

# تحلية المياه باستخدام أنظمة الطاقة الشمسية

## مقدمة:

يعد الماء القاعدة الأساسية التي تقوم عليها الحياة فوق الأرض فعلى المياه قامت أولى الحضارات البشرية وحيثما وجد الماء وجدت الحضارات ونظراً للتزايد الهائل في عدد السكان وارتفاع المستوى المعيشي والتطور الصناعي والزراعي مما أدى إلى تلوث المياه ومصادره المحدودة، ونتيجةً لقلّة مصادر المياه العذبة في كوكب الأرض برزت مشكلة النقص الحاد للمياه العذبة ولقد أجريت العديد من الدراسات والبحوث حول مستقبل الوضع المائي والبحث عن مصادر مائية جديدة غير المصادر التقليدية التي منها على سبيل المثال تحلية المياه المالحة، فكما نعلم أن الاعتماد على المياه الجوفية، وهو مصدر محدود، وبالتالي فإنه يفترض علينا القيام بالدراسات اللازمة والأبحاث الضرورية في كيفية الاستفادة من مياه البحر في المناطق الساحلية.

## ٢.٨ . طرق تحلية المياه المالحة

يوجد خمس تقنيات أساسية تستخدم لإزالة الملح والمواد الصلبة المنحلة من المياه وهي:

- التقطير .
- التناضح العكسي .
- الديليزة الكهربائية .
- التبادل الشاردي .
- التحلية بالتجميد .

إن كلاً من عمليتي التقطير والتجميد تشمل استخلاص الماء العذب من ماء البحر المالح على شكل بخار ماء أو جليد. أما التناضح العكسي والديليزة الكهربائية فتستخدم أغشية لفصل الأملاح المنحلة والمعادن من الماء. وبالنسبة للتبادل الشاردي فإنه يشمل تبادل الشوارد المعدنية المنحلة في الماء مع شوارد أخرى وكثير من الشوارد المنحلة المرغوبة وذلك عن طريق مرور الماء خلال ريزين كيميائي. بالإضافة إلى إزالة الأملاح والمواد الصلبة الأخرى المنحلة من الماء فإن البعض من تقنيات التحلية السابقة الذكر يمكنها أيضاً إزالة المعادن العالقة والمواد العضوية والبكتيريا والفيروسات. هذه التقنيات طوّرت لمعالجة كميات كبيرة من الماء ولكن بعضها طُبِّق مؤخراً من أجل كميات قليلة من المياه للاستخدامات المنزلية.

## ١.٢.٨ . التقطير

يمكن فصل الملح والماء الخالي من المعادن عن ماء البحر بواسطة تبخير جزء من الماء المالح ومن ثم تكثيف بخار الماء الناتج على سطح بارد. هذه هي نفس الظاهرة التي تحدث عندما يتكاثف بخار الماء داخل بيت دافئ على نافذة باردة أو عندما يتكاثف بخار الماء ليشكل المطر أو الثلج، إن هذه العملية المنفصلة تدعى التقطير.

يمكن أن يسرّع تبخير جزيئات الماء بواسطة تسخين ماء البحر إلى نقطة الغليان وتخفيض الضغط فوق سطح الماء، ولزيادة مردود عملية لتقطير للحد الأعظمي تستخدم الحرارة المأخوذة من عملية التكاثف في تسخين مياه التغذية أو لإعادة تسخين مياه البحر غير المتكاثفة. وبسبب أن التقطير يشمل تبخير الماء من مياه التغذية المالحة فإن الطاقة المطلوبة للتقطير بالإضافة إلى ثمنها لا تزداد بشكل يمكن تقديره مع زيادة ملوحة مياه التغذية.

## ٢.٢.٨ . التناضح العكسي

في هذه التقنية يوضع الماء المالح على أحد جانبي غشاء نصف نفوذ ويعرّض لضغط يساوي إلى (  $200-500 [lb/in^2]$  ) من أجل الماء قليل الملوحة و ( $800-1200 [lb/in^2]$  ) من أجل ماء البحر. إن الماء العذب سينتشر خلال الغشاء تاركاً خلفه أملاحاً بتركيز كبير تحوي معظم المواد الملوثة العضوية واللاعضوية.

إن منشأة التناضح العكسي النموذجية تستخلص بين ( % ٨٠-٥٠ ) من ماء التغذية مع ( % ٩٨-٩٠ ) ملح مطروح ومن أجل ماء البحر فإن معدل الاستخلاص يتغير إلى ( % ٤٠-٢٠ ) مع ( % ٩٠-٨٠ ) ملح مطروح.

إن أغشية التناضح العكسي تصنع بشكل شائع على شكل ثقب أو شعر كما في الألياف أو طبقات متبادلة من صفائح مستوية وفاصل مفتوح صنع بشكل ملفوف على شكل لولب. يتم اختيار الأغشية بحسب خواص الماء وبحسب سعرها.

## ٣.٢.٨ . الديليزة الكهربائية

في هذه التقنية يتم ضخ الماء قليل الملوحة بضغط منخفض بين مئات الصفائح المتوازية وأغشية نفوذة الشوارد المركبة في حزمة، هذه الأغشية تسمح للشوارد الموجبة بالعبور خلالها وتتبادل مع الأغشية غير نفوذة الشوارد. يبدأ تيار كهربائي مستمر بالنشوء في الحزمة بواسطة أقطاب متوضعة في نهايتي الحزمة، هذا التيار الكهربائي يحرك الشوارد خلال الأغشية ويركزها بين كل زوجين متتاليين من الأغشية، يغادر الماء المحلّى جزئياً بين كل شبكة متجاورة من أزواج الأغشية.

إن القشور والترسبات العالقة في الأغشية تُمنع في أغلب وحدات الديليزة الكهربائية بواسطة عملية عكس اتجاه التيار الكهربائي حول الحزم عند فاصل زمني قدره (30-15 min). تكون عملية عكس جريان الشوارد خلال الأغشية لذلك فإن فراغات تجميع الأملاح المركزة تبدأ بتجميع الماء الناتج الأقل ملوحة. الصمامات التبادلية في نظام تجميع الماء توجه الجريان بشكل أوتوماتيكي في الاتجاه المناسب. إن معدّل استخلاص الماء النقي النموذجي للديليزة الكهربائية يتراوح بين (90-80%) من حجم ماء التغذية.

#### ٤,٢,٨ . التبادل الشاردي

في هذه العملية تستبدل الشوارد غير المرغوبة في مياه التغذية بشوارد مرغوبة كما في ممر الماء خلال الحبيبات الكيميائية في جهاز يدعى بالمبادل الشاردي (الريزِين). على سبيل المثال المبادل الريزِيني ذو الشوارد الموجبة يستخدم بشكل نموذجي في منشآت معالجة مياه البيوت والبلدات لإزالة شوارد الكالسيوم والمغنيزيوم في المياه القاسية لإنتاج الماء عالي النقاوة. عندما يكون تركيز المواد الصلبة المنحلّة عالية في مياه التغذية يجب استبدال الريزِين أو إعادة شحنه. مع الأسعار المتزايدة للريزِينات وللتخلص من إعادة الشحن فإن التبادل الشاردي حالياً يتنافس مع التناضح العكسي والديليزة الكهربائية فقط في المعالجة النسبية لتخفيف التركيز ويحتوي على بضع مئات (ppm) من المواد الصلبة المنحلة.

#### ٥,٢,٨ . التحلية بالتجميد

عندما يتجمد الماء المالح فإن بلورات جليد الماء النقي تستخلص من الأملاح المنحلة والمعادن الأخرى في جيوب داخل ماء البحر العالي الملوحة. في الحقيقة، استهلاك طاقة في التحلية بالتجميد أقل بالمقارنة مع عمليات التحلية الأخرى. إن عمليات التجميد تشمل خمس خطوات وهي:

- ١- الطبخ الأولي لمياه التغذية.
- ٢- تبلور الجليد.
- ٣- فصل الجليد عن ماء البحر.
- ٤- غسل الجليد.
- ٥- إذابة الجليد.

في الأبحاث الجديدة خُفض عدد الخطوات خاصةً الحاجة لغسل بلورات الجليد. مع ذلك جرت محاولات في أواخر الستينات لاستخدامات تجارية للتجميد ولا زالت هناك مشاكل عملية هامة. الآن يوجد القليل من منشآت التجميد المعزولة.

### ٣,٨ . تحلية المياه بالطاقة الشمسية

تعتبر عملية تحلية المياه بالطاقة الشمسية من أقدم الطرق التي استعملت للحصول على المياه العذبة. لقد اكتسبت هذه الطريقة أهمية كبيرة في الوقت الحالي نتيجة ارتفاع كلفة الطاقة وخاصة في المناطق التي تندر فيها المياه العذبة وتتوفر فيها الطاقة الشمسية في معظم أيام السنة. تصنف الطرق المستخدمة في عملية تحلية المياه بالطاقة الشمسية وفقاً لطريقة استخدام الطاقة الشمسية فيها إلى نوعين أساسيين: تحلية المياه المباشرة أو التحلية غير المباشرة. يعتبر المقطر الشمسي الصندوقي من أشهر المقطرات التي تستخدم الطاقة الشمسية مباشرة. بينما تعتبر جميع طرق تحلية المياه بالاستخدام غير المباشر للطاقة الشمسية معروفة حيث يتم استخدام مصادر طاقة حرارية أو ميكانيكية أو كهربائية في هذه الطرق، إلا أنه يمكن من حيث المبدأ استخدام الطاقة الشمسية للحصول على المصدر الحراري أو الميكانيكي أو الكهربائي اللازم لعمل هذه الطرق. على الرغم من أن استخدام هذه الطرق في التحلية منذ مدة طويلة إلا أن استخدام الطاقة الشمسية فيها كمصدر للطاقة ما زال قيد البحث والتطوير.

### ٤,٨ . التحلية بالتقطير باستخدام الطاقة الشمسية

يعد المقطر الصندوقي من أكثر المقطرات التي تستخدم في تحلية المياه بالطاقة الشمسية نظراً لبساطة إنشائه وسهولة صنعه. ونتيجة لذلك فقد تم في جميع أنحاء العالم تصنيع الكثير من المقطرات الصندوقية التي تهدف إلى تحسين الإنتاجية للمقتر دون زيادة في التكاليف. لقد قام الباحثون بتحليل الحراري للمقطرات عن طريق دراسة العوامل المؤثرة عليها من أجل التقييم الدقيق لأداء المقطرات الصندوقية، إلا أنه على الرغم من كل هذا التطور في صناعة وتشغيل المقطرات الصندوقية فإن انتشار هذه المقطرات لاقى صعوبة نتيجة الحاجة لمساحات كبيرة والتكاليف الباهظة اللازمة لبنائها.

من الطرق الأخرى الهامة لتحلية المياه بالطاقة الشمسية يأتي استخدام ظاهرة الانتشار كطريقة جديدة لتحلية المياه بالطاقة الشمسية المباشرة. والمقتر الانتشاري يشبه المقطر الصندوقي إلا أنه لا يتم فيه تقريباً انتقال حراري بالحمل بين الماء في قاعدته وغطائه. ومن أجل تحسين الإنتاجية وتقليل من مساحة المكان اللازم لإنتاج متر مكعب من الماء تم استخدام مقطر انتشاري ذي تأثيرات متعددة.

### ١,٤,٨ . المقطرات الشمسية الصندوقية

يتكون المقطر الصندوقي البسيط من حوض معزول حرارياً ومغلق الأطراف ومزود بغطاء زجاجي شفاف يسمح بنفاذ الإشعاع الشمسي إلى داخله. يحتوي الحوض على كمية ضحلة من ماء مالح فوق قاعدته المطلية باللون الأسود لامتصاص أكبر كمية من الإشعاع الشمسي، ويتأثر الدفيئة تصبح درجة حرارة الماء داخل الحوض أعلى مما يحيط به مما يساعد على عملية تبخير الماء. وينتقل بخار الماء الناتج إلى

غطاء المقطر حيث يتكاثف على السطح الداخلي للغطاء عند درجة حرارة تقع بين درجة حرارة الماء في القاعدة ودرجة حرارة الجو المحيط. يجب الأخذ بالحسبان عند تصميم المقطر زاوية ميل الغطاء عن الوضع الأفقي مما يسهل في عملية انسياب بخار الماء المتكاثف عليه حيث يجمع بعد ذلك. تتم عملية تغذية المقطرات الشمسية بالماء المالح وفق نظامين، ففي النظام الأول تتم التغذية على دفعات حيث يغذى المقطر بالماء المالح على فترات زمنية مختلفة أما في النظام الثاني فتتم تغذية المقطر الشمسي بالماء المالح بشكل مستمر وبمقدار محدد، يوجد لكل نظام من هذين النظامين حسنات ومساوئ لابد من أخذها بالحسبان.

#### ١,١,٤,٨. إنتاجية المقطر الشمسي الصندوقي

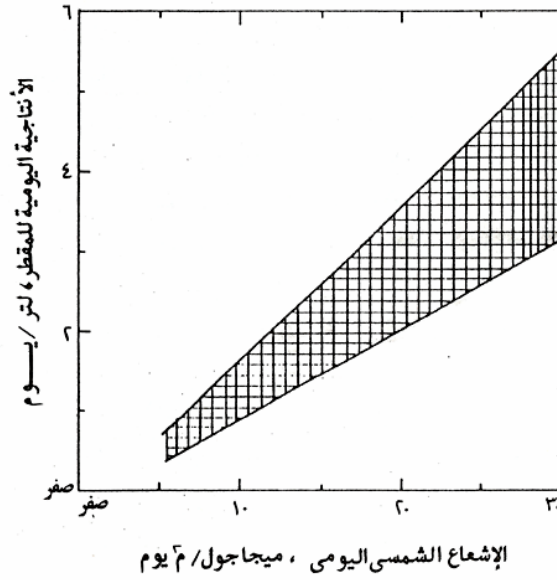
تعرف الإنتاجية اليومية للمقطر الشمسي الصندوقي  $P_d$  بأنها كمية الماء العذب المنتجة يومياً باللتر من قبل واحدة المساحة من قاعدة المقطر  $[lit/m^2]$ . أما الإنتاجية السنوية للمقطر فتعرف بأنها كمية الماء العذب المنتجة سنوياً بالتر المكعب من قبل واحدة المساحة من قاعدة المقطر  $[m^3/m^2]$ . تتعلق الإنتاجية اليومية للمقطر بشدة الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على المقطر يومياً، كما تتعلق هذه الإنتاجية أيضاً بتصميم المقطر وطريقة إنشائه وخواص المواد المستعملة في صنعه.

يبين الشكل ١,٨. تغير الإنتاجية اليومية لمقطر شمسي صندوقي  $[lit/m^2 day]$  كتابع لشدة الإشعاع الشمسي الساقط يومياً على واحدة المساحة لقاعدة المقطر. ويتضح من الشكل أن الإنتاجية اليومية للمقطر الشمسي تقل عادة عن ٦ لتر يومياً لكل متر مربع، وهي في المتوسط في حدود من ٣ إلى ٤ لتر يومياً لكل متر مربع. ويمكن تمثيل القيمة المتوسطة للإنتاجية المبينة في الشكل ١,٨. بالعلاقة الرياضية التالية:

$$P_d = 0.0393H_t^{1.4} \quad (1.8)$$

حيث:

$H_t$ : هي شدة الإشعاع الشمسي الساقط يومياً على سطح المقطر،  $[MJ/m^2 day]$ .



الشكل ١,٨. تغير الإنتاجية اليومية للمقطر الصندوقي كتابع لشدة الإشعاع الشمسي

تتغير الإنتاجية المعطاة بالشكل ١,٨. عن تلك المعطاة بالمعادلة بمقدار  $\pm 25\%$ . نستنتج من العلاقة السابقة أن الإنتاجية المعطاة فيها تابعة فقط لشدة الإشعاع الشمسي في حين أنها لم تأخذ بالحسبان العوامل الأخرى المؤثرة على الإنتاجية. نتيجة لذلك فقد قام الباحثون بدراسة تأثير درجة حرارة الجو  $[^{\circ}\text{C}]$  و  $T_a$  والسرعة المتوسطة للرياح  $v$   $[\text{km/h}]$  بالإضافة إلى شدة الإشعاع الشمسي  $H_t$   $[\text{MJ/m}^2\text{day}]$  على إنتاجية مقطر شمسي في فالينسيا بأسبانيا، وقد قاموا بصياغة النتائج التي تم الحصول عليها من هذه الدراسة بالعلاقة الرياضية الآتية:

$$P_d = 0.244H_t - 0.029T_a - 0.0073v - 0.01222 \quad (2.8)$$

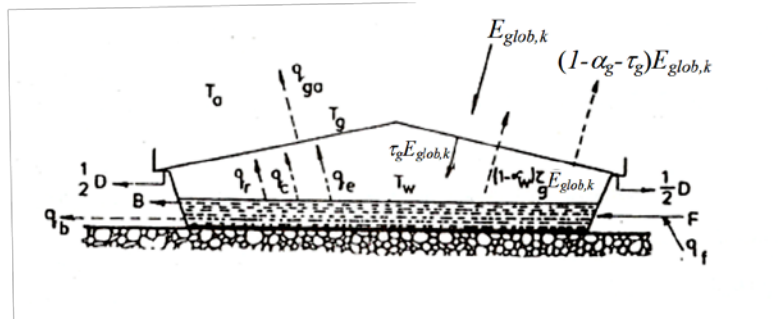
حيث:

$P_d$ : الإنتاجية اليومية  $[\text{lit/m}^2\text{day}]$ .

#### ٢.١.٤.٨. التحليل الحراري للمقطر الصندوقي

يبين الشكل ٢.٨ رسماً تخطيطياً لمقطر شمسي صندوقي حيث ينتج هذا المقطر كمية من الماء العذب تعادل  $D$  من أجل واحدة المساحة للغطاء الشفاف. يحتوي هذا المقطر على ماء ذو درجة حرارة متوسطة قدرها  $T_w$  في حين أن متوسط درجة حرارة الغطاء الزجاجي هي  $T_g$  ومتوسط درجة حرارة الوسط المحيط  $T_a$ . يستقبل المقطر الصندوقي الإشعاع الشمسي بمعدل قدره  $E_{glob,k}$  لواحدة مساحة الغطاء حيث تمتص

كمية قدرها  $\alpha_g E_{glob,k}$  من هذا الإشعاع من قبل الغطاء الزجاجي، وتنفذ كمية قدرها  $\tau_g E_{glob,k}$  من خلال هذا الغطاء، وينعكس الباقي عن الغطاء إلى الوسط المحيط. ينقسم الإشعاع النافذ من الغطاء إلى قسمين، القسم الأول يتم امتصاصه من قبل الماء في قاعدة المقطر وقدره  $\alpha_w \tau_g E_{glob,k}$ ، والقسم الثاني ينعكس عن سطح الماء وقدره  $(1 - \alpha_w \tau_g E_{glob,k})$ ، ويفترض في الأخير أن ينفذ مباشرة إلى الوسط المحيط من خلال الغطاء وبدون أي انعكاس أو امتصاص من قبل الغطاء. من خلال الاتزان الحراري للماء في القاعدة نجد أن الماء يمتص الحرارة بمعدل  $\alpha_w \tau_g E_{glob,k}$  ويفقد حرارة إلى الغطاء بالحمل الحراري  $q_c$  وبالإشعاع  $q_r$  وبالتبخير  $q_e$  كما يفقد المقطر أيضاً حرارة من قاعدته وجدرانه إلى الوسط المحيط بمعدل  $q_b$ ، في حين يستخدم جزء من الحرارة الممتصة من قبل الماء في القاعدة وقدره  $q_f$  لزيادة درجة حرارة التغذية إلى تلك التي في القاعدة. وبالطبع فإن قيم  $q_r$  و  $q_e$  و  $q_b$  و  $q_f$  تؤخذ من أجل واحدة المساحة للغطاء. وعليه يكون تأثير الحرارة المكتسبة أو المفقودة هو ارتفاع أو انخفاض درجة حرارة الماء. بينما يستقبل غطاء المقطر كميات الحرارة  $q_c$  و  $q_r$  و  $q_e$  من الماء الموجود في قاعدة المقطر فإنه يفقد حرارة إلى الوسط المحيط بالحمل الحراري والإشعاع معاً بمعدل  $q_{ga}$ .



الشكل ٢.٨. المقطر الصندوقي الشمسي

بفرض تحقق شبه الاستقرار فإن التوازن الحراري لكامل المقطر يعطي بالعلاقة:

$$C_s \frac{dT_w}{d\tau} = (\alpha_g + \alpha_w + \tau_g) E_{glob,k} - q_{ga} - q_b - q_f \quad (3.8)$$

حيث:

$C_s$ : هي السعة الحرارية للمقطر. وتشمل السعة الحرارية للغطاء والماء وهيكل المقطر.

يعطى الاتزان الحراري لغطاء المقطر بالعلاقة التالية:

$$q_{ga} = q_r + q_c + q_e + \alpha_g E_{glob,k} \quad (4.8)$$

تعتبر المعادلتان (3.8) و (4.8) المعادلات الأساسية التي تستخدم من أجل تقييم أداء المقطر الصندوقي، حيث يؤدي حل هاتين المعادلتين إلى التعرف على القيم اللحظية لدرجة الحرارة لكل من الماء في قاع المقطر والغطاء بالإضافة إلى التعرف على الكمية اللحظية لإنتاجية المقطر من الماء، والكميات اللحظية لتبادل الحرارة بين الماء في القاعدة والغطاء، وبين جسم المقطر والجو المحيط.

#### ١،٢،١،٤،٨. الحرارة المنتقلة من سطح الماء إلى الغطاء

لقد تم التوضيح في الفقرة السابقة أن الحرارة تنتقل بين سطح الماء والسطح السفلي لغطاء المقطر بالحمل الحراري والتبخير والإشعاع. وتنتقل الحرارة بالحمل نتيجة ارتفاع درجة حرارة السطح السفلي للغطاء مما يسبب اختلاف في كثافة الهواء وبالتالي تنشأ حركة دوران للهواء تؤدي إلى نقل الحرارة بالحمل الحر من سطح الماء إلى السطح السفلي للغطاء.

بالإضافة إلى انتقال الحرارة بالحمل بين سطح الغلاف وسطح الزجاج يتم انتقال لكتلة بخار الماء أيضاً، حيث يحمل الهواء بخار ماء من سطح الماء الساخن في القاعدة إلى السطح السفلي للزجاج البارد نسبياً مما يؤدي إلى تكاثف بخار الماء على سطح الزجاج، تنتقل الحرارة بين سطح الماء وسطح الغطاء أيضاً بالإشعاع.

#### ٢،٢،١،٤،٨. الحرارة المفقودة من الغطاء إلى الوسط المحيط

يفقد غطاء المقطر كمية من الحرارة إلى الوسط المحيط بالحمل الحراري والإشعاع.

#### ٣،٢،١،٤،٨. الحرارة المفقودة من جسم المقطر والمضافة إلى التغذية

من أجل تخفيض كمية الحرارة المفقودة من المقطر إلى الوسط المحيط وإلى الأرض من خلال جسم المقطر لا بد من عزل جسم المقطر حرارياً بشكل جيد.

#### ٤،٢،١،٤،٨. كفاءة المقطر الصندوقي

من أجل إجراء مقارنة للأنواع والتصميمات المختلفة للمقطرات الصندوقية الشمسية لا بد من تحديد كفاءة المقطر  $\eta$  لاستخدامها كمقياس لتقييم أداء المقطر. وتعرف كفاءة المقطر بأنها نسبة كمية الحرارة المستخدمة في عملية التبخير  $q_e$  إلى شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الغطاء  $E_{glob,k}$  وتعطى بالعلاقة التالية:

$$\eta = \frac{q_e}{E_{glob,k}} \quad (5.8)$$



تعتبر هذه الكفاءة هي كفاءة لحظية للمقطر، أي تقاس عند لحظة معينة. لذلك تعرف الكفاءة اليومية لأداء المقطر بأنها كمية الحرارة الكلية المستخدمة يومياً في عملية التبخير إلى شدة الإشعاع الشمسي الساقط يومياً على سطح الغطاء وتعطى بالعلاقة التالية:

$$\eta_d = \frac{3600}{H_d} \int_0^{24} q_e \cdot d\tau \quad (6.8)$$

حيث:

$\tau$ : الزمن بالساعة مقاس من بدء التشغيل.

تعرف الكفاءة الداخلية  $\eta_i$  للمقطر الصندوقي بأنها نسبة كمية الحرارة المستفاد منها في عملية التبخير  $q_e$  إلى كمية الحرارة الممتصة من قبل الماء وتعطى بالعلاقة التالية:

$$\eta_i = \frac{q_e}{\alpha_w \tau_g E_{glob,k}} \quad (7.8)$$

تستخدم الكفاءة الداخلية كمقياس لانتقال الحرارة بالعمليات المختلفة داخل المقطر. لذلك ينبغي على المصمم العمل على رفع قيمة  $\eta_i$  لتحسين أداء المقطر وهذا يؤدي بالطبع إلى تحسين قيمة كل من  $\eta$  و  $\eta_d$ .

### ٨، ٤، ١، ٣. العوامل المؤثرة على أداء المقطرات الشمسية الصندوقية

- **الإشعاع الشمسي:** تعد شدة الإشعاع الشمسي من أهم العوامل التي تؤثر على أداء المقطرات الشمسية الصندوقية حيث تقل إنتاجية المقطر بانخفاض قيمة شدة الإشعاع الساقط على سطح الغطاء، والعكس بالعكس.
- **درجة حرارة الوسط المحيط:** يساعد ارتفاع درجة حرارة الوسط المحيط على تحسين إنتاجية المقطر. ويعتبر هذا التحسن ملموساً في حالة المقطرات رديئة العزل (أي عندما تكون قيمة  $h_b$  كبيرة)، ويكون التحسين مهماً للمقطرات جيدة العزل (أي عندما تكون قيمة  $h_b$  صغيرة).
- **سرعة الرياح:** لا يؤثر التغير في سرعة الرياح على إنتاجية المقطر الشمسي بطريقة محسوسة إلا إذا كان التغير في السرعة بمقدار كبير فتقل الإنتاجية بزيادة سرعة الرياح.
- **العزل الحراري لجسم المقطر:** تعتمد إنتاجية المقطرات الشمسية الصندوقية إلى حد كبير على مدى كفاءة العزل الحراري المستخدم، وتعتمد هذه الكفاءة بشكل مباشر على تكلفة العزل الحراري. لذا يلزم

الموازنة بين تكلفة العزل الحراري وإنتاجية المقطر، ولقد وجد أن هذه الموازنة تعطي عادة قيمة معامل انتقال حرارة  $h_b$  من جسم المقطر إلى الجو المحيط قدرها  $0.9 [W/m^2 \text{ } ^\circ C]$ .

- **عمق الماء المالح في قاعدة المقطر:** تتحسن إنتاجية المقطر كلما كان عمق الماء المالح في قاعدة المقطر ضحلاً، حيث تزداد كمية التبخير زيادة أسية مع ارتفاع درجة حرارة الماء التي بدورها تزداد بانخفاض عمق الماء في المقطر.

لقد بينت التجارب أن تأثير العمق يعتمد إلى درجة كبيرة على مقدار العزل الحراري أسفل قاعدة المقطر. فمثلاً إذا لم يوضع أي عزل حراري أسفل قاعدة المقطر فإن الانخفاض في عمق الماء يحسن إنتاجية المقطر بمقدار طفيف، أما إذا وضع عزل حراري أسفل القاعدة فإن التحسن في الإنتاجية يكون محسوساً. إلا أنه يجب أن يراعى ألا يقل عمق الماء في المقطر إلى درجة كبيرة مما قد يسبب نقاط جافة في القاعدة، وبالتالي تنخفض الإنتاجية. ويؤخذ عمق الماء في قاعدة المقطر عادة حوالي  $5 [cm]$ .

- **تسرب البخار من المقطر:** يعتبر تسرب البخار من المقطر من أهم العوامل التي تؤدي إلى انخفاض إنتاجية المقطر بدرجة كبيرة. لذا ينصح بإحكام وضع الغطاء على المقطر لمنع تسرب بخار الماء من المقطر إلى الوسط المحيط. وتعتبر مادة مطاط السيليكون من أفضل المواد المستخدمة لهذا الغرض. وينصح بوجود صيانة دائمة للمقطر ومنع أي تسرب للبخار للمحافظة على إنتاجية المقطر عند أكبر قيمة ممكنة لها.

- **تسرب الماء المقطر الناتج:** تقل إنتاجية المقطر بدرجة كبيرة بزيادة تسرب الماء المقطر الناتج. ويعتبر تآكل قناة تجميع الماء المقطر أو كسر المادة المانعة للتسرب في أي وصلة في القناة من أهم أسباب هذا التسرب. لذا يفضل استعمال مواد غير قابلة للصدأ أو أن تصمم قناة تجميع الماء المقطر بدون وصلات للإقلال من احتمالات التسرب.

- **زاوية ميل الغطاء:** يتم الحصول على أفضل قيمة لإنتاجية المقطرات الشمسية عند الزاوية المثلى لميل الغطاء. وتعتمد قيمة زاوية الميل المثلى لغطاء المقطر على الموقع الجغرافي للمقطر والظروف المحيطة بالإضافة إلى زاوية ارتفاع الإشعاع الشمسي. ولقد أثبت التجارب والدراسات التي أجريت على العديد من المقطرات أن زاوية الميل المثلى يجب أن تتراوح ما بين  $20 [^\circ C]$  إلى  $25 [^\circ C]$  عن المستوي الأفقي.

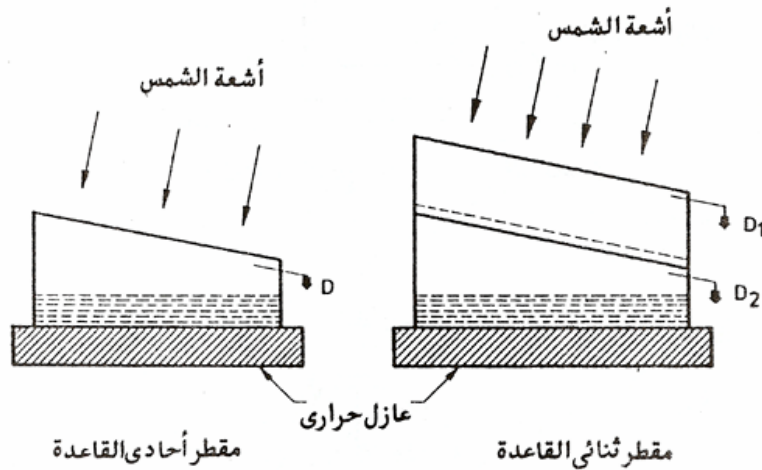
- **المسافة بين الغطاء وسطح الماء:** لقد بينت التجارب التي تم إجراؤها على أن إنتاجية المقطر الصندوقي تزداد كلما انخفضت المسافة الرأسية بين الغطاء وسطح الماء.

- تراكم الملح في قاعدة المقطر: يؤدي تراكم الملح في قاعدة المقطر إلى تكوين طبقات عاكسة لأشعة الشمس مما يؤدي إلى انخفاض إنتاجية المقطر بشكل محسوس. لذا ينصح بالتنظيف المستمر لطبقات الملح المترسبة في قاعدة المقطر للمحافظة على الإنتاجية عند أفضل معدل لها.

٤,١,٤,٨. أنواع المقطرات الشمسية الصندوقية

١,٤,١,٤,٨. المقطر ثنائي القاعدة

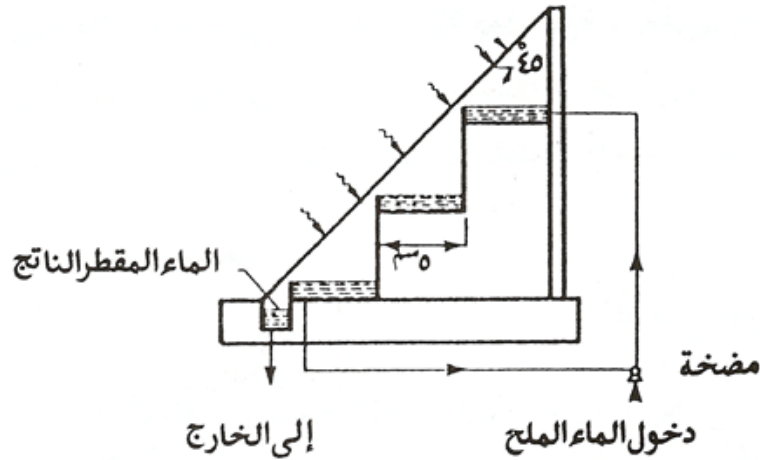
يبين الشكل ٣,٨ رسماً تخطيطياً لمقطر ثنائي القاعدة والذي يتكون من مقطرين أحدهما فوق الآخر. وتعمل قاعدة المقطر العلوي كغطاء شفاف للمقطر السفلي بحيث تسمح بمرور الإشعاع الشمسي إلى الماء في قاعدة المقطر السفلي. ويجب أن يكون عمق الماء في المقطر العلوي ضحلاً جداً أو على شكل طبقة رقيقة حتى لا يتم امتصاص معظم الإشعاع الشمسي في المقطر العلوي وبالتالي يعجز المقطر السفلي عن إعطاء أي إنتاجية محسوسة. ويعطي المقطر ثنائي القاعدة إنتاجية أفضل من المقطر أحادي القاعدة (المقطر الصندوقي المعتاد). فقد أوضحت التجارب أنه عند ظروف التشغيل نفسها التي أعطى فيها المقطر أحادي القاعدة إنتاجية يومية قدرها  $2.041 \text{ [kg/m}^2\text{]}$  فإن المقطر ثنائي القاعدة يعطي إنتاجية يومية قدرها  $3.16 \text{ [kg/m}^2\text{]}$ .



الشكل ٣,٨. رسم تخطيطي لمقطر أحادي القاعدة وآخر ثنائي القاعدة

٢,٤,١,٤,٨. المقطر الصندوقي المدرج

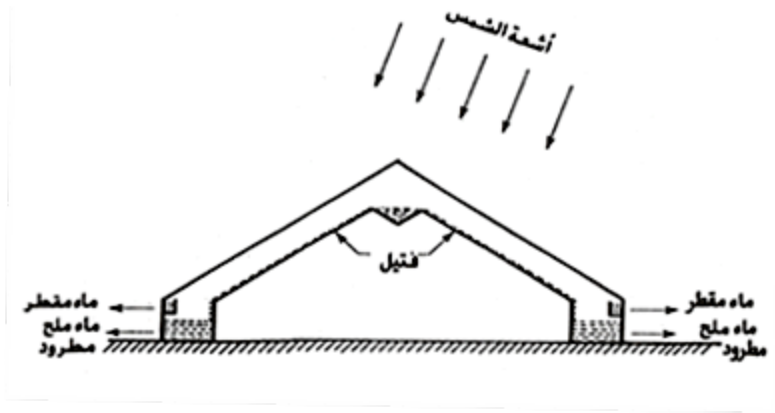
يبين الشكل ٤,٨. رسماً تخطيطياً لمقطر صندوقي مدرج، حيث تصمم القاعدة في هذا المقطر على شكل درجات بدلاً من سطح مستو مما يساعد على تصغير المسافة المؤثرة بين سطح الماء والغطاء وبالتالي يساعد على تحسين إنتاجية المقطر.



الشكل ٤,٨. رسم تخطيطي لمقطر صندوقي مدرج بدون ومع استخدام مكثف إضافي

### ٤,٨, ١, ٤, ٣. مقطر فتيل التجميع والتبخير

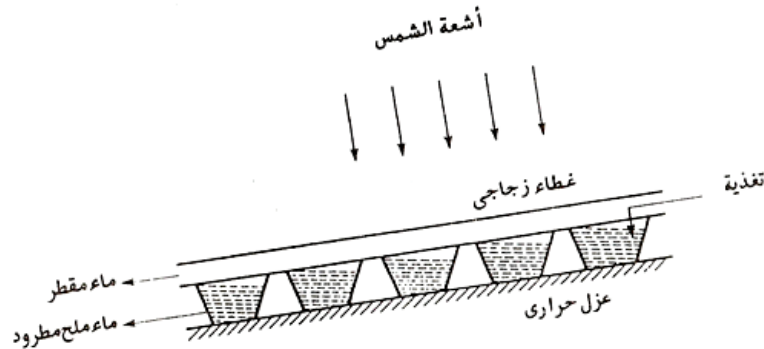
لقد بينت المقطرات السابقة أنه كلما قل عمق الماء المالح في قاعدة المقطر كلما ازدادت الإنتاجية، كذلك الحال كلما صغرت المسافة بين سطح الماء وسطح الغطاء كلما ازدادت الإنتاجية. نتيجة لذلك تم تصميم مقطر فتيل التجميع والتبخير المبين في الشكل ٤,٨,٥، حيث يستخدم في هذا المقطر فتيل مثبت على السطح المائل للقاعدة لسحب الماء من أعلى إلى أسفل مما يجعل عمق الماء المالح رقيق جداً. كذلك يقوم الفتيل بامتصاص الإشعاع الشمسي ثم تسخين الماء وبالتالي تبخيره. ولقد دلت التجارب التي أجريت على إمكانية الحصول على إنتاجية تتراوح بين  $3.8 - 4.4 [kg/m^2]$  يومياً وبكفاءة يومية قدرها 40-46%.



الشكل ٥,٨. رسم تخطيطي لمقتر فتيل التجميع والتبخير

### ٤,٤,١,٤,٨. المقطر التعاقبي

يبين الشكل ٦,٨ رسماً تخطيطياً لمقتر تعاقبي حيث يتم في هذا النوع من المقطرات جريان الماء الزائد في الوعاء العلوي إلى الوعاء الذي يليه وهكذا. ويساعد هذا التصميم على صغر المسافة بين سطح الماء والغطاء مما يساعد على تحسين الإنتاجية، كما أن حركة جريان الماء تساعد على زيادة معدل التبخير وبالتالي تحسين الإنتاجية أيضاً. ومن خلال هذا التصميم الجديد للمقطرات يمكن الحصول على كفاءة تشغيل يومية قدرها 75%.



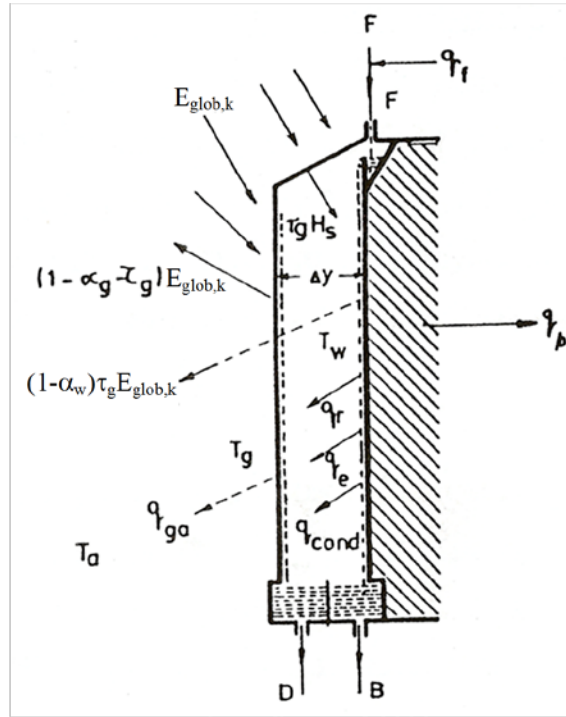
الشكل ٦,٨. رسم تخطيطي لمقتر تعاقبي

### ٢,٤,٨. المقطرات الانتشارية

في هذا النوع من المقطرات تقل المسافة بين الغطاء وسطح الماء المالح حتى تتلاشى الحرارة المنتقلة بينهما بالحمل الحراري الحر. وفي هذه الحالة يتم التبخير بالانتشار بين الجزيئات فقط، مما يساعد على تحسين إنتاجية المقطر.

يبين الشكل ٧,٨ رسماً تخطيطياً لمقتر انتشاري مؤلف من صفيحتين متوازيتين رأسييتين بينهما فجوة هوائية. ومن خصائص هاتين الصفيحتين أن الصفيحة الأمامية تكون ذو شفافية عالية لتسمح بفاذ

الإشعاع الشمسي. بينما تكون الصفيحة الخلفية (الماصة) معتمة لتسمح بامتصاص أكبر كمية من الإشعاع الشمسي. وتجري تغذية الماء المالح إلى أسفل على شكل طبقة رقيقة على الصفيحة الخلفية (الماصة) حيث يتبخر الماء ثم ينتشر إلى الغطاء الذي له درجة حرارة أقل نسبياً من الصفيحة الماصة مما يساعد على تكثيف البخار. ويجمع الماء المتكاثف الناتج من عملية التبخير في قناة القاعدة. يستقبل المقطر الانتشاري الإشعاع الشمسي بشدة قدرها  $E_{glob,k}$  لكل وحدة المساحة من غطاء المقطر حيث ينقسم هذا الإشعاع الشمسي إلى ثلاثة أجزاء. الجزء الأول وقدره  $\alpha_g E_{glob,k}$  فيمتص من قبل الغطاء، أما الجزء الثاني وقدره  $\tau_g E_{glob,k}$  فينفذ من خلال الغطاء إلى داخل المقطر، بينما ينعكس الجزء الثالث وقدره  $(1 - \alpha_g - \tau_g) E_{glob,k}$  بواسطة الغطاء إلى الوسط المحيط، وبعد نفاذ الجزء الثاني من الإشعاع  $\tau_g E_{glob,k}$  من خلال غطاء المقطر فإنه بدوره ينقسم إلى جزئين. الجزء الأول وقدره  $\alpha_w \tau_g E_{glob,k}$  يمثل مقدار الامتصاص بالصفيحة الخلفية الماصة للإشعاع وبماء التغذية الجاري عليها، أما الجزء الثاني وقدره  $(1 - \alpha_w) \tau_g E_{glob,k}$  يمثل الانعكاس على سطح الصفيحة الماصة وعلى سطح الماء، ومن المفترض أن ينفذ هذا الجزء المنعكس مباشرة من خلال الغطاء إلى الوسط الخارجي بدون أي امتصاص أو انعكاس.



الشكل ٨، ٧. انتقال الحرارة والكتلة في المقطر الانتشاري

ويعطى التوازن الحراري للمقطر بالعلاقة التالية:

$$(\alpha_g + \alpha_w \tau_g) E_{glob,k} = q_{ga} + q_b + C_s \frac{dT_w}{d\tau} + q_f \quad (8.8)$$

حيث:

$q_{ga}$ : هي الحرارة المنقولة من الغطاء إلى الجو المحيط.

$q_b$ : الحرارة المنقولة من جسم المقطر إلى الجو المحيط والأرض.

$q_f$ : الحرارة المحسوسة المضافة للتغذية لرفع درجة حرارتها إلى درجة حرارة الجريان  $T_w$  على الصفيحة الماصة.

$C_s$ : السعة الحرارية للمقطر والماء.

يعطى التوازن الحراري للغطاء بالمعادلة التالية:

$$q_{ga} = \alpha_g E_{glob,k} + q_{cond} + q_e + q_r \quad (9.8)$$

حيث:

$q_{cond}$ : معدل الحرارة المنتقلة من سطح الماء إلى المتر المربع من سطح الزجاج بالتوصيل الحراري.

$q_e$ : انتشار بخار الماء.

$q_r$ : معدل الحرارة المنقولة من سطح الماء إلى المتر المربع من سطح الزجاج بالإشعاع.

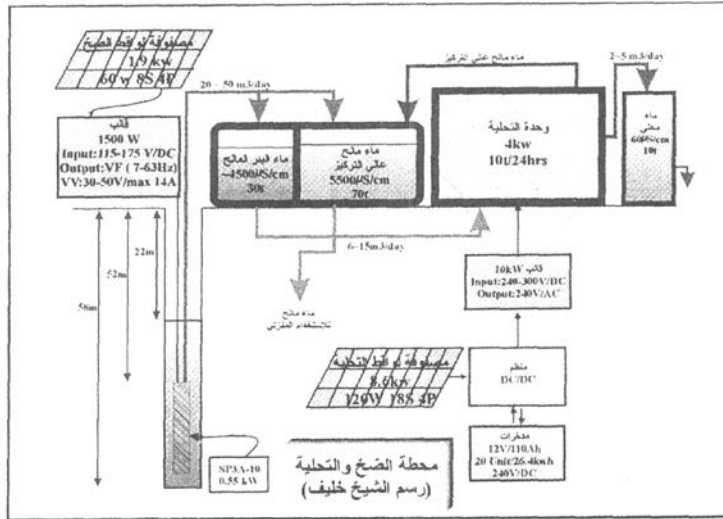
لقد قام الباحثون بدراسة تأثير المتغيرات المختلفة على أداء المقطر الانتشاري المثالي، وقد شملت هذه الدراسة تأثير درجة حرارة الوسط المحيط، وشدة الإشعاع الشمسي الساقط على غطاء المقطر، والمسافة بين سطح الماء وسطح الغطاء ونوع الغاز الموجود في المقطر (هواء أو هيليوم)، بالإضافة إلى إشعاعية سطح الماء والسطح الماص في المقطر.

#### ٥,٨. التحلية بالتناضح العكسي باستخدام الطاقة الشمسية

يمكن استخدام الطاقة الكهربائية الناتجة عن الخلايا الكهروضوئية (PV) Photovoltaic cells لتغذية التجهيزات الميكانيكية التابعة لوحدة التحلية مثل المضخات والصمامات وأجهزة التحكم الأخرى بالتيار الكهربائي المستمر. إلا أن تخزين الطاقة يشكل معضلة عند الحاجة إلى تشغيل وحدات التحلية خاصة عند غياب الأشعة الشمسية، ويمكن معالجة هذا الأمر بتخزين الطاقة بواسطة مجموعة من البطاريات الكهربائية بالطاقة التخزينية المناسبة.

إن أحد مميزات الربط بين وحدات التحلية بالتناضح العكسي مع التغذية الكهربائية الكهروضوئية هو أن النظام يعمل بدرجات حرارة عادية، مما يخفف كثيراً من أثر الترسبات والاهتراء، كما أنه ليس هناك حاجة إلى أية تجهيزات مساعدة إضافية لتوليد الطاقة، مما يجعل النظام RO-PV مناسباً جداً لتزويد المناطق

النائية بالمياه اللازمة للشرب. ونورد فيما يلي نموذجاً لهذا النظام تم تركيبه في قرية رسم الشيخ خليفة في ضواحي حلب في شمال سورية ضمن إطار التعاون السوري - الياباني (جاكا JAICA) لتزويد القرية بمياه الشرب اللازمة، وذلك عن طريق تحلية المياه المالحة التي يتم ضخها من بئر تم حفره في القرية. يبين الشكل ٨,٨. مخطط هذا النظام، ويبين الشكل ٩,٨. صورة له.

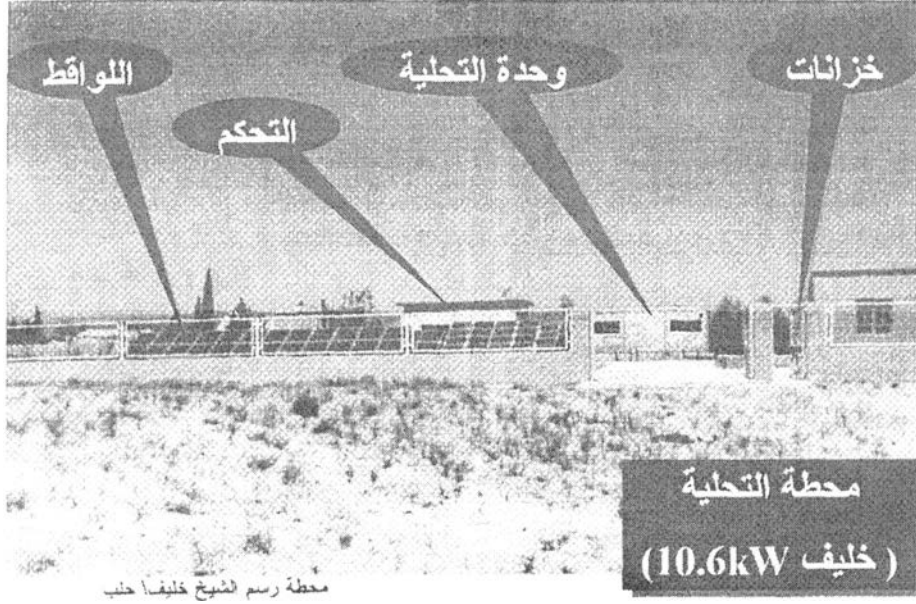


الشكل ٨,٨. مخطط مبدئي لوحدة تحلية قرية رسم الشيخ في سورية

تبلغ استطاعة هذه المحطة الكهروضوئية  $10.6 [kW]$ ، ويتم استخدام جزء من هذه الاستطاعة لتشغيل وحدة تحلية تناضح عكسي بطاقة إنتاجية  $4 [m^3/d]$  ولتأمين التغذية الكهربائية للقرية. يتألف النظام من:

- مجموعة لواقط شمسية باستطاعة 1.9 كيلوواط لتشغيل المضخة الغاطسة لضخ الماء من البئر.
- قالب باستطاعة 1.5 كيلوواط.
- مجموعة خلايا ضوئية باستطاعة 8.6 كيلوواط.
- منظم لوحدة التحلية.
- قالب باستطاعة 10 كيلوواط.
- مجموعة بطاريات (  $20 \times 12[V] - 100[Ah]$  )  $24 [Wh]$ .
- وحدة تحلية بالتناضح العكسي.
- خزان ماء نقي.





الشكل ٩,٨ . صورة للنظام

وقد اعتبر هذا المشروع في مؤتمر قمة الأرض الذي عقد عام 2002 في جنوب أفريقيا أحد أنجح عشرة مشاريع تم تنفيذها ضمن إطار التعاون الدولي.

## المراجع

### المراجع الأجنبية

- 1) *Solar Engineering of Thermal Process* Bekman, Klein,  
*Duffie*  
( *Second Edition*)
- 2) *ASHREA 1977 – 1999*

### المراجع العربية

- د.م : أيوب حسن (١) انتقال الحرارة  
د.م : أحمد نحاس (٢) التدفئة والتكييف  
د.م : حسن علي (٣) ميكانيك الموائع  
د.م : رامي جورج د. موسى المحمد (٤) محطات تحويل الطاقة

### المواقع الالكترونية

[www.arab-eng.org](http://www.arab-eng.org)

[www.tkne.com](http://www.tkne.com)