الفصل الثاني

الطاقة الشمسية

إن الاهتمام بالطاقة الشمسية والاستفادة منها في خدمة الإنسان ظهر منذ القدم، حيث تم استخدامها في عمليات التدفئة والتجفيف. إلا أن توفر الطاقة التقليدية وانخفاض كلفتها حد من تطوير وسائل استخدامها كمصدر هام للطاقة وعلى التأخر بالاهتمام بها.

وفي الوقت الحاضر، وبعد أن تبين أن الازدياد الكبير لعدد السكان في العالم والارتفاع المستمر لمستوى المعيشة في كثير من البلدان، وما يرافق ذلك من ازدياد في استهلاك الطاقة سيؤدي إلى أن الاحتياطي المؤكد من أنواع الوقود التقليدية الموجودة في باطن الأرض لن يكفي في المستقبل لمجابهة الطلب المتزايد على الطاقة، بالإضافة لما يسببه هذا الوقود من مشاكل في تلوث البيئة. ولذلك ازداد الاهتمام منذ السبعينات في القرن الماضي باستخدامات الطاقة الشمسية وبطرق تحويلها، لتصبح في المستقبل القريب أحد أهم المصادر البديلة لأنواع الطاقة التقليدية المستعلمة حالياً.

مزايا استخدام الطاقة الشمسية

1- الطاقة الشمسية طاقة نظيفة: أن عمليات التحويل اللازمة للاستفادة من الطاقة الشمسية لا تعطي نواتج ثانوية لتلوث البيئة، ومع ازدياد الاهتمام بعوامل تلوث البيئة ازدادت الأهمية التي تكتسبها طرق الاستفادة من الطاقة الشمسية.

2- المقدار الهائل من الطاقة التي تحملها الإشعاعات الشمسية: أن ما تتلقاه الأرض سنوياً من الطاقة الشمسية يبلغ 750×10^{15} Kwh و هذه كمية هائلة.

3- إمكانية استخدام هذا المصدر بسهولة وفي مرافق حياتية متعددة: أن أكثر الاستخدامات الحالية للطاقة الشمسية هي في مجال السكن، الزراعة وتقطير المياه، ومعظم المنشآت الشمسية المنتشرة اليوم على نطاق واسع تستخدم لتسخين المياه في المنازل، التدفئة المركزية، تكييف الهواء، تدفئة البيوت الزجاجية، تجفيف المنتجات الزراعية وإزالة ملوحة التربة.

4- إمكانية توليد الطاقة الكهربائية بواسطة الطاقة الشمسية: أن الطاقة الكهربائية، كما هو معروف هي الطاقة الوحيدة التي تتميز بسهولة التوليد والنقل والتوزيع والاستعمال وسهولة التحويل إلى أنواع أخرى من الطاقة، وستبقى الكهرباء الطاقة الرئيسية التي سنحتاج إليها، ويمكن للطاقة الشمسية أن تصبح في المستقبل أحد المصادر الرئيسية لتوليد الطاقة الكهربائية سواء بطرق التحويل الحراري أو بطرق التحويل المباشر.

العوامل التي تحول دون التوسع في استخدام الطاقة الشمسية

1- الطاقة الشمسية طاقة متقطعة وغير ثابتة: ويعود سبب ذلك إلى تعاقب الليل والنهار وتناوب الفصول، يضاف إلى ذلك تأثير الغيوم والغبار وملوثات الجو التي تسبب انعكاس جزء من أشعة الشمس المرسلة نحو الأرض وامتصاص جزء منها.

2- **الاختلاف بين قيم هذه الطاقة المحسوبة نظرياً وتلك التي نحصل عليها عمليا.**

3- انخفاض مردود التحويل.

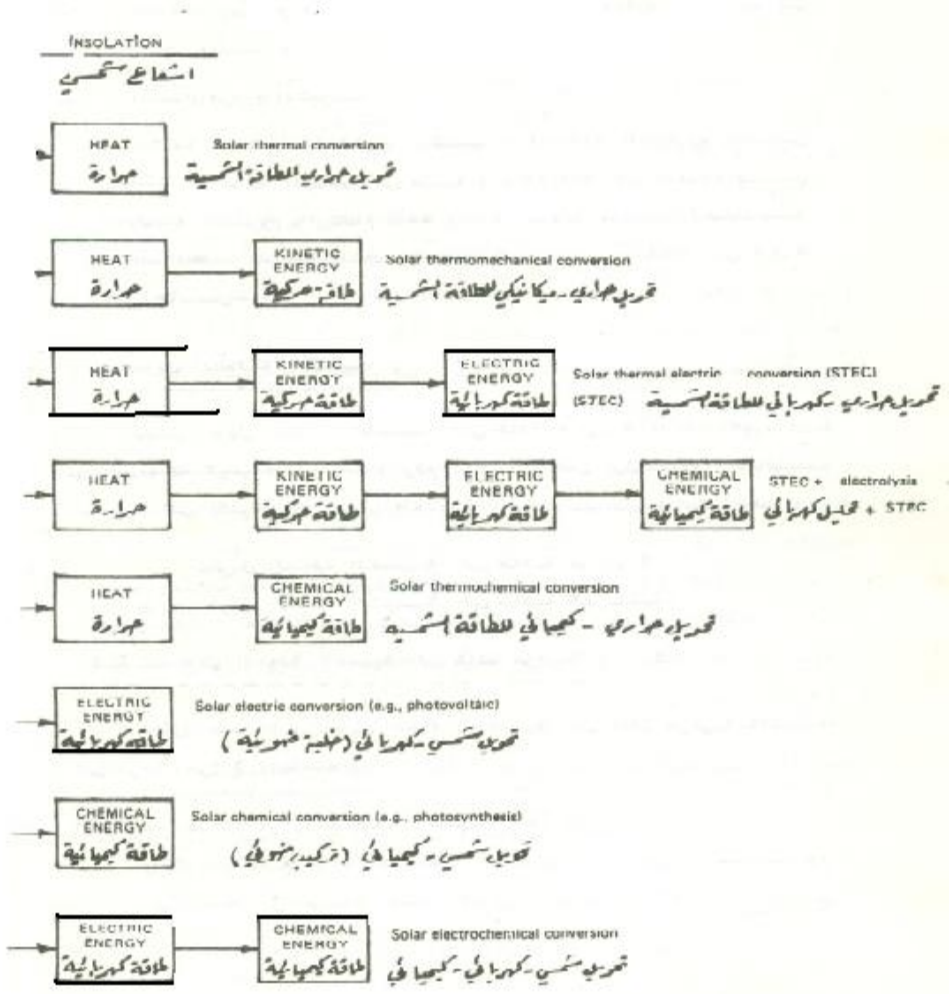
4- الكلفة العالية للمشاريع الشمسية: أن كلفة المشاريع التي تستخدم الأنظمة الشمسية هي عالية وبالتالي تؤدي إلى ارتفاع كلفة واحدة الطاقة، وبسبب الطبيعة المتقطعة للطاقة الشمسية تضاف كلفة تخزين الطاقة إلى كلفة التأسيس.

2-1- **تحويل الطاقة الشمسية**

يمكن تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية أو طاقة كهربائية أو إلى طاقة كيميائية كما في الشكل (2-1) الذي يتضمن طرق تحويل الطاقة الشمسية إلى أنواع الأخرى من الطاقة . وسنقتصر في دراستنا على:

- تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية.

- تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية.



الشكل (2-1) تحويل الطاقة الشمسية

2-1-1- تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية:

يمكن تصنيف طرق تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية حسب درجات حرارة الاستخدام:

1- تحت درجات حرارة منخفضة (حتى 100°c): وذلك باستخدام لواقط شمسية (مجمعات) من النوع المستوي أو المسطح، وأهم هذه الاستعمالات هي: تحضير الماء الساخن، التدفئة المركزية، تدفئة المسابح، تدفئة البيوت الزجاجية، تجفيف المنتجات الزراعية وتقطير المياه.

2- تحت درجات حرارة متوسطة (بين 100°c **و** 300°c **)**: ونستعمل لهذه الغاية أنواعاً خاصة من اللواقط، وذلك للاستخدامات الصناعية.

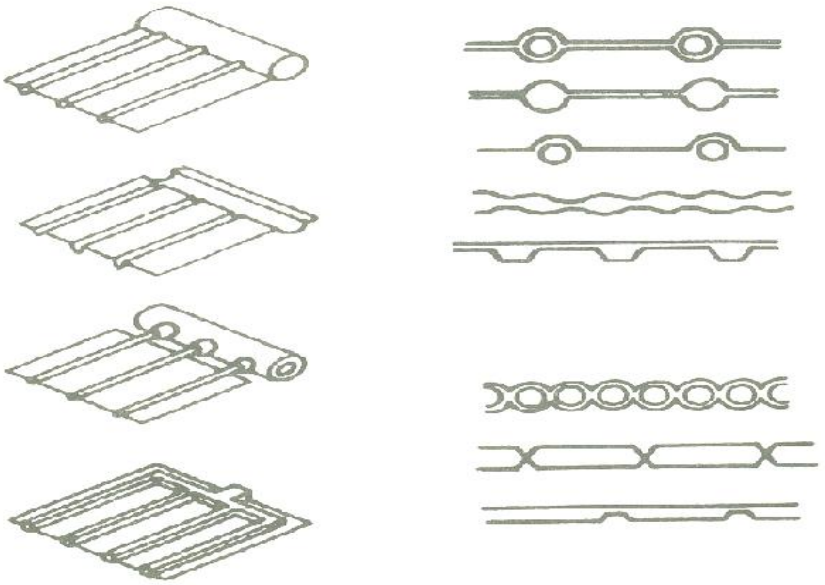
3- تحت درجات حرارة عالية (أكبر من 300°c **):** ونستخدم لهذه الغاية عواكس خاصة تجمع الأشعة الشمسية وتركزها في الموقع المطلوب تسخينه. وتستخدم في المحيطات الكهرشمسية وفي الأفران الشمسية.

2-1-1-1- المجمعات الشمسية

أكثر أنواع المجمعات الشمسية المستعملة في مجال درجات الحرارة حتى 100°c هو المجمع المسطح. ويتألف هذا المجمع من خمسة أجزاء رئيسية:

1 - الغطاء الشفاف: وهو عبارة عن طبقة أو طبقتين من الزجاج (وقد يصنع من البلاستيك) ويمتاز الزجاج بشفافيته للإشعاعات قصيرة الموجة وعدم سماحه للإشعاعات طويلة الموجة التي تصدرها صفيحة المجمع الساخنة (السطح الأسود) بالنفوذ عبره، وينبغي تحقيق الكتامة بين الغطاء الشفاف والهيكل الخارجي للمجمع، وللغطاء الشفاف وظيفة ثانية هي حماية صفيحة المجمع من الأمطار والأوساخ والغبار.

2- صفيحة المجمع (السطح الماص): وهي الصفيحة المعدنية الماصة، وتقوم بامتصاص الإشعاعات الشمسية وتحويلها إلى حرارة وتصنع من الفولاذ أو النحاس أو الألمنيوم، ويطلى سطح الصفيحة المعرض للأشعة بدهان أسود أو بطبقة رقيقة من أكاسيد الكبريت السوداء التي لها عامل امتصاص كبير للأشعة وينبغي أن يثبت الدهان على الصفيحة بشكل جيد. يبين الشكل (2-2) نماذج مختلفة من مقاطع لصفيحة المجمع ولتجميع الأنابيب.



الشكل (2-2) نماذج مختلفة من مقاطع لصفيحة المجمع

3- الأنابيب وملحقاتها: وتقوم بنقل الماء (الهواء) وقد تكون جزءاً من الصفيحة ذاتها أو قد تثبت بها بطرق مختلفة وبحيث تحقق انتقالاً جيداً للحرارة بين الصفيحة والمائع المطلوب تسخينه ويشترط للتصميم الجيد تحقيق الصفات التالية: عامل توصيل حرارة جيد، مقاومة للتمدد والتقلص وتحمل درجات الحرارة التي ستتعرض لها صفيحة المجمع.

4- العازل: وهو يحيط بأرضية المجمع وجوانبه للتقليل من ضياعات الحرارة منه ويستعمل لهذه الغاية: الصوف الزجاجي، والرغوة العازلة المحقونة(البوليريتان)، وعامل التوصيل الحراري له أقل من الصوف الزجاجي إلا أنه أكثر كلفة أو الستيربور ولكنه لا يحتمل درجات الحرارة العالية.

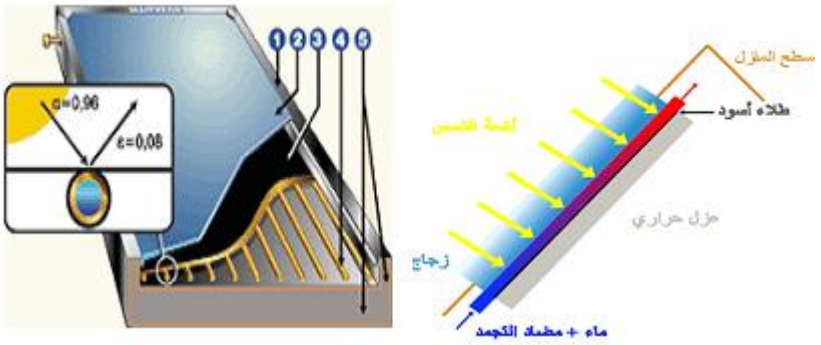
5 - صندوق المجمع (غلاف المجمع): وهو يحتوي على كافة العناصر التي تقدم ذكرها ويقوم بحفظ الجهاز من تأثيرات الجو، وغالباً ما يصنع من الصفائح الفولاذية المزيبقة ويمكن استعمال صفائح الألمنيوم لهذه الغاية لخفة وزنها.

تصنع المجمعات المسطحة بأبعاد مختلفة ومن مواد متباينة، وهناك أنواع عديدة منها. وهي بالإضافة إلى اختلافها في شكلها تختلف عن بعضها في أشكال مقاطع الأنابيب وبطريقة تثبيت الأنابيب بصفيحة المجمع وبسمات تصميمية أخرى الشكل (2-3). إن كافة الدراسات التي تمت حول المجمعات كانت تهدف إلى تصميم اقتصادي لمجمعات ذات مردود أعلى بأقل كلفة ممكنة.

2-1-1-2- آلية عمل المجمعات الشمسية:

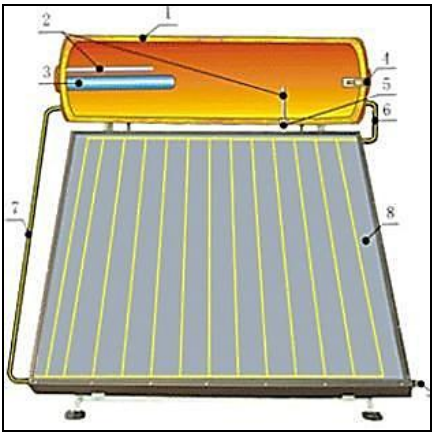
تعتمد آلية عمل السخانات الشمسية على ارتفاع درجة حرارة السطح الماص عندما يمتص أشعة الشمس الساقطة عليه، ينتج عن ذلك ارتفاع في درجة حرارة المائع المار في أنابيب التسخين. ولتبسيط طريقة عمل السخانات الشمسية سيتم التطرق إلى ثلاثة أمور أساسية وهي: آلية التسخين، آلية السريان داخل السخان، وآلية الدفع .

1 - آلية التسخين: عندما تسقط الأشعة الشمسية على السطح الماص ترتفع درجة حرارته مقارنة بدرجة حرارة المائع المار في الأنابيب، فيحدث فرق في درجة الحرارة، ينتج عنه انتقال الحرارة العالية إلى مناطق سريان المائع ذات الحرارة المنخفضة، وبالتالي ترتفع درجة حرارته تبعاً لمقدار الإشعاع الشمسي ومعدل السريان داخل أنابيب التسخين .



الشكل (2-3) مجمع شمسي مسطح

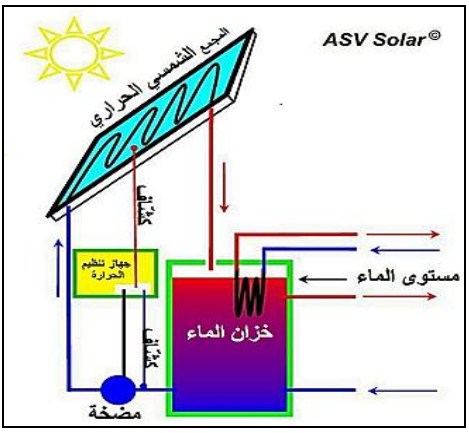
2- آلية السريان داخل السخان: يدخل المائع البارد نسبياً إلى أنبوب التوزيع في أسفل السخان (السخانات ذات السريان المتوازي) الشكل(2-4) ومن هذا الأنبوب يتوزع المائع على أنابيب موازية صاعدة وذات أقطار صغيرة، ومن ثم يجمع في أنبوب التجميع الرئيس في أعلى السخان، حيث يتم دفع المائع الحار نسبياً إلى خارج السخان.



الشكل (2-4) السخانات ذات السريان المتوازي

أما في حالة السريان المتصل، يدخل المائع إلى أنبوب التسخين الذي يغطي أغلب مساحة السطح الماص، وذلك بسبب شكله المتعرج الشكل(2-5)، فيتحرك الماء

يميناً وشمالاً في اتجاه تصاعدي حتى يخرج من أعلى السخان، دون أن يكون هناك أي تفريغ للمائع أو تغيير في الأقطار.



الشكل (2-5) السخانات ذات السريان المتعرج

3- آلية الدفع: وهي الوسيلة التي يتم بواسطتها نقل المائع الساخن من السخان إلى الخزان، ونقل المائع البارد من الخزان إلى السخان وتحريك المائع داخل السخان. ويمكن إن تكون آلية الدفع ذو نظامين: طبيعي وقسري. يتميز نظام الدفع الطبيعي ببساطته ورخص تكاليفه ، فهو يعتمد على المبدأ الفيزيائي الحراري، بأن أي ارتفاع في درجة حرارة المائع يتبعه انخفاض في كثافته. ولتطبيق هذا المبدأ في أنظمة التسخين يجب أن يكون أدنى مستوى في الخزان يوازي أو يعلو على أعلى مستوى في السخان، فعند دخول المائع إلى السخان بدرجة حرارة معينة فإنه يمتص الحرارة من السطح الماص لترتفع درجة حرارته ، ويتبع ذلك انخفاض في الكثافة. وينتج عن هذا الانخفاض استمرار صعود المائع داخل السخان باكتسابه للحرارة ودخول المائع البارد القادم من الخزان. **أما** نظام الدفع القسري يستعان فيها بمضخة تقوم بتدوير المائع بين الخزان والسخان خلال فترات توفير الإشعاع الشمسي . وحتى لا تستمر الدورة في الليل عند انخفاض أو انعدام الإشعاع الشمسي يضاف محبس يقوم باستشعار حرارة الخزان وآخر باستشعار حرارة

المائع الخارج من السخان ووحدة تحكم تفاضلية مهمتها إيقاف المضخة عندما تكون حرارة الخزان بمقدار يتجاوز الفقد في أنابيب التوصيل بين الخزان والسخان.

2-1-1-3- مردود المجمع المسطح

يعرف مردود المجمع الشمسي المسطح بأنه نسبة الطاقة المفيدة المستغلة من قبل المجمع الشمسي والمنتقلة إلى المائع المطلوب تسخينه إلى الطاقة الشمسية الساقطة على المجمع الشمسي.

مردود المجمع الشمسي = الطاقة المفيدة المستغلة من قبل المجمع/ الطاقة الشمسية الساقطة على المجمع الشمسي

الطاقة المستغلة = الطاقة الملتقطة - الطاقة الضائعة

إذاً مردود المجمع الشمسي = (الطاقة الملتقطة / الإشعاع الشمسي) – (الطاقة الضائعة / الإشعاع الشمسي).

(الطاقة الملتقطة / الإشعاع الشمسي) = f . μ

حيث:

f: امتصاصية الدهان الأسود لصفيحة المجمع.

μ: نسبة نفوذ الإشعاع الشمسي عبر الزجاج.

I : شدة الإشعاع الشمسي.

بحيث أن الحد الأول من معادلة المردود يتعلق بنوعية المواد المستعملة في صنع المجمع الشمسي (الزجاج، الدهان .....)، إما الحد الثاني من المعادلة فيتعلق بالضياعات الحرارية من المجمع أي انه يتعلق بالفرق بين درجة الحرارة المجمع الشمسي T_P ودرجة حرارة الجو المحيط به T_a وبعامل انتقال الحرارة الكلي بين سطح

المجمع والهواء المحيط به U حيث يتأثر هذا العامل بسرعة الريح وعدد الأغطية الزجاجية. لهذا تصبح علاقة مردود المجمع الشمسي η على الشكل التالي:

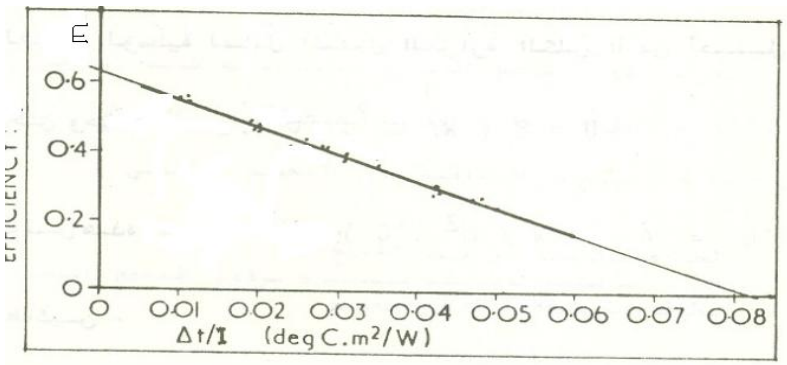
$$\eta = f.\mu - \{U(T_p-T_a) / I\}$$

أن القيمة الوسطية لعامل انتقال الحرارة الكلي U من أجل غطاء زجاجي وحيد هي: $U = 8\ (W/m^2 . °C)$. وتتناقص هذه القيمة إلى $U = 4\ (W/m^2 . °C)$ من اجل غطائين. وبدلاً من درجة حرارة المجمع الشمسي التي يمكن أن تختلف من نقطة إلى أخرى على سطح المجمع يمكن قياس درجة الحرارة السائل الداخل إلى المجمع.

ولأخذ ما تقدم بعين الاعتبار يمكن تصحيح معادلة مردود المجمع الشمسي η بإدخال عامل التصحيح F_R يعتمد على نوع السائل المستعمل وسرعته داخل المجمع وخواص المجمع التصميمية، لتصبح المعادلة كما يلي:

$$\eta = F_R\ f.\mu - \{U(T_p-T_a) / I\}$$

وتعطي هذه المعادلة أذا ما مثلت بيانياً خطاً مستقيماً الشكل (2-6).



الشكل (2-6) التمثيل البياني لمردود المجمع الشمسي

ومن جهة أخرى يمكن تعريف المردود بنسبة كمية الحرارة المفيدة التي نحصل عليها من واحدة السطح ($1m^2$) للمجمع إلى شدة الإشعاع الشمسي.

$$\eta = M.\ C_p.\ \{(T_o - T_i) / I\}$$

حيث:

M : غزارة المائع الذي يجتاز المجمع ($Kg / s\ .\ m^2$).

C_P : الحرارة النوعية للمائع ($J / Kg\ .\ °C$).

T_i : درجة حرارة المائع في مدخل المجمع (C°).

T_o : درجة حرارة المائع في مخرج المجمع (C°).

I : شدة الإشعاع الشمسي (W/m^2).

بحيث يمكننا تعيين قيمة المردود بقياس غزارة المائع ودرجة حرارته في الدخول إلى المجمع والخروج منه، وشدة الإشعاع الشمسي أثناء التجربة وتمثيل تغير هذا المردود كتابع للحد $\{(T_o - T_i) / I\}$.

لتحسين مردود المجمع الشمسي يمكن أن نلجأ إلى التدابير التالية:

1 - إنقاص الإشعاع المنعكس على سطح اللوح الزجاجي دون أن يلتقطه المجمع.

2 - تخفيض الضياعات الحرارية عبر الغلاف الزجاجي باستعمال زجاج مزدوج مع فراغ بين لوحي الزجاج بالإضافة إلى تحقيق العزل الجيد لصندوق المجمع.

3 - تخفيض الفرق بين درجة حرارة المجمع ودرجة حرارة الهواء الخارجي المحيط به ويمكن تحقيق ذلك بزيادة سرعة جريان المائع الناقل للحرارة كي لا ترتفع درجة حرارته كثيراً، كذلك يمكن بزيادة سعة التخزين تصغير درجة حرارة المائع الداخل إلى المجمع.

2-1-1-4-المجمعات الشمسية الأنبوبية:

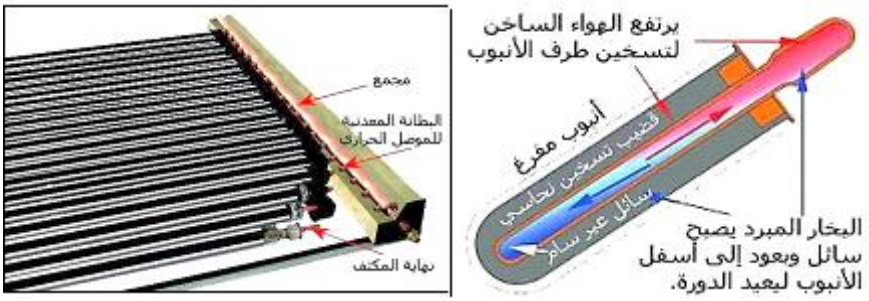
الأنابيب المفرغة هي التي تمتص أشعة الشمس وتحولها إلى حرارة تستخدم في تسخين الماء بسرعة كبيرة. يتألف كل أنبوب مفرغ من أنبوبين من الزجاج المقسى (البروكسيلات) ذات المقاييس العالمية، يكون الأنبوب الخارجي شفاف يسمح لأشعة الشمس بالدخول عبره بأقل انعكاس ممكن، الأنبوب الداخلي مطلي من الخارج بمادة خاصة تمتلك خاصية امتصاص عالية للطاقة الشمسية والأشعة تحت الحمراء بأقل انعكاس ممكن، ومن الداخل مطلي بمادة عاكسة لمنع رجوع الأشعة المكتسبة ثانية للخارج الشكل(2-7).

الشكل(2-7) الأنابيب المفرغة

يتم لحم قمة الأنبوبين مع بعضيهما وإفراغ الهواء بينهما. وتعد عملية التخلية من أهم ما يميز هذه الأنابيب، حيث تصل نسبة التخلية إلى0.005 بار تقريباً، والتي تعطي فراغ عازل قوي جداً عن العوامل الخارجية، وهذا يؤدي إلى رفع أداء الأنابيب وسرعة تسخين المياه حتى في درجات الحرارة المنخفضة جداً. الأمر الذي لا نجده في نظام الوحدات المسطحة القديم بسبب الفقد الحراري الناجم عن تماسها مع عوامل الطقس الخارجية كالرياح و درجات الحرارة المنخفضة .

ويوجد داخل الأنبوبين الخارجيين أنبوب حراري، وهو عبارة عن أنبوب نحاسي مفرغ من الهواء وبداخله كمية قليلة من الكحول وبعض الإضافات الخاصة. و بالاعتماد على مبدأ غليان السوائل عند درجة حرارة أقل من 100م° عند إنقاص الضغط

عن طريق تخلية الأنبوب الحراري نستطيع أن نصل إلى نفس النتيجة، حيث أن الأنبوب الحراري المستخدم في هذا النظام يمتلك نقطة غليان عند 30 °م فقط، ولهذا عندما تصل درجة حرارة الأنبوب الحراري فوق 30°م يتبخر السائل بداخله ويصعد هذا البخار إلى قمة الأنبوب الحراري ناقلاً الحرارة معه، وعندما يفقد الحرارة في المكثف يعود إلى الحالة السائلة وينزل إلى قعر الأنبوب مكرراً العملية مرة ثانية وبسرعة كبيرة الشكل(2-8)، حيث تصل درجة حرارة الرأس إلى 150سيلسيوس في حوالي 5 - 10 دقائق فقط.



الشكل(2-8) التسخين بالأنابيب المفرغة

2-2- **الاستخدامات الحرارية للطاقة الشمسية:** أن أهم هذه الاستخدامات هي:

1- تسخين المياه بالطاقة الشمسية.

2- التدفئة بالطاقة الشمسية.

3- تسخين أحواض السباحة بالطاقة الشمسية.

4- التبريد الشمسي باستخدام دارة التبريد بالامتصاص.

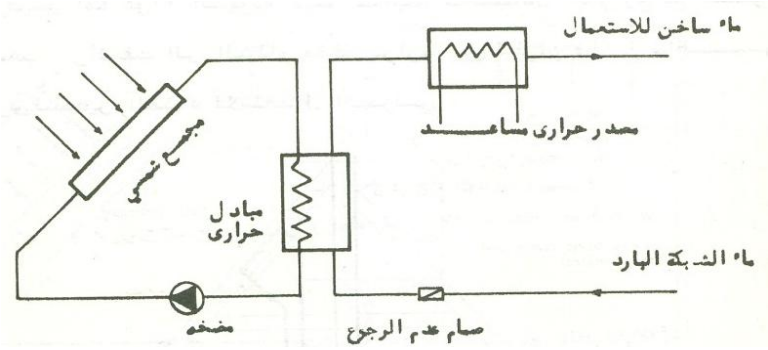
5- التجفيف الشمسي.

6- تحلية المياه المالحة باستخدام الطاقة الشمسية.

7- الأحواض الشمسية ذات التدرج الملحي.

2-2-1- تسخين المياه بالطاقة الشمسية للاستعمال المنزلي أو الصناعي:

أن تسخين المياه للاستعمال المنزلي بواسطة الطاقة الشمسية هو من أكثر الاستخدامات الحرارية شيوعاً. والشكل (2-9) يبين مبدأ عمل سخان ماء شمسي، حيث يلتقط المجمع الإشعاع الشمسي الساقط عليه ويسخن نتيجة لذلك الماء المار عبر المجمع وينقل هذا الماء الساخن الحرارة إلى مبادل حراري هو مسخن لماء الاستعمال وخزان للماء الساخن في الوقت ذاته، أن تدوير الماء عبر المجمع يمكن أن يتم بحركة طبيعية نتيجة فرق الكثافة أو بحركة قسرية باستعمال مضخة لهذه الغاية، ويمكن أن يضاف إلى النظام مسخن إضافي يستمد الحرارة من مصدر مساعد (مقاومة كهربائية أو ملف أنابيب تجتازها مياه التدفئة المركزية).

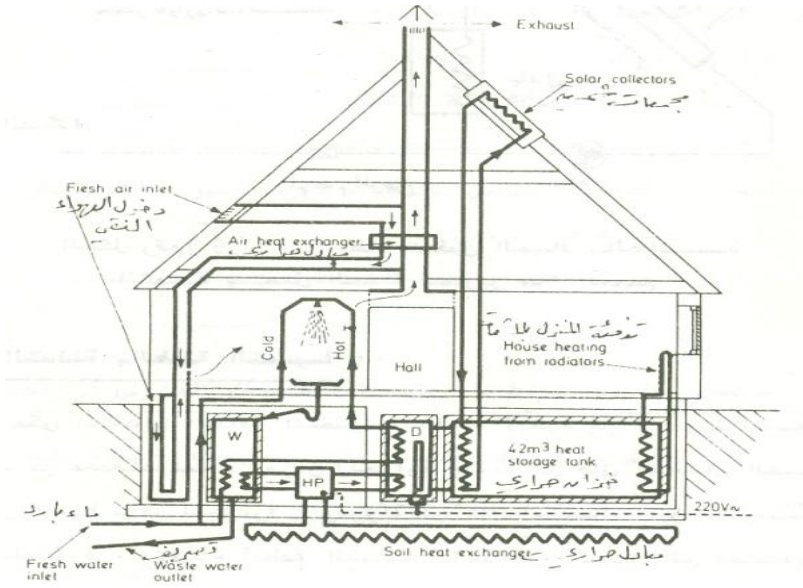


الشكل (2-9) نظام تسخين المياه بالطاقة الشمسية يستعمل المضخة لتدوير ماء المجمع

2-2-2- التدفئة بالطاقة الشمسية:

يمكن استخدام الطاقة الشمسية لتدفئة الأبنية خلال فصل الشتاء، ويتألف النظام من مجمعات شمسية وخزان للحرارة ومضخة في حال استعمال الماء الساخن كوسيط ناقل للحرارة، ومروحة في حال استعمال الهواء كوسيط ناقل للحرارة. وتحتاج أنظمة التدفئة بالطاقة الشمسية إلى مصدر حراري مساعد، إذا لم تحتوي على خزان حراري.

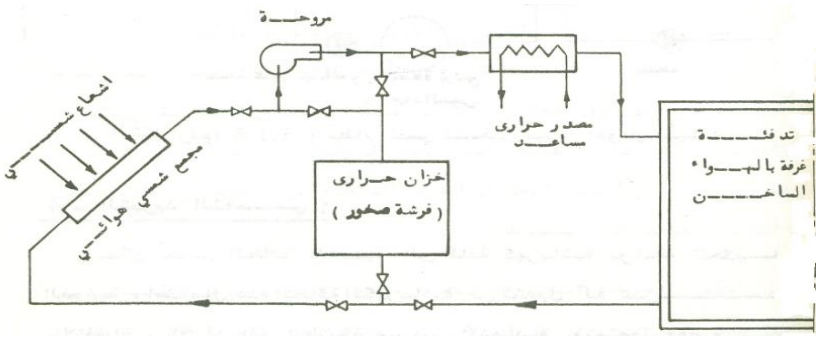
الشكل (2-10) عائد للبيت الشمسي الذي أنشأته شركة Philips في مدينة آخن، ويبين الشكل أنظمة الطاقة المستعملة فيه حيث يحتوي على خزان للماء الساخن D بسعة $4m^3$ وخزان ثان لمياه التصريف W بسعة $1m^3$ وخزان رئيسي بسعة $42m^3$ يستعل كخزان حراري.



الشكل (2-10) البيت الشمسي الذي أنشأته شركة Philips

وتتم التدفئة بواسطة المشعات التي تستمد الحرارة من الخزان الرئيسي أما هواء التهوية فيتم تسخينه بالتبادل الحراري مع هواء السحب ، أضيف إلى النظام مضخة حرارية لتسخين المياه للاستعمال المنزلي.

أما الشكل (2-11) فيبين طريقة التدفئة الشمسية بالهواء الذي يتم تسخينه بواسطة مجمعات شمسية هوائية وتستعمل فرشة صخور كخزان حراري، وتقوم المروحة بسوق الهواء المسخن في المجمعات الهوائية إما إلى الغرفة أو إلى الخزان الحراري حسب الحاجة ويحتوي النظام أيضاً على مصدر حراري مساعد لتغطية النقص من الطاقة الحرارية.



الشكل (2-11) نظام شمسي للتدفئة بالهواء الساخن مع تخزين الحرارة

التدفئة بالطاقة الشمسية هي ضخ الحرارة المكتسبة في المجمعات الشمسية إلى داخل الحيز المراد تدفئته، ولتحقيق هذا الغرض يتم استعمال بعض المعدات والأجهزة لنقل التأثير الحراري من المجمع الشمسي إلى داخل الحيز.

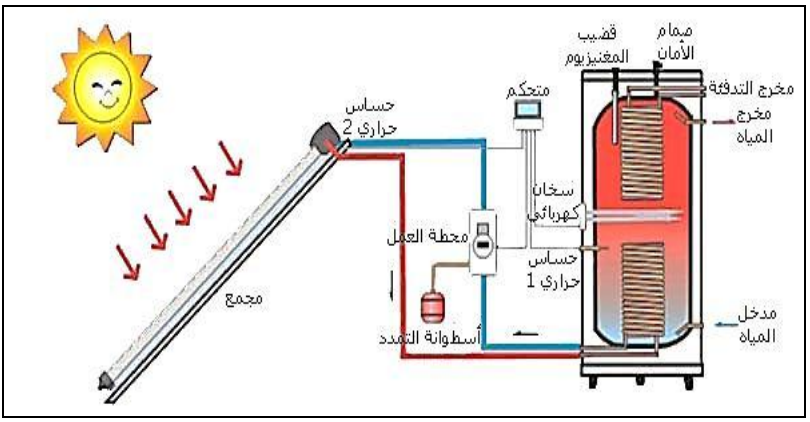
هناك نظامان للتدفئة بالطاقة الشمسية يستخدم أحدهما الهواء بينما يستخدم الآخر الماء. في نظام التدفئة بالهواء يتم تسخين الهواء في المجمعات الشمسية ومن ثم دفعه إلى داخل الحيز بواسطة مروحة، أما بالنسبة لأنظمة التدفئة بالطاقة الشمسية التي تستعمل الماء، فإنها تتضمن مبادلات حرارية يجري عبرها نقل الحرارة من الماء القادم من المجمع الشمسي إلى الهواء المدفوع إلى داخل الحيز.

أولاً: أنظمة التدفئة بالطاقة الشمسية التي تستعمل الماء: يوجد نوعان لأنظمة التدفئة بالطاقة الشمسية التي تستعمل الماء كوسيط تسخين هما:

1- الأنظمة التي تستخدم مبادلات حرارية: يجري من خلالها نقل الحرارة من الماء القادم من المجمع الشمسي إلى الهواء المدفوع إلى داخل الحيز المطلوب تسخينه الشكل(2-12).

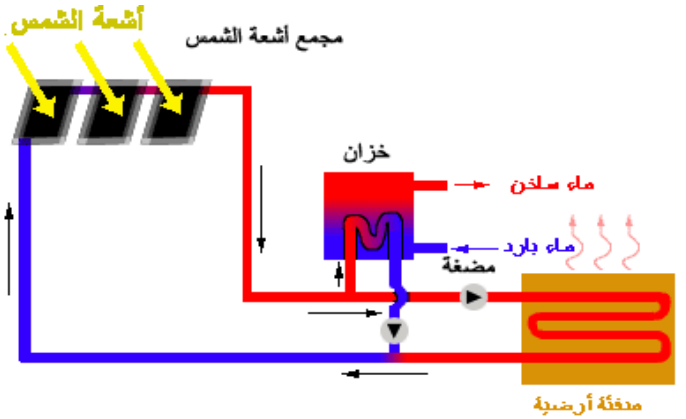
ولا تختلف أنظمة التدفئة بالماء الساخن بالشمس عن أنظمة تسخين المياه المعتادة إلا في الأجهزة الإضافية المطلوبة لنقل التأثير الحراري إلى داخل الحيز المطلوب تسخينه، وأما باقي أجزاء نظام التدفئة فهي تلك المستعملة في أنظمة تسخين المياه بشكل أساسي ،وهناك بالطبع فارق في عدد المجمعات الشمسية

المطلوبة وفي حجم خزان المياه الساخنة. ويتم تحديدهما اعتمادا على مقدار حمل التدفئة المطلوب.



الشكل(2-12) الأنظمة التي تستخدم مبادلات حرارية

2 - المدافئ الأرضية: يتم في هذا النظام نقل الحرارة من الماء القادم من المجمع الشمسي إلى مبادلات حرارية تمدد تحت أرضية الأماكن المراد تدفئتها الشكل(2-13)، تنتقل عبرها الحرارة إلى الأرضيات الموجود فوقها ومن ثم إلى الوسط المراد تدفئته.



الشكل(2-13) المدافئ الأرضية

ومن أهم وضائف خزان المياه الساخنة في المدفئة الأرضية:

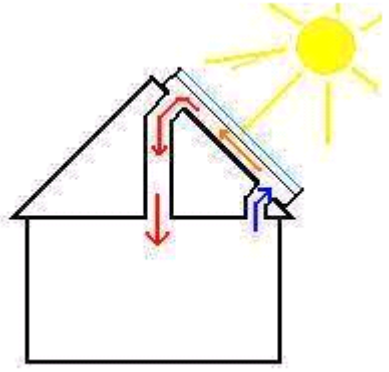
1- تسخين بلاط المنزل أثناء الليل، وذلك لعدم قدرته ليلا القيام بعملية التسخين من خلال مجمع الأشعة. لذلك يجب إذا استخدام مصدر حراري مساعد.

2-استخدامه كسخان مياه لتوفير المياه الساخنة الصحية.

ثانياً: أنظمة التدفئة بالطاقة الشمسية التي تستعمل بالهواء: يتم تسخين الهواء في المجمعات الشمسية ومن ثم دفعه إلى داخل المكان المراد تدفئته بواسطة مروحة. ولا يختلف تصميم المجمع الشمسي المستعمل لتسخين الهواء عن ذلك المستعمل لتسخين الماء إلا في تصميم الصفيحة الماصة، وتحديداً في تصميم مجرى الهواء، فبينما يتخذ مجرى الماء شكلاً دائرياً يكون المقطع العرضي لمجرى الهواء مستطيلاً.

النظام الأول: التدفئة بالطاقة الشمسية بطريقة تدوير الهواء:

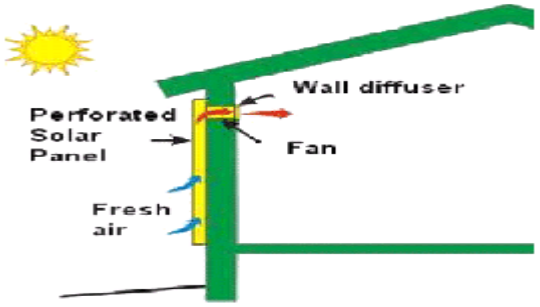
هي أحد ابسط طرائق التدفئة وأقلها تعقيداً، فهي عبارة عن مجمعات شمسية زجاجية تستقبل اشعة الشمس الساقطة عليها لتقوم بتسخين الهواء الموجود بداخلها، وعن طريق حساس الحرارة بالداخل عند وصولها لدرجة حرارة معينة ومقارنتها بدرجة الحرارة الموجودة بداخل الحيز المراد تدفئته عن طريق حساس حرارة مثبت داخل الحيز المراد تدفئته، يتم توصيل مراوح وظيفتها تدوير الهواء الدافئ من المجمعات الي الحيز المراد تدفئته الشكل(2-14).



الشكل(2-14) التدفئة بالطاقة الشمسية بطريقة تدوير الهواء

النظام الثاني: التدفئة عن طريق مجمع الهواء المثقب:

مجمع الهواء المثقب هو عبارة عن لوحة مثقبة ممتصة للطاقة الشمسية، حيث يتكون السطح الخارجي لهذا المجمع من آلاف الثقوب الصغيرة جداً التي تسمح للهواء والحرارة المجاورة بأن تدخل بانتظام الي تجويف الهواء الموجود خلف الألواح الخارجية المثقبة. تقوم مجمعات الهواء المفرغة بتجميع الهواء الخارجي بدلاً من استخدام الهواء الموجود في الغرفة، وعادة ما تكون مجمعات الطاقة الشمسية مركبة على الحائط الخارجي لالتقاط زاوية سقوط اشعة الشمس المنخفضة في أشهر الشتاء الباردة. ويتم سحب هذا الهواء الساخن لداخل المكان المراد تدفئته عن طريق مراوح سحب في نظام التهوية للمبنى حيث يتم توزيعها بعد ذلك عن طريق الوسائل التقليدية أو باستخدام نظام الطاقة الشمسية عبر الأنابيب الشكل(2-15).



الشكل(2-15) التدفئة عن طريق مجمع الهواء المثقب

ويتم ضخ الهواء داخل المبنى بطريقتين:

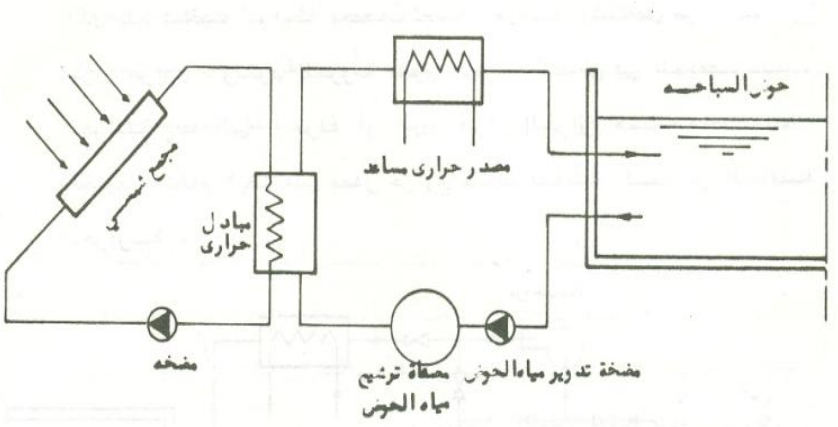
1- ضخ الهواء مباشرة من فتحات كبيرة إلى المكان المطلوب تدفئته.

2- ضخ الهواء عبر ممرات مثقبة لتوزيع الهواء على مستوى السقف.

2-2-3- التسخين الشمسي لأحواض السباحة المغلقة

يتألف النظام من دارتين: الأولى دارة الماء للمجمعات الشمسية والدارة الثانية دارة ماء حوض السباحة ويتم التبادل الحراري بينهما في المبادل الحراري، حيث يسحب ماء الحوض بواسطة المضخة وبعد تنقيته وتصفيته بتمريره عبر مصافي تقوم بالتقاط

المواد العالقة، يمرر خلال المبادل الحراري. ويضاف إلى الدارة مصدر حراري مساعد لرفع درجة حرارة ماء الحوض إلى الدرجة المطلوبة الشكل (2-16).



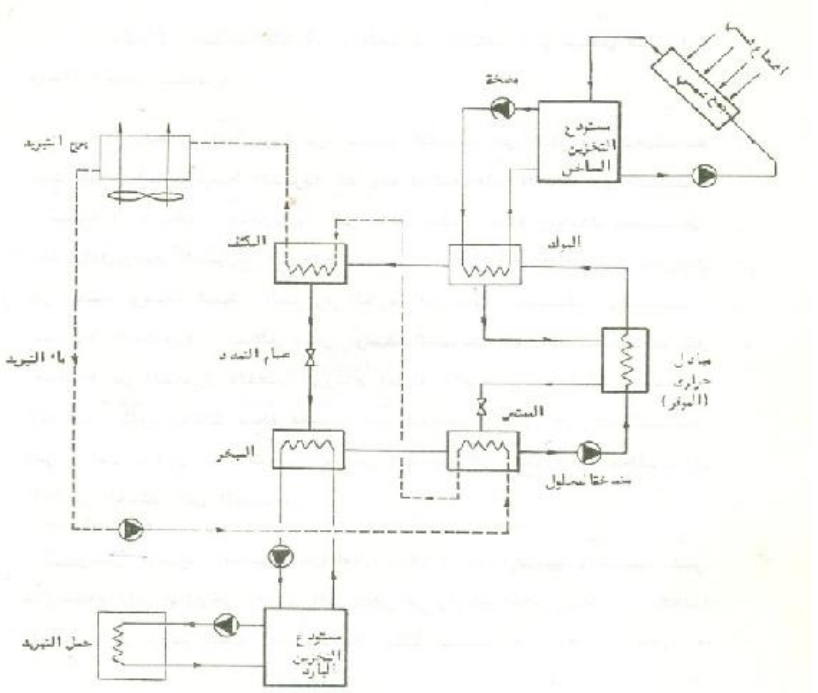
الشكل (2-16) نظام شمسي لتسخين مياه أحواض السباحة

2-2-4- التبريد الشمسي

يمكن تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية بواسطة خلايا الضوئية واستعمال هذه الطاقة الكهربائية في تشغيل آلة تبريد بانضغاط، إلا أن هذا الطريقة هي غير اقتصادية و تستعمل فقط من أجل استطاعات التبريد الصغيرة جداً.

في حين أنه في آلة التبريد بالامتصاص التي تحتاج إلى مصدر حراري لتسخين المولد، لذلك يمكن استخدام الطاقة الحرارية الشمسية لهذه الغاية، وهذا النظام هو الذي نال الاهتمام الأكبر وتركزت الجهود عليه في استخدامات الطاقة الشمسية لغايات التبريد.

يبين الشكل (2-17) نظاماً شمسياً للتبريد باستعمال دارة الامتصاص التي تستخدم الطاقة الحرارية الشمسية، وتتألف هذه الدارة من الأقسام الرئيسية التالية: المولد، المكثف، المبخر والممتص. بالإضافة إلى مبادل حراري ومضخة وصمام تمدد.



الشكل (2-17) التشغيل الشمسي لنظام تبريد بالامتصاص مع مستودع لتخزين الحرارة ومستودع لتخزين البرودة

تضاف الطاقة الحرارية من المصدر الشمسي إلى المولد لتسخينه حيث تنطلق أبخرة وسيط التبريد ثم يتم تكثيف هذه الأبخرة في المكثف (نتيجة لتبريدها) وتحويلها إلى سائل ويقوم صمام التمدد بخفض ضغط سائل وسيط التبريد إلى ضغط التبخير، ليتبخر سائل وسيط التبريد في المبخر ويسحب الكمية الحرارة اللازمة لتبخيره وبالتالي يولد البرودة المطلوبة، ينطلق بخار وسيط التبريد إلى الممتص حيث يتم امتصاصه في المحلول الفقير، وتتم عملية الامتصاص نتيجة لتبريد الممتص، تقوم بعدئذ مضخة صغيرة بضخ المحلول الغني إلى المولد عبر مبادل حراري بين المحلول الغني الذاهب إلى المولد والمحلول الفقير العائد إلى الممتص.

ونظراً لطبيعة الشمس المتقطعة تحتاج دارة التبريد الشمسي بالامتصاص إلى خزان حراري أو إلى مصدر حراري مساعد، ويمكن أن يضاف إليها خزان برودة لضمان عمل الجهاز بشكل مستمر. إن الدراسات المتعلقة بنظم التبريد الشمسي تناولت مواضيع عديدة أهمها:

- اختبار مناسب للزوجة المواد العاملة في دارة الامتصاص.

- تحسين عامل أداء الدارة.

- تخزين الطاقة الحرارية الشمسية.

- تخزين البرودة خفض الكلفة الأولية التأسيسية.

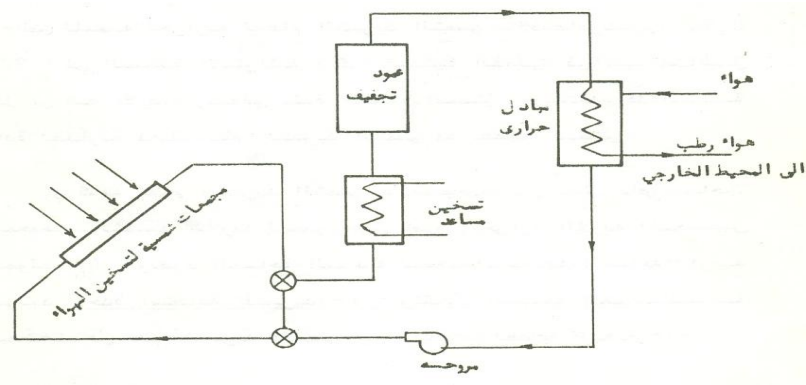
أن النسبة الحرارية لنظام التبريد الشمسي بالامتصاص تساوي إلى جداء عامل أداء دارة التبريد بمردود المجمعات وتتراوح القيمة العظمى للنسبة الحرارية لنظام التبريد الشمسي بالامتصاص بين 0.55 و 1.22 في المنطقة الاستوائية وتكون قيمتها الفعلية في بقية المناطق أقل من هذه الأرقام وتتعلق بشدة الإشعاع الشمسي، وتستخدم هذه النسبة عادة لمقارنة مختلف نظم التبريد الشمسي مع بعضها البعض.

أن كلفة نظام التبريد الشمسي بالامتصاص تتعلق بشكل خاص بمساحة المجمعات الشمسية اللازمة للحصول على كمية الحرارة اللازمة لتسخين المولد، وتعرف المساحة النوعية للمجمعات بأنها المساحة اللازمة لتوليد واحدة استطاعة التبريد KW، وتقارن المساحة النوعية للمجمعات في نظام التبريد الشمسي بالامتصاص مع بعضها البعض.

2-2-5– التجفيف الشمسي

تستعمل الطاقة الحرارية الشمسية لتجفيف المنتجات الزراعية بغية تخزينها فترة طويلة دون أن تتعرض للتلف.

الشكل (2-18) يبين أحد أنظمة التجفيف الشمسي حيث تقوم مروحة بإرسال الهواء الخارجي عبر مبادل حراري لتسخينه قبل إرساله إلى مجمعات الهواء الشمسية، بعدئذ يجتاز الهواء مسخناً حرارياً مساعداً لرفع درجة حرارته إلى درجة الحرارة المطلوبة.



الشكل (2-18) نظام تجفيف شمسي

يمر الهواء عبر عمود التجفيف لنزع الرطوبة من المنتجات المطلوبة تجفيفها وقبل طرد الهواء الرطب إلى الجو المحيط يجري تبادل حراري بينه وبين الهواء الخارجي. ويصمم سخان الهواء المساعد بحيث يستطيع تسخين هواء التجفيف في فترات عدم سطوع الشمس ، ويتم التحكم بذلك بواسطة صمامين ثنائيي الوضع كما هو مبين على الشكل.

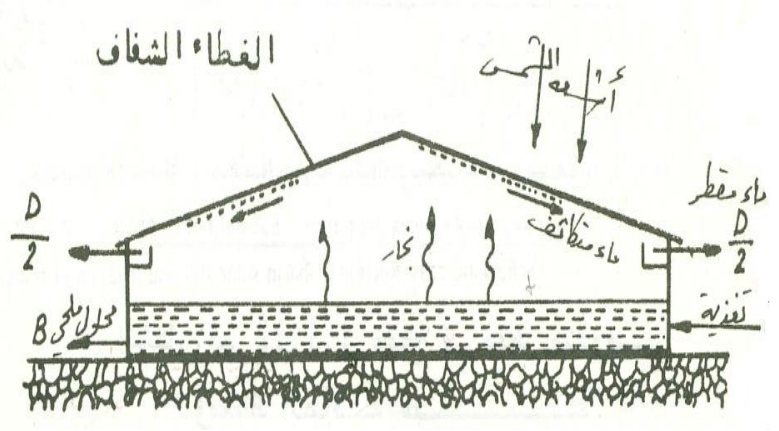
2-2-6- التقطير الشمسي

إن تقطير المياه بالطاقة الشمسية هو من أقدم الطرق التي استعملت للحصول على مياه عذبة، واكتسبت هذه الطريقة أهميتها مجدداً بعد ارتفاع كلفة الطاقة، وخاصة في المناطق التي تندر فيها المياه العذبة وتتوفر فيها الطاقة الشمسية في معظم أيام السنة.

ويعتبر المقطر الشمسي الصندوقي من أكثر المقطرات التي تستخدم الطاقة الحرارية الشمسية استعمالا نظراً لبساطة إنشائه وسهولة صنعه.

يتألف النوع البسيط للمقطر الصندوقي من وعاء مزود بغطاء شفاف يسمح بنفوذ أشعة الشمس (زجاجي 2-3 مم أو بلاستيكي 0.1 مم من النوع غير القابل للابتلال) ويحتوي الوعاء في قعره على ماء مالح بسماكة قليلة فوق قاعدة سوداء (لامتصاص أكبر كمية من الإشعاع الشمسي).

ونتيجة لارتفاع درجة حرارة الماء المالح يتبخر الماء، وبخار الماء الناتج يتكاثف على السطح الداخلي للغطاء تحت درجة حرارة متوسطة بين درجة حرارة الجو الخارجي، ونظراً لميل الغطاء ينساب الماء عليه ويجمع بواسطة مجاري جانبية الشكل (2-19). هذا ويمكن تغذية المقطر الشمسي بالماء المالح بشكل مستمر أو بشكل متقطع.



الشكل (2-19) المقطر الصندوقي الشمسي

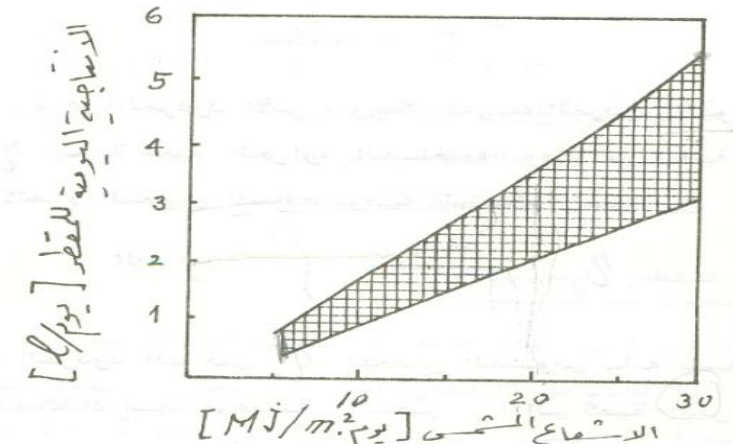
وأول مقطر شمسي بإنتاجية كبيرة تم بناؤه في التشيلي عام /1872/ حيث بلغت مساحة قاعدته 4450م2 وكانت طاقته الإنتاجية 14762 ليتر في اليوم.

2-2-6-1- إنتاجية المقطر الشمسي

تعرف الإنتاجية اليومية للمقطر الشمسي بكمية الماء العذب المنتجة يومياً من قبل واحدة السطح من قاعدة المقطر (ل / م2) وهي تتعلق بشدة الإشعاع الشمسي وبتصميم المقطر وطريقة إنشائه وخواص المواد المستعملة في صنعه.

الشكل (2-20) يبين إنتاجية المقطر الشمسي الصندوقي L/day كتابع للإشعاع الشمسي الساقط على وحدة السطح في اليوم (يوم MJ/m^2) وهي تتراوح عادة بين (3-4) ليتر في اليوم لكل متر مربع. كما يمكن استعمال القانون التقريبي التالي لحساب هذه الإنتاجية:

$$P_d = 0.0393\ H_t^{1.4}$$



الشكل (2-20) تغير إنتاجية المقطر الشمسي الصندوقي كتابع للإشعاع الشمسي

حيث:

H_t : شدة الإشعاع الشمسي الساقط يومياً على واحدة السطح $MJ/m^2.day$.

P_d : إنتاجية المقطر الشمسي $L/m^2.day$.

2-2-6-2- مردود المقطر الصندوقي

لمقارنة مختلف أنواع المقطرات الشمسية. نعرف مردود المقطر بأنه نسبة كمية الحرارة المستخدمة في عملية التبخير q_e إلى شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الغطاء G_t:

$$\eta = q_e / G_t$$

وهذا المردود هو المردود الآني، ويمكن تعريف المردود اليومي للمقطر η_d بنسبة كمية الحرارة المستخدمة يومياً في عملية التبخير إلى شدة الإشعاع الشمسي الساقط يومياً على سطح الغطاء (التكامل من 24-0 ساعة).

$$\eta_d = (3600/H_t).\int q_e.dt$$

كذلك يعرف المردود الداخلي η_i للمقطر الصندوقي بأنه نسبة كمية الحرارة المستفاد منها في عملية التبخير q_e إلى كمية الحرارة الممتصة من قبل الماء:

$$\eta_i = q_e / (f.\mu.G_t)$$

ويعتبر المردود الداخلي كمقياس لكفاءة انتقال الحرارة داخل المقطر.

2-2-6-3- العوامل التي تؤثر على أداء المقطرات الشمسية الصندوقية

أهم هذه العوامل هي:

1- شدة الإشعاع الشمسي.

2- درجة حرارة الجو المحيط.

3- سرعة الرياح.

4- العزل الحراري لجسم المقطر.

5- عمق طبقة الماء المالح في قاعدة المقطر.

6- تسرب البخار من المقطر (بسبب عدم أحكام وضع الغطاء).

7- تسرب الماء المقطر.

8- زاوية ميل الغطاء (حيث تبين أن أفضل زاوية ميل هي °20 إلى °25 عن المستوى الأفقي).

9- المسافة بين الغطاء وسطح الماء (حيث تزداد الإنتاجية كلما كانت هذه المسافة أقل).

2-2-6-4- اقتصادية التقطير الشمسي-

رأينا أن تقطير مياه البحر في المقطرات الشمسية ذات المساحات الكبيرة (عدة مئات من أمتار المربعة) يمكن أن ينفذ بسرعة وبكلفة مقبولة، ولا يتعدى الأمر سوى حفر سطوح مستوية بعمق قليل و تبطينها بمواد كتيمة (طبقات من الإسفلت أو من المطاط البوتيل)، وهكذا يتشكل حوض التبخير، والأغطية الزجاجية والمستندة إلى دعامات بيتونية تقوم بوظيفة الغطاء وبوظيفة سطح التكثيف. وقد تم تنفيذ وتشغيل العديد من هذه المقطرات في بلدان مختلفة (بشكل خاص في الولايات المتحدة، استراليا، اليونان).

وكلفة التأسيس للمقطرات ذات الغطاء الزجاجي باستطاعة تقطير تبلغ عدة مئات الأمتار المكعبة من الماء العذب في اليوم تبلغ (400) ليرة سورية من أجل ليتر ماء في اليوم، كلفة التأسيس هذه المرتفعة نسبياً بالمقارنة مع كلف التأسيس لمنشآت التقطير بالطرق التقليدية تقابلها كلفة طاقة وكلفة تشغيل منخفضة وعمر أطول نسبياً، بحيث أن كلفة الإنتاج تتراوح بين 50-100 ليرة سورية لكل متر مكعب ماء وذلك حسب حجم المنشأة وشدة الإشعاع الشمسي ومعدل إطفاء رأس المال.

ويمكن للتقطير الشمسي أن يكون اقتصادياً في البلدان المشمسة من أجل سعات تقطير حتى(200م^3/يوم) في حين أنه من أجل السعات الكبيرة لا يمكن للتقطير الشمسي أن ينافس طرق التقطير التي تستعمل الطاقات التقليدية.

ويبدو أن البلدان التي تقع على البحر الأبيض المتوسط والبحر الأحمر والخليج العربي يمكن أن تستفيد من هذه الطريقة في إنتاج الماء العذب، لاسيما أن بساطة المقطرات الشمسية وعدم الحاجة إلى عمال مهرة للإنشاء والتشغيل تجعلها جذابة للاستعمال في الأقطار النائية والمناطق ذات الكثافة السكانية المنخفضة والتجمعات السكانية المغيرة.

2-2-7- الأحواض الشمسية

يمثل الحوض الشمسي أبسط تقنية في التحويل المباشر للطاقة الشمسية إلى الطاقة الحرارية، وهو في الوقت ذاته لاقط للطاقة الشمسية وخزان حراري.

أن أي حوض مائي يمكنه التقاط الإشعاع الشمسي وتحويله إلى حرارة، لكن معظم الأحواض الطبيعية تفقد هذه الحرارة بسرعة بسبب الحمل الحراري الشاقولي ضمن الحوض وبسبب البخر والتوصيل الحراري عبر سطح الحوض، ولكن الحوض الشمسي ذا التدرج في تركيز الملح يحول دون حدوث تيارات الحمل الحراري الشاقولية ويمنع بالتالي حدوث البخر والتوصيل الحراري المستمر عبر سطح الحوض.

إن معظم الأنظمة الشمسية تحت درجات الحرارة المنخفضة تتألف من لواقط شمسية وحدات تخزين حراري، وتقوم الخزانات الحرارية بتخزين الطاقة لمدة يوم أو عدة أيام فقط.

في حالة الحوض الشمسي لا يمكن أن نميز بين وحدة التقاط الطاقة الشمسية ووحدة التخزين، إذا أن كتلة الماء ذاتها تخدم كلاقط للأشعة الشمسية وكوسيط تخزين حراري، كتلة الماء هذه هي كبيرة نسبياً بحيث يمكن أن تؤمن تخزيناً طويل الأمد يمتد

لعدة أشهر وأحياناً لأطول من فصل. وبشكل عام يمكن أن نصنف الأحواض الشمسية ضمن مجموعتين:

1. الأحواض الشمسية التي تنقص من ضياعات الحرارة بالحيلولة دون حركة الماء (بحيث تمنع حدوث تيار حمل حراري ضمن كتلة الماء).
2. الأحواض الشمسية التي تنقص من ضياعات الحرارة بتغطية سطوح هذه الأحواض.

وأكثر الأحواض الشمسية التي تمت دراستها بإسهاب هي الأحواض الشمسية بدون حمل حراري ذات التدرج في تركيز الملح.

2-2-7-1- الأحواض الشمسية ذات التدرج في تركيز الملح

أن الحوض الشمسي ذو التدرج في تركيز الملح هو حوض يحتوي على محول ملحي بدرجة تركيز عالية في قعر الحوض وتتناقص درجة التركيز هذه إلى قيمة منخفضة بالقرب من سطح الحوض.

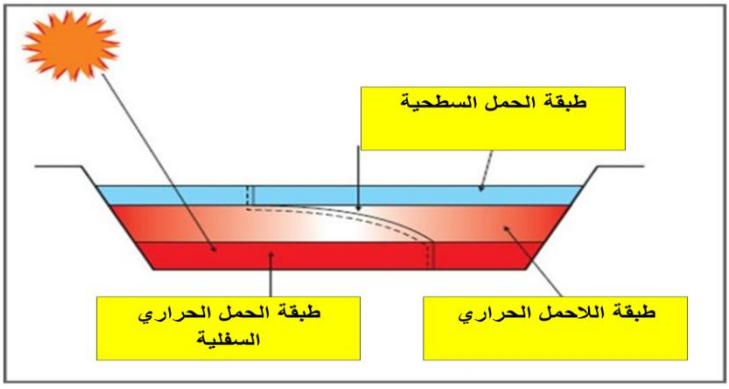
ويستعمل كلور الصوديوم Na Cl وكلور المغنسيوم $Mg\ Cl_2$ لهذه الغاية ولكن يمكن استعمال أنواع أخرى من الأملاح لإنشاء الحوض، تدخل أشعة الشمس إلى الحوض ويمتص جزء منها من قبل الماء أثناء نفوذها ويمتص الجزء الأكبر منها من قبل القعر الغامق للحوض (يمكن أن يكون هذا القعر بطانة أو غطاء أسود أو مطلي بلون أسود) وكنتيجة لامتصاص أشعة الشمس فأن الطبقات السفلية من الحوض تصبح ساخنة، أن درجات التركيز العالية للملح تكون سائدة في مناطق الحوض السفلية وهكذا فأن المياه الأعمق تحتوي على كثافة أعلى للملح من المياه الأبرد بالقرب من السطح، وكما هو معلوم تتناقص كثافة الماء الصافي عندما يسخن وإذا لم يكن هناك تدرج في تركيز الملح داخل الحوض فأن تيارات حمل حراري مستمرة من الماء الساخن ستتشكل في قعر الحوض باتجاه طبقات الماء الأبرد بالقرب من السطح.

يتألف الحوض الشمسي ذو التدرج في تركيز الملح عملياً من ثلاث طبقات كما في الشكل (2-21):

1- طبقة الحمل السطحية وهي عبارة عن محلول ملحي خفيف.

2- طبقة اللاحمل حراري وفيها تزداد درجة تركيز الملح مع العمق.

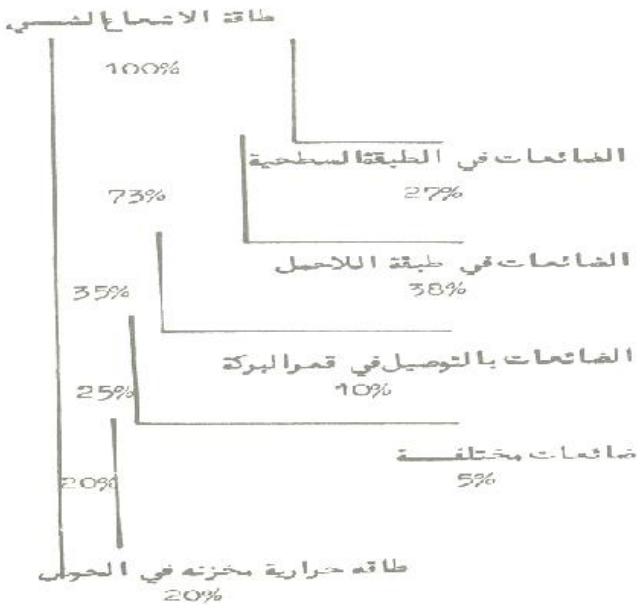
3- طبقة الحمل الحراري السفلية وهي منطقة التخزين الحراري ويكون تركيز الملح فيها ثابتاً وقريبا من درجة الإشباع.



الشكل (2-21) مقطع في الحوض الشمسي ذو التدرج في تركيز الملح

في الطبقة العلوية يحدث حمل حراري شاقولي بسبب تأثير الريح والبخر السطحي وليس لهذه الطبقة قصد مفيد ويحافظ عليها رقيقة قدر المستطاع، والطبقة التي تليها تحتوي على تركيز متزايد للملح مع ازدياد العمق بحيث تحول فيها دون حدث تيارات حمل حراري و يتراوح عمقها بين (0.8– 1.0) م. أما الطبقة الثالثة السفلية فهي طبقة ذات تركيز ملحي ثابت قريب من الإشباع وفيها تحدث تيارات حمل حراري إلا أن هذه التيارات لا تصعد إلى السطح، وهذه الطبقة تقوم بوظيفة التخزين الحراري وتتراوح سماكتها بين 1.2م إلى 2م ويتم سحب الحرارة المفيدة منها.

الشكل (2-22) يمثل موازنة الطاقة في الأحواض الشمسية ومختلف الضياعات في الطبقات الثلاثة ومنه نرى أن مقدار الطاقة الحرارية المخزنة وهي الطاقة المفيدة تساوي 20% من طاقة الإشعاع الشمسي الساقط على الحوض. هذا وقد تم في السنوات الماضية بناء وتشغيل عدد من الأحواض الشمسية في مواقع مختلفة في العالم.



الشكل (2-22) مخطط سانكي أو موازنة الطاقة للأحواض الشمسية

2-2-7-2- إمكانيات استعمال الأحواض الشمسية

يمكن استعمال الأحواض الشمسية كمصدر للطاقة الحرارية تحت درجة حرارة منخفضة لغايات التدفئة المركزية المنزلية والتدفئة الصناعية وتحضير المياه الساخنة، وكمصدر للطاقة الحرارية تحت درجة حرارة منخفضة في بعض العمليات الصناعية. كما يمكن الاستفادة منها في تحلية المياه وفي توليد الطاقة الكهربائية باستخدام دارة رانكين العضوية، كذلك يمكن استعمال هذه الأحواض في عمليات التكييف والتبريد

بتشغيل آلة تبريد بالامتصاص تستمد طاقتها الحرارية من الحوض الشمسي. وسنتطرق فيما يلي إلى أهم استخدامات الأحواض الشمسية في التدفئة وفي توليد الطاقة الكهربائية.

1- استخدام الأحواض الشمسية في التدفئة المركزية

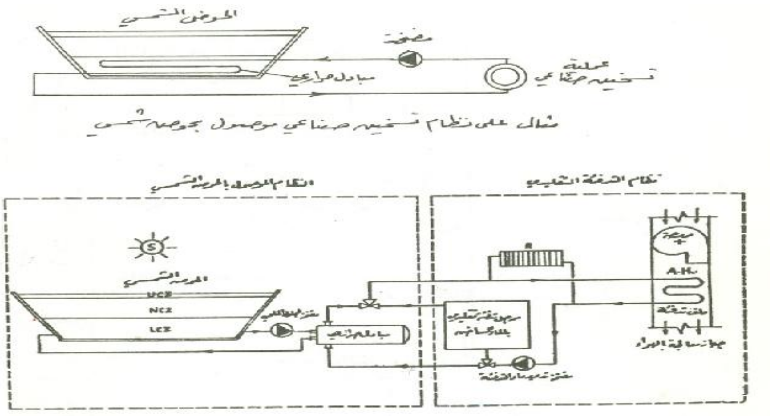
نظراً إلى الحوض الشمسي يتميز ليس فقط بالتقاط الطاقة الشمسية وبتحويل هذه الطاقة إلى طاقة حرارية بل أيضاً بإمكانية تخزين هذه الطاقة الحرارية فأن استخدامه لغايات التدفئة المركزية يبدو جذاباً. والأحواض قليلة العمق يمكن أن تؤمن كمية الحرارة اللازمة للتدفئة لمدة عدة أيام تغيب فيها الشمس، وإذا زدنا عمق طبقة التخزين السفلية فأنه يمكن تحقيق التخزين الموسمي للحرارة.

بينت الدراسات الاقتصادية لأنظمة التدفئة بالطاقة الشمسية التي تستعمل اللواقط المسطحة، أن تخزين الطاقة الحرارية المستمدة من الشمس لمدة تزيد عن عدة أيام لن يكون عملياً و اقتصادياً، لذلك فأن الأحواض الشمسية التي تتميز بإمكانيات تخزين الحرارة لأمد طويل يمكن أن تستعمل كنظام تدفئة متكامل دون الحاجة إلى مصدر مساعد للطاقة.

أن كلفة واحدة الطاقة الحرارية من الحوض الشمسي تتعلق بحجم هذا الحوض وهي تتناسب عكساً مع هذا الحجم، لذلك فأن الأحواض الكبيرة المخصصة لتدفئة عدة مبان هي أكثر اقتصادية، كذلك فأن أبعاد الحوض الشمسي تتبع عدة عوامل منها موقع الحوض، الشروط المناخية في هذا الموقع كلفة المواد الإنشاء، مواصفات الأبنية التي سيستعمل الحوض لتدفئتها ...إلخ. الشكل (2-23) يبين نظام تدفئة يستخدم الحوض الشمسي كمصدر للطاقة الحرارية، حيث تتألف مكونات النظام الشمسي من: الحوض الشمسي، مضخة المحلول الملحي، المبادل الحراري والأنابيب وملحقاتها.

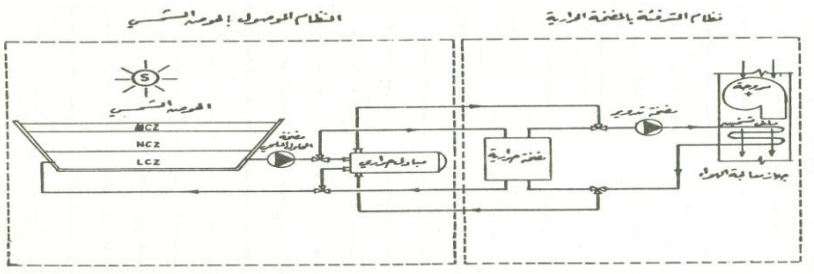
في حين أن نظام التدفئة يستخدم المبادل الحراري بدلاً من مرجل التدفئة ويمكن أن نضيف لنظام التدفئة مرجل إضافي مع وشيعة مستقلة، أو أن نعتمد طريقة للتشغيل

نستمد فيها الطاقة الحرارية من الحوض حتى تهبط درجة حرارة الحوض إلى درجة حرارة معينة ننتقل بعدها إلى تشغيل مرجل التدفئة.



الشكل (2-23) نظام تدفئة يستخدم الحوض الشمسي كمصدر للطاقة الحرارية

رأينا أن الحوض الشمسي يستطيع تخزين كمية كبيرة من الطاقة الحرارية تحت درجات حرارة معتدلة بين (30 - 90) درجة، ويمكن استعمال هذه الحرارة في طريقة التدفئة المباشرة حتى تنخفض درجة حرارة الحوض إلى 30˚ أو 35 , عندئذ نتوقف عن سوق المحلول إلى المبادل الحراري ونرسله إلى مبخر المضخة الحرارية, وهكذا نستمر بواسطة المضخة الحرارية بسحب الحرارة من الحوض حتى ولو انخفضت درجة حرارة الحوض أقل من درجة حرارة المكان المطلوب تدفئته الشكل (2-24).



الشكل (2-24) نظام تدفئة بالمضخة الحرارية موصول بحوض شمسي

أن المضخة الحرارية تسحب الحرارة من المحيط (الهواء أو المياه الجوفية، أو باطن الأرض) بعامل أداء فعلي يتراوح بين(2، 4), ويتعلق عامل الأداء بدرجة حرارة المنبع الحراري ويزداد بارتفاع درجة حرارة هذا المنبع لذلك فأن استعمال الحوض الشمسي كمنبع حراري سيؤدي إلى الحصول على عوامل أداء للمضخة الحرارية.

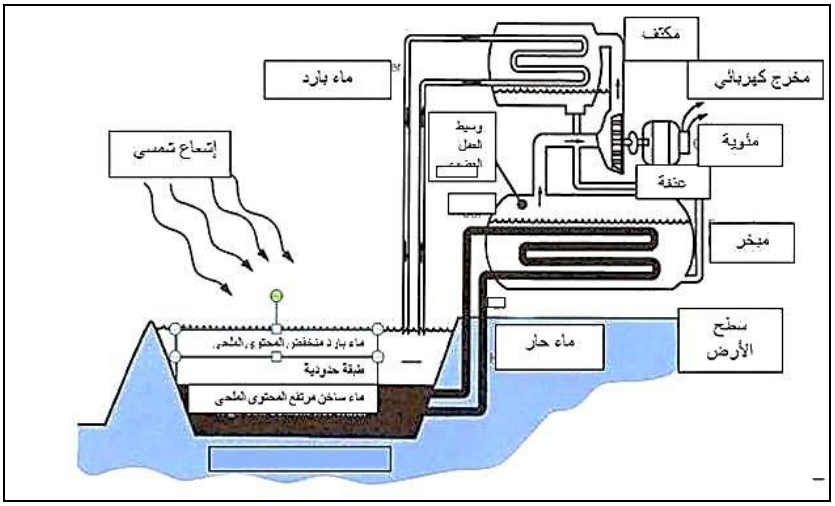
في كافة هذه الاستخدامات تلعب كلفة المنشأة ونفقات التشغيل دوراً هاماً وقد بينت الدراسات المتعلقة باستخدام الأحواض الشمسية للتدفئة أنه في حال استخدام الحوض الشمسي لتدفئة بيت مستقل فأن الكلفة ستكون عالية غير اقتصادية ونظراً إلى أن ضياعات الحرارة من الحوض تنقص نسبياً مع ازدياد نسبة مساحة الحوض إلى محيطه وكذلك تنقص كلفة التأسيس العائدة لواحدة الطاقة الحرارية المخزونة كلما ازدادت أبعاد الحوض فأن الأحواض الشمسية ستكون أكثر ملائمة لاستخدمها في تدفئة الأبنية الكبيرة أو لتدفئة المجمعات السكنية.

2- توليد الطاقة الكهربائية بواسطة الأحواض الشمسية

الشكل (2-25) يبين مبدأ عمل منشأة توليد كهرباء تستعمل الحوض الشمسي مصدر للطاقة الأولية. تقوم مضخة بسحب المحلول الملحي الساخن من أسفل الحوض وبتدويره ضمن مبادل حراري (حيث يعطي حرارته إلى وسيط العمل العضوي) ليعود بعدئذ إلى الحوض. أما وسيط العمل العضوي فيقوم بدارة مغلقة: يتبخر في المبادل الحراري (المبخر) ثم يتمدد في العنفة ويتكاثف في المكثف وتقوم مضخة أخرى بضخ سائل هذا الوسيط العضوي إلى المبخر ثانية.

وهكذا تبدو تقنية تحويل الطاقة الحرارية من الحوض الشمسي إلى طاقة ميكانيكية شبيهه بالتقنيات المطبقة في مجالات الاستفادة من مصادر الطاقة الحرارية ذات درجة الحرارة المنخفضة مثل حرارة باطن الأرض والطاقة الحرارية للمحيطات، وهي تقنية بسيطة من حيث مبدأ العمل إلا أن أبعاد الآلات الكبيرة وبالتالي كلفة التجهيزات المرتفعة والمردود الحراري المنخفض تجعل ثمن وحدة الطاقة الكهربائية المولدة من

مصدر شمسي بواسطة الأحواض الشمسية هو أضعاف ثمن هذه الطاقة عندما تولد من مصادر أخرى للطاقات البديلة.



الشكل (2-25) منشأة حرارية لتوليد الطاقة الكهربائية بوساطة الحوض الشمسي

لقد أنجزت دراسات الجدوى الاقتصادية لعدة تصاميم خاصة بتوليد الطاقة الكهربائية بواسطة الأحواض الشمسية، أحدى هذه الدراسات قام بها معهد أبحاث الطاقة الشمسية في كولورادو في لوس انجلوس لإنشاء عدة أحواض شمسية بأبعاد $1\ Km^2$ لكل حوض لتشغيل مجموعة توليد كهرباء باستطاعة 5MW وقد بينت هذه الدراسات أن كلفة التأسيس لواحدة الاستطاعة لن تقل عن $4000.

كذلك قامت جامعة بيركلي بدراسة كلفة توليد الكهرباء من حوض شمسي مساحته $10Km^2$ يقع في جنوب كاليفورنيا باستطاعة 50MW وتبين أن كلفة توليد الكيلو واط الساعي من هذا الحوض لن تقل عن ¢31 سنت وهي تزيد عن خمسة أضعاف كلفة الكهرباء المولدة بالطرق التقليدية. ويمكن تلخيص أهم مزايا الأحواض الشمسية بما يلي:

1- تمثل الأحواض الشمسية أرخص طريقة لتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية ولتخزين هذه الطاقة الحرارية، أن كلفة واحدة السطح من الأحواض الشمسية هي أقل بكثير من أي نظام يستعمل اللواقط الشمسية المسطحة.

2- نظراً إلى أن الأحواض الشمسية ستكون أفقية ولا يمكن إنشاؤها على السطح فأنها ستحتاج إلى مساحات من الأرض كبيرة نسبياً ولهذا السبب لن يكون لها مجال استعمال في المدن.

3- يمكن استخدام الأحواض الشمسية بصورة اقتصادية للتدفئة المركزية ولتأمين الطاقة الحرارية تحت حرارة منخفضة للاستعمالات الصناعية، وبسبب إمكانياتها في تخزين الحرارة فأننا لن نحتاج إلى النفقات الإضافية العائدة لتجهيزات التخزين الحراري التي تسمح بتأمين الحرارة اللازمة للمبنى ليلاً أو عند عدم سطوع الشمس بالإضافة إلى أمكانية التخزين الحراري الموسمي.

4- أن استعمال الأحواض الشمسية لغاية إزالة ملوحة المياه هو الاستعمال الأكثر فائدة في الوقت الحاضر حيث يمكن استعمال الملح الذي نحصل عليه من عملية إزالة الملوحة لإنشاء الأحواض الشمسية ولصيانتها واستعمال الطاقة الحرارية الملتقطة من قبل الحوض الشمسي والمخزنة فيه في عمليات إزالة ملوحة المياه.

5- أن محطات توليد الطاقة الكهربائية التي تستعمل الأحواض الشمسية هي بسيطة من حيث مبدأ العمل ولكنها ليست اقتصادية بسبب كلفة التأسيس العالية و المردود المنخفض.

6- أن سعر واحدة الطاقة الكهربائية المولدة من مصدر شمسي باستخدام الحوض الشمسي يبلغ عد أضعاف من أي مصدر آخر. وقد بينت الدراسات أنه يمكن تطوير مصادر أخرى من الطاقات البديلة لغاية توليد الطاقة الكهربائية بكلفة أقل منها بواسطة الأحواض الشمسية.

2-3- الطباخ الشمسي

كـان مـن الضـروري البحـث عـن مصـادر أخـرى نظيفـة ومتجـددة حتـى فـي استخداماتنا المنزليـة، وخاصـة فـي ظـل نقـص مصـادر الغـاز الطبيعـي وارتفـاع سـعره، فظهرت تقنية الطباخ الشمسي كتقنية جديدة وفريدة من نوعها، حيث أنَّـه لا يحتـاج إلـى أيّ نوع من أنواع الوقود ويعتمد على الطاقة الشمسية، ويمكن صـناعته بواسطة مواد أوليـة بسيطة ومتوفرة وبتكلفة قليلة، بالإضافة إلى أنَّه لا يشغل مساحة كبيرة وسـهولة نقلـه مـن مكان إلى آخر.

إن أول التجـارب التـي أجريـت علـى الطباخـات الشمسـية كانـت مـن قبـل عـالم فيزيائي ألماني، حيث قام بتصميم طباخ شمسي بسيط بعـاكس واحد وطبقـة واحدة، بعدها نفذ اختبـار آخـر فـي فرنسـا لطهـي الطعـام باسـتخدام الطاقـة الشمسـية، تـم فيـه بنـاء بيـت زجاجي مصغر مؤلـف مـن خمس طبقـات مـن الصـناديق الزجاجيـة المرتبـة فـوق بعضـها على طاولة سوداء واستخدم لإنضـاج الفاكهـة، كمـا طبقت فكرة أخـرى أيضـاً تعتمـد علـى مبدأ دمج الفرن الحراري مع المرآة العاكسـة، حيث أنشـئ طبـاخ ذو كفـاءة شمسـية عاليـة، إلا أنه لم يكن عملياً نظراً لكبر حجمه، وبمرور السنوات تـم إنشـاء طبـاخ فـي الهنـد مجهـز بثمانية مرايا تمكن من إعطـاء حصـص غذائيـة لإطعـام سـبعة جنـود خـلال سـاعتين فقـط، وفي الولايات المتحدة الامريكية تم ابتكار طباخ موضوع في العراء يُسخن بتـأثير الأشـعة الشمسـية بواسـطة أنابيـب فراغيـة تحيـط بـه، وفـي داخلـه قسـم يبلـغ قطـره خمـس بوصـات توضع فيه حاويـة تتسـع لثمـان وجبـات للطعـام الشـكل(2-26)، ويصـلح هـذا الفـرن لطهـي وجبـات كالمشـاوي والفطـائر والـذرة الفوشـارية وغيرهـا، حيـث يمكـن أن تصـل درجـات الحرارة داخله الى حوالي 300 درجة مئوية.

الشكل(2-26) طباخ شمسي

2-3-1- تصنيف الطباخات الشمسية: تصنف الطباخات الشمسية تبعاً لعدة معايير:

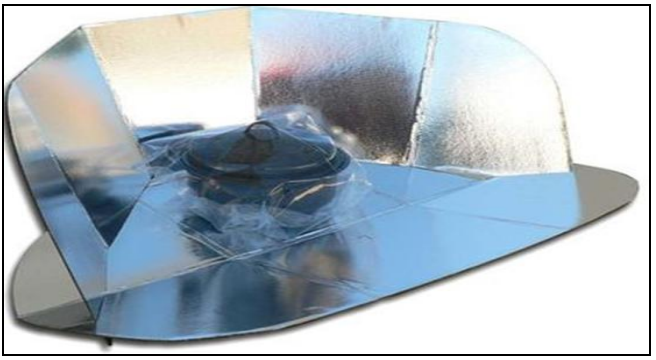
أولاً: حسب الشكل التصميمي:

1- الطباخات الشمسية الصندوقية: وهي أبسط الطباخات، تصنع من مواد سهلة ومتوفرة مثل: الخشب أو الورق المقوى مع مادة عازلة وغطاء زجاجي بالإضافة للقصدير الشكل(2-27)، ويضاف لها عواكس لزيادة الكفاءة الشمسية. يعتمد هذا الطباخ على تجميع الحرارة بداخله، إن درجة الحرارة المناسبة للطهي فيه حوالي 150 درجة مئوية وقد ترتفع إلى 200 درجة مئوية فما فوق.

الشكل(2-27) الطباخات الشمسية الصندوقية

2- الطباخات الشمسية ذات القطع المكافئ (الطباخات المركزة لأشعة الشمس): أن هذا التصميم من الطباخات الشمسية يتضمن ثلاثة أنواع:

- النوع الأول: هو لوحة فريسنل، وهي عبارة عن لوحة مكونة من خمسة عواكس متصلة مع بعضها البعض الشكل(2-28)، وهي بسيطة وفعالة ومريحة أثناء الطهي يمكن تغطيتها بغطاء للاحتفاظ بأكبر قدر ممكن من الحرارة.



الشكل (2-28) لوحة فريسنل

- النوع الثاني: هو القمع المخروطي وهو عبارة عن قمع على شكل مخروط، مصنوع من الورق المقوى ومغلف بالقصدير، يمكن تثبيته بواسطة فتحة بعلبة أو بحفر حفرة في الأرض الشكل(2-29).

الشكل(2-29) طباخ على شكل قمع مخروطي

- **النوع الثالث:** من الطباخات ذات القطع المكافئ هو طبق الطهي الشمسي (المجمع الحراري)، ينتشر بكثرة في مناطق غرب الصين، يتكون من طبق يشبه الستالايت يقوم بتركيز الأشعة الساقطة عليه في بؤرة حرارية الشكل(2-30)، وهو ينتج حرارة تعادل حرارة النار العادية، يغطى بقطع من المرايا أو بورق الفويل أو طلاؤه بطلاء عاكس للضوء ويثبت بعوارض حديدية. تصل درجة الحرارة بداخله إلى 400 درجة مئوية فما فوق والتي تستخدم للقلي والشوي والتدخين والتحميص.

الشكل (2-30) طبق الطهي الشمسي (المجمع الحراري)

3- الطباخات الشمسية الشبه منحرفة: وهي عبارة عن لوحات خشبية مسطحة مزودة بأربعة عواكس مثبتة بواسطة عوارض من النحاس الشكل(ا2-31)، تكون درجات الحرارة فيها عالية كالطباخات المكافئة، ويعتبر هذا النوع من الطباخات الشمسية غير متداول (منتشر) على نطاق واسع.

الشكل(2-31) الطباخ الشمسي شبه المنحرف

ثانياً: حسب الحجم:

تعد الطباخات المنزلية (الطباخات الشمسية الصندوقية) صغيرة الحجم بالمقارنة بالطباخات التجارية (الطباخات ذات القطع المكافئ المزودة بعاكس واحد والشبه المنحرفة)، وعلى سبيل المثال طباخات القطع المكافئ في الهند المزود بعاكسات كروية الشكل (2-32)، تستطيع أن تطهو 30000 وجبة يومياً.

الشكل(2-32) أكبر طباخ شمسي في الهند

ثالثاً: حسب عدد العواكس:

1- الطباخ الشمسي بدون عاكس: هو صندوق معزول مع لوح زجاجي لتشكيل الغطاء الشكل(2-33)، يشكل هذا التصميم الأساس لجميع التصاميم الحالية من نوع الطباخ الصندوقي، حيث أضيفت العاكسات لزيادة الكفاءة الحرارية للطباخ.

الشكل(2-33) طباخ شمسي بدون عواكس.

2- الطباخ الشمسي بعاكس واحد: يتكون هذا النموذج من غطاء زجاجي مزدوج وعاكس واحد الشكل(2-34)، كما أنه يعمل بشكل جيد في الصيف ولكنه بحاجة الى التعزيز الإضافي خلال الشتاء، ويتيح له العمل دون الاعتماد على الزاوية التي تسقط بها أشعة الشمس وليس بالضرورة أن تكون عمودية، ولكن يجب فقط أن تنعكس أشعتها من المرأة إلى داخل الطباخ. ومن أهم مساوئ هذا النوع من الطباخات الشمسية ضرورة وقوف الشخص الذي يقوم بتحريك المرآة أو من يتولى الطهي والخروج عدة مرات لمتابعة الشمس. تتراوح درجات الحرارة داخل هذا الطباخ ضمن المجال 130- 207.

الشكل (2-34) الطباخ الشمسي بعاكس واحد.

3- الطباخ الشمسي بعاكسين: تم إيجاد مفهوم جديد للمواقد الصندوقية، حيث استخدم زوجاً من العواكس لزيادة فعالية الطباخ الشمسي عن طريق زيادة كمية الإشعاع الشمسي المنعكس إلى داخل الطباخ الشكل (2-35).

الشكل(2-35) الطباخ الشمسي بعاكسين

4- الطباخ الشمسي بثلاثة عواكس: وهو طباخ شمسي ذو ثلاث مرايا يتم ضبطها لاستقبال أشعة الشمس من الشروق إلى الغروب الشكل(2-36)، وبذلك يتم تقريباً متابعة الشمس طوال النهار دون الحاجة إلى تعديل وضع الطباخ نفسه. ولكي تعطي المرايا أفضل النتائج فإنَّ الأمر يحتاج في البداية إلى دراسات ميدانية لتحديد أنسب الأوضاع، حيث لا يوجد طرائق حسابية يمكن تطبيقها، كما يجب مراعاة اختلاف الأوضاع من فصل إلى آخر، وحلّ هذا التصميم إحدى المشاكل المهمة في الطباخات الشمسية البسيطة وهي متابعة الشمس، إلا أنه لم يستطيع توفير درجات الحرارة العالية اللازمة لإنضاج أنواع معينة من الطعام، ولم يحل مشكلة تعرض المستخدم لحرارة الشمس.

الشكل(2-36). طبّاخ شمسي بثلاثة عواكس

5- الطباخ الشمسي بأربعة عواكس: تم من تطوير النموذج السابق بجعله ذو أربعة عواكس بدلاً من ثلاث الشكل(2-37)، وهذا ما ساعد على الاستغناء بشكل نهائي عن عملية تعديل وضعية الطباخ ومكانه طوال النهار.

الشكل(2-37) الطباخ الشمسي بأربعة عواكس

6- الطباخ الشمسي بثمانية عواكس: تمَّ استخدام ثمانية عواكس في الطباخات الصندوقية الشكل(2-38)، وأعطى درجات حرارة عالية لأنه يعمل على زيادة أشعة الشمس المنعكسة إلى داخل الصندوق.

الشكل(2-38) طباخ شمسي بثمانية عواكس

2-4- تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية

يمكن تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية بإحدى الطريقتين:

- التحويل المباشر للطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية وذلك باستعمال الخلايا الكهرضوئية (التحويل الكهرضوئي).

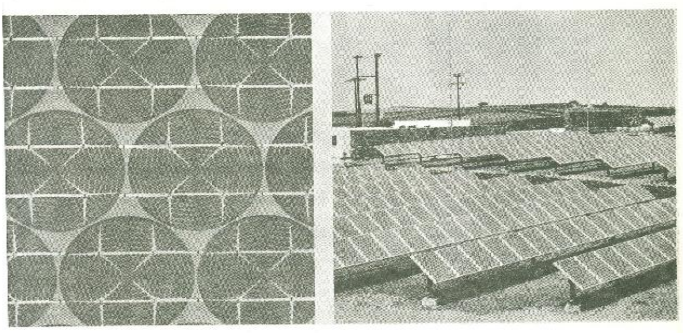
- التحويل الترموديناميكي وهو تحويل حراري للطاقة الشمسية في نظام ترموديناميكي يستعمل الآلة الحرارية العنفية والمنوبة لتوليد الطاقة الكهربائية.

2-4-1- التحويل الكهرضوئي

أن التحويل الكهرضوئي هو عملية تحويل مباشر للطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية بواسطة خلايا شمسية تعتمد التأثير الكهرضوئي، ويتم تحقيق ذلك بواسطة أنصاف النواقل، ويعتبر السيلكون في الوقت الحاضر أهم مواد أنصاف النواقل المستعملة في عملية التحويل الكهرضوئي للطاقة الشمسية، حيث تم في عام 1954م دخلت عملية

تنقية السيلكون ذات مردود مقبول، كما جرى فذ ذات العام تطوير عملية تنقية السيلكون أحادي البلورة.

وابتداء من عام 1958م دخلت هذه الخلايا في مجال تطبيقات الفضاء كأفضل مصدر للطاقة التي تحتاجها الأقمار الصناعية، بعد ذلك استمرت عملية التطوير لرفع قيمة مردود خلية السيلكون الشمسية، وخفض كلفة الصنع الشكل (2-39).



الشكل (2-39) حقل خلايا شمسية لتوليد الطاقة الكهربائية

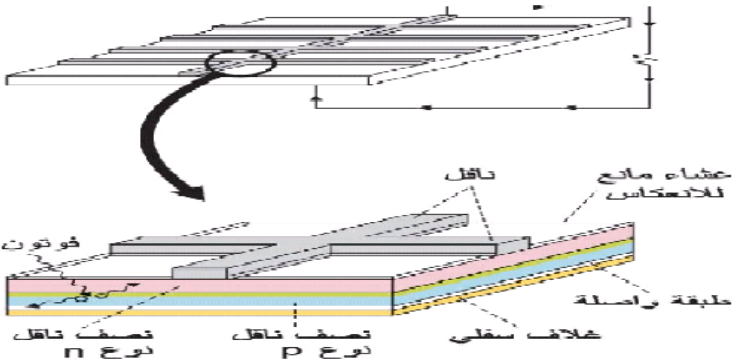
2-4-1-1- الخلية الشمسية:

تعرف الخلية الكهروضوئية بأنها أداة إلكترونية مصنوعة من أشباه الموصلات (أنصاف النواقل)، يتشكل عبرها فرق في الجهد عند تعرضها للضوء، ويتولد عنها تيار كهربائي ترتبط قيمته بمعامل امتصاصها للضوء، وعند توصيل حمل كهربائي ما (مصابيح إنارة مثلاً ..) بين طرفيها، فإن الطاقة الكهربائية الناتجة تستطيع تشغيل المصباح.

الخلايا الشمسية هي عبارة عن محولات تأخذ الطاقة الضوئية من أشعة الشمس وتحولها إلى نوع آخر من الطاقة، حيث تحول الخلايا الشمسية الاشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية، وتطرد كمية كبيرة من الحرارة، بدون أي أجزاء مؤثرة (ضوضاء أو تلوث أو إشعاع أو صيانة).

ويقصد بالتحويل الكهروضوئي تحويل الإشعاع الشمسي أو الضوئي مباشرة إلى طاقة كهربائية بوساطة الخلايا الشمسية (الكهروضوئية) بدون عمليات وسطية. وكما هو معلوم هناك بعض المواد التي تقوم بعملية التحويل الكهروضوئية، تدعى أشباه الموصلات كالسيليكون والجرمانيوم وغيرها.

تصنع الخلايا الشمسية بجمع أو ضم نوعين من أشباه المعادن، أحدهما سلبي والآخر إيجابي، حيث أن نصف المعدن الإيجابي يحتوي على أيونات سلبية، ونصف المعدن السلبي يحتوي أيونات إيجابية، وهذه الأيونات الإيجابية والسلبية تهيئ البيئة الضرورية لمرور تيار كهربائي، يتحرك ضمن الخلية الشمسية، الشكل(2-40).



الشكل(2-40) مكونات الخلية الشمسية

وتتألف الخلايا الشمسية من الطبقات التالية من الأسفل للأعلى:

1- طبقة الأساس وهي طبقة شفافة مصنوعة من الزجاج أو البلاستيك تسمح بإمرار أكبر قدر ممكن من الأشعة الشمسية إلى الطبقة التي تليها كما أنها تعمل على حماية الخلية.

2- طبقة معدنية للاتصال بالدارة الكهربائية.

3- طبقة من السيلكون نصف ناقل من النوع P، يقوم بجمع الثقوب أو الجسيمات موجبة الشحنة.

4- طبقة ثانية من السيلكون من النوع n، مصنوع بطريقة مختلفة بحيث يجمع الجسيمات سالبة الشحنة.

5- طلاء غير عاكس حيث يتم طلاء الخلية الشمسية بمواد تمنع انعكاس الفوتونات الشمسية عند سقوطها على الخلية، حيث أن السليكون يشكل طبقة لامعة تعكس الضوء، فيتم وضع طبقة رقيقة جداً على سطح شرائح السليكون لتمنع انعكاس الضوء.

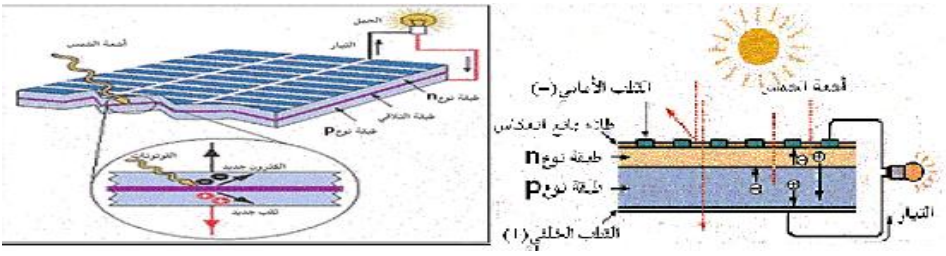
6- شبكة علوية للاتصال الكهربائي.

توضع هذه الخلايا في إطار من الزجاج لحمايته، مع وضع نقطتي توصيل موجبة على السطح الأمامي، وسالبة على السطح الخلفي.

2-4-1-2- مبدأ وآلية عمل الخلايا الشمسية:

المبدأ الأساسي لعمل الخلية الشمسية يعتمد على تحرر الكترونات ذرات المواد نصف الناقلة عند تعرضها للضوء.

إن الضوء الصادر من الشمس هو عبارة عن جزيئات الطاقة الصافية المسماة الفوتونات، وبالتالي عندما تتدفق هذه الطاقة الصافية من الشمس على الخلية الشمسية، تقوم هذه الفوتونات باختراق السيليكون، وتضرب ذراته بشكل عشوائي، مما يؤدي إلى تأيين ذرات السيليكون، حيث يؤدي ذلك إلى إفلات إلكترون خارجي من مداره، محولاً طاقته إلى طاقة حركية للإلكترون، وحركة هذه الإلكترونات بطاقتها تسمى بالتيار الكهربائي تتحرك كلها في اتجاه واحد، وعند ربط طرفي الخلية الشمسية بنقطتي توصيل على السطح العلوي والسطح السفلي للخلية، نحصل على تيار. الشكل (2-41) يوضح آلية عمل الخلايا الشمسية.



الشكل(2-41) عمل الخلايا الشمسية عند تعرضها لضوء الشمس.

إن أكثر العناصر من أشباه الموصلات استخداماً في صناعة الخلايا الشمسية هو السيلكون الذي يعرف بأنه الرمل المصهور بدرجات حرارة عالية جداً ويعود استخدامه في هذه التقنية إلى الأسباب التالية:

1- أنـه عالي التوصيل الحراري

2- الثبات الجيد مع الطقس المحيط

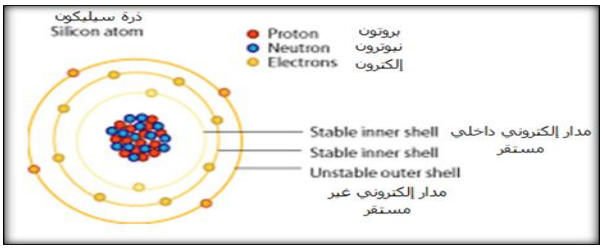
3- عازل ممتاز للكهرباء

4- عالي القدرة

والسيليكون نصف معدن، وقد يكون عازل ومعدن، ففي حالته كمعدن لا تكون إلكترونـات ذراتـه مرتبطـة بإحكـام، ممـا يـؤدي إلـى جريانهـا بسـهولة عنـدما يطبـق عليهـا ضغط كهربائي، بينما تكون إلكترونات ذراته في حالة العازل مرتبطة بشدة، ولا يحدث جريان عندما يطبق عليها الضغط الكهربائي.

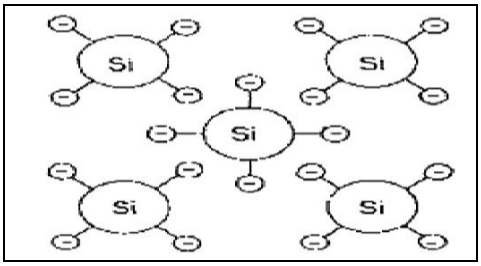
في عام 1954 تمت صناعة أول خلية كهروشمسية سيليكونية في معهد بل لابس في الولايات المتحدة الأمريكية بمردود (6 %).

تتكون الخلية الكهروشمسية من طبقة رقيقة من مادة السيليكون، هذه المادة هي إحـدى مـواد أشـباه النواقل المعروفة. تمتلك ذرة السيليكون 14 الكترون موزعة على ثلاثة مستويات طاقية الاول والثاني الأقرب للنواة يكونان ممتلئان تماماً بالإلكترونات. والمستوى الثالث أو المستوى الخارجي يحتوي على أربعة الكترونات فقط، أي يكون نصفه ممتلئ والنصف الآخر فارغ، حيث أن المدار يكتمل بـ ثمانية الكترونات الشكل(2-42).



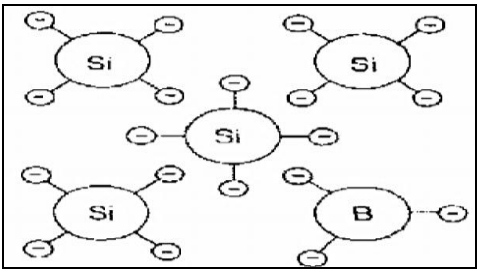
الشكل (2-42) ذرة السيليكون.

وتسعى ذرة السيليكون لأن تكمل النقص في عدد الالكترونات في المستوى الخارجي، ولتفعل ذلك فإنها تشارك أربع الكترونات من ذرات سيليكون مجاورة الشكل (2-43)، وبهذا ترتبط ذرات السيليكون بعضها البعض في شكل تركيب بلوري في رابطة تساهمية (تشاركية) ، وهذا التركيب البلوري له فائدة كبيرة في الخلية الشمسية .



الشكل(3-43) ارتباط ذرة سيليكون مع أربع ذرات محيطة مجاورة

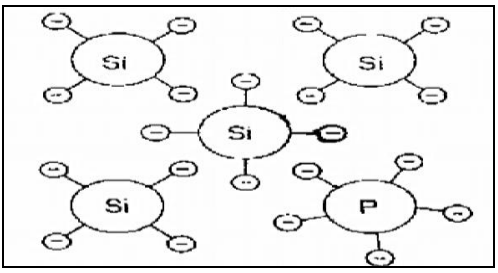
لتوليد الشحنة الموجبة في الخلية الكهروشمسية يتم إضافة ذرات عناصر أخرى (تسمى عملية تطعيم) وهذه الذرات الاضافية نسميها شوائب، وهي ضرورية لعمل الخلية الشمسية. تدخل ذرات البورون التي تمتلك ثلاثة إلكترونات تكافؤية في تركيب السيليكون الصافي. ترتبط هذه الذرات مع ذرات السيليكون ويتشكل ثقب إيجابي الشحنة بدلاً من الإلكترون الرابع المفقود. تسمى مادة السيليكون مع شوائب البورون ناقلاً إيجابياً أومن النوع (p)، الشكل (2-44).



الشكل (2-44) ناقل من النوع (p)

لتوليد الشحنة السالبة في الخلية الكهروشمسية يتم إضافة ذرات الفوسفور بنسبة بسيطة جداً تصل إلى 1:0.0000001، تدخل ذرات الفوسفور التي تمتلك خمسة

إلكترونـــات تكافؤيـــة فـــي تركيـــب السـيليكون الصـــافي، تـرتبط هـذه الـذرات مـع ذرات السيليكون ويتشكل إلكترون سلبي الشحنة. تسمى مادة السيليكون مع شوائب الفوسفور ناقلاً سلبياً أو من النوع (n) الشكل(2-45).



الشكل (2-45) ناقل من النوع (n)

تصنع الخلايا الكهروشمسية بوضع طبقة من النوع (n) و طبقة من النوع (p) معاً، بهذا نكون قد حصلنا على المأخذ الموجب و المأخذ السالب للخلية الكهروشمسية.

2-4-1-3- أنواع الخلايا الكهروشمسية:

1- الخلايا السيليكونية:

- الخلايا السيليكونية أحادية البلورة: معظم الخلايا السليكونية الأحادية البلورية المتوفرة في الأسواق ذات كفاءة تقـارب 15%، وتعـرف الكفاءة بأنها النسبة المئوية من الطاقة الشمسية الساقطة على اللوح الكهروشمسي التي يتم تحويلها إلى كهرباء. وبالرغم من ميزة الكفاءة العالية التي تختص بها الخلية الكهروشمسية الأحادية البلورة فإن سعرها مرتفع جداً لكونها مصنعة من سليكون أحادي البلورة وعالي النقاوة حيث طريقة التصنيع عالية التكاليف وتحتاج إلى عمال مهرة. ويتم حالياً تصنيع بعض الخلايا من سليكون أقل نقاوة، وهذه الخلايا تكون أرخص سعراً وتنتج بكلفة أرخص باستخدام عمليات مختلفة قليلة الكلفة لكنها ذات كفاءة أقل وعمر زمني أقل.

- الخلايا السليكونية المتعددة البلورات: بالرغم من كون الخلايا الكهروشمسية المتعددة البلورات أرخص وأسهل تصنيعاً من الخلايا الأحاديـة البلورة بسبب النقاوة الأقل للمادة الأولية إلا أنها أقل كفاءة، حيث تصل كفاءة الخلايا السليكونية المتعددة البلورات إلى

12% أو أكثر بقليل، وذلك كون حاملات الشحنة (الإلكترونات والثقوب) المولدة من قبل فوتونات الإشعاع الشمسي يمكن أن تتجمع على الحدود بين الحبيبات داخل السليكون المتعدد البلورات، وقد وجد أن كفاءة هذه الخلايا تتحسن عند عملية تصنيع المادة بطريقة تكون فيها الحبيبات كبيرة الحجم، ويتم ذلك بتبريد السليكون المذاب ببطء ثم توجه الخلايا من الأعلى إلى الأسفل، وذلك للسماح للإشعاع الشمسي بالتغلغل بعمق خلال الحبيبات.

- **الخلايا السليكونية العشوائية:** يمكن تصنيع الخلايا العشوائية بطريقة أرخص من طرق تصنيع الخلايا السليكونية الأحادية والمتعددة البلورات، وهذه الخلايا تسمى بالخلايا السليكونية العشوائية (A-Si) حيث تكون ذرات السليكون فيها أقل ترتيباً من النوع البلوري. ففي السليكون العشوائي لا ترتبط كل ذرة ارتباطاً كاملاً مع الذرات المجاورة، إنما تترك ما يسمى بالرباط المتدلي، وتستطيع امتصاص إلكترونات إضافية عند إجراء عملية الطلاء،

ومن سلبيات هذه الخلايا قلة كفاءتها مقارنة بالخلايا السليكونية البلورية الأحادية والمتعددة البلورات، وأعلى كفاءة تم الحصول عليها مخبرياً لا تتجاوز (21%).

- **الخلايا السليكونية الشريطية:** يتم في هذه الطريقة إنتاج شريط من السليكون الأحادي البلورية باستخدام سليكون متعدد البلورية أو من سليكون أحادي مذاب.

2- خلايا الغاليوم ارسنايد:

ليس السليكون المادة الوحيدة الملائمة للاستخدام في تصنيع الخلايا الكهروشمسية، فهناك مواد أخرى يمكن استخدامها كالغاليوم ارسنايد، وهي ملائمة جداً للاستخدام في تطبيقات الخلايا الشمسية لكونها ذات معامل امتصاص عال للضوء، كما تتمتع بكفاءة جيدة ويمكن أن تعمل تحت ظروف درجة حرارة عالية نوعاً ما بدون تناقص في أدائها كالخلايا السليكونية وبعض أشباه النواقل التي تعاني من هذه المشكلة.

3- خلايا الكوبراندیوم ديسلنايد:

هي مواد من أشباه النواقل مركبة من النحاس والأنديوم والسلينايد (CIS). وقد استخدمت في تصنيع خلايا وصلت كفاءتها مخبرياً إلى (21%).

4-خلايا الكادميوم تليرايد (CdTe):

هي مواد من أشباه النواقل مناسبة لاستخدام الخلايا الكهروشمسية تتألف من الكادميوم والتليرايد. ومن محاسن هذه الخلايا إمكانية تصنيعها باستخدام عملية بسيطة ورخيصة من الطلاء الكهربائي. وقد وصلت كفاءة هذه الخلايا إلى (10%) بدون تناقص في الكفاءة عند الاستخدام. لكن من مساوئها أن الكادميوم مادة سامة.

2-4-1-4-الخصائص الكهربائية للخلايا والألواح الكهروشمسية:

يتألف اللوح الكهروشمسي من عدد من الخلايا التي تكون موصولة على التسلسل والتفرع مع بعضها البعض ضمن لوحة واحدة. تكون الطاقة الكهربائية المتولدة من الخلية الكهروشمسية بشكل تيار مستمر(DC) وتعتمد شدة هذا التيار على بارامترين (مؤشرين)، الأول هو الأشعة الشمسية الساقطة، والثاني هو التيار والفولط المطلوب للحمل. ويعتمد مردود اللوح الكهروشمسي على مردود هذه الخلايا.

وتعرف الخلية الشمسية ذات المساحة ($100cm^2$): بأنها بطارية شمسية تقوم بإنتاج فولطية مقدارها(0.5v) وتيار يتناسب مع شدة الإشعاع الشمسي يصل مقداره ضمن المجال (2.5-3 A) في حالة شدة الإشعاع الشمسي القصوى.

2-4-1-5- مردود الخلية الكهروضوئية:

يعتبر المردود البارامتر الأكثر استخداماً لمقارنة أداء خلية كهروضوئية مع أخرى، وهو نسبة طاقة الخرج من الخلية إلى طاقة الدخل من الشمس. وعلى الرغم من أن المردود يعكس أداء الخلية نفسها إلا انه يتغير حسب طيف وشدة الإشعاع الشمسي الوارد وكذلك درجة حرارة الخلية، لذلك يتم قياسه في الشروط الاختبار النظامية وهي:

- شدة الإشعاع الشمسي $G=1000W/m^2$
- درجة حرارة الخلية $T=25^OC$
- كتلة الهواء Air mass :AM=1.5 ويمثل بالعلاقة:

$$\eta = \frac{P_{max}}{G \times S} = \frac{V_{OC} \times I_{SC} \times FF}{G \times S}$$

$$\eta = \frac{V_{OC} \times I_{SC} \times FF}{P_{in}}$$

- أهم عناصر الضياع من الخلية:

1- امتصاص غير كامل للفوتونات .

2- الطاقة الفائضة: حيث يشكل مع المعامل الأول مصدر التوافق بين الجهد والتيار حيث تمتص فقط الالكترونات التي تفوق طاقتها، بينما تضيع الالكترونات الأخرى حيث تبلغ بالنسب للسيليكون (5-23%).

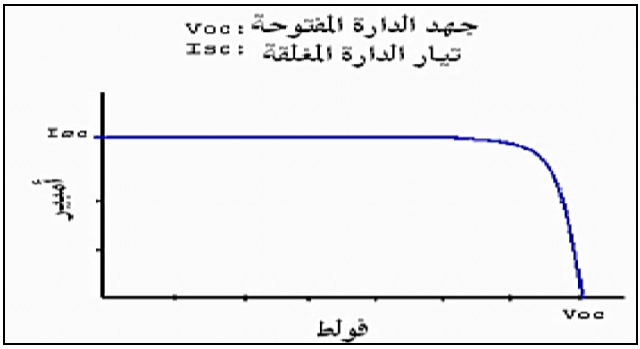
3- انعكاس على السطح: تمتص المكونات جزءاً فقط من التدفق الوارد بينما ينعكس الجزء الأخر على السطح ويمكن تقليل أهميته بعلاج ملائم للسطح (طبقة ضد الانعكاس).

4- مردود التجميع: يتوقف على البنية المستعملة و معامل الامتصاص وبشكل خاص على صفة المكن (النقاوة، العيوب، الخصائص الكهربائية)

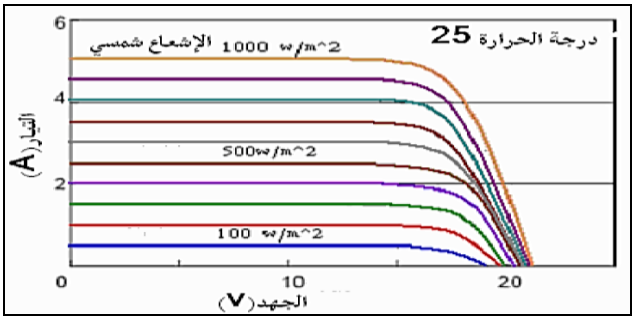
- مخطط (I-V) للخلية الشمسية في الشروط المثالية:

تتحدد الخلية الكهروشمسية بفرق جهد دارتها المفتوحة وتيار دارتها المغلقة الشكل (2-46). فرق جهد الدارة المفتوحة هو الفولط الذي تعطيه الخلية الكهروشمسية عندما لا يمر في الدارة أي تيار، وهو الفولط الأعظمي الذي تعطيه الخلية الكهروشمسية من الإشعاع الشمسي.

أما تيار الدارة المغلقة فهو التيار المار في الخلية الكهروشمسية إلى دارة خارجية بدون حمل أو مقاومة، وهو التيار الأعظمي الذي تستطيع الخلية الكهروشمسية توليده من الإشعاع الشمسي (تيار القصر). إن الجهد المتولد من الخلية الكهروشمسية يبقى ثابتاً عند كل مستويات الإشعاع الشمسي الساقط، لكن التيار المتولد يتغير بشكل مباشر تبعاً لقيم الإشعاع الشمسي الساقط عند كل لحظة زمنية، الشكل(2-47).

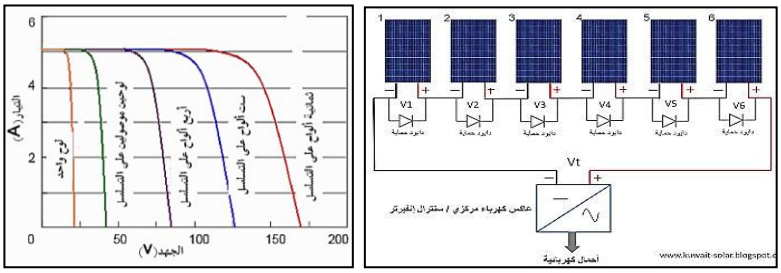


الشكل(2-46) مخطط (I-V) لخلية كهروشمسية مثالية



الشكل (2-47) تغير قيم التيار تبعاً للإشعاع الشمسي وثبات قيم الجهد

- **ربط الألواح الكهروشمسية على التسلسل**: في الحالة المثالية عند ربط مجموعة من الألواح الكهروشمسية المتماثلة عددها (n) على التسلسل فإن فرق جهد الدارة المفتوحة يساوي عدد الألواح مضروباً بفولط لوح واحد الشكل(2-48)، حسب المعادلة التالية:



الشكل(2-48) طريقة ربط الألواح الشمسية على التسلسل والخاصية المثالية للألواح الكهروشمسية المربوطة على التسلسل

$$V_{sg} = n \cdot V_{oc1} = n \cdot V_{oc2} = n \cdot V_{oc3} = ---= n \cdot V_{ocn} \rightarrow \ (I = 0)$$

أما عندما يكون التيار (I >0) أي عند وجود حمل كهربائي فإن:

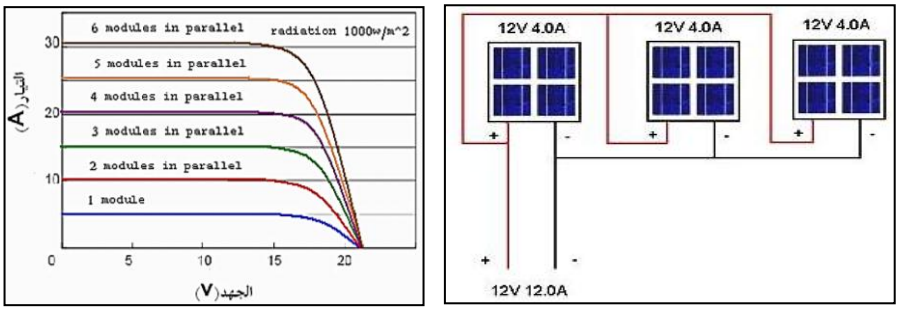
$$V_{sg} = \sum_{1}^{n} V_n = V_1 + V_2 + V_3 + ---+ V_n \qquad \rightarrow (I > 0)$$

- ربط الألواح الشمسية على التفرع:

في حال ربط عدد (n) من الألواح الشمسية المتماثلة على التفرع فإن الفولط الناتج يساوي فولط لوح واحد، الشكل (2-49)، والتيار الناتج يساوي مجموع التيارات الخاصة لكل لوح (1----n) حسب المعادلة:

$$I_{sg} = \sum_{1}^{n} I_n = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots + I_n$$

$$V_{sg} = V_1 = V_2 = V_3 = - - -= V_n$$



الشكل (2-49) الخاصة المثالية للألواح الكهروشمسية المربوطة على التفرع

- نقطة القدرة العظمى:

هي النقطة التي تكون عندها القدرة المتولدة من الخلية الكهروشمسية أكبر ما يمكن، فهي نقطة القمة بين خط التيار وخط الجهد على مخطط (I-V) التي تعطي أكبر مساحة على هذا المخطط. التغير في شدة الإشعاع الشمسي الساقط ودرجة حرارة الخلية الكهروشمسية يؤدي إلى تغيير موقع نقطة القدرة العظمى. وتحسب نقطة القدرة العظمى (MPP) للوح الشمسي من العلاقة التالية:

$$P_{md\text{-}max} = V_{md} \ . \ I_{md}$$

$$\left.\begin{array}{l} V_{md} = n_{cl} \ . \ V_{cl} \\ I_{md} = m_{cl} \ . \ I_{cl} \end{array}\right\} \Longrightarrow \ P_{md\text{-}max} = m_{cl} \ . \ n_{cl} \ . \ V_{cl} \ . \ I_{cl}$$

حيث

$P_{md\text{-}max}$: هي القدرة العظمى الخارجة من اللوح الكهروشمسي.

V_{md}: هو الفولط الخارج من اللوح الكهروشمسي عند نقطة (MPP).

I_{md} : هو التيار الخارج من اللوح الكهروشمسي عند نقطة (MPP).

V_{cl} : هو الفولط الخارج من خلية واحدة.

I_{cl} : هو التيار الخارج من خلية واحدة.

n_{cl} : عدد الخلايا المربوطة على التسلسل في لوح واحد.

m_{cl} : عدد الخلايا المربوطة على التفرع في لوح واحد.

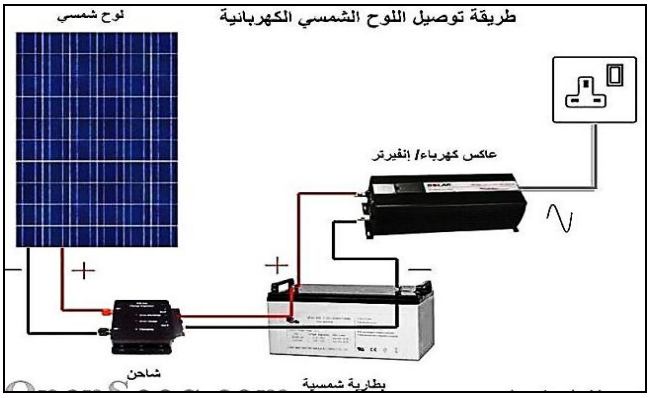
يكون تيار الحمل الكهربائي المستمر(DC) وفولطه على مخط (I-V) بشكل خط مستقيم مائل، فعند زيادة الطاقة الكهربائية الأولية يرتفع التيار بنسبة ثابتة بالنسبة للفولط. فإذا تم تصميم المولد الكهروشمسي لتوليد (24) فولتاً والحمل يتطلب (12) فولتاً فقط فإن الحمل سيستجر الطاقة التي تقابل(12) فولتاً، وبالتالي سيكون هناك ضياع في الطاقة.

بالإضافة إلى الاختلاف في شكل منحني (I-V) بين الحمل الكهربائي وخط القدرة للخلايا الكهروشمسية، هناك اختلاف مستمر في مستوى تيار الطاقة الكهروشمسية الذي يتغير بدوره حسب التغير في مستوى الإشعاع الشمسي الساقط المتوفر على مدار اليوم، وبالتالي يتغير موقع نقطة الطاقة العظمى بشكل مستمر على مخطط (I-V).

لـذلك يجـب أن يؤخـذ بعـين الاعتبـار فـي أثنـاء تصـميم النظـام الكهروشمسـي مساواة خط الحمل الكهربائي على مخطط (I-V) مـع نقـاط القدرة العظمـى لتصـميم نظـام يعمل بكفاءة عالية بشكل عام.

2-4-1-6-مكونات المنظومة الشمسية:

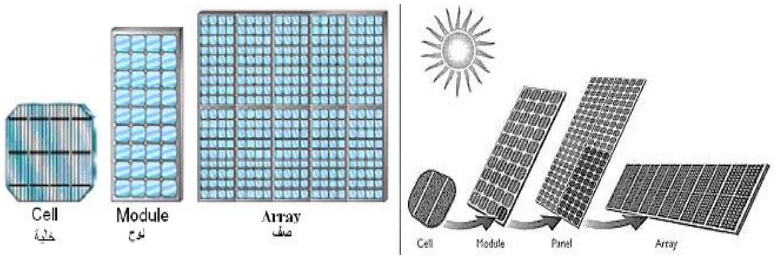
يتكون نظام الخلايا الشمسية بشكل أساسي من الألواح الشمسية – البطاريات(المدخرات) - منظم الشحن – محول التيار الشكل (2-50).



الشكل (2-50) مكونات المنظومة الشمسية

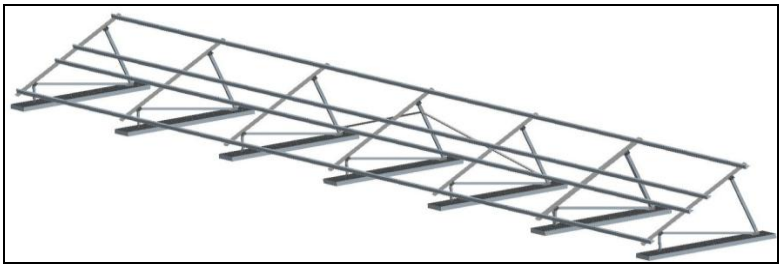
1- الألـواح الشمسـية: تعتبـر الألـواح الشمسـية العنصـر الرئيسـي فـي أنظمـة الطاقـة الشمسية، حيث تكمن فيها تكنولوجيا تحويل الطاقة الضوئية الي طاقة كهربية. واللوح الشمسـي عبـارة عـن مجموعـة مـن الخلايـا الشمسـية المتصـلة مـع بعضـها بـالتوالي أو بالتوازي وموضوعة في إطار واحد.

عند تجميع الخلايـا الشمسية تشكل مـا يسمى الوحدة (الموديـول)، وعند تجميع الموديولات مع بعضها البعض تشكل اللوح الشمسي، وتسمى مجموعة الألواح الشمسية مجتمعة ما يسمى بالصفوف أو المصفوفات في حالـة المشاريع الضخمة ومحطات توليد الكهرباء بالطاقة الشمسية، الشكل(2-51)، التي تركب مع مجموعة من المعدات الأخرى لتشكل مـا يسـمى بالمنظومـة الشمسية، وتوضـع عـادة فـي منطقـة خاليـة مـن ظـل الأبنيـة والأشجار باتجاه الشمس وبزاوية مناسبة.



الشكل (2-51) تجميع الخلايا الشمسية مع بعضها البعض

2- إطار التثبيت: وهو الإطار الذي يتم تثبيت الألواح الشمسية عليه الشكل (2-52)، وله أهمية كبيرة في تحديد المساحة والمكان وزاوية الميل اعتماداً على وضع المبنى والمكان الجغرافي.



الشكل (2-52) الإطار الذي يتم تثبيت الألواح الشمسية عليه

3- منظم الشحن: وظيفته منع ارتداد التيار وتنظيم عملية الشحن أي تنظيم الجهد والتيار الداخل الى البطارية حتى نحافظ عليها من التلف، حيث يزداد العمر العملي للبطاريات إذا تلقت العناية وذلك بعدم الإفراط بشحن البطارية أو عدم إفراغها كثيراً، وهذه هي المهمة الأساسية لمنظم الشحن.

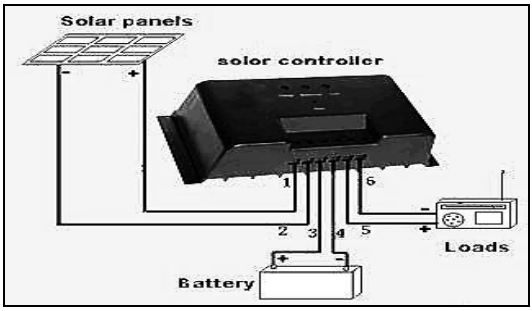
وبمعنى آخر عندما تشحن البطاريات بالكامل فإن المتحكم بالشحن لا يسمح للتيار بالاستمرار بالتدفق إلى البطاريات، وأيضاً عندما تفرغ البطاريات إلى مستوى قد حدد مسبقاً تحت سيطرة قياس الجهد الكهربائي، فإن منظم الشحن لن يسمح بإفراغ المزيد من التيار من البطاريات حتى تشحن البطارية مرة أخرى، فجهاز التحكم بالشحن ضروري لضمان حياة البطارية الطويل.

يجب أن تتبع التعليمات الكهربائية في الأجهزة المتزايدة وتوزيع الأسلاك وصناديق التوصيل ومعدات الأرضية والحماية في التيار وعدم اتصال التيار المباشر والتيار المتناوب وملحقات أخرى.

ملاحظة: لشحن بطارية رصاصية حمضية 12V يلزم موديول ذو توتر $18V=V_{mp}$ وذلك للأسباب التالية:

1- يخسر الموديول 2.8V تقريباً بسبب ارتفاع درجة الحرارة إلى 60°C.
2- يحدث هبوط توتر بمقدار 2.8V تقريباً عبر ديودات الحجز.
3- يحدث هبوط توتر بحدود 1V عبر منظم الشحن.
4- يمكن أن يحدث هبوط توتر ما بسبب نقصان شدة الضوء.
5- يجب أن تشحن البطارية إلى 14V أو حتى 14.5V للوصول إلى حالة اكتمال الشحن.

ويعتبر أهم الأجزاء حيث يملك ست مخارج **مخرجين** توصل مع الخلايا، **ومخرجين** مع البطاريات لتنظيم الشحن، **ومخرجين** مع الأجهزة التي تعمل بالتيار المستمر الشكل (2-53).



الشكل (2-53) منظم الشحن تظهر عليه أهم الخواص الكهربائية والمخارج

4- البطاريات (المدخرات): الهدف الرئيسي لبطاريات الطاقة الشمسية هو تخزين الطاقة الكهربية لكي يتم استخدامها في الأوقات التي لا تكون الشمس ساطعة فيها، كالليل والأوقات التي تكون السماء ملبدة بالغيوم، ومعظمها تكون بجهد 12 فولت الشكل (2-54).

الشكل (2-54) نماذج مختلفة للبطاريات

لا يقتصر دور المدخرات على تخزين الطاقة فحسب، وإنما يتعدى ذلك إلى استخدامها في تكييف الاستطاعة مع الأحمال، حيث تقدم المدخرات تياراً عابراً أعلى بكثير من التيار الآني الذي يقدمه حقل PV، وكذلك الأمر يمكن باستخدام المدخرات تأمين التوتر للحمل ضمن الحدود المسموحة. وأهم معايير اختيار المدخرات المستخدمة في النظم الكهروضوئية: ذات تكلفة منخفضة, عمر طويل نسبياً, مردود تخزين عالي, تفريغ ذاتي صغير وسهلة التركيب والصيانة.

تتألف البطارية من مسريين سالب وموجب، يفصل بينهما غشاء لمنع التماس الكهربائي، ومحلول كهرليتي لنقل الشوارد في عمليتي الأكسدة والإرجاع، اللتين تحدثان على مساري البطارية الشكل (2-55).

الشكل (2-55) مقطع في بطارية حامضية يبين مكونات البطارية وأقطابها

وتقسم البطاريات إلى نوعين: **الأول** لا يمكن شحنه ويستعمل لمرة واحدة فقط، **والثاني** يمكن إعادة شحنها، ويقسم هذا النوع إلى عدة فئات: البطاريات الحمضية كبطارية رصاص حمض، بطاريات قلوية مثل نيكل والكادميوم، بطاريات الليثيوم التي

تستخدم معدن أو أملاح الليثيوم كمسرى سالب، وأكاسيد أو خلائط من عدة معادن كمسرى موجب، وهي الأحدث على مستوى العالم وكذلك بطاريات الكهرليت المصهور التي تتميز بوزن وحجم صغيرين، درجة حرارة العمل 400-700 درجة مئوية، مما يجعل مشكلة الحفاظ على الحرارة في البطارية هو الأساس في تصميم هذه البطاريات. يستخدم معدن الصوديوم في هذه البطاريات منذ بدء الستينات وذلك لوزنه الخفيف، وهو ينصهر بالدرجة 98 درجة مئوية، وتعمل هذه البطارية بالدرجة 270 درجة مئوية، ويستخدم الكهرليت كمادة للمسرى الموجب. وجسم هذه البطارية عبارة عن أنبوب سيراميك، وغشاء مؤلف منβ ألومينا.

يكمن السبب في تفضيل بطاريات المعادن القلوية، مثل الليثيوم والصوديوم، لأن شدة التيار المتولد عنها أعلى من ذلك المتولد عن بطاريات حمض رصاص، فبالعودة إلى قوانين فارادي، حيث أن كل كولوم يساوي تقريباً 96500 أمبير. ثانية، يحرر أو يرسب مكافئ غرامي واحد من المادة.

5- محول التيار أو المعرج: بما أن التيار المولد عن طريق الخلايا الكهروضوئية هو تيار مستمر، وعلى الرغم من وجود بعض الأحمال التي تعمل مباشرة بالتوتر المستمر، إلا أنه في حالة الربط مع الشبكة العامة أو عند الحاجة لاستخدام الطاقة المولدة لتغذية أحمال متناوبة (أدوات كهربائية)، فإنه من الضروري إجراء تكييف لهذه الاستطاعة. ويمكن تحويل التيار المستمر إلى متناوب باستخدام المعرجات. الشكل (2-56).

الشكل (2-56) نماذج مختلفة لمحولات التيار

6- أجهزة القياس الأخرى وتشمل:

- **فولتميتر واميتر:** استخدم مقياس متعدد رقمي لقياس التيار الخارج من الخلية، وآخر لقياس الفولتية الخارجة ومن ثم دراسة خصائص التيار-الفولتية.

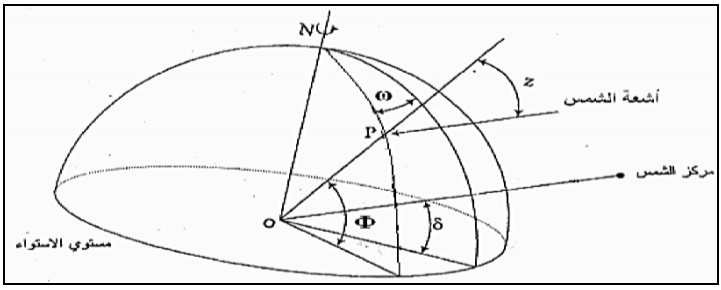
- **محرار رقمي:** استخدم محرار رقمي لقياس درجة حرارة الخلية.

- **مقياس شدة الفيض الشمسي**: استخدم جهاز لقياس شدة الفيض الشمسي الساقط على الخلية بوحدة w/m^2.

2-4-1-7- الزوايا الشمسية:

عند تركيب الخلايا الضوئية في منطقة ما لابد أولا من حساب زوايا الإشعاع الشمسي في هذه المنطقة، ومعرفة الطريقة المثلى لتثبيتها. ويمكن تقسيم هذه الزوايا إلى:

1- زاوية الانحراف الشمسي δ: هي الزاوية بين المستوي الاستوائي وبين الخط الواصل بين مركز الأرض ومركز الشمس، الشكل (2-57) ، وتتراوح قيمة هذه الزاوية بين 23.45+ و 23.45- .



الشكل (2-57) زاويتي الانحراف الساعي ω، الانحراف الشمسي δ

وتختلف قيمة هذه الزاوية من يوم لآخر وتحسب من العلاقة:

$$\delta = \pi 18023.45 o \sin 2\pi 365284 + n$$

حيث:

n : رقم اليوم في السنة حيث في 1 كانون الثاني يكون n =1

يوجد معادلة أدق لحساب زاوية الانحراف وهي:

$$\delta = \sin -1\sin 23.450\sin 2\pi n - 81365$$

من أجل التطبيقات الشهرية: تحسب زاوية الانحراف الوسطية في كل شهر من السنة باعتبار الأيام النموذجية التي يتضمنها الجدول (1).

الجدول (1) الأيام النموذجية لحساب الزوايا الشمسية

التاريخ	رقم يوم السنة
كانون الثاني 17	17
شباط 15	46
آذار 17	76
نيسان 15	105
أيار 15	135
حزيران 11	162
تموز 18	199
آب 17	229
أيلول 15	258
تشرين الأول 15	288
تشرين الثاني 14	318
كانون الأول 12	346

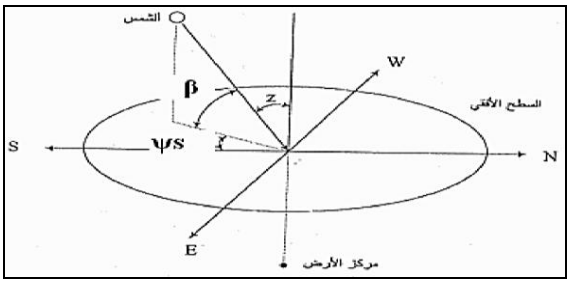
2- الزاوية الساعية ω: هي عدد الدرجات التي تتحركها الشمس في مسارها اليومي عبر السماء. بالتعريف تكون الزاوية الساعية صفراً عند الظهيرة. ونظراً لأن الأرض تدور 15^0 في الساعة، فإن الساعة الزمنية انطلاقاً من الظهيرة تقابل حركة زاوية للشمس في السماء مقدارها 15^0. الزاوية الساعية سالبة في الصباح وموجبة بعد الظهر، وتحسب الزاوية الساعية عند الشروق أو الغروب بحل معادلة زاوية الارتفاع لأجل a=0:

$$\cos\omega s = -\tan\delta$$

- ولإيجاد الزاوية الساعية بالساعات انطلاقاً من الظهيرة نستخدم العلاقة:

$$\omega s = \pm 24360\cos -1\tan\emptyset\tan\delta$$

3- زاوية الارتفاع الشمسي β: هي الزاوية بين أشعة الشمس والمستوي الأفقي. الشكل (2-58). هذه الزاوية تساوي الصفر لدى شروق الشمس وغروبها، و90 عندما تكون الشمس فوق الراصد مباشرة.



الشكل (2-58) زوايا الارتفاع الشمسي والسمت الشاقولي والأفقي

- زاوية السمت z: هي الزاوية بين أشعة الشمس والشاقول.

$$\beta = 90 - z$$

تحسب زاوية الارتفاع من العلاقة:

$$Cosz = sin\beta = cos\emptyset cos\delta cos\omega + sin\emptyset sin\delta$$

4- زاوية الارتفاع الأعظمية as: هي الارتفاع الأعظمي للشمس في السماء في زمن معين في السنة، وهذه الزاوية الأعظمية تحدث في الظهيرة وتتبع لخط العرض و زاوية الانحراف. تعطي العلاقة التالية زاوية الارتفاع في الظهيرة لموقع في نصف الكرة الشمالي:

$$assolar\ noon = 90 - \emptyset - \delta$$

حيث:

Ø: زاوية خط العرض لمكان الراصد، وهي موجبة لمواقع نصف الكرة الشمالي.

Ø-δ: زاوية السمت في الظهيرة.

ولأجل نصف الكرة الجنوبي:

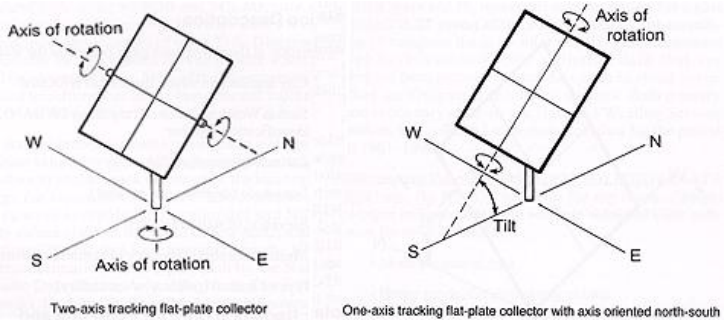
$$assolar\ noon = 90 + \emptyset$$

5- زاويــة الأزيمــوت الشمســي (الســمت الأفقــي) γs أو Ψs: هــي الزاويــة المقاســة فــي المســتوي الأفقــي بــين الجنــوب ومســقط أشــعة الشــمس، و الاتجــاه نحــو الغــرب يعــد موجبــاً، الشــكل (2-59) (أو شــمال الراصــد لمواقــع نصــف الكــرة الجنــوبي). وتكــون زاويــة الأزيمــوت مســاوية 90 عنــد الشــروق و 90- عنــد الغــروب وصــفراً في الظهيرة، وتعطى بالعلاقة:

$$\sin\gamma = \sin\Psi = \cos\delta \times \sin\omega\cos a$$

حيث:

γ : زاوية ميل السطح، وهي الزاوية بين السطح والمستوي الأفقي.



الشكل (2-59) زوايا ميول وحدات الخلايا الشمسية PV cells على المستوى الأفقي والرأسي

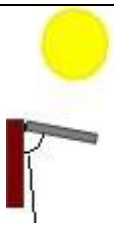
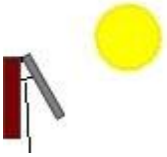
أصبح حساب هذه الزوايا من العمليات البسيطة لتوفر مواقع الكترونية عديدة تقوم بحسابها مع الاشعاع الشمسي الكلي وهذا أمر في غاية الأهمية لاختيار التركيب الأمثل للخلايا الشمسية في الموقع الأنسب.

ويتم حساب زوايا الاشعاع الشمسي للمنطقة المدروسة وطريقة توضع الموديولات حسب فصول السنة، الجدول (2).

وجد بالدراسات المناخية والجغرافية أن أية منظومة شمسية (خلايا فوتو فولطية او سخانات شمسية) توجه ناحية خط الاستواء وعلى زاوية ميل على الأفقي تساوي

تقريباً (خط العرض الواقع بـه الموقع)، وفـى الشتاء يتم زيـادة (10°) فوق خـط عرض المكان في حالة السخانات الشمسية لزيادة الكفاءة.

الجدول (2) تغير زاوية توضع اللوح الشمسي حسب المنطقة والفصل

الفصل من السنة	الصيف	الربيع - الخريف	الشتاء
الشكل التمثيلي			
الزاوية	71 درجة	56 درجة	32 درجة

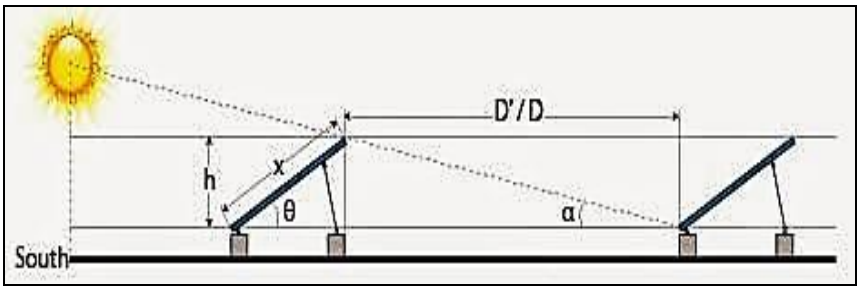
2-4-1-8- حساب المسافة بين صفوف الألواح الشمسية:

يعتبـر الظـل هـو العـدو الأكبـر عنـد تصـميم مشـروعات الألـواح الشمسـية الكهروضوئية لتوليد الكهرباء، ففي أي بلد عربي من المتوقع على الأقل ست ساعات عمل كاملة في اليوم. إذا وقع الظل على أحد أركان اللوح شمسي يجد ذلك من طاقته الكاملة. لذلك يجب حساب المسافة بين الألواح بدقة حتى نضمن أنه في أسوأ الظروف لن يغطي ظل الألواح على بعضها البعض.

وقبل البدء بحساب المسافة بين صفوف الألواح الشمسية يجب إجراء الحسابات اعتماداً على أسوأ الأوقات في السنة، وفي هذه الحالة أكبر مسافة ظل قد يلقيها اللوح الشمسي خلفه هي في الشتاء وتحديداً في يوم 21 ديسمبر، حيث تكون زاوية ميل الشمس بأقل قيمة لها، وهذه الزاوية هي الموضحة في الشكل (2-60) بالرمز الفا α، وهذه الزاوية نسميها الحد الأدنى لزاوية الارتفاع الشمسي.

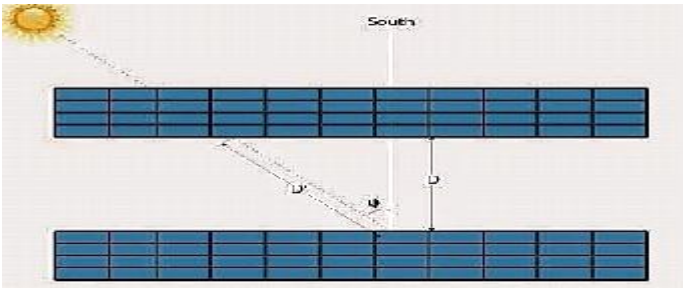
ولأن الظل ليس في اتجاه واحد فقط، بل يعتمد على اتجاه آخر وهو زاوية ميل الشمس ناحية الشرق أو الغرب سواء في بداية النهار أو آخره، فمثلاً لو كنا نتوقع للنظام

أن يعمل ست ساعات يومياً بطاقته الكاملة فذلك يعني أنه سيعمل ثلاث ساعات قبل ساعة الذروة (الظهيرة) وثلاث ساعات بعد ساعة الذروة.



الشكل (2-60) زاوية ميل أشعة الشمس بأدنى قيمة لها

بفرض ساعة الذروة هي الثانية عشرة ظهراً، يتم حساب زاوية ميل الشمس في الساعة التاسعة صباحاً أو الثالثة مساء وستكون زاوية الميل متطابقة في الحالتين ويكون الحساب في الحالتين صحيحاً. وهذه الزاوية موضحة بالرمز زيتا ψ في الشكل (2-61)، وتسمى هذه الزاوية زاوية السمت.



الشكل (2-61) زاوية السمت.

1- حساب القيمة h ارتفاع اللوح :

$$h = x \sin\theta \text{ tilted sola arrays}$$

حيث:

x :عرض اللوح أيضا والزاوية سيتا هي زاوية الميل

2- حساب 'D مسافة الظل المائلة:

$$D' = h / \tan\alpha$$

3- حساب المسافة بين الألواح:

$$D = D' \times \cos(180 - \varphi)$$

2-4-2- التحويل الترموديناميكي:

يتألف نظام التحويل الترموديناميكي في المحطة الشمسية من:

1- نظام التقاط الأشعة الشمسية المباشرة وعكسها (حقل المرايا): وهو مجموعة مرايا عاكسة تابع حركة الشمس وتعكس الأشعة إلى المجمع اللاقط.

2- نظام استقبال الأشعة الشمسية وتحويلها إلى طاقة حرارية تنتقل إلى الوسيط الناقل للحرارة: وهذا النظام هو عبارة عن مجمع لاقط مركب في أعلى برج خاص عال يتلقى الأشعة الموجهة آلية وتنتقل الحرارة منه إلى وسيط ناقل للحرارة، أو إلى وسيط العمل مباشرة في الدارة الترموديناميكية (البخار أو الهواء).

3- مضخات تدوير الوسيط الناقل للحرارة إلى الخزان الحراري.

4- مضخات تدوير الوسيط الناقل للحرارة بين الخزان الحراري والمبادلات الحرارية لوسيط العمل.

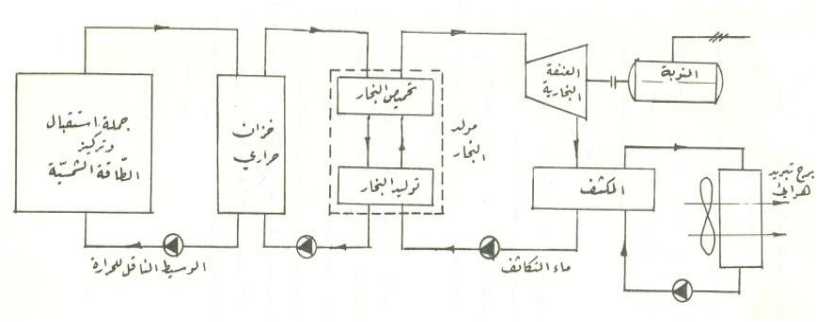
5- مجموعة الآلة الحرارية العنفية والمنوبة والمكثف.

6- نظام تبريد المكثف: ويشمل برج التبريد ومضخات سوق ماء تبريد المكثف (ويكون المكثف من النوع المبرد بالهواء في الأماكن التي لا تتوفر فيها المياه).

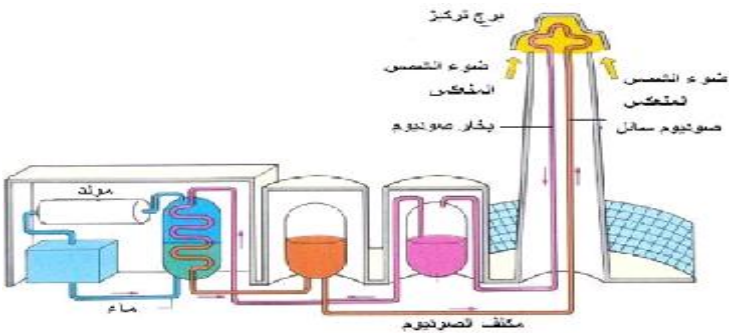
7- نظام التحكم و القيادة.

الأشكال (2-62) و(2-63) يبينان دارة محطة توليد كهرشمسية مركزية ذات مستقبل برجي وتستعمل الصوديوم المنصهر لنقل الحرارة من المجمع المركب على

البرج إلى الخزان الحراري وبخار الماء كوسيط عمل في العنفة البخارية، وتستعمل برج تبريد هوائي لإعادة تبريد مياه تبريد المكثف.



الشكل (2-62) محطة توليد كهرشمسية مركزية ذات مستقبل برجي تستعمل الصوديوم المنصهر لنقل وتخزين الحرارة وبخار الماء كوسيط عمل



الشكل (2-63) محطة توليد كهرشمسية مركزية ذات مستقبل برجي تستعمل الصوديوم المنصهر لنقل وتخزين الحرارة وبخار الماء كوسيط عمل

في حالة استعمال بخار الماء كوسيط عمل (يتم توليده في البرج الشمسي) فأن المبادل الحراري المركب في أعلى البرج يقوم بوظيفة مولد البخار ويساق البخار إلى العنفة البخارية الموصولة بالمنوبة والمركبة في المحطة بالقرب من قاعدة البرج. ويكن استعمال الهواء كوسيط عمل مع عنفة غازية في هذه الحالة يقوم المبادل الحراري

المركب في أعلى البرج بوظيفة حجرة الاحتراق في مجموعة العنفة الغازية حيث تضاف الطاقة الحرارية إلى الهواء المضغوط.

ويمكن استخدام أنظمة مختلفة لالتقاط الأشعة الشمسية المباشرة وعكسها (حقل المرايا)، وأهم هذه الأنظمة:

1- **الأنظمة التي تكون اللواقط فيها على شكل قطع مكافئ:**

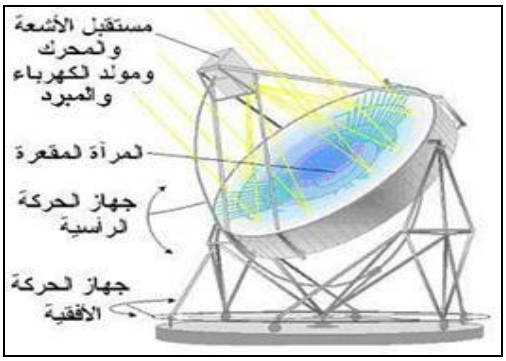
يتم تركيز أشعة الشمس من خلال مرايا مستطيلة منحنية (مقوسة)على شكل حرف (U) تقريباً، وهذه المرايا تمال نحو الشمس حيث تقوم بتركيز ضوء الشمس على الأنبوب الموجود في الوسط، حيث يمر في هذا الأنبوب الوسيط الناقل للحرارة (الزيت مثلاً) هذا الزيت المتدفق خلال الأنبوب يسخن بدوره وينقل الحرارة بوساطة مبادل حراري إلى المياه التي تقوم بعملية توليد الطاقة الكهربائية عن طريق نظام تقليدي لإنتاج الكهرباء الشكل (2-64).

الشكل(2-64) نظام لواقط شمسي على شكل قطع مكافئ

2- **النظام ذو الصحن المتحرك المقعر :**

يستخدم في هذا النظام صحن عاكس مشابه للصحن مستقبل الإشارات كبير الحجم، يتم تجميع وتركيز حرارة الشمس في نقطة المحرق، ومن ثم ترسل إلى المستقبل

الذي يمتص الحرارة ويحولها إلى السائل الموجود فيه، الذي يتمدد ضمنه فنتيجة لذلك يحرك العنفة التي تنتج طاقة ميكانيكية تدور المولدة لإنتاج الكهرباء الشكل (2-65).



الشكل(2-65) نظام لواقط شمسي ذو الصحن المتحرك المقعر

وقد اقترحت حلول متعددة (نظرية) للاستفادة من الطاقة الشمسية في محطات توليد الطاقة البخارية وذلك على شكل محطات مختلفة، و قد بينت الدراسات الاقتصادية أن هذه الحلول هي غير عملية نظراً لارتفاع كلفتها التأسيسية والوفر الذي يمكن أن يحصل عليه في استهلاك الوقود لم يكن مبرراً اقتصادياً.

وتبقى المحطات الشمسية ذات المستقبل المركزي البرجي (المستقبل مركب على برج عال) هي المعتمدة لإنشاء محطات توليد الطاقة الكهربائية الشمسية.

وتم في السنوات العشر الماضية تركيب عدة نظم استقبال برجية مستخدمة لتوليد الطاقة الكهربائية، بعضها أنشئ لغايات تجريبية وبعضها الأخر لحساب الجدوى الاقتصادية لهذه المحطات ولتعيين كلفة الطاقة الكهربائية المولدة فيها، وتتراوح استطاعتها بين عدة مئات KW وعدة MW وأكبر استطاعة مركبة حالياً هي 10 MW في كاليفورنيا. وفيما يلي نذكر أهم المشاريع التي نفذت:

- **مشروع Themis الفرنسي:** ويقع جنوب فرنسا باستطاعة 2 MW ويحتوي على 200 هليوستات بمساحة $54\ m^2$ تعكس الإشعاع الشمسي إلى مستقبل برجي بارتفاع 100 m ويستعمل الملح المنصهر لنقل الحرارة.

- **مشروع Eurolios الايطالي**: ويقع في جزيرة صقلية باستطاعة 1 MW يحتوي على 182 هليوستات بمساحة $32\ m^2$ والمستقبل البرجي يقع على ارتفاع 55 m ويستخدم بخار الماء كوسيط ناقل للحرارة ووسيط عمل.

- **مشروع Sun Shine الياباني:** وهو محطة تجريبية لتوليد الكهرباء ركبت في جزيرة شيكوكو باستطاعة1 MW وتستخدم 807 هليوستات بمساحة $16\ m^2$ لكل منها والمائع المستعمل هو بخار الماء.

- **المشروع الشمسي الأمريكي:** وهو أكبر مشروع لتوليد الطاقة الكهربائية بواسطة الطاقة الشمسية وباستطاعة 10 MW ويقع في ولاية كاليفورنيا وهو قيد التشغيل منذ عام 1982 و يحتوي على 1818 هليوستات بمساحة **$39.2\ m^2$** لكل منها والمستقبل مركب على برج ارتفاعه 80 m . وتستعمل المحطة البخار كوسيط ناقل لحرارة وكوسيط عمل.

- **مشروع Almeria (في اسبانيا):** وهو محطة تجريبية باستطاعة 500 KW تستعمل الصوديوم المنصهر 530 °C كوسيط ناقل للحرارة ووسيط تخزين الحرارة وبخار الماء كوسيط عمل في العنفة البخارية. الشكل رقم **1.3.2** يبين مبدأ عمل هذه المحطة.

- **مشروع GAST** (محطة البرج الشمسي المبرد بالغاز) وهو مشروع قيد التصميم بتمويل من وزارة البحث والتكنولوجيا الألمانية باستطاعة **20 MW** ويستعمل الهواء كوسيط عمل ووسيط ناقل للحرارة في مجموعة عنفة غازية، وتضاف إلى مجموعة العنفة الغازية عنفة بخارية يتم توليد البخار بواسطة مولد بخار مسترجع للحرارة. يستفيد من حرارة غازات الإفلات في العنفة الغازية بحيث تكون الدارة من النوع الدارة المركبة

Combined Cycle**.** وبينت الدراسة انه يمكن تسخين الهواء في المستقبل **Receiver** المركب في أعلى البرج حتى درجة الحرارة **800°** بحيث يمكن الحصول على مردود مرتفع لمجموعة العنفة الغازية ذات الدارة المفتوحة وترتفع قيمة مردود المحطة مع إضافة العنفة البخارية. الشكل (2-66) يبين حقل المرايا الشمسية والبرج الشمسي ومبدأ عمل المحطة.

الشكل (2-66) حقل المرايا الشمسية والبرج الشمسي ومبدأ عمل المحطة