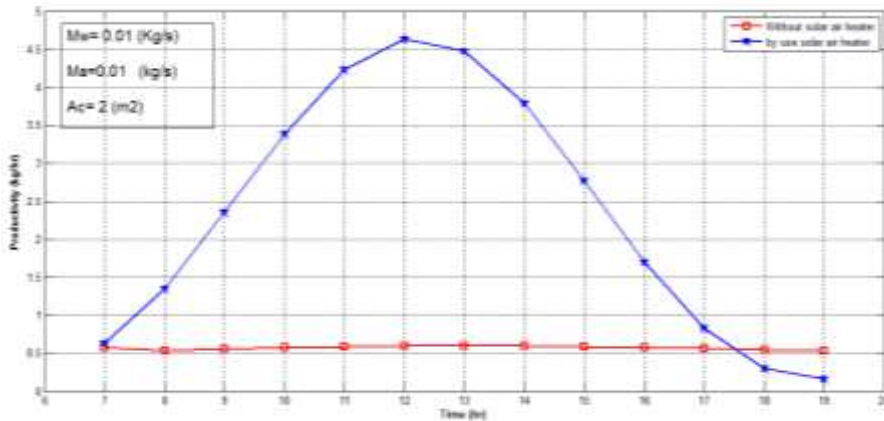


الشكل (4) متوسط الإشعاع الشمسي في مدينة اللاذقية خلال شهر آب

نلاحظ زيادة شدة الإشعاع الشمسي اعتباراً من الساعة السادسة صباحاً لتبلغ قيمتها العظمى عند الساعة الثانية عشر ظهراً ، بعد ذلك تتناقص شدة الإشعاع الشمسي لتبلغ قيمتها الدنيا عند الساعة السادسة مساءً .

- تأثير استخدام مسخن هواء شمسي في إنتاجية الدارة:

يوضح الشكل (a-5) تأثير استخدام مسخن الهواء الشمسي على الإنتاجية من أجل تدفق ماء تغذية إلى حجرة الترطيب ($M_w = 0.01 \text{ kg/s}$) ، وتدفق هواء التغذية ($M_a = 0.01 \text{ kg/s}$) ومساحة مسخن ($A = 2 \text{ m}^2$) .

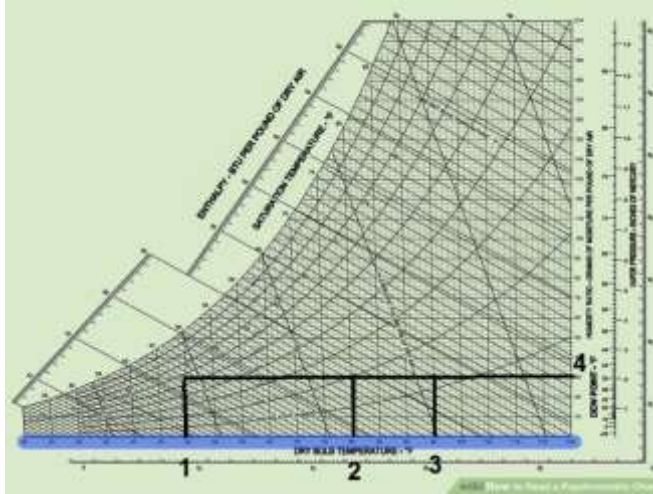


الشكل (a-5) تأثير استخدام مسخن هواء شمسي على إنتاجية الدارة عند نفس شروط

نلاحظ من الشكل (5-a) أن استخدام مسخن هواء شمسي مضاعف يزيد إنتاجية الدارة بشكل واضح, في حين أن إنتاجية الدارة تبقى ثابتة تقريباً وقليلة في حال لم يتم استخدام مسخن هواء شمسي عند نفس شروط التشغيل . إن تسخين الهواء له تأثير كبير جداً في تحسين إنتاجية الدارة بالمقارنة مع الهواء غير المسخن, و يعود السبب إلى ان الرطوبة النسبية للهواء غير المسخن تكون مرتفعة وبالتالي تكون إمكانية حملها لبخار الماء عند تلامسه مع ماء التغذية في حجرة الترطيب منخفضة, كما قد تتعثر عملية التبخر عند تلامس الهواء غير المسخن مع ماء التغذية بسبب انخفاض درجة الحرارة أو قد يحدث تكاثف جزئي لبخار الماء المتشكل , ويمكن تحليل عملية زيادة الإنتاجية مع زيادة تسخين الهواء (الشكل 5-b) وفق ما يلي :

عندما يسخن الهواء بثبات الرطوبة المطلقة (تسخين محسوس) , فإن رطوبته النسبية تتناقص بينما درجة الحرارة الرطبة والجافة تزداد , وهذا يعني بان قدرة امتصاص بخار الماء من قبل الهواء تزداد , وبما أن مساحة سطح تبادل الحرارة لمسخن الهواء الشمسي المضاعف كبيراً , فإن درجة الحرارة الرطبة للهواء المغادر لمسخن الهواء الشمسي المضاعف ستكون أعلى (والرطوبة النسبية أقل) من درجة الحرارة الرطبة للهواء المغادر للمسخن الهواء الشمسي بقناة واحدة , لذا فإن هذا الهواء سيتمكن من حمل كمية أكبر من بخار الماء المتشكل في حجرة الترطيب عندما يمزج معه . وبالتالي فإن مسخن الهواء الشمسي المضاعف له تأثير أكبر على الإنتاجية. لأن عدم تسخين الهواء يؤثر سلباً على عملية الترطيب في حجرة الترطيب , حيث يحدث خلال عملية الترطيب بواسطة الهواء تكاثفاً جزئياً لبخار مما يؤدي إلى انخفاض الإنتاجية .

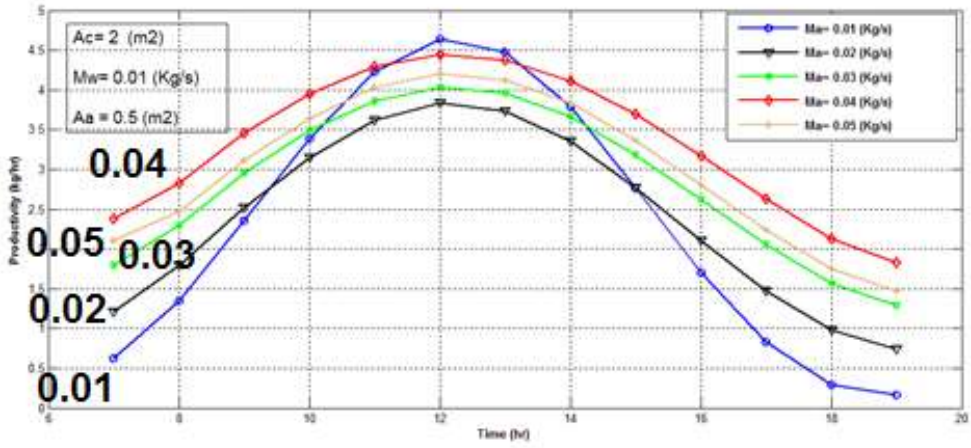
كما نلاحظ من الشكل (5-a) ازدياد الإنتاجية من (0.5 kg/s) عند الساعة 7 صباحاً إلى قيمة عظمى (4.65 kg/s) عند الساعة 12 ظهراً , بعد ذلك تتناقص الإنتاجية إلى قيمة دنيا عند الساعة 6 مساءً حيث تبلغ (0.2 kg/s), وهذا يعود إلى تغير منحنى شدة الإشعاع الشمسي .



الشكل (5-b) تغيرات حالة الهواء عندما يجتاز مسخن الهواء المضاعف وأحادي القناة عند نفس الشروط.

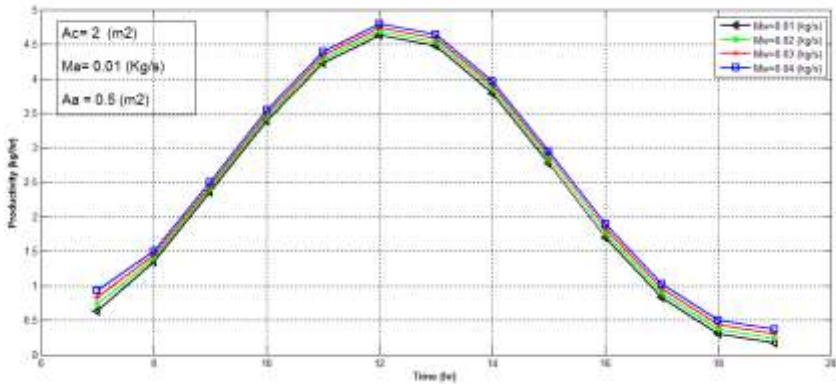
- 1- تمثل درجة الحرارة الجافة للهواء عند مدخل المسخن الشمسي (وحيد وثاني القناة)
- 2- تمثل درجة الحرارة الجافة للهواء المغادر للمسخن الشمسي وحيد القناة .
- 3- تمثل درجة الحرارة الجافة للهواء المغادر للمسخن الشمسي مضاعف (ثاني القناة) .
- 4- تمثل الرطوبة المطلقة للهواء .

نلاحظ أن إنتاجية الدارة تزداد مع زيادة تدفق الهواء بثبات تدفق ماء التغذية مع المحافظة على مساحة كل من المسخن الشمسي للماء والمسخن الشمسي للهواء, وذلك من أجل التدفقات من (0.02 kg/s) إلى (0.04 kg/s), هنا زيادة الانتاجية مرتبطة بزيادة التدفق , أي امكانية حمل لبخار الماء أكبر مع الهواء (طبعاً بوجود حرارة مناسبة). ومن أجل التدفق الأقل ($Ma = 0.01 \text{ kg/s}$) فان الإنتاجية الاجمالية خلال اليوم تكون منخفضة ولكن تزداد فقط في أوقات الذروة, ولكن بالرغم من هذه الزيادة تبقى الانتاجية اليومية أقل من انتاجية الدارة من أجل التدفقات الأعلى .



الشكل (6) تأثير معدل تدفق الهواء على إنتاجية الدارة خلال يوم 15 آب

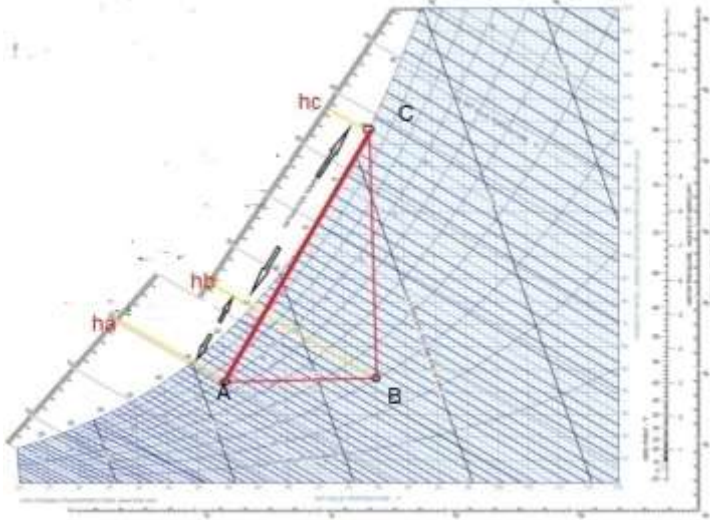
- تأثير معدل تدفق ماء التغذية على إنتاجية الدارة:



يظهر الشكل (7) تأثير معدل تغير تدفق ماء التغذية على إنتاجية الدارة خلال يوم 15 آب . نلاحظ أن إنتاجية الدارة تزداد مع زيادة تدفق ماء التغذية بشكل ضئيل وذلك لأن زيادة تدفق ماء التغذية الساخن تؤدي إلى زيادة التبخر داخل حجرة الترطيب وبالتالي إمكانية ترطيب أكثر من قبل الهواء وفي المحصلة زيادة الإنتاجية.

- تأثير ارتفاع حرارة ماء التغذية في المسخن الشمسي إلى أعلى من درجة حرارة هواء التغذية المسخن:

إن ارتفاع درجة حرارة ماء التغذية الداخل إلى حجرة الترطيب في المسخن الشمسي إلى قيمة أعلى من درجة حرارة هواء التغذية الساخن يؤدي إلى أن العملية التي تحدث في حجرة الترطيب عبارة عن تسخين مع ترطيب وفق المخطط البسايكومتري المبين في الشكل (8) . إن درجة حرارة هواء التغذية ممثلة بالنقطة A والانتالبي هو (h_a)



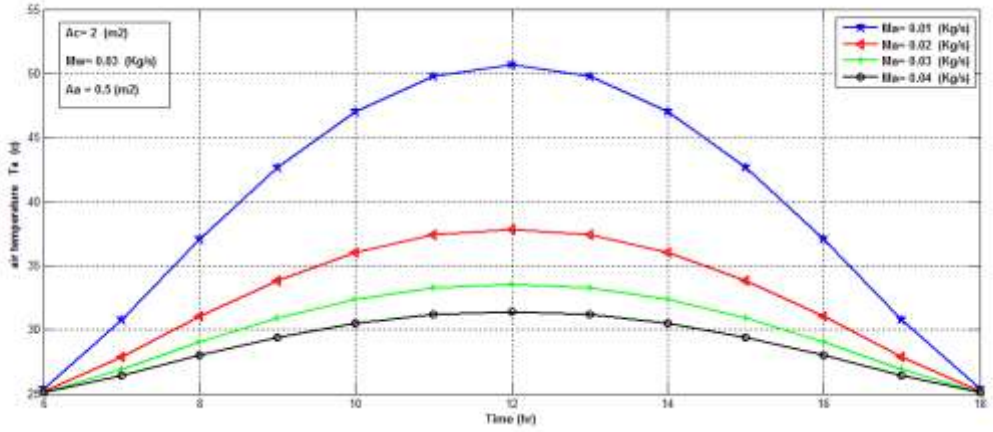
الشكل (8) تأثير رفع درجة حرارة ماء التغذية في المسخن الشمسي فوق درجة حرارة هواء التغذية

أما درجة حرارة ماء التغذية الساخن والداخل إلى حجرة الترطيب فهي ممثلة بالنقطة (B) والانتالبي عند هذه النقطة هو (h_b) , إن درجة الحرارة في النقطة A المميزة للهواء هي أقل من درجة حرارة ماء التغذية المميزة بالنقطة (B) , والرطوبة النسبية للهواء في النقطة (A) هي أعلى من الرطوبة النسبية في النقطة (B) . عندما يصبح الهواء في تماس مع الماء في حجرة

الترطيب بسبب حقيقة أنه عند درجة حرارة أخفض فان درجة حرارته سوف ترتفع وتصل إلى درجة حرارة ماء التغذية الداخل إلى حجرة الترطيب وفق العملية من (A) إلى (B) تحت رطوبة مطلقة ثابتة وكما هو واضح من المخطط أن (h_b) هي أكبر من (h_a) هذا يعني أن انتقال الهواء قد ازداد بمقدار $(h_b - h_a)$ لترتفع درجة حرارته من درجة الحرارة (A) إلى (B) . عندما يتبخر الماء في حجرة الترطيب فإنه يقدم رطوبة وحرارة إلى الهواء حتى يحمل الهواء كل الرطوبة الممكنة ويصل إلى رطوبة نسبية (100%) أي يصبح مشبعاً. إن كمية الحرارة الكامنة التي اكتسبها الهواء من تبخير الماء هي $(h_c - h_b)$. والحرارة الكلية المأخوذة في حجرة الترطيب (الكامنة والمحسوسة) هي $(h_c - h_a)$ حيث تنخفض درجة حرارة الماء بعد تمريره وملامسته للهواء إذ يتخلّى عن قسم من حرارته (الحرارة المحسوسة) للهواء من أجل تسخينه كما يفقد قسماً آخر منها بسبب تبخر جزء منه . وتكون كمية الحرارة التي تؤدي إلى تغيير درجة حرارة الهواء من (t_a) إلى (t_b) هي $(h_b - h_a)$, أي أن العملية التي تتم في المجلد في حجرة الترطيب هي وفق الخط من (A) إلى (C). أي أن تخفيض الرطوبة النسبية من (A) إلى (B) أعطت الإمكانية للهواء لحمل بخار الماء حتى الإشباع .

- تأثير تدفق الهواء في درجة حرارة الهواء الداخل الى حجرة الترطيب

يظهر الشكل (9) تأثير تدفق الهواء على درجة حرارة الهواء الداخل الى حجرة الترطيب, تؤدي زيادة تدفق الهواء إلى انخفاض درجة حرارة هواء التغذية الداخل إلى حجرة الترطيب, بسبب انخفاض مقدار التسخين مع زيادة التدفق وثبات كمية الحرارة التي يكتسبها الهواء من المجمع الشمسي $(Q = M_a \cdot c_p \cdot \Delta T)$, ويكون التغير في درجة الحرارة

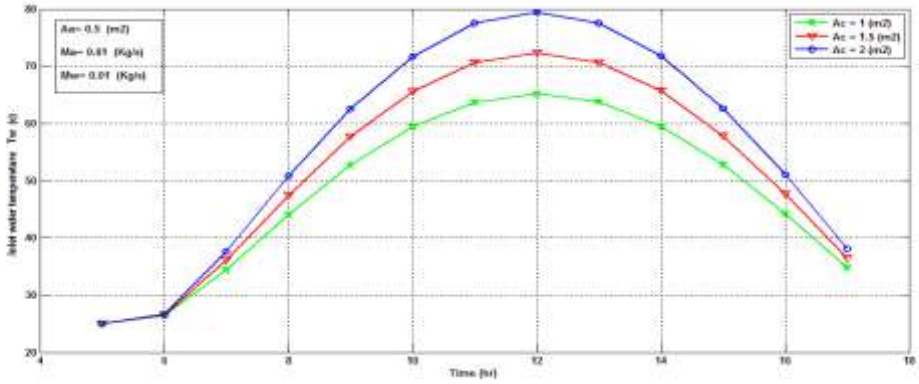


الشكل (9) تأثير تدفق هواء التغذية على درجة حرارة هواء التغذية خلال يوم

هواء التغذية أكبر من أجل قيم التدفقات الأقل, حيث بمقارنة درجات الحرارة لهواء التغذية عند الذروة للتدفقات ($Ma = 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 \text{ kg/s}$) نجد درجات الحرارة لهواء التغذية الموافقة هي على التوالي ($51, 38, 33.5, 32 \text{ }^\circ\text{C}$).

- تأثير مساحة مسخن ماء التغذية على درجة حرارة ماء التغذية

يوضح الشكل (11) تأثير مساحة مسخن ماء التغذية على درجة حرارة ماء التغذية , إن زيادة مساحة المسخن تؤدي إلى زيادة درجة حرارة الماء الداخل لحجرة الترطيب وتصل إلى قيمة عظمى ($80 \text{ }^\circ\text{C}$) عند مساحة للمسخن ($Ac=2 \text{ m}^2$). وذلك لأن زيادة (Ac) تؤدي إلى زيادة قيمة (Q_u) (وفق المعادلة (48)), بالتالي إلى زيادة قيمة ($T_w(t)$) (درجة حرارة ماء التغذية) من المعادلة (10) .

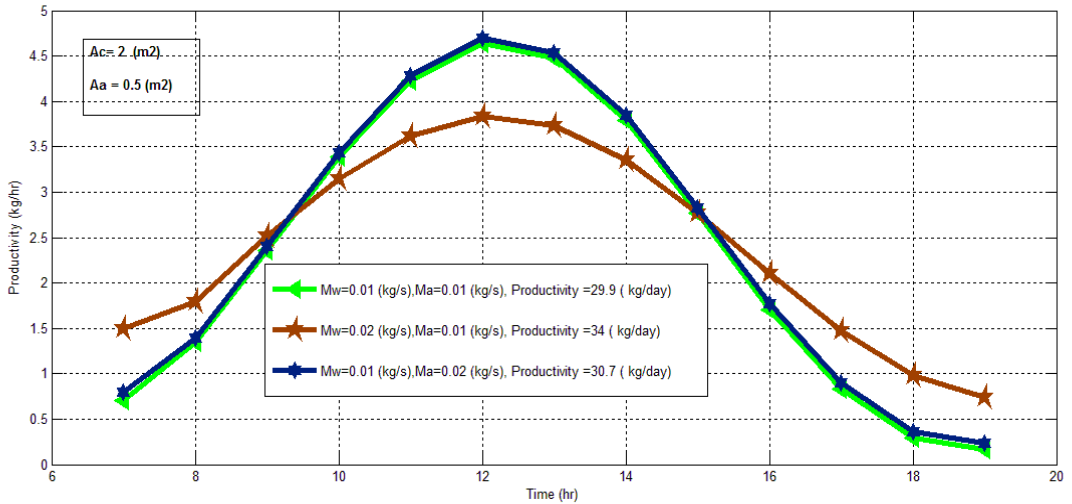


الشكل (11) تأثير مساحة مسخن ماء التغذية على درجة حرارة ماء التغذية

- الانتاجية الافضل خلال اليوم باستخدام البرامترات المختلفة:

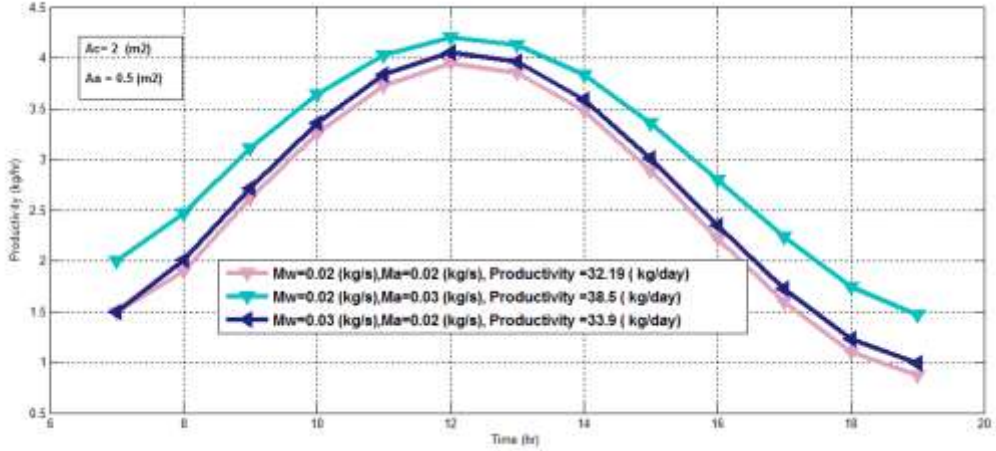
يوضح الشكل (12) إنتاجية الدارة خلال اليوم باستخدام البارامترات الأفضل التي

تم التوصل إليها :



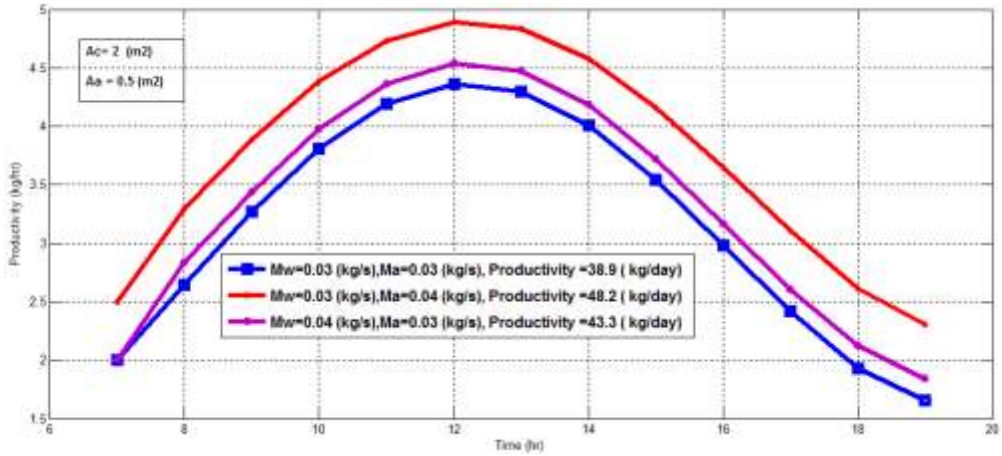
الشكل (1-12) إنتاجية الدارة خلال يوم باستخدام البرامترات المختلفة

يوضح الشكل (1-12) انتاجية الدارة من أجل قيم مختلفة لتدفقات الهواء ولتدفقات ماء التغذية , وتكون الانتاجية أعلى من من أجل تدفق هواء التغذية (0.01kg/s) وتدفق لماء التغذية (0.02kg/s) حيث تصل الانتاجية الى (34 kg/day) .

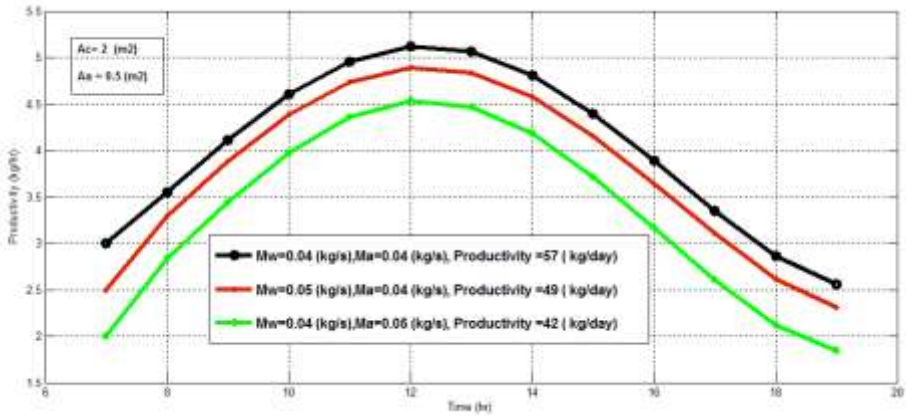


الشكل (2-12) إنتاجية الدارة خلال يوم باستخدام البارامترات المختلفة

يوضح الشكل (2-12) انتاجية الدارة من أجل قيم مختلفة لتدفقات الهواء ولتدفقات ماء التغذية , حيث نلاحظ بأن الانتاجية تزداد بزيادة قيم تدفقات الهواء والماء .



الشكل (12-3) إنتاجية الدارة خلال يوم باستخدام البارامترات المختلفة لتدفق الماء وتدفق الهواء



الشكل (12-4) إنتاجية الدارة خلال يوم باستخدام البارامترات المختلفة لتدفق الماء وتدفق الهواء

نلاحظ بان إنتاجية الدارة تتأثر بتدفق الهواء أكثر من تأثرها بقيمة تدفق ماء التغذية لان الهواء هو المسؤول عن حمل بخار الماء المتشكل داخل حجرة الترطيب . وأكبر إنتاجية للدارة هي (57 kg/day) عند تدفق للهواء قدره (Ma=0.04 kg/s) وتدفق للماء يساوي (Mw=0.04 kg/s).

4- الاستنتاجات والتوصيات :

- 1- بعد إجراء الدراسة المرجعية لمنشأة تحلية مياه البحر باستخدام الطاقة الشمسية بطرق مختلفة تبين أن طريقة الترطيب والتجفيف هي أحد أهم الطرق المستخدمة في العالم وأكثرها اقتصادية.
- 2- تزداد إنتاجية الدارة بمقدار (30%) على الأقل عند استخدام مسخن هواء شمسي مضاعف مقارنة مع إنتاجية الدارة عند عدم استخدام مسخن هواء شمسي.
- 3- تزداد إنتاجية الدارة مع زيادة معدل تدفق ماء التغذية وهواء التغذية بسبب زيادة كمية البخار المتشكل في حجرة الترطيب والمحمول مع الهواء الى حجرة التجفيف.
- 4- إن زيادة مساحة كل من مسخن الهواء الشمسي المضاعف , و مسخن ماء التغذية تؤدي إلى زيادة إنتاجية الدارة .
- 5- إن تأثير معدل تدفق هواء التغذية على زيادة الإنتاجية أكبر من تأثير معدل تدفق ماء التغذية .
- 6- أعلى إنتاجية للدارة قيمتها (57kg/day) عند تدفق للهواء ($Ma=0.04\text{kg/s}$) وتدفق للماء ($Mw=0.04\text{ kg/s}$) خلال يوم 15 آب.
- 7- إن عملية تسخين الماء قبل دخوله إلى حجرة الترطيب في مسخن الماء بالطاقة الشمسية يحسن من الانتاجية (تسخين - ترطيب), وذلك كما يتضح من المخطط البسايكومتري.
- 8- محاولة الاستفادة من هذه الدراسة في اقتراح تصميم لمنشأة فعلية للتأكد من نتائج الدراسة النظرية ودراسة الجدوى الاقتصادية لهذه المنشأة.

المراجع : References

- [1] H. Lienhard V, "Humidification-dehumidification desalination," in *Desalination: Water from Water*, 2nd edition, Chpt.9. Hoboken, NJ: Wiley-Scrivener, 2019, ISBN 978-1-119-40774-4.
- [2] Naseri, A., Bidi, M., Ahmadi, M. H, & Saidur, R. Exergy analysis of a hydrogen and water production process by a solar-driven transcritical CO₂ power cycle with Stirling engine. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 158, 165-181.
- [3] Wu G, Zheng H, Kang H, Yang Y, Cheng P and Chang Z. Experimental investigation of a multi-effect isothermal heat with tandem solar desalination system based on Humidification-Dehumidification process. *Desalination* , 2016; 378: 100-107.
- [4] Delyannis E. Historic background of desalination and renewable energies *Sol Energy*, 2013;75:357–66.
- [5] P. Glueckstern, M. Priel, E. Gelman and N. Perlov, Wastewater desalination in Israel, *Desalination*, 222 (2008) 151-164.
- [6] H.T.A. El-DESSOUKY, Humidification–dehumidification desalination process using waste heat from a gas turbine, *Science Direct, Desalination*, 71 (1989) 19–33.
- [7] Saket Kumar, R.K. Prasad and K.D.P. Singh. Thermal Performance and Economics Analysis of Double Flow Packed Bed Solar Air Heater. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 8(2), 2017, pp. 176–182.
- [8] Ravish Kumar Srivastava and Ajeet Kumar Rai, Thermal Performance Investigation of A Finned Absorber Plate Solar Air Heater, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 8(6), 2017, pp. 622–630.
- [9] Janarthanan B., Chandrasekaran J., Kumar S. Performance of floating cum tilted-wick type solar still with the effect of water flowing over the glass cover. *Desalination*, 2006;190:51–62
- [10] Sellami M.H., Belkis T., Ali Ouar M.L., Meddour S.D., Bouguettaia H., Loudiyi K. Improvement of solar still performance

by covering absorber with blackened layers of sponge. G. water Sustain. Dev. 2017;5:111–117.

[11] MuthuManokar A., Prince Winston D., MondolJayanta Deb, SathyamurthyRavishankar, Kabeel A.E., Panchal Hitesh. Comparative study of an inclined solar panel, basin solar still in a passive and active mode. Sol. Energy, 2018;169:206–216.

الرموز والمصطلحات:

- HD : الترطيب والتجفيف [humidification–dehumidification]RO : التناضح العكسي (reverse osmosis)
- MED : تحلية متعددة المراحل (MULTI-EFFECT- DISTILLATION) MEE : التحلية بالتبخير متعدد التأثير
- MSF : التحلية الوميضية متعددة المراحل (Multi-stage flash distillation)
- SEE : التحلية بطريقة ضغط البخار وحيد التأثير
- DPFPSAH : مسخن هواء شمسي مضاعف مسطح (The double pass flat plate solar air heater)
- DPFPSAH : مسخن هواء شمسي مضاعف متعرج (The double pass v-corrugated plate solar air heater)
- A_c : مساحة مسخن الماء الشمسي A_a [m²] : مساحة مسخن الهواء الشمسي [m²]
- I : شدة الإشعاع الشمسي (W/m²) Nu : رقم نوسلت Pr : رقم برنتل Ra : رقم ريليه Re : رقم رينولدز
- q_c : كمية الحرارة المتبادلة بالحمل q_r [W] : كمية الحرارة المتبادلة بالإشعاع T [W] : درجة الحرارة (C)
- t : الزمن $amb(s)$: الوسط الخارجي $a-i$: الهواء الداخل للمسخن الشمسي
- $a1-e$: الهواء المغادر للقناة العلوية $a2-e$: الهواء المغادر للمسخن الشمسي m : التدفق الكتلي (kg/s)
- m : الكتلة (Kg) g : زجاج g_1 : الغطاء الزجاجي الأول g_2 : الغطاء الزجاجي الثاني
- K : الموصلية الحرارية (W/m.K) α : عامل الامتصاصية γ : اللزوجة الحركية (m²/s)
- τ_g : عامل النفوذية

x : المسافة بين الغطائين الزجاجين $w(m)$: عرض مسخن الهواء الشمسي $h(m)$:
انتالبي الهواء (J/Kg)

f : عامل الاحتكاك C_p : السعة الحرارية $D(J/kg. C)$: سماكة القناة $V(m)$: السرعة
(m/s)

B : زاوية ميلان المسخن الشمسي D_h : القطر الهيدروليكي $T_p(m)$: درجة حرارة
الصفحة الماصة في القناة العلوية ($^{\circ}C$) Q_u : شدة الإشعاع الشمسي
الساقط على سطح المسخن الماء الشمسي (W). T_b : درجة حرارة الصفحة الماصة
في القناة السفلية ($^{\circ}C$)