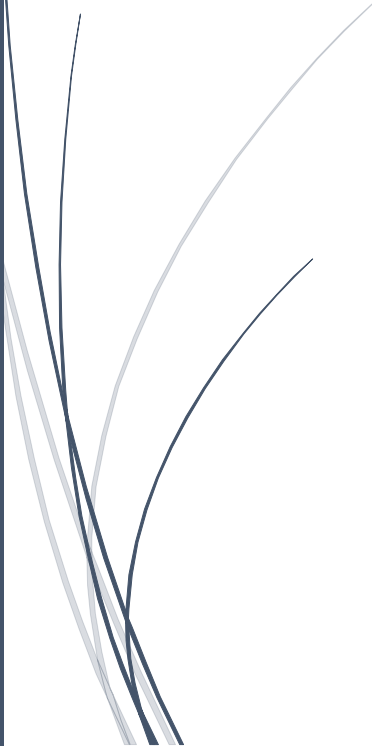


## استثمار الطاقة الشمسية الحرارية





#### 1-4 مدخل:

كما ذكرنا سابقاً يصلنا من الشمس كمية هائلة من الإشعاع الشمسي تبلغ أضعاف حاجة المجتمع من الطاقة. ويمكن للطاقة الشمسية أن تكون حلاً ممتازاً لمشكلة الطاقة في سورية. يمكن استثمار الطاقة الشمسية بشكلين رئيسيين:

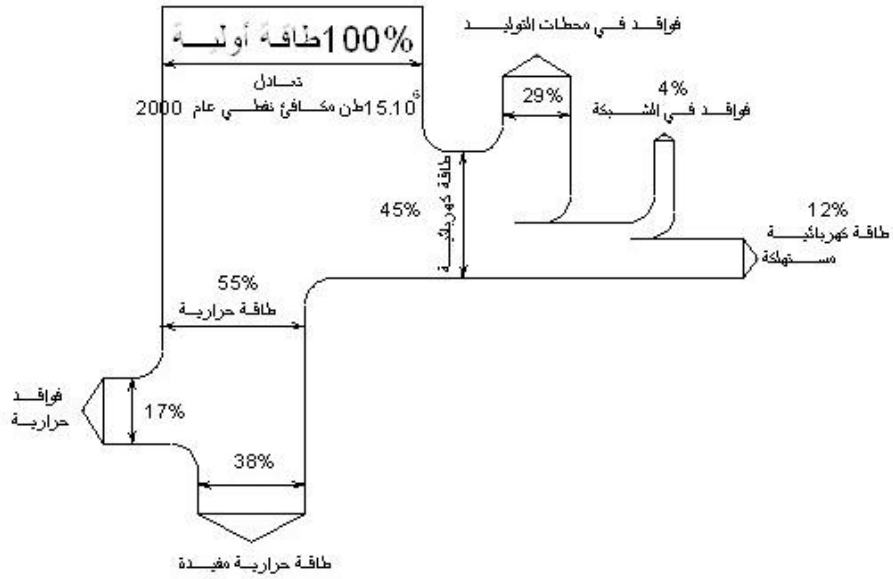
آ. توليد الكهرباء بالطاقة الشمسية الحرارية أو الطاقة الشمسية الفوتو فولتية ولا يتجاوز المردود العملي لأي من النظامين من  $(15 \div 10)\%$ . ورغم ذلك فإنه نظراً لأهمية الطاقة الكهربائية ومزاياها العديدة يتم العمل بشكل واسع على تطوير هذه الأنظمة.

قد يسمح تطور تقانات الطاقة الشمسية وارتفاع أسعار الطاقة التقليدية حالياً بالحصول على طاقة كهربائية من الشمس بكلفة لا تتجاوز كثيراً توليد الطاقة الكهربائية بالطرق التقليدية وهذا الفارق يتضاءل بشكل سريع على أمل أن يصبح لصالح الطاقة الشمسية.

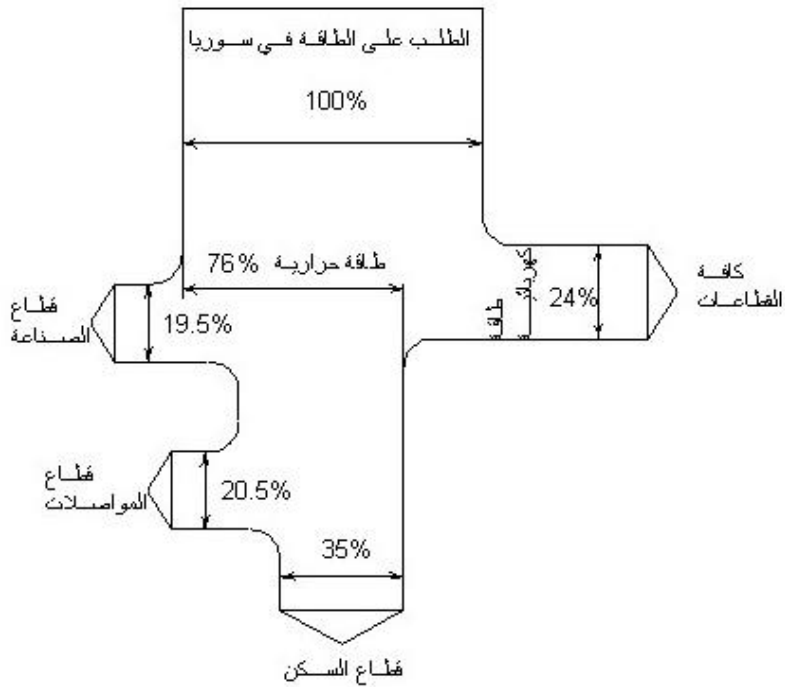
لتوليد الكهرباء بالطاقة الشمسية ستخصص فصول أخرى، أما في هذا الفصل فستتم دراسة بعض تطبيقات الطاقة الشمسية لغير توليد الكهرباء.

ب. استثمار الطاقة الشمسية الحرارية لغير توليد الكهرباء:

يصل مردود اللواقط الشمسية الحرارية إلى  $70\%$  وأكثر حسب نوعها ومجال استخدامها. تبلغ نسبة الطاقة التي تستهلك في سورية على شكل طاقة حرارية إلى مجمل الطاقة المستهلكة حوالي  $75\%$ . يبين الشكل (1-4) مخطط لانسياب الطاقة في سورية انطلاقاً من الطاقة الأولية. بينما يبين الشكل (2-4) نسب استهلاك الطاقة في شتى القطاعات الإنتاجية وغيرها، يستنتج من المخطط أن استثمار الطاقة الشمسية الحرارية لغير توليد الكهرباء وفي معظم القطاعات أوسع وربما أهم من توليد الكهرباء بالطاقة الشمسية.



الشكل (1-4) انسياب الطاقة في سوريا



الشكل (2-4) منخطط الطلب على الطاقة في سوريا

## 4-2 نظم استثمار الطاقة الشمسية:

### 4-2-1 مدخل:

يمكن الاستفادة من الطاقة الشمسية في تغطية احتياجات قطاعات سكنية وإنتاجية واسعة من الطاقة الحرارية وأهم التطبيقات التي تلاقي حالياً أو تبشر بمستقبل واسع لاستثمار الطاقة الشمسية الحرارية لتحل محل الطاقات الأحفورية أو تكون أحياناً بديلاً للطاقة الكهربائية هي التطبيقات التالية:

- التدفئة بالطاقة الشمسية.
  - التكييف بالطاقة الشمسية.
  - التجفيف بالطاقة الشمسية.
  - تدفئة الدفيئة الزراعية.
  - التقطير بالطاقة الشمسية.
  - تحلية المياه بالطاقة الشمسية.
  - تسخين المياه للأغراض المنزلية وكذلك تسخين مياه المسابح.
- سنتطرق بتفصيل كاف لتسخين المياه بالطاقة الشمسية والتي يمكن الاستفادة منها في أغراض منزلية أو صناعية متعددة وتغطي مجمل الفقرات السابقة ولخصوصية تسخين مياه المسابح سيتم التطرق لها بشكل مستقل في كلتا الحالتين سنبين طريقة إجراء الحسابات اللازمة للنظام أما بقية التطبيقات فسيتم استعراضها دون إجراء الحسابات اللازمة.

## 4-2-2 تسخين مياه المسابح بالطاقة الشمسية:

### 4-2-2-1 مقدمة:

إن تسخين مياه المسابح بالطاقة الشمسية في سورية لا يلقي تطبيقاً واسعاً لسبب بسيط وهو ارتفاع درجات الحرارة الوسطية للهواء والماء خلال فصل الصيف. كما أن المساحة الكبيرة نسبياً لحوض السباحة بالنسبة لسعته من الماء تجعل من سطوح أحواض السباحة المكشوفة لواقط ممتازة للطاقة الشمسية تفي غالباً بالحاجة وتصل بدرجات حرارة مياه السباحة إلى الحدود المرغوبة دون الحاجة لأنظمة تسخين فعالة.

يمكن الاستفادة من الطاقة الشمسية في سورية في تسخين مياه المسابح المغلقة شتاءً نظراً لما يتميز به القطر من توفر للإشعاع الشمسي معظم أيام السنة، ويتميز نظام تسخين المسابح بالطاقة الشمسية بعدم حاجته إلى خزان حراري إذ يغني حوض المسبح عن هذا الخزان.

#### 4-2-2-2-2 حساب الاستطاعة الحرارية اللازمة لتسخين الأحواض المكشوفة:

تتم عملية الحساب انطلاقاً من القيم الوسطية الفصلية لدرجات الحرارة وتسمح الطريقة المقترحة بالوصول إلى دقة كافية للنتائج.

#### 4-2-2-2-2-1 معادلة التوازن الحراري:

يمكن صياغة معادلة التوازن الحراري للمسبح المكشوف انطلاقاً من الشكل (4-3) الذي يمثل مخططاً لدارة تسخين مسبح مكشوف بالطاقة الشمسية وتكون معادلة التوازن الحراري على الشكل التالي:

$$\langle 1-4 \rangle \quad \dot{Q}_H = \dot{Q}_C + \dot{Q}_R + \dot{Q}_{tr} + \dot{Q}_V - \dot{Q}_S \quad [W]$$

حيث:

$\dot{Q}_S$ : إشعاع شمسي مباشر.

$\dot{Q}_H$ : استطاعة التسخين اللازمة.

$\dot{Q}_C$ : الفقد الحراري بالحمل من سطح الحوض المكشوف.

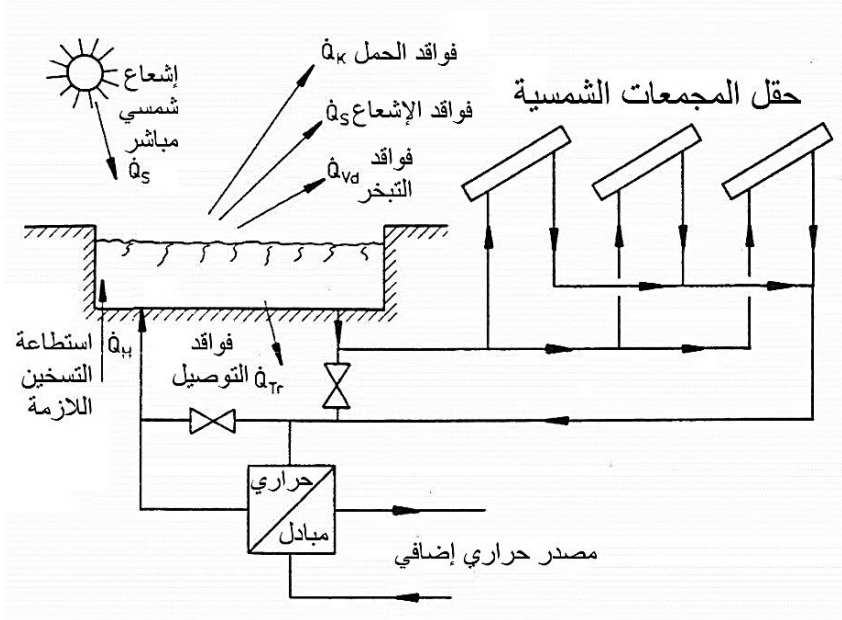
$\dot{Q}_R$ : الفقد الحراري بالإشعاع من سطح الحوض المكشوف.

$\dot{Q}_V$ : الفقد الحراري بالبخر من سطح الحوض المكشوف.

$\dot{Q}_{tr}$ : الفقد الحراري بالانتقال عبر أرض وجدران الحوض.

#### 4-2-2-2-2-4 حساب الفقد الحراري بالحمل والإشعاع:

نظراً لصعوبة حساب كل من الفقد الحراري بالحمل والإشعاع بشكل منفصل ودقيق يتم حسابهما معاً.



الشكل (3-4)

ونستخدم في هذا الحساب علاقة تجريبية تنسب لروفل 1970 تعطي نتائج تقريبية بدقة كافية:

$$(2-4) \quad \dot{Q}_C + \dot{Q}_R = \alpha_{C.R} \cdot A_w (t_w - t_m) \quad [W]$$

حيث:

$A_w$ : مساحة سطح الحوض  $[m^2]$

$t_w$ : درجة حرارة ماء الحوض  $[C^\circ]$

$t_m$ : درجة حرارة الهواء الوسطية  $[C^\circ]$

$\alpha_{C.R}$ : معامل التبادل الحراري السطحي بين الماء والهواء يأخذ بعين الاعتبار الإشعاع والحمل

ويمكن اعتماد القيم التالية لهذا المعامل:

$$\alpha_{C.R} = 10.7 \left[ \frac{W}{m^2k} \right] \text{ لحوض محمي من الرياح.}$$

$$\alpha_{C.R} = 11.7 \left[ \frac{W}{m^2k} \right] \text{ لحوض عادي.}$$

$$\alpha_{C.R} = 12.7 \left[ \frac{W}{m^2k} \right] \text{ لحوض معرض للرياح.}$$

#### 4-2-2-3 حساب الفواقد الحرارية بالتبخير:

يتم حساب الفواقد الحرارية بالتبخير من سطح الحوض على النحو التالي:

$$(3-4) \quad \dot{Q}_v = \dot{m}_s \cdot r \cdot A_w$$

حيث:

$$\dot{Q}_v : \text{الفواقد الحرارية بالتبخير [W]}$$

$$\dot{m}_s : \text{معدل التبخر [kg/m}^2 \cdot \text{s]}$$

$$r : \text{طاقة البخر مقدرة [J/kg] حيث } r = 2450 \text{ [kJ/kg]}$$

تحسب  $\dot{m}_s$  لكل  $1 \text{ m}^2$  من سطح الحوض من العلاقة التالية:

$$(4-4) \quad \dot{m}_s = \frac{\alpha_{C.R}}{C_a} (\ddot{X}_{wo} - X) \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right]$$

$C_a$  : الحرارة النوعية لهواء مشبع عند درجة حرارة مساوية لدرجة حرارة سطح الماء ويمكن اعتماد

$$. C_a = 1005 \text{ [J/kg} \cdot \text{K]} \text{ قيمة تقريبية ثابتة}$$

$$. X : \text{محتوى الهواء من بخار الماء عند حرارة وسطية للهواء } t_m \text{ [kg/kg]}$$

$\ddot{X}_{wo}$  : محتوى الهواء المشبع من بخار الماء عند درجة حرارة مساوية لدرجة حرارة سطح الماء

وحيث إن درجة حرارة الهواء في الحالة العامة أقل من درجة حرارة الماء تكون درجة حرارة سطح

الماء  $t_{wo}$  أدنى من درجة حرارة الماء  $t_w$  . فإذا أردنا استبدال درجة حرارة سطح الماء غير

المعروفة وصعبة التحديد بدرجة حرارة الماء يجب إدخال تعديل على العلاقة (4-4) على النحو

التالي:

$$(5-4) \quad \dot{m}_s = 0.7 \frac{\alpha_{C.R}}{C_a} (\ddot{X}_w - X) \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right]$$

وبالتالي:

$$(6-4) \quad \dot{Q}_v = 0.7 \frac{\alpha_{C.R}}{C_a} (\ddot{X}_w - X) \cdot r \cdot A_w$$

يمكن إيجاد  $\ddot{X}_w$  من المخطط البسايكرومترى للهواء من تقاطع درجة حرارة الماء مع خط الرطوبة

$$. \phi = 100\%$$



#### 4-2-2-2-4 الفقد الحراري بالانتقال عبر جدران وأرض الحوض:

نظراً لضآلة مقدار الفقد الحراري عبر سطوح جدران وأرض الحوض والتي لا تتجاوز 3% من إجمالي الفواقد، يمكن إهمال هذه الفواقد في الحسابات الحرارية.

#### 4-2-2-2-5 حساب الكسب الحراري من الإشعاع الشمسي المباشر:

يتم حساب الكسب الحراري من الإشعاع الشمسي المباشر بالعلاقة التالية:

$$\dot{Q}_s = \xi \cdot J_{Ehm} \cdot A_w$$

حيث:

$\xi$  : الجزء الممتص من الإشعاع في الحوض.

$J_{Ehm}$  : شدة الإشعاع الفصلية الوسطية على السطح الأفقي  $\left[ \frac{W}{m^2} \right]$ .

$A_w$  : مساحة سطح الحوض  $[m^2]$ .

تتعلق قيمة  $\xi$  بلون وعمق قاع الحوض وتؤخذ من الجدول التالي:

#### الجدول (1-4)

عمق قاع الحوض [m]				
2	1.5	1	0.5	لون قاع الحوض
0.85	0.83	0.79	0.73	أبيض
0.91	0.90	0.87	0.84	أزرق فاتح
0.97	0.96	0.95	0.93	أزرق غامق

#### 4-2-2-2-6 حساب الطاقة الفصلية اللازمة:

تنتج الطاقة الفصلية اللازمة من العلاقة:

$$(7-4) \quad Q_{Htot} = (\dot{Q}_c + \dot{Q}_R + \dot{Q}_v - \dot{Q}_s) \cdot t_{ss}$$

$t_{ss}$  : مدة فصل السباحة (s/a).

تبين الخبرات العملية والمقارنة مع طرق أخرى للحساب أن الطريقة المعتمدة لحساب مركبات الفقد الحراري تعطي قيمة عالية نسبياً لـ  $\dot{Q}_V$  وقيم منخفضة لـ  $(\dot{Q}_C + \dot{Q}_R)$  لكن المجموع يكون صحيحاً، أي أن للطريقة دقة كافية.

يبين الجدول التالي نسبة الطاقة المطلوبة  $Q_{Htot}$  إلى كامل الطاقة التي يتلقاها الحوض  $(Q_{Htot} + \dot{Q}_S)$  في وضع محمي لحوض بتغطية أو بدون تغطية من أجل  $\xi = 0.9$  ، ودرجة حرارة وسطية للهواء  $t_{am} = 25\text{ C}^0$ .

الجدول (2-4)

37	36	35	34	33	32	31	درجة حرارة الماء [C°]
65.7	62.2	58.1	53.3	47.6	40.3	31.4	بدون غطاء %
52.1	47.2	41.4	34.7	26.8	16.6	4.5	مع وجود غطاء %

تزداد نسبة الطاقة اللازمة إلى الطاقة الكلية الداخلة حسب درجة حرارة الماء المطلوبة  $t_w$  .  
والحاجة النوعية للطاقة منسوبة إلى واحدة المساحة لسطح الحوض هي:

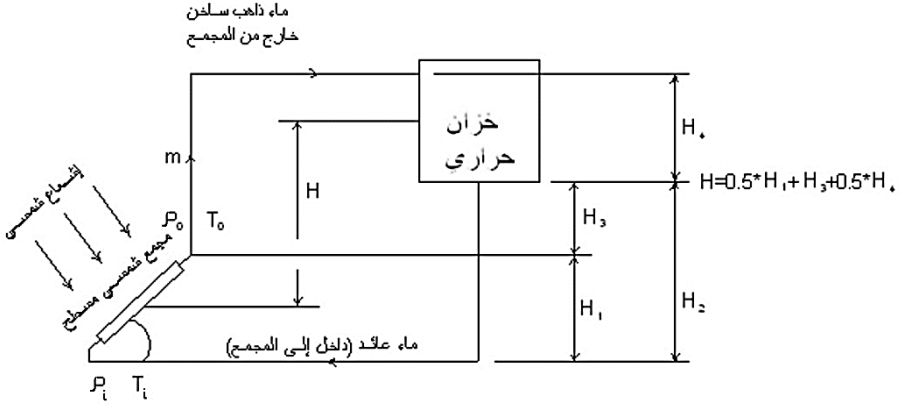
$$(8-4) \quad q_{Htot} = \frac{Q_{Htot}}{A_w} \quad \left[ \frac{J}{m^2 \cdot a} \right]$$

#### 3-2-4 التدفئة وتسخين المياه بالطاقة الشمسية:

#### 1-3-2-4 دائرة التسخين ذات الدوران التثاقلي (ثيرموسيفون):

يمكن استخدام المجمعات الشمسية المسطحة لأغراض التدفئة وتسخين المياه لأغراض الاستخدام المنزلي وتمثل دارات تسخين المياه التثاقلية أبسط الأنظمة المستخدمة لتسخين المياه.  
يبين الشكل (4-4) مخططاً لدائرة تسخين تثاقلية تتألف من العناصر الرئيسة التالية:  
المجمعات الشمسية-الخزان الحراري-شبكة الأنابيب.

يجب أن يتوضع الخزان الحراري في هذه الدارات عند منسوب أعلى من منسوب المجمعات، حيث تنتقل المياه المسخنة في المجمعات، وتحت تأثير فرق الكثافة إلى الأعلى أي إلى الخزان الحراري بينما تتحرك المياه الأقل حرارة من أسفل الخزان إلى المجمعات. وهكذا لا تحتاج دارات كهذه إلى مضخات أو دارة تحكم وبالتالي إلى طاقة مساعدة وتتميز هذه الدارات بكلفتها التأسيسية والاستثمارية المنخفضة وتلاقي انتشاراً واسعاً في شتى بلدان العالم.



الشكل (4-4) دارة تسخين مياه تناقلية بالطاقة الشمسية

#### 4-2-3-1-1 التدفق:

يبين الشكل (4-4) دارة تسخين تناقلية تعمل بالطاقة الشمسية. التسخين الناتج عن الإشعاع الشمسي في المجمع يؤدي إلى نشوء فرق في درجات الحرارة بين أسفل المجمع الشمسي وأعلى، وينشأ نتيجة لذلك فرق ضغط محرك قدره  $\Delta P_A$ :  
حيث:

$$(9-4) \quad \Delta P_A = (\rho_i - \rho_o) \cdot g \cdot H \quad \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

$\rho_i$ : كثافة الماء الداخل  $\left[ \frac{kg}{m^3} \right]$

$\rho_o$ : كثافة الماء الخارج من المجمع  $\left[ \frac{kg}{m^3} \right]$

$g$ : التسارع الأرضي  $\left[ \frac{m}{s^2} \right]$

H : عمود الماء [m] حسب الشكل (4-4)

تكون سرعة تدفق الماء غالباً صغيرة بالتالي التدفق صفائحي ( $R_e < 2300$ ) ويسري هذا الجريان للماء أو لسوائل شبيهة وليس للهواء مثلاً كما في المجففات ذات الحركة الثقالية للهواء.

في حالة جريان الماء الصفائحي في أنابيب قطرها R وطولها L فإن التدفق الناتج عن فرق ضغط قدره  $\Delta P$  يمكن صياغته بالعلاقة التالية وفق قانون (Hagen-poiseull)

$$(10-4) \quad \dot{v} = \frac{\pi \cdot R^4}{8\eta_d \cdot L} \Delta P \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

$\eta_d$  : اللزوجة الديناميكية  $\left[ \frac{kg}{m \cdot s} \right]$

واللزوجة الديناميكية هي تابع لدرجة الحرارة إلا أننا هنا نستخدم قيمة وسطية ثابتة.

بتعويض (9-4) بـ (10-4) نحصل على علاقة التدفق التالية:

$$(11-4) \quad \dot{v} = \frac{\pi \cdot R^4}{8\eta_d \cdot L} (\rho_i - \rho_o) \cdot g \cdot H \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

من اجل فوارق في درجتي حرارة الدخول والخروج ( $\Delta T_c = 15 \div 60 \text{ } ^\circ K$ ) كما هو سائد في الدارات الثقالية يمكن تقريب العلاقة بين الكثافة والحرارة إلى علاقة خطية وفق العلاقة:

$$(12-4) \quad \Delta \rho_A = (\rho_i - \rho_o) = -\beta \cdot \rho_i \cdot \Delta T_c \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$\beta$  : معامل التمدد الحجمي  $[1/^\circ K]$

$\Delta T_c$  : تغير درجة الحرارة في المجمع  $[^\circ K]$

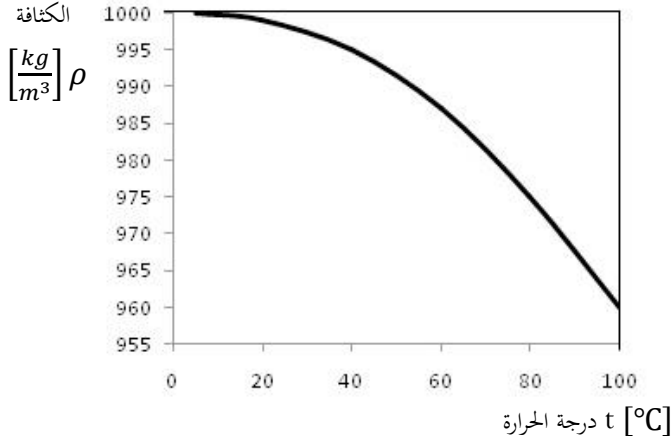
الشكل (5-4) يبين علاقة كثافة الماء بدرجة الحرارة.

إذا اعتبرنا أن درجة حرارة الدخول  $t_i = (20 \div 30) \text{ } [^\circ C]$  فعندها يكون الحديث عن  $t_o = (35 \div 90) \text{ } [^\circ C]$  وبالتالي في مجال درجات الحرارة المذكور يمكن اعتماد قيمة تقريبية ثابتة لمعامل التمدد الحجمي بسبب العلاقة شبه الخطية بين الكثافة ودرجة الحرارة. والقيمة المقابلة

للمجال المذكور تبلغ حوالي  $\beta = 3.3 \times 10^{-4} [^\circ K^{-1}]$

بتعويض (12-4) في (11-4) تنتج علاقة التدفق التالية:

$$\langle 13-4 \rangle \quad \dot{v} = \frac{\pi \cdot R^4 \cdot g \cdot H}{8\eta_d \cdot L} \beta \cdot \rho_i \cdot \Delta T_c \quad \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$



الشكل (4-5) العلاقة بين الكثافة ودرجة الحرارة للماء يلاحظ ان العلاقة في مجال العمل هي

شبه خطية عند الضغط الجوي النظامي

$$\bar{\rho} = \frac{\rho_i + \rho_o}{2} \text{ حيث: } \bar{\rho} \text{ قيمة وسطية للكثافة حيث:}$$

وبالتالي يكون:  $\dot{m} = \dot{v} \cdot \bar{\rho}$

$$\langle 14-4 \rangle \quad \dot{m} = \frac{\pi \cdot R^4 \cdot g \cdot H}{16\eta_d \cdot L} \beta \cdot \rho_i^2 \cdot \Delta T_c \cdot (2 - \beta \cdot \Delta T_c) \quad \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

إن الاستطاعة المفيدة للمجمع تعطى للسائل الناقل وبالتالي:

$$\langle 15-4 \rangle \quad \eta \cdot J_{Em} \cdot A_c = \dot{m} \cdot C_c \cdot \Delta T_c \quad [W]$$

أو:

$$\langle 16-4 \rangle \quad \dot{m} = \frac{\eta \cdot J_{Em} \cdot A_c}{C_c \cdot \Delta T_c} \quad \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

$A_c$  : مساحة سطح المجمع

$\eta$  : مردود المجمع الشمسي

$J_{Em}$  : الإشعاع الشمسي على السطح المائل للمجمع  $\left[ \frac{W}{m^2} \right]$

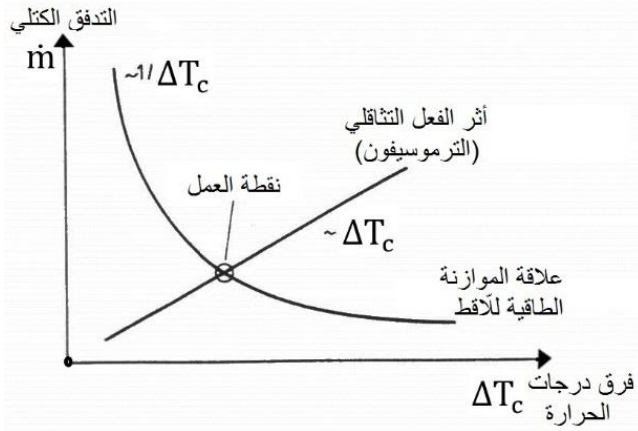
$C_c$  : الحرارة النوعية لسائل المجمع  $\left[ \frac{J}{kg \cdot ^\circ K} \right]$

$\Delta T_c$  : فرق درجات الحرارة في المجمع  $[^\circ K]$

العلاقة (4-13) تبين أن التدفق يتزايد مع تزايد  $\Delta T_c$  لكن العلاقة (4-15) تقول إن التدفق في المجمع عند ثبات الإشعاع الشمسي يتناقص مع تزايد  $\Delta T_c$  بتعويض (4-13) في (4-15) (أو بتقسيم العلاقتين طرفاً إلى طرف) ينتج العلاقة التي تحقق العلاقتين المذكورتين:

$$(4-17) \quad \frac{\pi \cdot C_c \cdot R^4 \cdot g \cdot H \cdot \beta \cdot \rho_i^2}{16 \eta_d \cdot L \cdot \eta \cdot J_{Em} \cdot A_c} \Delta T_c^2 (2 - \beta \cdot \Delta T_c) - 1 = 0$$

يبين الشكل (4-6) العلاقة بين التدفق وفرق درجة الحرارة لكل من النظام التناقلي حسب العلاقة (4-14) والنظام الشمسي حسب العلاقة (4-16).



الشكل (4-6) علاقة التدفق بفرق درجات الحرارة لكل من النظام التناقلي (الترموسيفون) والمجمع الشمسي

بما أن المقدار  $\beta \cdot \Delta T_c \ll 2$  أصغر بكثير من 2 بالتالي يمكن إهماله في العلاقة (4-17) وبعتماد قيم ثابتة لـ  $\beta$  و  $\eta_d$  وإهمال علاقتهما بدرجة الحرارة فمن العلاقة (4-17) تنتج العلاقة التالية لفرق درجات الحرارة في المجمع:

$$(4-18) \quad \Delta T_c = \left[ \frac{8 \eta_d \cdot L \cdot \eta \cdot J_{Em} \cdot A_c}{\pi \cdot C_c \cdot R^4 \cdot g \cdot H \cdot \beta \cdot \rho_i^2} \right]^{\frac{1}{2}} [^\circ K]$$

وبتعويض العلاقة (4-18) في (4-16) والإصلاح ينتج العلاقة التالية للتدفق:

$$(19-4) \quad \dot{m} = 0.627 \cdot R^2 \cdot \rho_i \left[ \frac{\eta \cdot J_{Em} \cdot A_c \cdot g \cdot H \cdot \beta}{\eta_d \cdot l_{eff} \cdot C_c} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

$l_{eff}$  - الطول الفعال للأنبوب بين المجمع والخزان [m]

في حسابات النظام التثاقلي يحسب التدفق من أجل مردود  $\eta$  ومساحة سطح  $A_c$  للمجمع وفق العلاقة (4-19) ويؤخذ فرق درجات الحرارة عندها على أساس علاقة التوازن الحراري للمجمع (4-15) وقد تبين أن الحسابات النظرية تعطي نتائج مقارنة جداً للقيم العملية (التجريبية).

#### 4-2-3-2-1 طول الأنبوب الفعال $l_{eff}$ :

الطول الفعال للأنبوب هو عادة أكبر من طول الدارة (من الخزان إلى المجمع وعبر المجمع إلى الخزان) بسبب وجود مقاومات محلية في الأكواع والصمامات وغيرها.

$$(20-4) \quad l_{eff} = l + l_{Ad} \quad [m]$$

حيث  $l_{Ad}$ : الطول الإضافي الناتج عن المقاومات المحلية [m]

وفق Recknagel-Sprenger يمكن إيجاد  $l_{Ad}$  وفق العلاقة:

$$(21-4) \quad l_{Ad} = \xi \frac{D}{\lambda} \quad [m]$$

$\xi$ : معامل المقاومة المحلية للأكواع والتطبيقات في الأنبوب.

$D$ : القطر الداخلي للأنبوب [m]

$\lambda$ : معامل الاحتكاك في الأنبوب.

يمكن إيجاد  $\xi$  من المراجع، أما من أجل  $\lambda$  للجريان الصفائحي فنجد من العلاقة:

$$(22-4) \quad \lambda = \frac{64}{Re}$$

أما عدد  $Re$  فيحسب من العلاقة:

$$(23-4) \quad Re = \frac{\vartheta \cdot D \cdot \rho}{\eta_d}$$

حيث:

$\vartheta$  : السرعة في الأنبوب [m/s]

السرعة  $v$  تم إيجادها تجريبياً من علاقة التدفق:

$$\langle 24-4 \rangle \quad \dot{m} = A \cdot \vartheta \cdot \bar{\rho} \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

حيث  $A$  : مساحة مقطع الأنبوب [ $\text{m}^2$ ]

$\bar{\rho}$  : الكثافة الوسطية للسائل [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$$\langle 25-4 \rangle \quad \vartheta = \frac{\dot{m}}{A \cdot \bar{\rho}} \quad \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

أو:

تتم الحسابات بعملية تكرار حيث تقدر قيمة لعدد رينولدز  $Re$  ويتم إيجاد  $\lambda$  وفق العلاقة

$\langle 22-4 \rangle$  أما  $\xi$  فمن المراجع ويحسب الطول الفعال  $L_{\text{eff}}$  بالعلاقة  $\langle 20-4 \rangle$  ليستفاد منه في

حساب التدفق حسب العلاقة  $\langle 19-4 \rangle$ .

#### 3-1-3-2-4 المخطط (H- $\rho$ ) والمساحات المحركة:

بالإضافة لأثر معطيات الخزان والجمع ودارة الأنابيب على قوة الرفع للنظام التثاقلي (تيرموسيفون)

فإن لتوضع الجمع والخزان (أو المبادل الحراري) أثر واضح في هذه القوة. في الشكل  $\langle 7-4 \rangle$  تمثل

المساحة بين منحني الكثافة ومحور الارتفاع وفق العلاقة  $\langle 9-4 \rangle$  ضغط الرفع  $\Delta P_A$  ويكون:

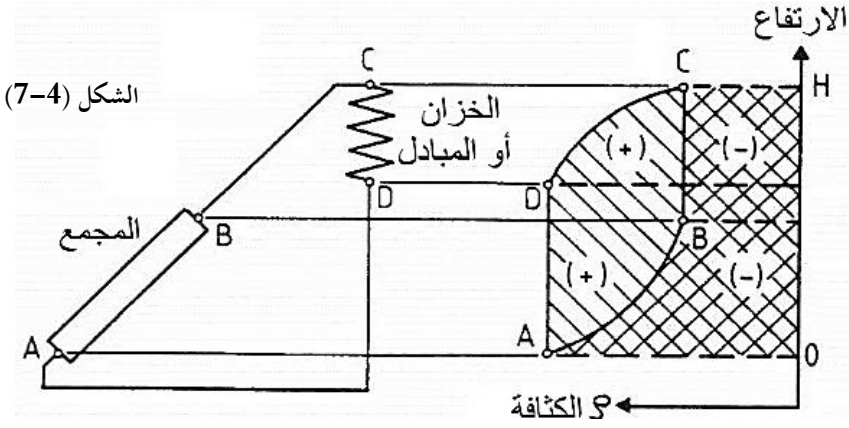
$$\langle 26-4 \rangle \quad \Delta P_A = g \cdot \int_0^H \rho(H) dH \quad \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

حيث تمثل المساحة مع إشارة (-) الضغوط التي تؤثر بعكس اتجاه الحركة المرغوب بينما تمثل

المساحة مع إشارة (+) الضغوط التي تؤثر باتجاه الحركة المرغوب والمحصلة هي المساحة DCBA

أو قيمة التكامل  $\langle 26-4 \rangle$ .

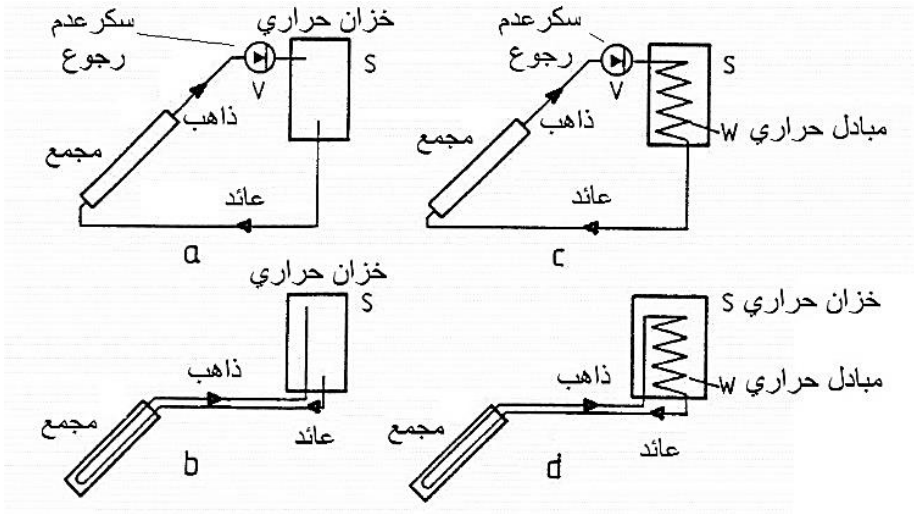




#### 4-1-3-2-4 تشكيل نظام (تيرموسيفون) التثاقلي:

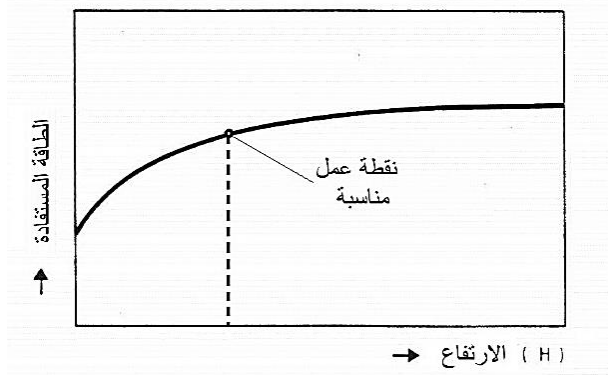
هناك أشكال عديدة ممكنة لبناء نظام تسخين شمسي تثاقلي ترموسيفوني. ويبين الشكل (4-8) بعض الطرق الممكنة والأكثر انتشاراً.

من محاذير النظام المفتوح إمكانية تجمد الماء شتاءً في الأنابيب. في الدارات المغلقة يمكن إضافة مانع تجمد لسائل الدارة المغلقة، كذلك هناك احتمال لحصول جريان عكسي ليلاً في النموذجين  $a$  و  $c$  ولذلك لا بد من اتخاذ ما يمنع حصول هذا الجريان كوضع صمامات عدم رجوع أو عزل كافة أنابيب الدارة أو تمرير الأنابيب كما في النموذجين  $d$  و  $b$  (هذا الحل يتسبب بنقصان فرق ضغط الرفع) أما بالنسبة لطول الأنابيب وارتفاع الخزان فرغم أن زيادة ارتفاع الخزان تؤدي إلى نشوء فرق ضغط تدوير أعلى إلا أنه يجب الأخذ بعين الاعتبار أن زيادة الارتفاع تترافق بزيادة الطول في الأنابيب وبالتالي زيادة المقاومة بالإضافة إلى الكلفة الكبيرة التي تنشأ عن لوازم رفع الخزان .



الشكل (4-8)

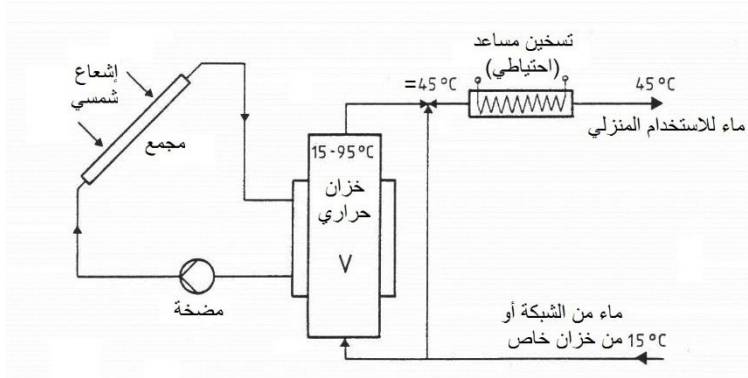
يبين الشكل (4-9) العلاقة بين الارتفاع  $H$  والطاقة المستفادَة ويلاحظ أن هذه الطاقة تتجه لتصبح مستقرة بعد قيمة معينة للارتفاع وتصبح بعدها زيادة الارتفاع غير عملية.



الشكل (4-9) العلاقة بين ارتفاع الخزان والطاقة المستفادَة في نظام التسخين الشمسي التناقلي (الترموسيفون)

#### 2-3-2-4 دائرة التسخين ذات الدوران القسري:

يبين الشكل (4-10) مخططاً لدائرة تسخين مياه مغلقة بالطاقة الشمسية ذات تدوير قسري وتتميز هذه الدارة بإمكانية توضع الخزان في موقع أدنى من المجمعات الشمسية (داخل المنزل أو في القبو أو غرفة التدفئة).



الشكل (4-10) دائرة تسخين شمسية ذات دوران قسري لسائل التسخين (ماء)

وظيفة النظام تسخين المياه من درجة حرارة ثابتة تقريباً حوالي  $15^{\circ}\text{C}$  إلى مستوى صالح للاستخدام الشخصي أي حوالي  $45^{\circ}\text{C}$ .

يجب أن لا تتجاوز درجة الحرارة في الخزان الحراري  $95^{\circ}\text{C}$  لتفادي حصول غليان. عندما تكون درجة الحرارة في الخزان أقل من  $45^{\circ}\text{C}$  يقوم الخزان المساعد برفع درجة حرارة ماء الاستخدام إلى الدرجة المناسبة للاستخدام.

يمكن أن يكون الخزان كهربائياً أو أن يكون مبادلاً حرارياً يستمد طاقته من نظام التدفئة المركزية إن وجد. في سوريا يسود استخدام أجهزة محلية لتسخين المياه بطاقة الوقود التقليدي تتوضع في الحمامات داخل المنازل وتقوم بوظيفتين، تسخين المياه للاستخدام المنزلي وتدفئة الحمام شتاءً. يمكن لهذه الأجهزة أن تقوم بدور السخان المساعد حيث يتم توصيلها على نظام التسخين الشمسي. وعندها لا يستخدم الوقود التقليدي إلا كطاقة مساعدة عند الحاجة. يجب تزويد النظام أيضاً بدارة تحكم في عمل المضخة.

عند تصميم نظام شمسي لمياه الاستخدام المنزلي يتم الانطلاق من مقدار الطاقة اللازمة (الحاجة إلى الطاقة) ومن الشروط الخارجية كشدة الإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة. ويجب مراعاة طريقة وفترات استهلاك الطاقة ونسبة التغطية الاقتصادية أو الأمثل لتحقيق ذلك هناك بارامترات متعددة تؤثر في ذلك:

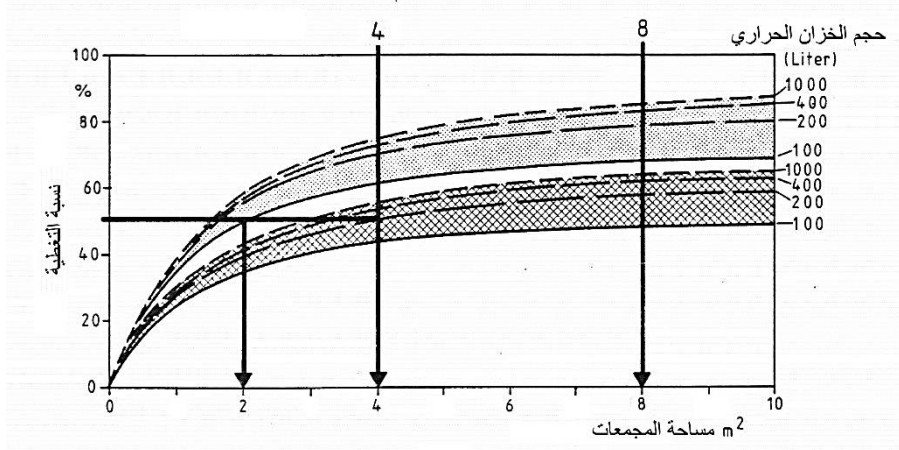
- المجمعات الشمسية (مساحتها، مردودها، سعتها الحرارية، التدفق الكتلي، مقاومتها)
- توضع المجمعات (ميل المجمعات، توجيهها)

- الشروط المناخية (الإشعاع الشمسي، درجات الحرارة الخارجية، سرعة الرياح)
- الخزان الحراري (الحجم، درجة العزل)
- شبكة الأنابيب (الطول، القطر، العزل، السعة الحرارية)
- طريقة وصل المجمعات (على التسلسل، على التوازي)
- التسخين الإضافي (الاستطاعة، المردود، مكان وطريقة الوصل)
- استهلاك الطاقة (كميات الاستهلاك، فترات الاستهلاك، درجة الحرارة، تدوير المياه)

#### 1-2-3-2-4 مساحة المجمعات وحجم الخزان الحراري وعلاقتها بدرجة التغطية:

يبين الشكل (4-11) العلاقة بين درجة التغطية وكل من حجم الخزان الحراري ومساحة المجمعات من أجل نظام تسخين مياه شمسي باستطاعة  $280 [I/day]$  بدرجة حرارة  $45^{\circ}C$  وهي كمية تكفي لـ (4÷5) أشخاص حسب المقاييس الدولية لمتطلبات متوسطة، تمثل حزمة المنحنيات السفلية مجمعات شمسية مسطحة عادية. حيث:  $(\eta_0 = 0.75, u = 10 [W/m^2 \cdot K])$

وتمثل الحزمة العلوية مجمعات شمسية عالية الجودة بسطوح ماصة انتقائية وزجاج اصطفاي وتمثل الحزمة  $(\eta_0 = 0.83, u = 3 [W/m^2 \cdot K])$ .



الشكل (4-11) علاقة درجة التغطية بمساحة المجمعات وحجم الخزان الحراري

الحسابات تم إجراؤها للشروط المناخية لمدينة دمشق مع اعتماد ثلاث فترات استهلاك للماء الساخن صباحاً وظهراً ومساءً وميلان للمجمعات الشمسية نحو الجنوب مباشرة بزاوية  $45^\circ$ .

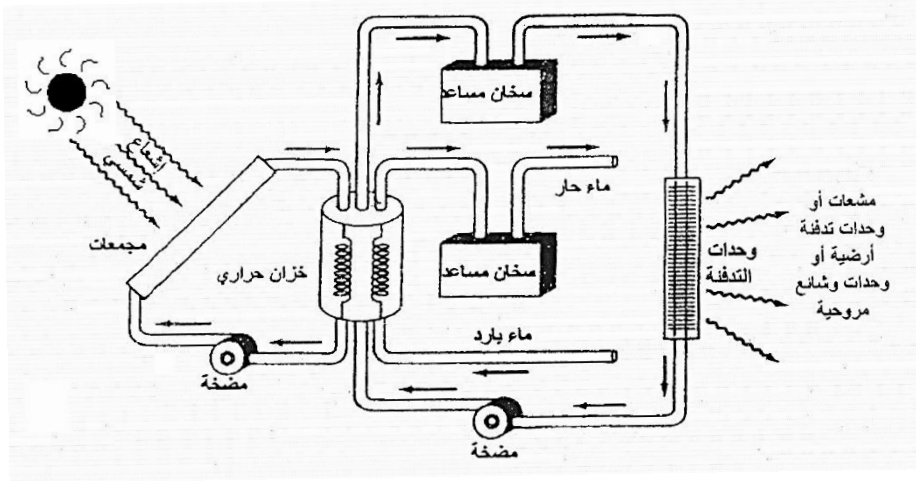
يلاحظ من الشكل (4-11) أن نسبة التغطية تتجه نحو قيم ثابتة سواء مع زيادة مساحة سطح المجمعات أو مع زيادة حجم الخزان الحراري و هذا طبيعي إذ لا بد أن هناك نسبة من الأيام أو الساعات خلال العام تفتقر إلى الإشعاع الشمسي ويلاحظ أن نسبة التغطية في نظام ذو خزان بسعة [L] 200 يحتاج إلى مساحة [m<sup>2</sup>] 4 لتأمين نسبة تغطية حوالي 50% بينما لا تؤدي زيادة مساحة المجمعات إلى [m<sup>2</sup>] 8 إلا إلى زيادة 10% فقط في نسبة التغطية، أما مضاعفة حجم الخزان فتؤدي إلى زيادة 5% فقط في نسبة التغطية.

يستنتج من الشكل أن رفع نسبة التغطية هنا بشكل ملحوظ يكون بالانتقال إلى حزمة المنحنيات العلوية أي اعتماد مجمعات ذات مواصفات عالية.

إن صغر حجم الخزان الحراري أكثر من اللازم يؤدي إلى خسائر لا مبرر لها ومردود أقل للنظام، بينما تؤدي الزيادة المفرطة في حجم الخزان إلى عدم مقدرة النظام على الوصول إلى درجات الحرارة المناسبة للاستهلاك لفترة طويلة من العام.

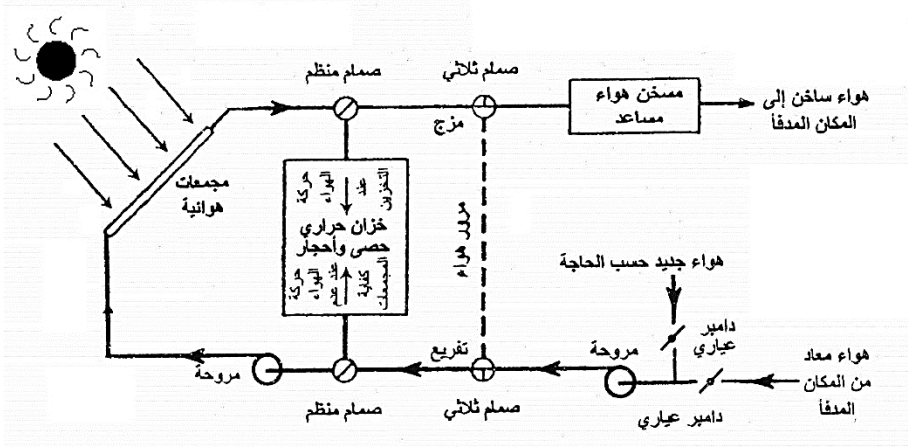
#### 4-2-3-2 التدفئة بالطاقة الشمسية:

يبين الشكل (4-12) نظام تدفئة فعال وبسيط بالطاقة الشمسية يتألف النظام من مجمعات شمسية ذات دارة قسرية مغلقة وخزان حراري وأجهزة تسخين مساعدة للماء الساخن لأغراض التدفئة وتأمين ماء الاستخدام الساخن بالإضافة إلى دارة التدفئة ذات التدوير القسري وعناصر التدفئة (هنا مشعات) ويمكن أن تكون عناصر التدفئة عبارة عن عناصر تدفئة أرضية أو معدات وشائع مروحية (fan coil) وفي كلتا الحالتين الأخيرتين تكفي حرارة  $(45 - 55)^\circ\text{C}$ ، مما يسهل الاستفادة من المنسوب الحراري المنخفض الذي تؤمنه الأشعة الضعيفة نسبياً في فصل الشتاء بمردود مقبول للمجمعات الشمسية.



الشكل (4-12) منظومة تدفئة فعالة تستخدم الماء كناقل للحرارة

يتميز هذا الاستثمار للطاقة الشمسية بالتناقض بين الطلب الشديد في الأيام الباردة وغير المشمسة وانخفاض منسوب الطاقة المتاحة وعدم توفر الإشعاع الشمسي إلا بحدود ضيقة في هذه الفترة. لاستثمار أنظمة الطاقة الشمسية هذه بشكل فعال يجذب إيجاد مستهلك للطاقة في الفترات التي تكون الطاقة المتاحة وفيرة جداً بالمقارنة مع فصل الشتاء ومن التطبيقات الممكنة في الأنظمة المنزلية الاستفادة من هذه الأنظمة لأغراض التكييف صيفاً إن أمكن.



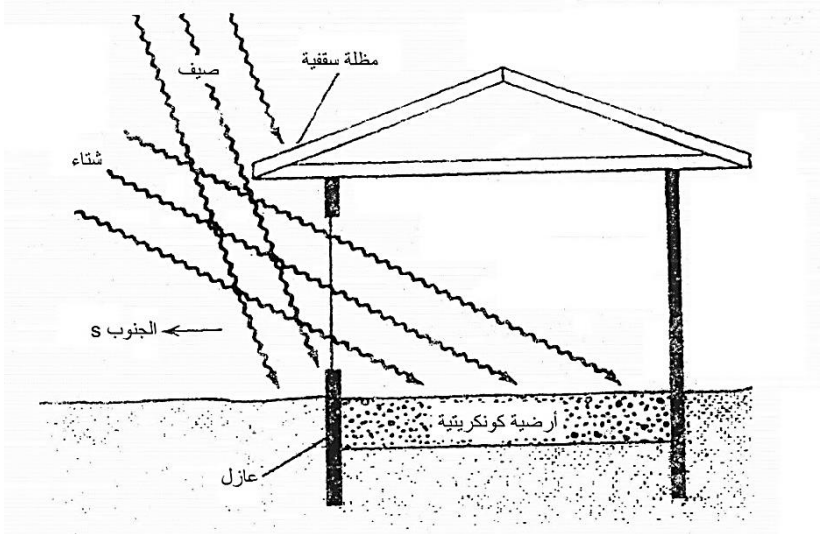
الشكل (4-13) منظومة تدفئة تستخدم الحصى كخزان للحرارة والهواء الناقل لها

الشكل (4-13) دائرة لنظام تدفئة فعال بالطاقة الشمسية، المميز في هذه الدارة أن المجمعات الشمسية هي مجمعات مسطحة إلا أن الوسيط الناقل للحرارة هو الهواء وليس الماء والخزان الحراري

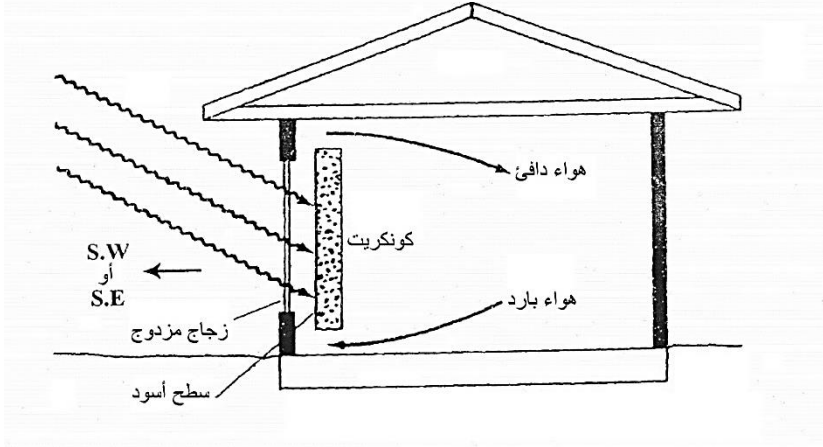
يمكن أن يكون نفق من الأحجار والحصى، يمكن أن يتوضع تحت البناء في البيوت المستقلة أو في نفق بجوار البناء في الأبنية متعددة المنازل.

بالإضافة إلى الأنظمة الفعالة المستخدمة للتدفئة بالطاقة الشمسية هناك أيضاً الأرضية، من المعروف أن الطاقة الشمسية تساهم في تدفئة المساكن أو الحجرات الأكثر تعرضاً للإشعاع الشمسي شتاءً ومن المعروف أن الجدران الجنوبية الغربية والجنوبية الشرقية بالإضافة إلى الجنوبية هي الأكثر تعرضاً للإشعاع الشمسي.

يستفاد من ميل الشمس شتاءً وكثافتها على السطوح الشاقولية لتوجيه النوافذ نحو الاتجاهات الأكثر إشعاعاً كما في الشكل (4-14)، وبسبب صغر مساحات النوافذ غالباً بالنسبة لمساحة الجدران الخارجية هناك إمكانية للاستفادة من كامل مساحة الجدار باستخدام جدار ترومب كما في الشكل (4-15).



الشكل (4-14) منظومة تدفئة سلبية تستخدم النوافذ لإمرار الأشعة الشمسية والكونكريت لخرن الطاقة



الشكل (4-15) نموذج لخائط ترومب

#### 4-3-2-4 التكيف بالطاقة الشمسية:

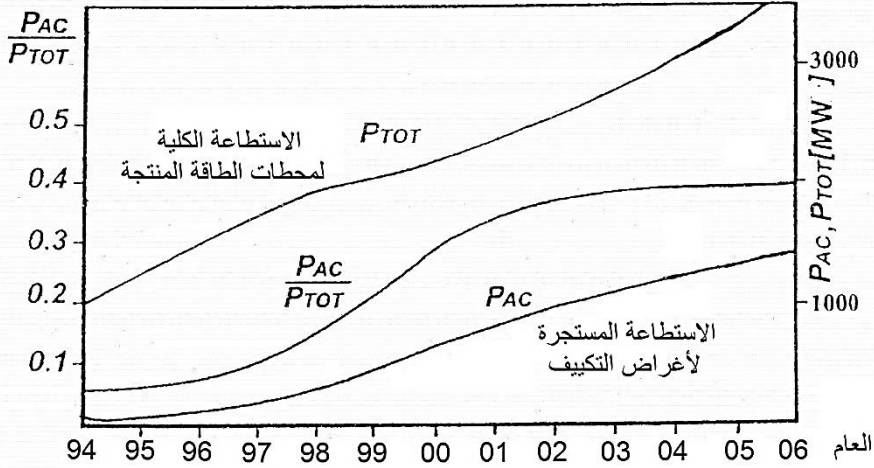
لاحظنا أن الطلب على الطاقة الحرارية في سوريا يتجاوز 70% من الطلب على الطاقة بشكل عام ويكون من المفيد جداً استثمار الطاقة الشمسية الحرارية في فترات العام الأكثر إشعاعاً والصعوبة في ذلك هو قلة الطلب على الطاقة الحرارية صيفاً.

مع التطور التقني وتنامي متطلبات الحياة العصرية في سوريا أصبح تكيف المنشآت الصناعية والصحية والسياحية بالإضافة إلى المنازل حاجة لا يمكن الاستغناء عنها، وقد توسع استجرار الكهرباء لأغراض التكيف لدرجة أصبح هذا الاستجرار يشكل في فصل الصيف مشكلة كبيرة على استقرار الشبكة العامة وعبئاً كبيراً لمحطات الطاقة العاملة.

يستجر حالياً في سوريا لأغراض التكيف أكثر من 10% من الطاقة الكهربائية المنتجة، قد لا تبدو هذه النسبة عالية إلا أن البحث في الاستطاعة العظمى المستجرة لأغراض التكيف تعطي تصوراً أكثر وضوحاً عن المشكلة.

إذ إن النسبة المذكورة للطاقة المستهلكة لأغراض التكيف يتم استهلاكها خلال مواسم التكيف أي خلال فترة لا تتجاوز 4 أشهر أما ساعات حمل أنظمة التكيف الفعلية الوسطية فلا تتجاوز ثلاثة أشهر وبالتالي تكون الاستطاعة المستجرة هي الاستطاعة اللازمة لإنتاج حوالي 40% من الطاقة الكهربائية المنتجة سنوياً في سوريا.





الشكل (4-16) تزايد استرجار الطاقة الكهربائية لأغراض التكييف

ويبين الشكل (4-16) تزايد استرجار الطاقة الكهربائية لأغراض التكييف ونسبة الاستطاعة المستجرة لهذا الغرض صيفاً إلى الاستطاعة الكلية المولدة. يتميز استثمار الطاقة الشمسية الحرارية لأغراض التكييف بمميزات عديدة تجعل منه استثماراً هاماً وواعداً ومن هذه المميزات:

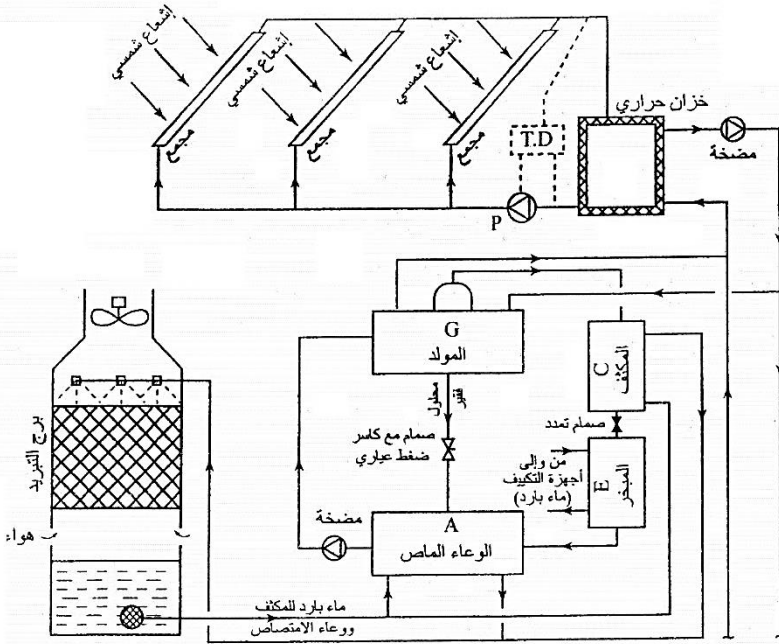
- التناسب الطردي بين الحاجة للطاقة لأغراض التكييف وحجم الطاقة الشمسية المتاحة صيفاً.
- إمكانية الاستفادة من الطاقة الشمسية الحرارية المباشرة بمرودود جيد وعدم الحاجة لتوليد الكهرباء بالطاقة الشمسية بمرودود منخفض وكلفة عالية.
- حل مشكلة الاسترجار الكهربائي لأغراض التكييف وتخزين استطاعة كبيرة للقطاعات الأخرى. هذا بالإضافة إلى بقية المميزات الهامة لاستثمار الطاقة الشمسية كشكل من أشكال الطاقة المتجددة.

إن تطور تقانات الطاقة الشمسية وتقانات التبريد الخاصة بالتكييف وظهور تقانات جديدة أكثر بساطة وأقل كلفة يفتح طريقاً واسعاً أمام الاستثمار للطاقة الشمسية. إن الطريقة الأكثر شيوعاً حالياً للتكييف بالطاقة الشمسية تكمن في استخدام دارات التبريد الامتصاصية كمصدر للاستطاعة التبريدية اللازمة للتكييف.

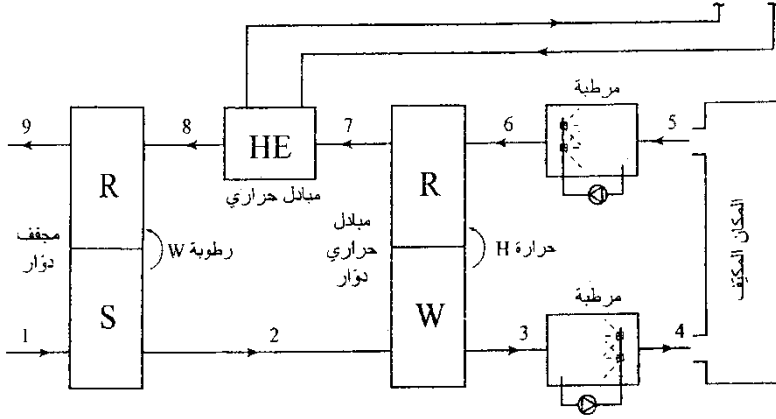
في آلات التبريد الامتصاصية تختلف بارامترات العمل (بارامترات الدارة) حسب مزيج وسيط التبريد المستخدم إذ تحتاج آلات التبريد الامتصاصية التي تعمل على مزيج الأمونيا - ماء إلى درجات حرارة تسخين (توليد) للحصول على مردود جيد تتجاوز  $120^{\circ}\text{C}$  وتكون الأمونيا هي وسيط التبريد بينما يكون الماء هو المادة الماصة، بينما تكون درجات الحرارة لوسيط التسخين بحدود  $90^{\circ}\text{C}$  لآلة تبريد امتصاصية تعمل بمزيج الماء - بروميد الليثيوم حيث الماء هو وسيط التبريد والليثيوم بروميد هو المادة الماصة.

حتى فترة قريبة كانت جودة المجمعات الشمسية (المسطحة) عائقاً أمام انتشار هذه التقانات التي تعمل بالطاقة الشمسية ومع تطور تقانات هذه المجمعات من حيث نوعية السطح الماص ومن حيث نوعية الزجاج المستخدم للتغطية.

(راجع الفقرتين 2-3 و 3-3) أصبح بالإمكان الحصول على درجات حرارة تتجاوز  $90^{\circ}\text{C}$  عند شدة للإشعاع الشمسي لا تتجاوز  $600[\text{w}/\text{m}^2]$  (وهي متاحة في سوريا طيلة فصل التكييف) وبمردود يصل إلى  $\eta_c = 0.55$  في الشكل (3-9).



الشكل (4-17) دارة آلة تبريد امتصاصية لأغراض التكييف بالطاقة الشمسية



الشكل (4-18) دورة تبريد تبخيري تجفيفي لأغراض التكييف بالطاقة الشمسية SD-DEC

يبلغ المردود لمجمع شمسي مسطح بسطح ماص اصطفاي وزجاج انتقائي أيضاً عند  $x = 0.08$  إلى  $\eta_c = 0.55$  وهذا يقابل درجة تسخين  $95^\circ\text{C}$  وعند شدة للإشعاع الشمسي  $J_{EM} = 650 \text{ w/m}^2$  وهكذا فالجمعيات الشمسية المسطحة عالية الجودة تكفي لتشغيل آلات تبريد امتصاصية تعمل بمحلول ماء - بروميد ليثيوم طيلة فصل التكييف في سوريا.

من المناسب تزويد الجمعيات الشمسية المسطحة بأجهزة توجيه نحو الشمس لضمان تحقيق مردود  $\eta_c > 0.5$  خلال معظم فترة الإشعاع الشمسي.

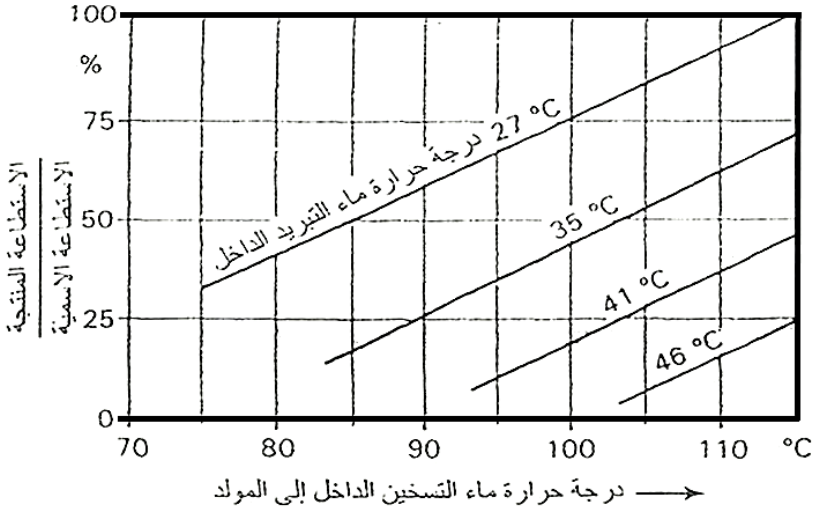
في حال استخدام آلات تبريد امتصاصية تعمل بمحلول أمونيا - ماء يكفي استخدام جمعيات شمسية مفرغة عالية الجودة وقد أصبحت متوفرة وبأسعار مناسبة. يمكن أيضاً استخدام جمعيات شمسية مركزة على شكل مجاري مقطعية يمكن بواسطتها الحصول على درجات حرارة تتجاوز  $200^\circ\text{C}$  وهي متاحة وكافية في كافة الأحوال حيث يبين الشكل (4-17) مخططاً لدارة تبريد امتصاصية تعمل بالطاقة الشمسية لأغراض التكييف.

يتم تصميم آلات التبريد الامتصاصية العاملة على الثنائي ماء-بروميد ليثيوم لتنتج الاستطاعة الأسمية بدرجة حرارة توليد  $t_g > 90^\circ\text{C}$  عند درجة حرارة ماء تبريد المكثف والوعاء الماص حوالي  $27^\circ\text{C}$  وهذا يعني أن الألة لا تعمل عند  $t_g > 90^\circ\text{C}$ .

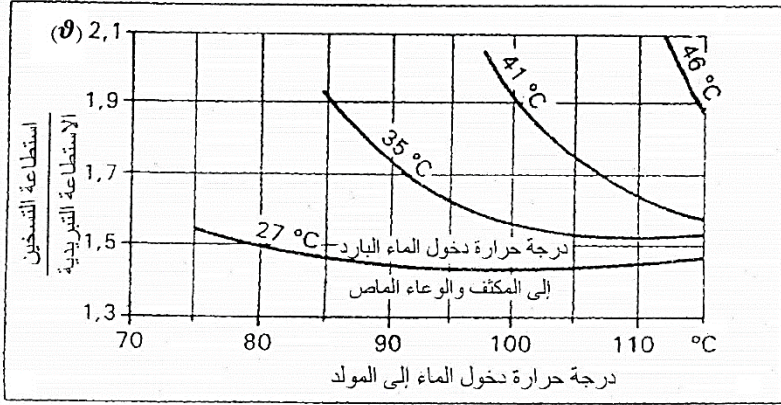
إن الاستطاعة المنتجة من آلة تبريد امتصاصية تتعلق بدرجة حرارة التوليد وبدرجة حرارة التوليد وبدرجة حرارة ماء التبريد للمكثف والوعاء الماص.

يبين الشكل (4-19) العلاقة بين الاستطاعة المنتجة (كنسبة من الاستطاعة الاسمية) ودرجة حرارة ماء التسخين الداخل إلى المولد من أجل درجات حرارة مختلفة لماء تبريد المكثف والوعاء الماص لآلة تبريد امتصاصية تعمل على الثنائي ماء-بروميد ليثيوم تنتج ماء بارد درجة حرارته  $6^{\circ}\text{C}$ ، يلاحظ من أجل ماء تبريد بدرجة حرارة  $27^{\circ}\text{C}$  فإن الاستطاعة المنتجة تصل إلى 50% وأكثر من الاستطاعة الاسمية عند درجة حرارة ماء التسخين حوالي  $90^{\circ}\text{C}$  أو أقل.

تتميز آلات التبريد الامتصاصية بعدم تأثر المردود كثيراً بتغير درجة حرارة التبريد والذي يتغير هو الاستطاعة المنتجة شريطة أن تبقى درجات حرارة ماء التبريد ثابتة  $27^{\circ}\text{C}$  بين الشكل (20-4) العلاقة بين  $u = \frac{\text{إستطاعة التسخين}}{\text{الإستطاعة التبريدية}}$  (والتي تمثل الاستهلاك النوعي للطاقة) ودرجة حرارة ماء التسخين من أجل قيم مختلفة لدرجات حرارة مياه التبريد للمكثف والوعاء الماص لآلة تبريد عاملة على الثنائي LiBr-H<sub>2</sub>O تنتج ماء بارد درجة حرارته  $6^{\circ}\text{C}$ .



الشكل (4-19) العلاقة بين الاستطاعة المنتجة ودرجة حرارة ماء التوليد في آلة تبريد امتصاصية (LiBr-H<sub>2</sub>O) من أجل قيم مختلفة لدرجة حرارة ماء التبريد للمكثف والوعاء الماص



الشكل (4-20) العلاقة بين نسبة استطاعة التسخين إلى الاستطاعة التبريدية ( $\theta$ ) المنتجة ودرجة حرارة الماء الداخلى إلى المولد من أجل قيم مختلفة لدرجة حرارة ماء التبريد للمكثف والوعاء الماص

يلاحظ أن المردود يبقى مستقراً بعد أن تتجاوز درجة حرارة التوليد  $80^{\circ}\text{C}$  والذي يتغير هو الاستطاعة كما ذكرنا سابقاً (وذلك عند توفر ماء تبريد بدرجة حرارة حوالي  $27^{\circ}\text{C}$ )

كما يلاحظ أن الاستهلاك النوعي للوقود وبالتالي المردود يتأثران بشدة بدرجات حرارة ماء التبريد للمكثف والوعاء الماص ويتم تدارك ذلك برفع درجات حرارة وسيط التسخين (التوليد)

تعتبر هذه الميزة ذات فائدة كبيرة في عملية التحكم بالاستطاعة إذ يمكن التحكم باستطاعة آلة التبريد هذه في المجال  $(10 \div 100)\%$  تحكماً مستمراً (دون تدرج) مع الحفاظ على المردود ثابتاً تقريباً.

لتقانات التبريد التجفيفي التبخيري شكل (4-18) ميزات عديدة تؤهلها ليكون لها مستقبل واعد في مجال التكييف باستخدام الطاقة الشمسية. إذ يكفي للتشغيل المستمر لهذه الآلات مصدر حراري بدرجات لا تتجاوز  $(60 \div 70)\%$  وتستطيع مجمعات شمسية مسطحة عادية

تأمين هكذا درجات حرارة ضمن شروط الإشعاع الشمسي السائدة في سوريا في فصل التكييف دون الحاجة إلى مجمعات عالية الجودة أو الحاجة إلى توجيه آلي للمجمعات، كما أن التجهيزات المستخدمة هي تجهيزات بسيطة وقابلة للتصنيع المحلي دون صعوبة كبيرة ودون الحاجة إلى تقانات عالية الكلفة.

يبين الشكل (4-21) إجراءات معالجة الهواء للدارة المبينة في الشكل (4-18) في مخطط الهواء الرطب حيث يدخل الهواء الخارجي المعالج بمواصفات النقطة 1 إلى المجفف الدوار ليخرج إلى نقطة 2 وفي المبادل الحراري الاسترجاعي يتم تبريده إلى النقطة 3 ثم يرطب أديباتياً إلى النقطة 4 بمواصفات مطابقة لمواصفات هواء التغذية اللازم ويرسل إلى المكان المكيف. في المكان المكيف تكون مواصفات الهواء مطابقة للنقطة 5 يسحب الهواء المطرود فيتم ترطيه أديباتياً أولاً إلى النقطة 6 ثم يسخن في المبادل الحراري الاسترجاعي إلى 7 يعاد تسخينه بواسطة طاقة المجمعات الشمسية إلى النقطة 8 حيث يستفاد منه في إعادة شحن المجفف فيدخله ويخرج من العلاقة:

$$(27-4) \quad \dot{Q}_c = (i_5 - i_4) \cdot \dot{m}$$

حيث:

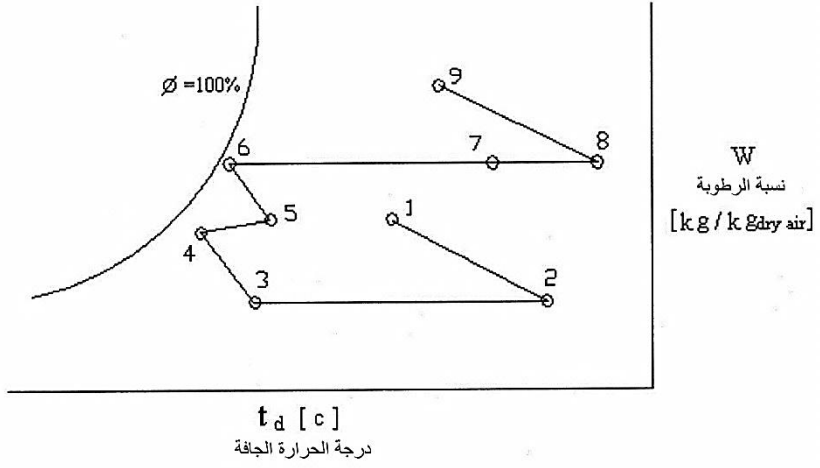
$$\dot{Q}_c : \text{الاستطاعة التبريدية [kW]}$$

$$\dot{m} : \text{تدفق الهواء [kg/s]}$$

$(i_5 - i_4)$  : فرق إنتالبي الهواء الداخلي وهواء التغذية [kJ/kg] وهو يساوي  $\dot{q}_c$  الانتاجية التبريدية النوعية لـ 1 كغ هواء:

$$(28-4) \quad \dot{q}_c = i_5 - i_4 = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{m}}$$

يمكن ببساطة من مخطط الهواء الرطب شكل (4-21) حساب أيضاً الطاقة الحرارية اللازمة لإعادة شحن المجفف وكمية ماء الترطيب في كل من المرطبتين  $H_2$  و  $H_1$  كذلك استطاعة المبادل الحراري.



الشكل (21-4) مخطط معالجة الهواء للدائرة المبينة في الشكل (4-18)

