

المقطرات
الشمسية

April 8

2010

إعداد: المهندس محمد الشيخ.

www.kawngroup.com

التحلية باستخدام المقطر الصندوقي الشمسي:

يتكون البناء المبسط للمقطر الصندوقي من وعاء ذي غطاء شفاف يسمح بنقل الإشعاع الشمسي، ويحتوي الوعاء على كمية من ماء مالح فوق قاعدة سوداء، لامتناس أكبر قدر من الإشعاع، وبتأثير حرارة الإشعاع تصبح درجة حرارة الماء داخل الصندوق أعلى مما يحيط به، الأمر الذي يساعد على تبخير الماء. وينتقل بخار الماء الناتج إلى غطاء المقطر على الجانب الداخلي للغطاء عند درجة حرارة تقع بين درجة الماء المالح في القاعدة ودرجة حرارة المحيط. ويراعى عند تصميم المقطر أن يميل الغطاء قليلاً عن الوضع الأفقي حتى ينساب عليه بخار الماء المكثف حيث يجمع بعد ذلك.

أهم أشكال المقطر الصندوقي :

1- المقطر المتماثل ثنائي الميل ذو الأحواض المتصلة:



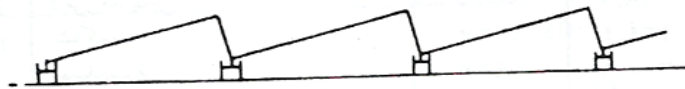
الشكل (1)

2- المقطر المتماثل ثنائي الميل ذو الأحواض المنفصلة:



الشكل (2)

3- المقطر الغير متماثل ثنائي الميل:



الشكل (3)

4- المقطر الثماني:



الشكل (4)

نظم تغذية المقطرات الشمسية :

النظام الأول: تتم التغذية على دفعات ، حيث يتم إمداد المقطر بماء البحر على فترات زمنية مختلفة .

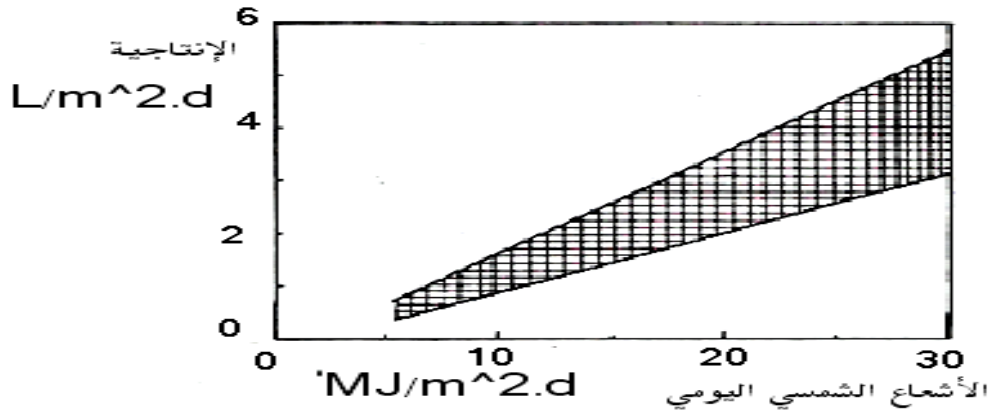
النظام الثاني : يكون الإمداد بالماء مستمرا ، حيث يسرى ماء البحر بصفة مستمرة وبعد معين إلى المقطر الشمسي

إنتاجية المقطر الشمسي :

يتم تقدير إنتاجية المقطر الشمسي بالعلاقة التالية :

$$p_d = 0.0393 H_{sd}^{1.4}$$

حيث : H_{sd} (MJ/m².day) ، p_d (l/m²)
ويبين مخطط الانتاجية والاشعاع اختلاف إنتاجية المقطرات الشمسية p_d مع الإشعاع الشمسي اليومي H_{sd}



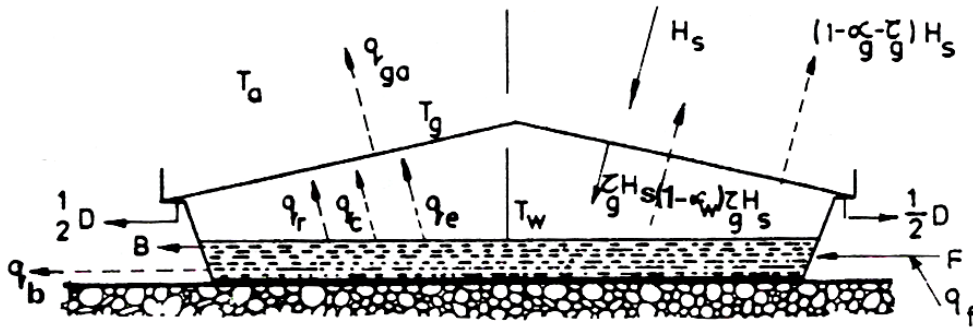
الشكل (5) مخطط الإنتاجية و الإشعاع

التحليل الحراري للمقطر :

يوضح الشكل (6) الرسم التخطيطي للمقطر الشمسي حيث ينتج المقطر كمية من الماء تعادل D لوحدة مساحة الغطاء . هذا ويحوي المقطر على ماء في درجة حرارة متوسطة قدرها T_w في حين أن متوسط درجة الحرارة للغطاء الزجاجي والمحيط هي T_g و T_a على التوالي. ويستقبل الإشعاع الشمسي بمعدل قدره H_s لوحدة مساحة الغطاء ، حيث تمتص كمية قدرها $\alpha_g H_s$ من الإشعاع الشمسي في غطاء المقطر وتنفذ كمية قدرها $\tau_g H_s$ خلال الغطاء وينعكس الباقي بواسطة الغطاء إلى المحيط.

وينقسم الإشعاع النافذ من الغطاء إلى قسمين أولهما يمكن امتصاصه بالماء في القاعدة $\alpha_w \tau_g H_s$ وثانيهما ينعكس على سطح الماء $(1 - \alpha_w) \tau_g H_s$ ويفترض في الأخير أن ينفذ مباشرة إلى المحيط من خلال الغطاء وبدون انعكاس أو امتصاص على الغطاء .

يمتص الماء الحرارة بمعدل $\alpha_w \tau_g H_s$ ويفقد حرارة إلى الغطاء بالحمل الحراري q_c والإشعاع q_r والتبخير q_e وكما يفقد المقطر حرارة من قاعدته وجدرانه إلى المحيط بمعدل q_b ويستخدم جزء من الحرارة الممتصة من الماء في القاعدة يعادل q_f . ويستقبل غطاء المقطر q_e, q_r, q_c من الماء في القاعدة ويفقد حرارة إلى المحيط بالحمل الحراري والإشعاع معا بمعدل



q_{ga}

الشكل (6) الرسم التخطيطي للمقطر الشمسي

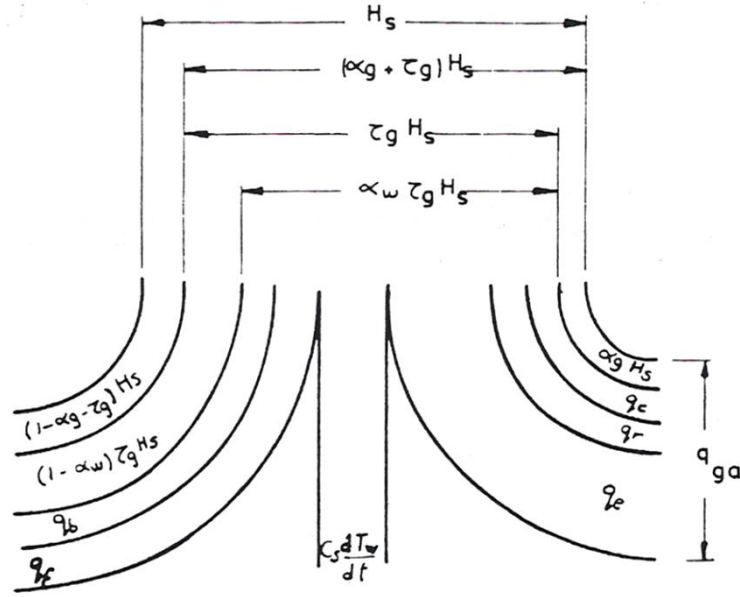
التوازن الحراري للمقطر ككل يعطى بالعلاقة:

$$\alpha_g H_s + \alpha_w \tau_g H_s = q_{ga} + q_b + C_s (dT_w/dt) + q_v \quad (2-5)$$

حيث C_s السعة الحرارية للغطاء والماء والأرض

التوازن الحراري لغطاء المقطر يعطى بالعلاقة:

$$q_{ga} = q_e + q_c + q_r + \alpha_g H_s \quad (3-5)$$



الشكل (7) التوازن الحراري للمقطر

وتحسب الحدود المختلفة في هذه المعادلة كمايلي :

- الحرارة المنقولة بالحمل الحراري q_c وتقدر w/m^2

$$q_c = 0.8831 [(T_w - T_g) + \left(\frac{P_w - P_{wg}}{0.256 - p_w} \right) (T_w + 273)^{1/3} (T_w - T_g)]$$

حيث:

P_w ، P_{wg} الضغوط الجزئية للماء عند درجة حرارة T_w ، T_g على التوالي

- الحرارة المنقولة بالإشعاع q_r وتقدر (w/m^2)

$$q_r = 0.9 \sigma [(T_w + 273)^4 - (T_g + 273)^4]$$

حيث σ ثابت ستيفن بولتزمان ومقداره $56.7 \times 10^{-9} w/m^2$

- الحرارة المنقولة بالتبخير q_f وتقدر بـ (w/m^2)

$$q_e = 1.92 \times 10^{-3} [(T_w - T_g) + \left(\frac{P_w - P_{wg}}{0.256 - p_w} \right) (T_w + 273)]^{1/3} (p_w - p_{wg}) L_w$$

حيث :

L_w هي الحرارة الكامنة لتبخير الماء .

- الحرارة المفقودة من القاعدة والجدران إلى المحيط q_b وتقدر بـ (w/m^2)

$$q_b = h_b (T_w - T_b)$$

حيث : h_b هي معامل انتقال الحرارة المفقودة من القاعدة وجوانب المقطر إلى المحيط

T_b درجة حرارة القاعدة وجوانب المقطر من جهة المحيط.

حساب q_f (w/m^2) لكل وحدة مساحة للغطاء :

$$q_f = F C_P (T_w - T_a)$$

حيث F معدل التغذية للمقطر

الحرارة المفقودة من الغطاء إلى الوسط المحيط عن طريق الإشعاع والحمل الحراري

$$q_{ga} = h_{ga} (T_g - T_a) + 0.9 \sigma [(T_w + 273)^4 - (T_{sk} + 263)^4]$$

$$T_{sk} = T_{a-10}$$

T_{sk} - درجة حرارة السماء

حيث h_{ga} معامل انتقال الحرارة بالحمل بين الغطاء والوسط المحيط ويحسب من العلاقة :

$$h_{ga} = a + b (v)^n$$

حيث v سرعة الرياح (km/h)

n, b, a ثوابت يمكن حسابها من الجدول التالي : الجدول (1)

18 < V < 110 km/h			V = 18 km/h			طبيعة سطح الغطاء
n	b	A	n	b	A	
0.78	2.64	0	1	1.09	5.61	ناعم
0.78	2.80	0	1	1.19	6.18	خشن

يتغير معدل إنتاج المقطر اللحظي D من الماء الصالح للشرب مع زمن التشغيل نتيجة لتغير شدة الإشعاع الشمسي وتغير درجة حرارة المحيط .
وتقدر قيمة الإنتاج اللحظي للمقطر كمايلي :

$$D = q_e / L_{wg}$$

حيث:

q_e حرارة التبخير اللحظية المتبادلة بين الماء في القاعدة وغطاء المقطر
 L_{wg} الحرارة الكامنة للتبخير عند درجة حرارة الغطاء
الإنتاج اليومي للمقطر الشمسي :

$$D_d = \sum D . \Delta t$$

مردود تشغيل المقطر الشمسي :

$$\eta = \sum q_e / \sum H_s$$

حساب مساحة المقطرات المطلوبة :

$$A = D_n / D_d$$

التنبؤ بأداء المقطر الشمسي :

يمكن عدديا التنبؤ بأداء المقطر الصندوقي الشمسي بحل مجموعة من المعادلات اللاخطية الآنية تعرف بالمعادلات الحاكمة . ويؤدي حل المعادلات إلى التعرف للقيم اللحظية لدرجة الحرارة لكل من الماء في قاع المقطر والغطاء ، بالإضافة إلى التعرف على المعدل اللحظي لإنتاج المقطر ، والمعادلات اللحظية لتبادل الحرارة بين الماء في القاعدة والغطاء وبين جسم المقطر والجو المحيط طرق لحل المعادلات وهي :

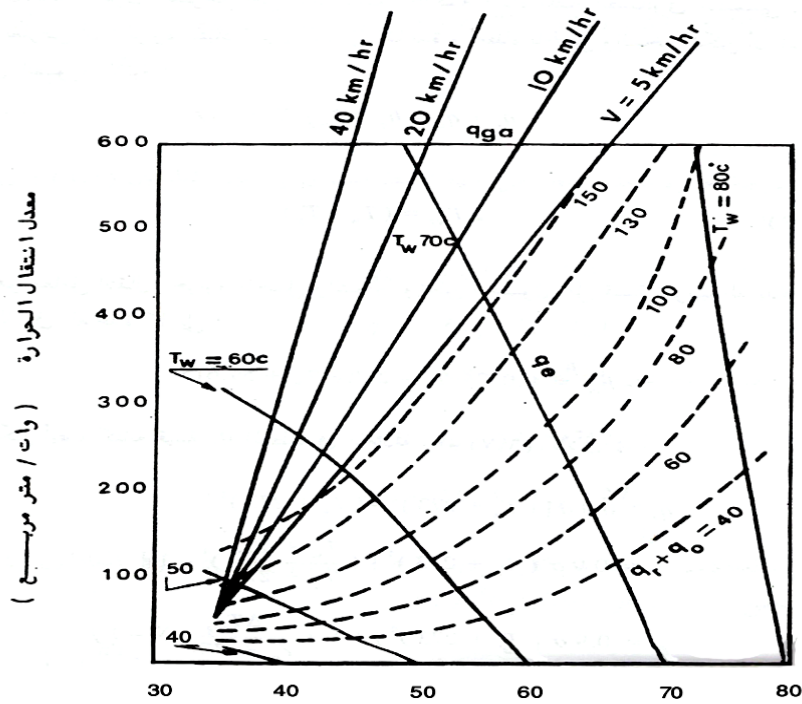
1- الحل العام :

تتلخص هذه الطريقة في الخطوات الآتية :

- 1- قدر قيمة كل من $V, F, T_a, h_b, \alpha_w, \alpha_g, \tau_g, C_s$
- 2- قدر درجة الحرارة الأولية للماء المقطر
- 3- احسب h_{ga}
- 4- قدر قيمة H_s عند زمن الاختبار
- 5- افرض قيمة T_g
- 6- احسب q_c و q_r و q_e
- 7- احسب q_{ga}
- 8- التأكد من تحقق شرط التوازن الحراري للغطاء
- 9- احسب q_b و q_f
- 10- احسب (dT_w/dt)
- 11- احسب التغير في درجة حرارة الماء ΔT_w لفترة زمنية dt
- 12- احسب درجة حرارة الماء في كل فترة زمنية $(T_w + \Delta T_w)$
- 13- كرر الخطوات من 5 إلى 12 حتى تصل إلى زمن نهاية الاختبار .
- 14- يتم حساب الإنتاجية لكل D لكل ساعة .
- 15- يتم حساب الإنتاجية اليومية D_d .
- 16- يتم حساب مساحة المقطرات المطلوبة A

2- خارطة موريس وريد :

قام كل من موريس وريد بإعداد خارطة لتوفير الوقت اللازم لحل المعادلات الحاكمة وذلك من خلال إلغاء فرض قيمة T_g في الخطوات من 1 إلى 7. وتجري المحولات التكرارية لتعيين قيم T_g التي تحقق معادلة التوازن الحراري بعد الحصول على قيم q_r , q_e , q_c و q_{ga} من الخارطة مباشرة. فقد قام موريس وريد برسم مجموعة منحنيات تمثل تغير q_{ga} مع T_g لقيم معينة من سرعة الرياح v وتغير كل من q_r , q_c , q_e مع درجة حرارة الغطاء .



الشكل (8) مخطط موريس وريد

تأثير البارامترات المختلفة على أداء المقطرات الشمسية :

1- تأثير شدة الإشعاع الشمسي H_s :

تعد شدة الإشعاع الشمسي من أهم البارامترات التي تؤثر على أداء المقطرات الشمسية ، حيث تقل إنتاجية المقطر الشمسي بقلّة شدة الإشعاع الشمسي وبالعكس .

2- تأثير درجة الحرارة المحيطة T_a :

تساعد الزيادة في درجة الحرارة المحيطة على تحسين إنتاج المقطر و يعتبر هذا التحسين ملموساً في حالة المقطرات الرديئة العزل ويكون مهماً للمقطرات جيدة العزل .

3- تأثير سرعة الرياح V :

لا تؤثر التغيرات في سرعة الرياح على إنتاجية المقطر الشمسي بطريقة محسوسة إلا إذا كان التغيير في السرعة بمقدار كبير، فتقل الإنتاجية بزيادة سرعة الرياح .

4 - تأثير معامل انتقال الحرارة من جسم المقطر إلى الجو المحيط h_p :

تعتمد إنتاجية المقطرات الشمسية على مدى إحكام العزل الحراري لها . ويجب الموازنة بين تكلفة العزل وإنتاجية المقطر . وقيمة h_p التي يتم الحصول عليها من الموازنة تكون في العادة في حدود $[0.9 (w/m^2)$.

5- تأثير عمق الماء المالح :

لقد وجد أن معدل التبخير يزداد مع درجة حرارة الماء المالح التي تزداد كلما كان الماء ضحلاً، مع تجنب تكون بؤرات جافة على سطح البطانة في القاعدة، وقد دلت التجارب التي أجريت على عدد كبير من المقطرات أن عمق الماء في القاعدة يجب أن يكون بحدود 5 cm للحصول على أفضل إنتاجية للمقطر .

6- تأثير إحكام سد البخار :

يعد إحكام سد البخار عاملاً هاماً لتحقيق أكبر قدر من الإنتاجية . و من أجود الأنواع المتوفرة للمواد المانعة للتسرب مادة مطاط السيليكون التي ينصح باستخدامها لإحكام حبس البخار . ويجب أن تكون هناك صيانة دائمة للكشف عن تسرب البخار للحفاظ على أكبر قدر من الإنتاجية .

7- تأثير تسرب الماء الناتج :

تقل إنتاجية المقطر بدرجة كبيرة بزيادة كمية تسرب الماء الناتج .

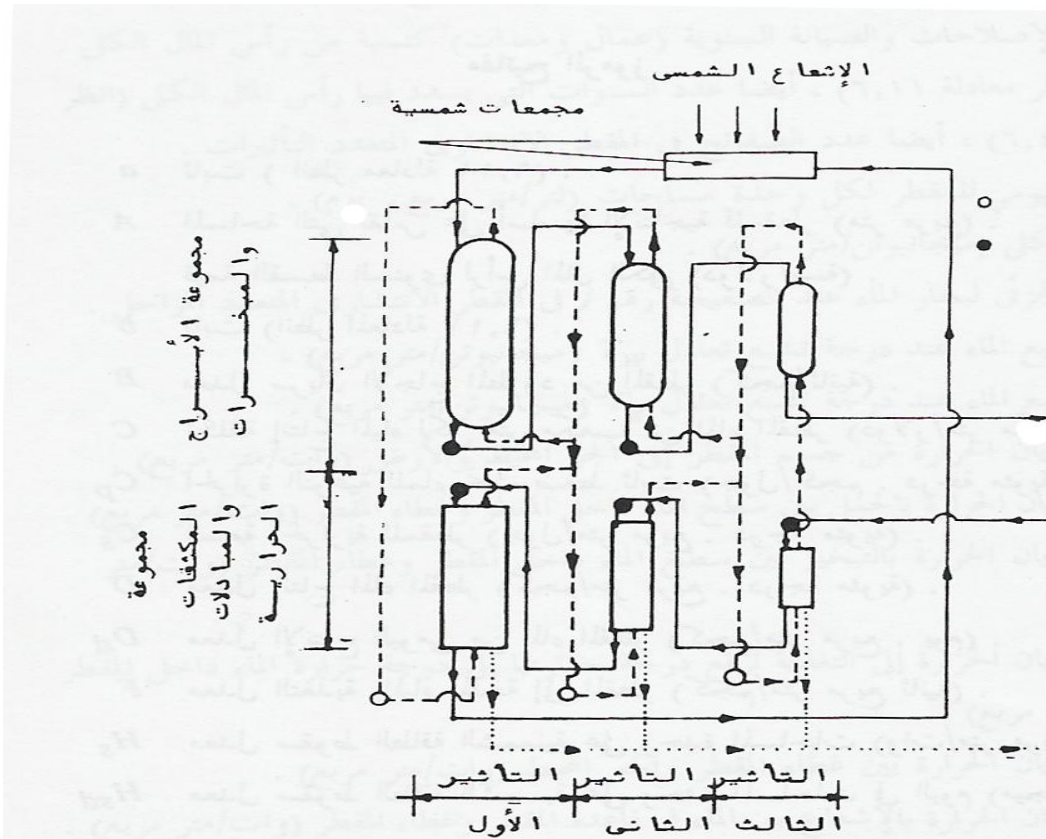
8- تأثير انحدار الغطاء :

عند الانحدار الأمثل للغطاء تصل إنتاجية المقطرات الشمسية إلى أقصى قيمة لها . ويعتمد الانحدار الأمثل للغطاء على الزمن خلال السنة و الموقع الجغرافي للمقطر و على الظروف المحيطة . وقد أثبتت التجارب و الدراسات أن تصميم الغطاء بانحدار قدره من 20- 25 درجة من الوضع الأفقي يعطي نتائج جيدة لعدد كبير من المقطرات الشمسية .

نظم أخرى لتحلية المياه بالطاقة الشمسية

مقطرات الحمل القسري :

من الممكن زيادة إنتاجية المقطر الصندوقي بزيادة معدل التبخير في المقطر نتيجة الحركة القسرية للهواء داخل المقطر ، الأمر الذي يسبب انتقال الحرارة بالحمل القسري بين الماء والغطاء الزجاجي، وهذا يزيد درجة حرارة الغطاء وينقص درجة حرارة الماء . ومن أهم مميزات هذه الطريقة تحسن الإنتاجية للمقطر . أما أهم عيوب هذه الطريقة فهي زيادة التكاليف نتيجة لاستخدام مراوح لحركة الهواء ، وزيادة الحرارة المفقودة من الغطاء نتيجة لزيادة درجة حرارته كما في الشكل (9).



الشكل (9) مقطرات الحمل القسري

التحلية باستخدام المقطر المتعدد التأثيرات بترطيب الهواء والتكثيف:

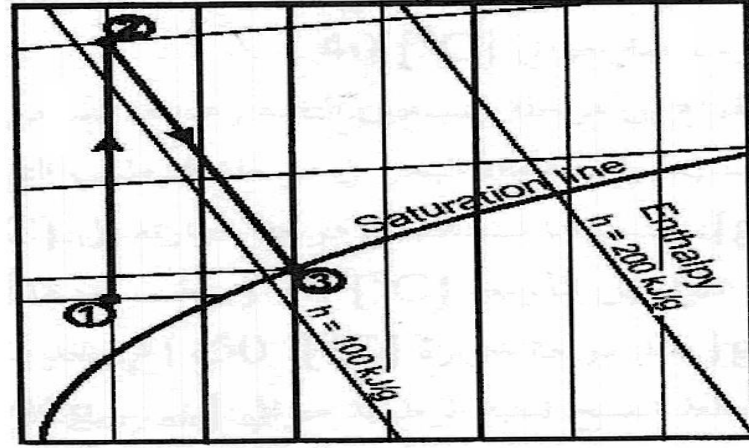
الفكرة الأساسية للبحث :

- 1- استخدام الطاقة الشمسية لتسخين تيار الهواء لأعظم درجة حرارة وهي 80 درجة مئوية.
- 2- حقن ماء البحر داخل تيار الهواء الساخن لتبخيره باستخدام الطاقة لداخلية المزودة من الشمس ، إن الهواء الحامل للحرارة عن د أقل من الدرجة (80) مئوية يسمح باستخدام مواد التركيب الاقتصادية لتجميع الطاقة الشمسية بحيث لا يحدث تآكل أو قشور (طبقات) أو انسداد في نظام المجمعات الشمسية، إن درجات الحرارة المنخفضة تسمح باستخدام بوليمرات منخفضة التكاليف لمسخنات الهواء والمرطبات وتجهيزات أخرى .
- إن أحد الأهداف الرئيسية لعملية التحلية الشمسية هي تقليل حجم الهواء والذي يتدفق عبر الحوض ، هذا يعني تكبير المحتوى البخاري في الهواء المستخدم .
- هذا الهدف يمكن أن يخفف عبر خطوة عملية لتجميع البخار في تدفق الهواء بواسطة الطاقة الشمسية وبعد ذلك إلى مرطبات الهواء التي تتوسط عمليات تسخين الهواء .
- تتألف العملية من مراحل متعددة لتسخين الهواء مرافقة لمراحل الترطيب وهذه الطريقة من الإنتاج تجعل من الممكن إنتاج محتوى بخاري عالي في تيار الهواء .

الأساس الترموديناميكي للعملية :

يمكن وصف عملية تسخين الهواء و ترطيبه باستخدام المخطط السايكومتري والذي يدعى أيضاً بمخطط (h-x) المبين في الشكل (10)، إن تدفق الهواء بدرجة الحرارة الابتدائية والرطوبة الابتدائية أيضاً يتحدد بالنقطة (1) والتي هي $10 [g_{water}/Kg_{dry air}]$ ، $25 [C^{\circ}]$ وبعد ذلك يمكن تسخينه إلى $80[C^{\circ}]$ النقطة (2) وترطيبه ببخ الماء أدياباتياً لزيادة رطوبته إلى $30 [g_{water}/kg_{dry air}]$ النقطة (3) يرافقه انخفاض في درجة الحرارة إلى $30 [C^{\circ}]$.

في هذه الحالة كمية الماء التي يمكن ربحها هي $[g_{\text{water}}/kg_{\text{dry air}}]$ 20 مع العلم أن أعلى نسبة للهواء إلى الماء (50:1) وأخفض درجة حرارة ضرورية من أجل تكثيف المزيج لاحقاً هي من المساوي الرئيسية لاقتصادية المشروع ((هذه الطريقة يمكن أن تستخدم فقط لتحلية كمية قليلة من الماء))



الشكل (10) وصف عملية تسخين الهواء وترطيبه باستخدام المخطط السايكومتري

اقتصاديات المقطرات الشمسية :

تعتمد تكلفة إنتاج الماء المقطر لكل متر مكعب من الماء المقطر في المقطر الشمسي على مايلي :

- 1- رأس المال الكلي المستثمر I
- 2- قيمة المدفوع سنويا لاستثمار رأس المال الكلي كنسبة من رأس المال في السنة AP.
- 3- تكاليف الإصلاحات والصيانة السنوية كنسبة من رأس المال في السنة

TR

- 1 - الضريبة السنوية وتكاليف التأمين كنسبة من رأس المال في السنة TI
- 2 - عدد ساعات العمل للعمال في السنة L.
- 3 - أجر عمالة التشغيل لكل ساعة عمل W.
- 4 - معدل الإنتاج السنوي من الماء المقطر لكل وحدة مساحة من المقطر y_D

- 5 - مساحة المقطر التي تحسب على أساسها إنتاجية المقطر A_D .
6 - التكلفة الكلية للمياه المالحة اللازمة لإنتاج متر مكعب من الماء المقطر S

$$C = \frac{I(AP + MR + TI) + LW}{Y_D A} + S \quad \text{وهذه العلاقة :}$$