

الباب الثاني
الطاقة الشمسية

SOLAR ENERGY

في نهاية هذا الباب يكون الطالب قادر على:-

- التعرف على زوايا الشمس وكيفية حسابها
- حساب كمية الأشعة الشمسية الساقطة على مساحة معينة.
- حساب الفوائد من الطاقة الشمسية.
- التعرف على نظم التسخين الشمسي.
- التعرف على نظم التجفيف الشمسي.

الطاقة الشمسية

Solar Energy

مقدمة:

تعتبر الطاقة الشمسية أحد صور الطاقة المتجددة والتي أصبحت تشكل جزء كبير من اهتمام جميع دول العالم لما لها من أهمية كبيرة في توفير نسبة عالية من الطاقة التقليدية علاوة على كونها طاقة نظيفة لا تحدث أى تلوث للبيئة بالإضافة لكونها أرخص صور الطاقة المستخدمة الان. بدأ استغلال الطاقة الشمسية solar energy منذ زمن بعيد (عصر قدماء المصريين) إلا أن الدراسات المجدية على هذا النوع من الطاقة المتجددة لم تتحقق إلا في السنوات القليلة الماضية وما زال هذا المجال حتى الان يقع تحت دراسة العديد من الباحثين والعلماء في مختلف دول العالم وصولا إلى احسن وأفضل الطرق لتخزين وتجميع وتخزين هذا النوع من الطاقة الطبيعية والنظيفة (صديقة البيئة) والرخيصة التكاليف.

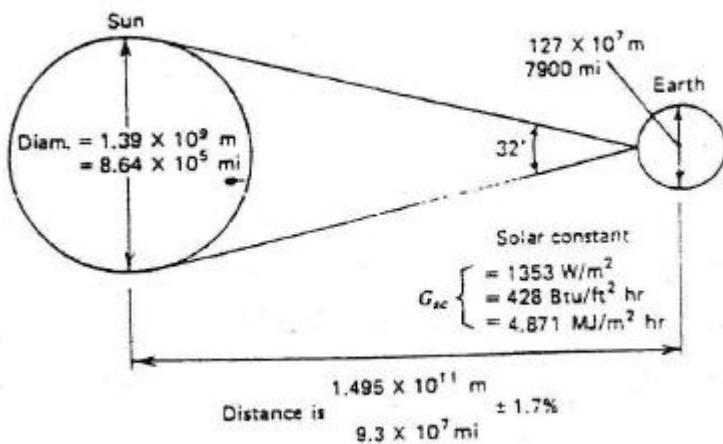
الشمس كمصدر رئيسي للطاقة الشمسية:

لكى يتم دراسة نظم التسخين الشمسي وبالتالي استغلال الطاقة الشمسية كأحد صور الطاقة المتجددة في العديد من التطبيقات الزراعية فلابد من معرفة مصدر هذه الطاقة وتوضيح بعض المعلومات الخاصة بها ألا وهي الشمس. تعتبر الشمس هي المصدر الرئيسي للطاقة الشمسية والشمس عبارة عن كرة ذات مقدار غير معين من الغازات الكثيفة والملتهبة حيث يبلغ قطرها حوالي $106 \text{ km} \times 1.4$ (حوالى 1.4 مليون كيلو متر) وتبعد الشمس عن كوكب الأرض فى المتوسط بمسافة مقدارها $108 \text{ km} \times 1.5$ (حوالى 150 مليون كيلو متر). تدور الشمس حول محورها كما هو مشاهد من كوكب الأرض مرة واحدة كل أربع أسابيع (28 يوماً)، ومع ذلك فإنها لا تدور كجسم صلب ، ولذا فإن خط الاستواء كمثال يأخذ حوالى 27 يوم بينما القطبين الشمالي والجنوبى يأخذ حوالى 30 يوماً فى كل دورة من دوران الشمس. وتتراوح درجة حرارة الشمس فى مركزها حوالى 5500°K وتبلغ كثافة الشمس حوالى 105 km أى مائة مرة قدر كثافة الماء.

الشمس في الحقيقة عبارة عن مفاعل مستمر لاندماج ذرات الغازات الملتقطة التي تتكون منها الشمس ومن تفاعلات الاندماج العديدة والتي تمدنا بالطاقة المشعة بواسطة الشمس (تعتبر من أهم هذه التفاعلات تلك الممثلة في عملية اندماج الهيدروجين لتكوين الهيليوم). فالطاقة الشمسية المنبعثة من الشمس والتي تصل إلى سطح كوكب الأرض تكون نتاج تفاعل كيميائي مستمر داخل قلب الشمس لتحويل غاز الهيدروجين إلى غاز الهيليوم وذلك عن طريق اندماج ذرتين من الهيدروجين (4 بروتون) معاً لتكوين ذرة واحدة من غاز الهيليوم، وحيث أن كتلة ذرة واحدة من غاز الهيليوم الناتج من عملية الاندماج تكون أقل من كتلة ذرتين من غاز الهيدروجين فإن فرق الكتلة المفقودة من عملية الاندماج تحول إلى طاقة مشعة وهي في حقيقة الأمر عبارة عن الطاقة الشمسية التي تنتفع خارج غلاف الشمس ومنها إلى الغلاف الخارجي للكرة الأرضية ثم إلى السطح الأرض. تنتج هذه الطاقة في داخل الكورة الشمسية عند درجات حرارة عالية. ويحدث عمليات انتقال حرارة متتابعة بالإشعاع وبالحمل يعقبها انتشار للطاقة وامتصاص جزء من هذه الطاقة وإشعاع الجزء المتبقى وهذا الجزء المشع يتم في قلب الشمس ويكون في صورة أشعة إكس وجاما.

الثابت الشمسي: The solar constant

نتيجة لاختلاف المركزى لمدار الأرض فإن المسافة بين الشمس والأرض تختلف بحوالى 1.7% عند مسافة وحدة واحدة فلكية فإن متوسط المسافة بين الأرض والشمس تبلغ حوالى $1.495 \times 1.8 \text{ km}$ (حوالى 149.5 مليون كيلومتر) والزاوية المقابلة للشمس عند سطح الأرض تبلغ $32'$ كما هو موضح بالشكل (2-1). يؤدي الإشعاع المنبعث من الشمس إلى الأرض إلى توفير شدة من الإشعاع الشمسي تكون ثابتة تقريباً خارج غلاف الكورة الأرضية وهذا الثابت هو ما يعرف بالثابت الشمسي (Gcs) والثابت الشمسي عبارة عن الطاقة المنبعثة من الشمس بالنسبة لوحدة الزمن والتي تصل إلى وحدة مساحة لسطح عمودي على اتجاه الأشعة الساقطة عند المسافة المتوسطة بين الشمس والأرض خارج غلاف الكورة الأرضية. وقد تم قياس الثابت الشمسي خارج غلاف الكورة الأرضية بواسطة سفن الفضاء والبالون والمناطيد ووجد أنه يساوى تقريباً 1353 W/m^2 مع نسبة خطأ تقدر بحوالى $\pm 1.5\%$.



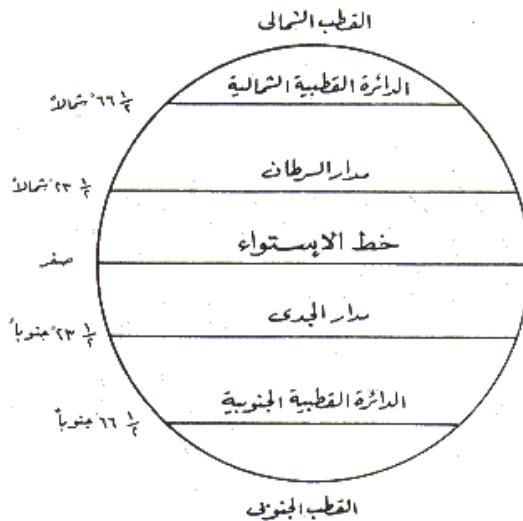
شكل (1-2): العلاقة بين الشمس والارض

دراسة وضع الشمس: The position of the sun

قبل تناول أي مجال من مجالات استغلال الطاقة الشمسية في التطبيقات المختلفة سواء كانت في مجال الزراعة أو مجال الصناعة فإن هناك أساس عملية يجب دراستها ومعرفتها بدقة عالية، وترتजز هذه الأساسيات العلمية على دراسة وضع الشمس على المكان المعنى بالبحث والدراسة والتطبيق. ووضع الشمس عند أي وقت من اليوم أو عند أي يوم من العام في أي مكان على سطح الكرة الأرضية يمكن دراسته عن طريق معرفة وحساب مجموعة من الزوايا وعلاقة هذه الزوايا معاً وهي كما يلى:

1- زاوية خط العرض (Φ) Latitude angle (Φ)

قسمت الكرة الأرضية في الاتجاه العرضي Lateral direction إلى 180 خط عرض (180 lines) نصفها (90 lines) تقع شمال خط الاستواء Equator وهو خط عرض صفر والنصف الآخر يقع جنوب خط الاستواء. جميع خطوط العرض التي تقع شمال خط الاستواء تكون موجبة الإشارة بينما تكون جميع خطوط العرض جنوب خط الاستواء سالبة الإشارة أي أن خطوط العرض تتراوح بين $90^\circ \leq \Phi \leq 90^\circ$. شكل (2-2) يوضح خطوط العرض بالكرة الأرضية.



شكل (2-2): خطوط العرض بالكرة الأرضية

2- زاوية انحراف الشمس عن خط الاستواء

Solar declination angle (δ)

عبارة عن زاوية ميل أو انحراف الشمس عن خط الاستواء عند الظهر at noon كنتيجة لدوران الأرض حول الشمس حيث يميل محور الأرض الرأسى عن مستوى الدوران بزاوية تتراوح بين 23.45° إلى 23.45° . فإذا كانت هذا الزاوية موجبة الإشارة فهذا يعني أن القطب الشمالي من الكره الأرضية يقترب من الشمس وبالتالي فان نصف الكره الشمالي يميل نحو الشمس ويتبع القطب الجنوبي عن الشمس ويحدث هذا في فصل الصيف بالنسبة لنصف الكره الشمالي من الأرض وفي نفس الوقت يكون النصف الجنوبي من الكره الأرضية في فصل الشتاء وتكون الشمس في هذا الوقت من العام متعدمة على مدار السرطان Tropic of Cancer أما إذا كانت هذه الزاوية سالبة الإشارة فإن هذا يعني أن القطب الشمالي من الكره الأرضية يبتعد عن الشمس بينما القطب الجنوبي من الكره الأرضية يقترب من الشمس ويحدث هذا في فصل الشتاء بالنسبة للنصف الشمالي من الكره

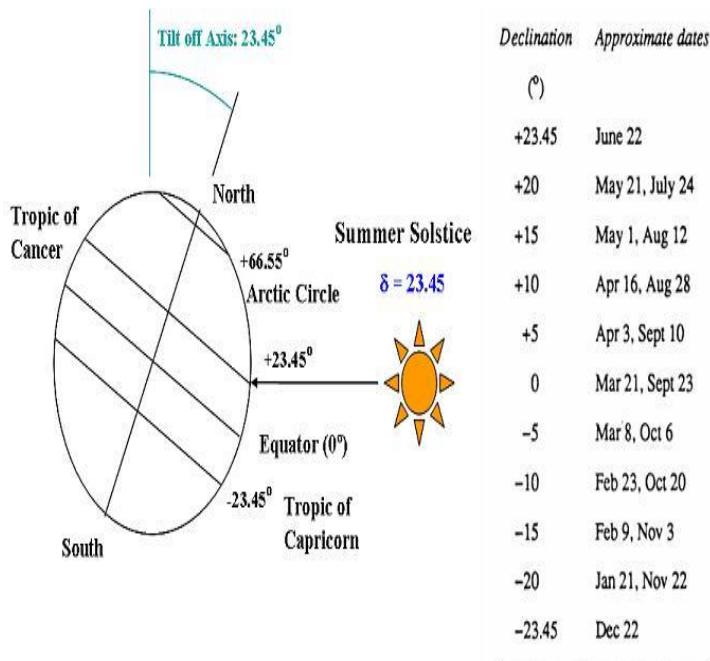
الأرضية وفي فصل الصيف بالنسبة لنصف الكرة الجنوبي وتكون الشمس في هذا الوقت من العام متعمدة على مدار الجدي Tropic of Capricorn وعلى هذا فإن هذه الزاوية تساوى صفر في يوم 21 مارس ويوم 21 سبتمبر عندما تكون الشمس متعمدة تماماً على خط الاستواء كما هو موضح بالشكل (3-2) وتتساوى 23.45° يوم 22 يونيو وتتساوى 23.45° يوم 23 ديسمبر. يمكن تحديد وحساب قيمة زاوية انحراف الشمس عن خط الاستواء عند الظهر من المعادلة الرياضية التالية:

$$\delta = 23.45 \sin \left[(360) \left(\frac{284 + n}{365} \right) \right]$$

or

$$\delta = 23.45 \sin [0.9863(284 + n)]$$

حيث أن (n) هي رقم اليوم اعتباراً من أول يناير . day from of January



شكل (3-2): زاوية انحراف الشمس عن خط الاستواء على مدار العام

مثال:

حدد زاوية انحراف الشمس عن خط الاستواء عند الظهر يوم 17 يناير ويوم 11 يونيو.

الحل

$$\delta = 23.45 \sin [0.9863(284 + n)] \quad \text{degree}$$

For January 17:

$$n = 17$$

$$\delta = 23.45 \sin [0.9863(284 + 17)] = 20.9^\circ$$

For June 11:

$$n = 31 + 28 + 31 + 30 + 31 + 11 = 162$$

$$\delta = 23.45 \sin [0.9863(284 + 162)] = 23.1^\circ$$

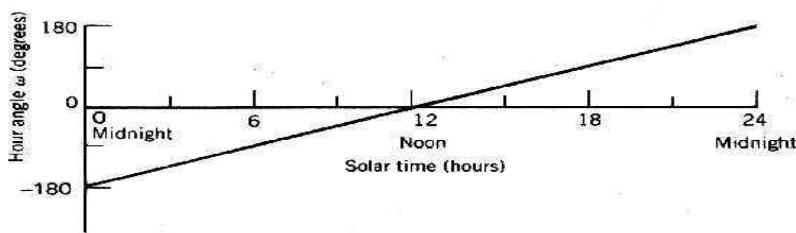
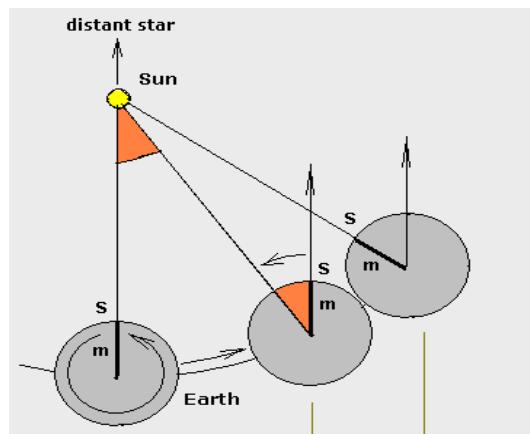
3- زاوية الوقت الشمسي Solar hour angle

عبارة عن الإزاحة الزاوية للشمس شرق أو غرب خط طول صفر (خط جرينتش Meridia) نتيجة دوران الأرض حول محورها بمقدار 15 درجة كل ساعة ($15^\circ/\text{hr}$) كما في شكل (4). وهذه الزاوية تكون سالبة الإشارة صباحاً وتكون موجبة الإشارة بعد الظهر وبالتالي فإنها تساوى صفر عند الظهر وشكل (4-2) يوضح ذلك.

ويمكن تحديد وحساب قيمة هذه الزاوية من المعادلة التالية:-

$$\omega = 15 (\text{LAT} - 12) \quad \text{degree}$$

حيث أن (LAT) عبارة عن التوقيت المحلي للمكان .Time



شكل (4-2): زاوية الوقت الشمسي

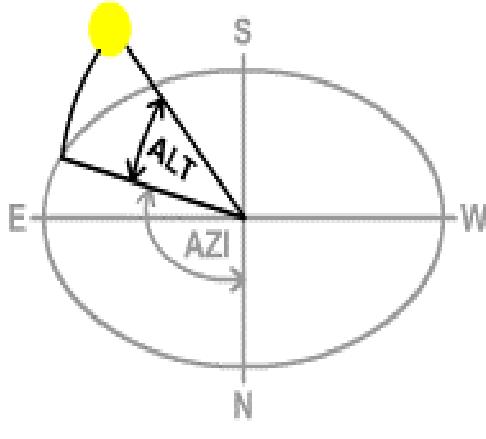
4- زاوية الارتفاع الشمسي (ψ)

عبارة عن الزاوية المحصورة بين الأشعة الشمسية الساقطة والمستوى الأفقي لسطح الأرض كما هو واضح في شكل (5-2). وقيمة هذه الزاوية متغيرة أثناء ساعات النهار (من الشروق وحتى الغروب) حيث تزيد تدريجياً من الصفر عند الشروق إلى أن تصل إلى أقصى قيمة لها عند الظهر ، ثم تأخذ في التناقص التدريجي حتى تصل إلى الصفر مرة أخرى عند الغروب ، كما أن قيمة هذه الزاوية عند الظهر متغيرة من شهر إلى آخر ومن فصل إلى آخر ، حيث تزيد تدريجياً اعتباراً من يوم 23 ديسمبر وحتى تصل إلى أقصى قيمة لها يوم 21 يونيو ثم تأخذ في التناقص التدريجي حتى تصل إلى أقل قيمة لها يوم 22 ديسمبر. ويمكن تحديد وحساب قيمة هذه الزاوية بدلالة زاوية خط العرض (Φ) وزاوية انحراف الشمس

عن خط الاستواء عند الظهر (δ) وأخيراً زاوية الوقت الشمسي (ω) من العلاقة الرياضية التالية:

$$\sin \Psi = \cos(\phi) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\phi) \sin(\delta)$$

$$\Psi = \arcsin[\cos(\phi) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\phi) \sin(\delta)]$$



شكل (2-5): زاوية ارتفاع الشمس

مثال:

حدد زاوية ارتفاع الشمس عند خط عرض 25°N 23 ديسمبر يوم 21 يونيو.

الحل

$$\Phi = 25^{\circ}\text{N}, \omega (\text{at noon}) = 0$$

For December 23:

$$\delta = 23.45 \sin [0.9863(284 + n)], \text{ degree}$$

$$n = 31 + 28 + 31 + 30 + 31 + 30 + 31 + 31 + 30 + 31 + 30 + 23 = 357$$

$$\delta = 23.45 \sin [0.9863(284 + 357)] = 23.43^{\circ}$$

$$\Psi = \arcsin [\cos(\Phi) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\Phi) \sin(\delta)], \text{ degree}$$

$$\psi = \sin^{-1} [\cos(25) \cos(-23.43) \cos(0) + \sin(25) \sin(-23.43)]$$

$$\psi = 41.6^\circ$$

For June 21:

$$\delta = 23.45 \sin [0.9863 (284 + n)], \text{ degree}$$

$$n = 31 + 28 + 31 + 30 + 31 + 21 = 172$$

$$\delta = 23.45 \sin [0.9863 (284 + 172)] = 23.45^\circ$$

$$\psi = \arcsin [\cos(\Phi) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\Phi) \sin(\delta)], \text{ degree}$$

$$\psi = \sin^{-1} [\cos(25) \cos(23.45) \cos(0) + \sin(25) \sin(23.45)]$$

$$\psi = 88.5^\circ$$

يلاحظ هنا أن زاوية الارتفاع الشمسي وقد تغيرت قيمتها من 41.6° يوم 23 ديسمبر إلى أقصى قيمة لها 88.5° يوم 21 يونيو.

5- زاوية السمت الشمسي الرئيسية (z)

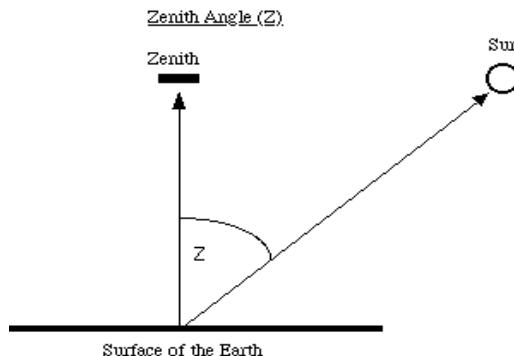
عبارة عن الزاوية المحصورة بين الأشعة الشمسية الساقطة والعمود المقام على المستوى الأنقى لسطح الأرض كما هو موضح بالشكل (2-6). وهذه الزاوية تعتبر الزاوية المتممة مع زاوية الارتفاع الشمسي وبالتالي فإن قيمتها تكون عكس قيمة زاوية الارتفاع الشمسي فعند زيادة قيمة زاوية الارتفاع الشمسي تقل قيمة زاوية الارتفاع الشمسي تقل قيمة زاوية السمت الشمسي الرئيسية.

يمكن تحديد وحساب زاوية السمت الشمسي الرئيسية من المعادلة التالية:

$$\cos(z) = \cos(\phi) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\phi) \sin(\delta)$$

$$z = \arccos[\cos(\phi) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\phi) \sin(\delta)]$$

$$z = 90 - \Psi$$



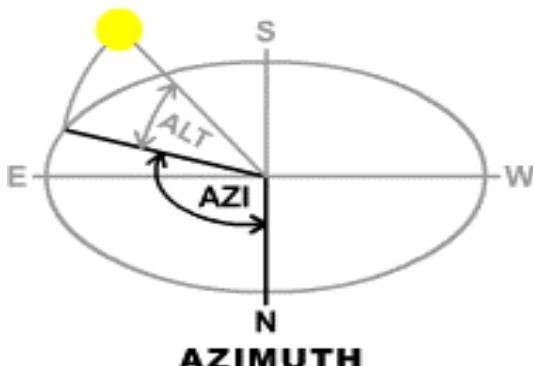
شكل (6-2): زاوية السمت الشمسي الرأسية

6- زاوية السمت الشمسي الأفقية (γ_s)

عبارة عن الزاوية الأفقية المحصورة بين خط إسقاط الأشعة الشمسية على المستوى الأفقي والخط المتتطابق مع اتجاه الجنوب الجغرافي كما هو موضح بالشكل (6-2). وهذه الزاوية تكون قيمتها سالبة الإشارة من الشروق وحتى قبل الظهر وتكون موجبة الإشارة بعد الظهر وبالتالي فإن قيمتها تساوي صفر عند الظهر. ويمكن تحديد وحساب قيمة هذه الزاوية بدلالة زاوية انحراف الشمس عن خط الاستواء عند الظهر (δ) وزاوية الوقت الشمسي (ω) وأخيراً زاوية الارتفاع الشمسي (ψ) من المعادلة التالية:

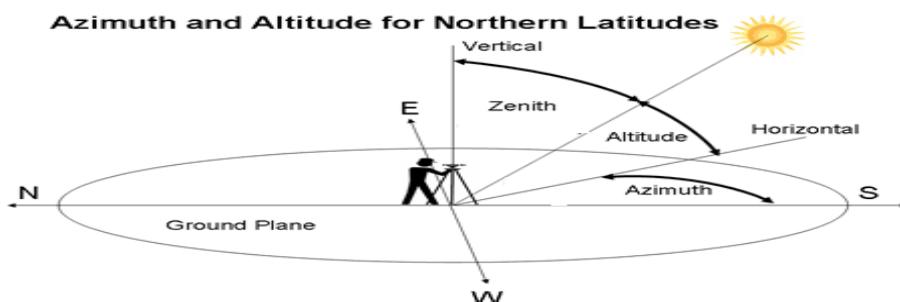
$$\sin(\gamma_s) = \left(\frac{\cos(\delta)\sin(\omega)}{\cos(\psi)} \right)$$

$$\gamma_s = \arcsin\left(\frac{\cos(\delta)\sin(\omega)}{\cos(\psi)} \right)$$



شكل (7-2): زاوية السمت الشمسي الأفقية

ويوضح شكل (8-2) الفرق بين كل من زاوية الارتفاع الشمسي وزاوية السمت الشمسي الأفقية وزاوية السمت الشمسي الرئيسية.



شكل (8-2): الفرق بين كل من زاوية الارتفاع الشمسي وزاوية السمت الشمسي الأفقية وزاوية السمت الشمسي الرئيسية

مثال:

حدد زاوية السمت الشمسي الرئيسية والأفقية لمكان يقع عند خط عرض الساعية 10 صباحاً يوم 16 مارس.
30°N

الحل

For March 16:

$$n = 31 + 28 + 16 = 75$$

$$\delta = 23.45 \sin [0.9863 (284 + n)], \text{ degree}$$

$$\delta = 23.45 \sin [0.9863(284 + 75)] = -2.4^\circ$$

$$\omega = 15 (\text{LAT} - 12)$$

$$\omega = 15 (10 - 12) = -30^\circ$$

$$\psi = \arcsin [\cos(\Phi) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\Phi) \sin(\delta)], \text{ degree}$$

$$\psi = \sin^{-1} [\cos(30) \cos(-2.4) \cos(-30) + \sin(30) \sin(-2.4)]$$

$$\psi = 46.7^\circ$$

$$z = 90 - \psi$$

$$z = 90 - 46.7 = 43.3^\circ$$

$$\gamma_s = \arcsin \left(\frac{\cos(\delta) \sin(\omega)}{\cos(\psi)} \right), \text{ degree}$$

$$\gamma_s = \sin^{-1} \left(\frac{\cos(-2.4) \sin(-30)}{\cos(46.7)} \right) = -46.8^\circ$$

7- زاوية الميل المثلث لسطح : (β_0)

عبارة عن الزاوية المحصورة بين المستوى الأفقي لسطح الأرض ومستوى السطح المستقبل للأشعة الشمسية. تعتبر هذه الزاوية من الزوايا الهامة جداً عند استغلال الطاقة الشمسية في أي من التطبيقات المختلفة، حيث أن ضبط ميل أي سطح مستقبل للأشعة الشمسية عند هذه الزاوية (يميل على الأفقي بزاوية ميل مثلي) يجعله يستقبل أكبر كمية ممكنة من الأشعة الشمسية الساقطة عليه. Receives the maximum possible of solar radiation flux incident. ويمكن تحديد وحساب زاوية الميل المثلث بدالة زاوية خط العرض (Φ) وزاوية انحراف الشمس عن خط الاستواء عند (δ) وأخيراً زاوية الوقت الشمسي (ω) من المعادلة التالية:

$$\begin{aligned}\cos(\beta_o) &= \cos(\phi)\cos(\delta)\cos(\omega) + \sin(\phi)\sin(\delta) \\ \beta_o &= \arccos[\cos(\phi)\cos(\delta)\cos(\omega) + \sin(\phi)\sin(\delta)] \\ \beta_o &= z = 90 - \Psi\end{aligned}$$

8- زاوية السقوط الشمسي : Solar incident angle (θ)

عبارة عن الزاوية المحصورة بين الأشعة الشمسية الساقطة والعمود المقام على سطح المستقبل لهذه الأشعة كما هو موضح بالشكل (9-2). وتعتبر هذه الزاوية أيضاً من الزوايا الهامة جداً حيث تلعب دوراً كبيراً في زيادة أو نقص حمل التسخين الطبيعي (حمل التسخين الشمسي) على أسقف المنازل وإسطبلات الماشية ومساكن الدواجن والبيوت المحمية وأخيراً المجمعات الشمسية. كما أن هذه الزاوية تعتبر أحد أهم العوامل المؤثرة تأثيراً مباشراً عكسياً على معامل نفاذية الأسطح الشفافة لأشعة الشمس وكذلك معامل امتصاص الأسطح السوداء اللون لهذه الأشعة. ويمكن تحديد وحساب زاوية السقوط الشمسي بدلالة زاوية الارتفاع الشمسي (ψ) وزاوية السمت الشمسي الأفقية (β_s) وأخيراً زاوية ميل السطح المستقبل للأشعة الشمسية (β) من المعادلة التالية:

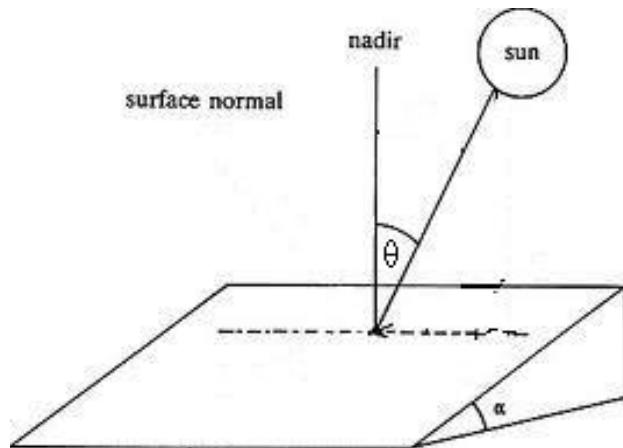
$$\begin{aligned}\cos(\theta) &= \cos(\Psi)\cos(\gamma_s)\sin(\beta) + \sin(\Psi)\cos(\beta) \\ \theta &= \arccos[\cos(\Psi)\cos(\gamma_s)\sin(\beta) + \sin(\Psi)\cos(\beta)]\end{aligned}$$

وهذه الزاوية يمكن تعديلها على حسب وضع السطح المستقبل للأشعة الشمسية فمثلاً إذا كان السطح المستقبل للأشعة الشمسية موضوع أفقياً أي أن زاوية ميله تساوى صفر فإن زاوية السقوط الشمسي يمكن تحديدها وحسابها من المعادلة التالية:

$$\theta = \arccos[\sin(\Psi)]$$

أما إذا كان السطح المستقبل للأشعة الشمسية موضوع رأسياً في اتجاه هذه الأشعة فإن زاوية السقوط الشمسي يمكن تحديدها وحسابها من المعادلة التالية:

$$\theta = \arccos[\sin(\Psi)\cos(\beta)]$$



شكل (9-2): زاوية السقوط الشمسي

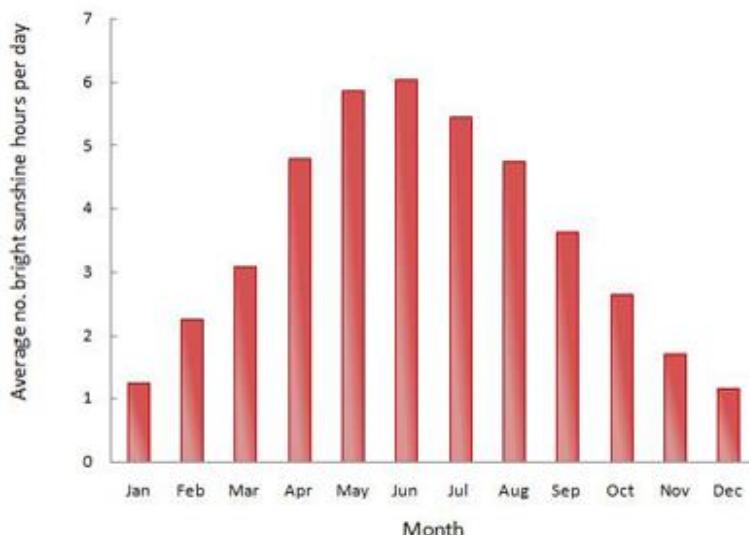
٩- عدد ساعات الإضاءة الشمسية

Number of bright sunshine hours (N)

عبارة عن أقصى عدد لساعات سطوع الشمس في اليوم الواحد (طول النهار) ويمكن تحديد وحساب عدد ساعات الإضاءة اليومية لأى مكان على سطح الكره الأرضية بدلالة زاوية خط العرض (ϕ) وزاوية الانحراف الشمسي عند الظهر (δ) من المعادلة التالية:

$$N = \frac{2}{15} \arccos[-\tan(\phi)\tan(\delta)]$$

ويوضح شكل (10-2) متوسط عدد ساعات سطوع الشمس اليومي لكل شهر خلال السنة:



شكل (2-10): متوسط عدد ساعات سطوع الشمس اليومي لكل شهر خلال السنة

10- وقت شروق الشمس : (T_s)

عبارة عن الزمن المحدد الذي عنده تشرق الشمس (بداية النهار) ويمكن تحديد وحساب هذا الوقت بدلالة زاوية خط العرض(Φ) وزاوية الانحراف الشمسي عند الظهر (δ) من المعادلة التالية:

$$T_s = 6 + \frac{1}{15} \arcsin[-\tan(\phi)\tan(\delta)]$$

الأشعة الشمسية الكلية الساقطة في الساعة على سطوح أفقية ومائلة ورأسية

Hourly Total Solar Radiation Flux Incident on a horizontal, Tilted, and Vertical Surfaces

تم تطوير طريقة حديثة لحساب الأشعة الشمسية الكلية الساقطة كل ساعة ومن الشروق وحتى الغروب على سطوح أفقية ومائلة ورأسية بواسطة الجمعية الأمريكية لمهندسي التسخين والتبريد وتكييف الهواء (ASHRAE). الأشعة الشمسية الكلية قصيرة الطول الموجي (I_T) والتي تصل إلى مستوى أي سطح مائل وهي تكون عبارة عن مجموع الأشعة الشمسية المباشرة (direct solar) (I_D) والذى تصل إلى مستوى السماء (diffuse sky radiation) (I_d) والأشعة الشمسية المشتتة من السماء (reflected from surrounding surfaces) (I_r).

$$I_T = I_D + I_d + I_r, \text{ W/m}^2$$

لحساب الأشعة الشمسية الكلية الساقطة كل ساعة ومن الشروق وحتى الغروب على سطوح أفقية ومائلة ورأسية فإن هذا يتطلب حساب وتحديد العديد من الخطوات كما يلى:

1- الأشعة الشمسية الكلية المباشرة (I_D)

الأشعة الشمسية المباشرة عبارة عن حاصل ضرب الأشعة الشمسية المباشرة والعمودية (I_{DN}) وجيب تمام زاوية سقوط الأشعة الشمسية ($\cos \theta$) وهى الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام على السطح المستقبل للأشعة الشمسية.

$$I_D = I_{DN} \times \cos(\theta), \text{ W/m}^2$$

2- الأشعة الشمسية المباشرة والعمودية

Direct normal solar radiation intensity (I_{DN})

الأشعة الشمسية المباشرة والعمودية عند سطح الأرض فى اليوم المشرق (بدون غيوم) يمكن تحديدها وحسابها من العلاقة الرياضية التالية:-

$$I_{DN} = \frac{A}{\exp\left(\frac{B}{\sin(\Psi)}\right)} \quad \text{W/m}^2$$

حيث أن:

A الأشعة الشمسية المرئية عندما تكون كتلة الهواء الجوى تساوى صفر.

B معاملكسوف الطقس الجوى.

Ψ زاوية ارتفاع الشمس.

والجدول (1-2) يوضح قيم كل من A, B, and C لليوم المتوسط لكل شهر من أشهر العام.

ويتم حساب قيمة كل من A ، B من المعادلات الآتية:

$$A = 1147.58687626 + 57.49849592 \times \sin(0.01742766296n + 1.478218070)$$

$$B = 0.163947122 + 0.02368994 \times \sin(0.020171486n + 4.013066167)$$

زاوية سقوط الأشعة الشمسية (θ) لأى سطح تعرف بأنها الزاوية المحصورة بين الشعاع الشمسي الساقط والعمود المقام على هذا السطح. زاوية سقوط الأشعة الشمسية للسطح الأفقي فى الشكل (11-2) تكون هى الزاوية θ_H (QOV). وللسطح العمودى تكون هى الزاوية θ_V (QOP) ولأى سطح مائل بزاوية (β) تكون هى الزاوية θ والتى يمكن تحديدها بدلالة زاوية ارتفاع الشمس (Ψ) وزاوية السمت الأفقي للشمس والسطح معًا (γ_{ss}) وزاوية ميل السطح المستقبل للأشعة الشمسية (β) من المعادلة الآتية:-

$$\cos(\theta) = \cos(\Psi) \cos(\gamma_s) \sin(\beta) + \sin(\Psi) \cos(\beta)$$

عندما يكون السطح المستقبل للأشعة الشمسية موضوع أفقياً تكون زاوية الميل = β وبالتالي فإن المعادلة السابقة يتم تعديلها لتصبح كما يلى:

$$\cos(\theta_H) = \sin(\Psi)$$

وعندما يكون السطح المستقبل للأشعة الشمسية موضوع رأسياً تكون زاوية الميل $90^\circ = \beta$ وبالتالي فإن المعادلة الأساسية يتم تعديلها لتصبح كما يلى:

$$\cos(\theta_V) = \cos(\Psi) \cos(\gamma_s)$$

3- الأشعة الشمسية الساقطة على سطح أفقي

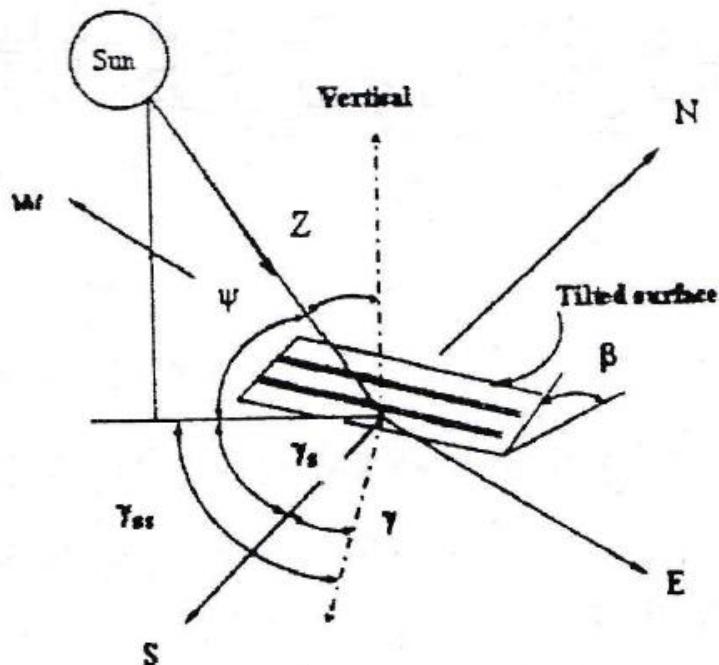
Solar radiation flux incident on a horizontal surface:

الأشعة الشمسية المباشرة والساقطة على سطح أفقي (I_{DH}) يمكن تحديدها من المعادلة التالية:-

$$I_{DH} = I_{DN} \sin(\Psi)$$

جدول (2-1): الاشعاع الشمسي ورقم اليوم وزاوية الانحراف الشمسي والأشعة الشمسية المرئية ومعاملكسوف الشمس ومعامل تشتت الأشعة الشمسية للمتوسط اليومي في كل شهر.

Month	Date	n	δ	I_o	A	B	C
Jan.	17	17	- 20.9	1 395	1 230	0.142	0.058
Feb.	16	47	- 13.0	1 380	1 214	0.144	0.060
March	16	75	- 2.4	1 362	1 185	0.156	0.071
April	15	105	9.4	1 338	1 135	0.180	0.097
May	15	135	18.8	1 319	1 103	0.196	0.121
June	11	162	23.1	1 309	1 088	0.205	0.134
July	17	198	21.2	1 311	1 085	0.207	0.135
August	16	228	13.5	1 324	1 107	0.201	0.122
Sept.	15	258	2.2	1 346	1 151	0.177	0.092
Oct.	15	288	- 9.6	1 368	1 192	0.160	0.073
Nov.	14	318	- 18.9	1 388	1 220	0.149	0.063
Dec.	10	344	- 23.0	1 397	1 233	0.142	0.057



شكل (11-2): زوايا الشمس للاسطح الافقية والمائلة والرأسية

مثال:

احسب الأشعة الشمسية المباشرة الساقطة على سطح أفقى وآخر رأسى يوم 15 أكتوبر الساعة 12 ظهراً عند خط عرض 32°N

For October 15:

$$n = 288,$$

$$\Phi = 32^{\circ}\text{N}$$

$$\omega = 0$$

$$A = 1\ 192 \text{ W/m}^2, B = 0.160,$$

$$\gamma_{ss} = 0$$

$$\delta = 23.45 \text{ son } [0.9863 (284 + n)]$$

$$\delta = 23.45 \text{ son } [0.9863 (284 + 288)] = -11.8^{\circ}$$

$$\sin(\psi) = \cos(\Phi) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\Phi) \sin(\delta)$$

$$\sin(\psi) = \cos(32) \cos(-11.8) \cos(0) + \sin(32) \sin(-11.8) = 0.722$$

$$\psi = 46.2^\circ$$

$$\cos(\theta_H) = \sin(\psi) = 0.722$$

$$\begin{aligned}\cos(\theta_v) &= \cos(\psi) \cos(\gamma_{ss}) \\ &= \cos(46.2) \cos(0)\end{aligned}$$

$$\cos(\theta_v) = 0.692$$

الأشعة الشمسية المباشرة والعمودية (I_{DN}) يمكن تحديدها كما يلى:

$$I_{DN} = \frac{A}{\exp\left(\frac{B}{\sin(\Psi)}\right)} \quad \text{W/m}^2$$

$$I_{DN} = \frac{1192}{\exp\left(\frac{0.160}{0.722}\right)} = 955 \text{ W/m}^2$$

الأشعة الشمسية المباشرة والساقة على سطح رأسى (I_D) يمكن حسابها من العلاقة التالية:

$$I_D = I_{DN} \cos(\theta)$$

$$I_{DH} = 955 (0.692) = 660.9 \text{ W/m}^2$$

الأشعة الشمسية المباشرة والساقة على سطح أفقى (I_{DH}) يمكن حسابها من العلاقة التالية:

$$I_{DH} = I_{DN} \sin(\psi)$$

$$I_{DH} = 955 (0.722) = 689.5 \text{ W/m}^2$$

4- الأشعة الشمسية المشتتة : Diffuse solar radiation

الأشعة الشمسية المشتتة والساقة على أى سطح تتكون أساساً من عنصرين، والأول عبارة عن الأشعة الشمسية المشتتة من السماء المشرقة ، والعنصر الثانى الأشعة الشمسية المشتتة من السطوح المجاورة خصوصاً الأرض الواقعة جنوب السطح المستقبل للأشعة الشمسية.

1-4- الأشعة الشمسية المشتتة من السماء

Diffuse solar radiation from a clear sky (I_d)

يمكن تحديد وحساب الأشعة الشمسية المشتتة من السماء المشرقة من العلاقة

البسيطة التالية:

$$I_d = C I_{DN} F_{ss} \quad W/m^2$$

حيث أن:

C معامل تشتت الأشعة الشمسية والمعطى بالجدول (1).

I_{DN} الأشعة الشمسية الشاقطة من السماء المشرقة على سطح أفقي.

F_{ss} معامل الزاوية بين السطح المستقبل للأشعة الشمسية والسماء ، ويمكن تحديد هذا المعامل بدلالة زاوية ميل السطح المستقبل للأشعة الشمسية (β) من العلاقة التالي:

$$F_{ss} = \frac{1 + \cos(\beta)}{2}$$

و يتم حساب قيم المعامل C من المعادلة الآتية:

$$C = 0.120682346 + 0.017896423 \times \sin(0.020292953n + 3.97985854)$$

2-4- الأشعة الشمسية المشتتة والمنعكسة من سطح الأرض

Solar radiation diffusely reflected from the ground (I_r):

الأشعة الشمسية المنعكسة (I_r) والتى تصلك إلى سطح أى مستقبل لهذه الأشعة عبارة عن الأشعة الشمسية الشاقطة على السطح العاكس لها (I_{TH}) مضروب فى معامل انعكاس هذا العاكس (ρ) فى معامل الزاوية بين السطح المستقبل للأشعة المنعكسة وسطح الانعكاس (F_{sg}) ويمكن تحديد وحساب هذه الكمية من العلاقة الرياضية التالية:

$$I_{TH} = CI_{DN} + I_{DN} \sin(\Psi) \quad , \quad I_r = I_{DN}(C + \sin(\Psi))$$

الأشعة الشمسية المنعكسة من سطح الأرض (I_r) يمكن تحديدها من المعادلة التالية:

$$I_r = I_{TH} \rho F_{sg} \quad W/m^2$$

حيث أن:

ρ معامل الانعكاس من سطح الأرض

F_{sg} معامل الزاوية بين السطح المستقبل للأشعة المنعكسة وسطح الانعكاس ويمكن تحديدها من العلاقة الرياضية التالية:

$$F_{sg} = \frac{1 - \cos(\beta)}{2}$$

مثال:

احسب كمية الأشعة الشمسية الكلية الساقطة على سطح مجمع شمسي مائل على الأفق بزاوية مقدارها 30° ووجه نحو الجنوب عند خط عرض $N 25^\circ$ الساعة العاشرة صباحاً يوم 11 يونيو إذا علمت أن معامل انعكاس الأرض للأشعة الشمسية 0.45 .

الحل

For a specific day in question, June 11, at 10am

$$n = 162, \Phi = 25^\circ N, \omega = -30, \delta = 32.1^\circ$$

$$\beta = 30^\circ, \rho = 0.45, \gamma = 0, \gamma_{ss} = \gamma_s$$

$$\sin(\psi) = \cos(\Phi) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\Phi) \sin(\delta)$$

$$\sin(\psi) = \cos(25) \cos(23.1) \cos(-30) + \sin(25) \sin(23.1)$$

$$= 0.888$$

$$\psi = 62.6^\circ$$

نظراً لأن المجمع الشمسي مائل ووجه شرق - غرب ويواجه الجنوب فإن زاوية السمت الأفقي للمجمع تساوى صفر ($\gamma = 0$) ولذا فإن زاوية السمت الأفقي للشمس والمجمع معاً تساوى زاوية السمت الأفقي الشمسية ($\gamma_s = \gamma_{ss}$).

$$\gamma_s = \arcsin\left(\frac{\cos(\delta)\sin(\omega)}{\cos(\Psi)}\right)$$

$$\gamma_s = \arcsin\left(\frac{\cos(23.1)\sin(-30)}{\cos(62.6)}\right) = 92.4^\circ$$

From Table (2-1):

$$A = 1088 \text{ W/m}^2, \quad B = 0.205, \quad C = 0.134$$

شدة الأشعة الشمسية العمودية (I_{DN}) يمكن تحديدها من المعادلة التالية:

$$I_{DN} = \frac{A}{\exp\left(\frac{B}{\sin(\Psi)}\right)} \text{ W/m}^2$$

$$I_{DN} = \frac{1088}{\exp\left(\frac{0.205}{0.888}\right)} = 863.7 \text{ W/m}^2$$

زاوية السقوط الشمسية عند الساعة 10 صباحاً (10 am) يمكن تحديدها من العلاقة التالية:

$$\cos(\theta) = \cos(\psi) \cos(\gamma_{ss}) \sin(\beta) + \sin(\psi) \cos(\beta)$$

$$\cos(\theta) = \cos(62.6) \cos(-92.4) \sin(30) + \sin(62.6) \cos(30)$$

$$\cos(\theta) = 0.759$$

$$\theta = 40.6^\circ$$

الأشعة الشمسية الكلية المباشرة (I_D) يمكن حسابها من العلاقة التالية:

$$I_D = I_{DN} \cos(\theta)$$

$$I_D = 863.7 (0.759) = 655.5 \text{ W/m}^2$$

معامل الزاوية بين سطح المجمع الشمسي وبين السماء (F_{ss}) يمكن تحديده من المعادلة التالية:

$$F_{ss} = \frac{1 + \cos(\beta)}{2}$$

$$F_{ss} = \frac{1 + \cos(30)}{2} = 0.933$$

الأشعة الشمسية المشتتة من السماء (I_d) يمكن تحديدها من العلاقة الرياضية التالية:

$$I_d = C I_{DN} F_{ss} \quad W/m^2$$

$$I_d = 0.134 (863.7)(0.933) = 108.0 \text{ W/m}^2$$

معامل الزاوية بين سطح المجمع الشمسي وبين سطح الأرض (F_{sg}) يمكن تحديده من المعادلة التالية:

$$F_{sg} = \frac{1 - \cos(\beta)}{2}$$

$$F_{sg} = \frac{1 - \cos(30)}{2} = 0.067$$

الأشعة الشمسية المنعكسة بالتشتت من سطح الأرض إلى سطح المجمع الشمسي (I_r) يمكن حسابها من المعادلة التالية:

$$I_{TH} = I_{DN} [C + \sin(\psi)] \quad W/m^2$$

$$I_{TH} = 863.7 [0.134 + 0.888] = 882.7 \quad W/m^2$$

$$I_r = I_{TH} \rho F_{sg} \quad W/m^2$$

$$I_r = 882.7 (0.45) (0.067) = 26.6 \quad W/m^2$$

أخيراً الأشعة الشمسية الكلية الساقطة في الساعة على سطح المجمع الشمسي (I_T) يمكن تحديدها وحسابها من المعادلة التالية:

$$I_T = I_D + I_d + I_r \quad W/m^2$$

$$I_r = 6.55.5 + 108.0 + 26.6 = 790.1 \quad W/m^2$$

أثبتت جميع القياسات والحسابات التي أجريت للمقارنة بين كمية الأشعة الشمسية الكلية الساقطة على سطح مجمع شمسي مائل والمقاسة بواسطة أجهزة قياس الأشعة الشمسية (غالية الثمن) أن هذه الطريقة تعتبر هي الأدق والأقرب لما يتم قياسه من الشروق وحتى الغروب .

Design of Flat-Plate Solar Collectors and Solar Energy Heating Systems

بعد أن درسنا بعض التعريف وال العلاقات الرياضية المتعلقة بدراسة وضع الشمس وطريقة تحديد وحساب وضع الشمس على اي مكان على ظهر الكرة الأرضية وطرق تحديد وحساب كمية الأشعة الشمسية التي تصل لسطح الأرض في اليوم المتوسط لكل شهر وبالتالي الساقطة على سطح مجمع شمسي مائل بزاوية ميل معينة وأيضاً طرق تحديد وحساب كمية الأشعة الشمسية الكلية الساقطة على سطح المجمعات الشمسية المائلة كل ساعة من الشروق وحتى الغروب ، لابد وأن نعرف بعض أنواع المجمعات الشمسية Solar collectors والتي تشمل النوعين التاليين:

(1) المجمعات الشمسية المسطحة .Flat-plate solar collectors

(2) المجمعات الشمسية المركزية Concentrating solar

تعتبر المجمعات الشمسية نوع خاص من المبادرات الحرارية حيث تقوم بتحويل الطاقة الإشعاعية الشمسية إلى طاقة حرارية يتم إزاحتها وبالتالي اكتسابها بواسطة مائع الإزاحة (سائل - ماء - هواء - زيت ... الخ) حيث تنتقل هذه الطاقة الحرارية إلى مائع الإزاحة عن طريق الحمل الطبيعي أو الجبرى إلى وحدات التطبيق والاستغلال. ونظراً لأن المجمعات الشمسية المركزية تتطلب التشغيل تحت ظروف مناخية صافية ونقية من الغبار والأتربة والتي بدورها تؤثر على الكفاءة الحرارية لهذه المجمعات تأثير سلبي بالغ، لذا فإن المجمعات الشمسية المسطحة هي التي تناسب الظروف المناخية المصرية وبالتالي فإن الدراسة سوف تركز على هذا النوع من المجمعات.

1- المجمعات الشمسية المسطحة : Flat-Plate Solar Collectors

يعتبر هذا النوع من المجمعات الشمسية هو الأكثر شيوعاً واستخداماً في العالم كله خاصة في المناطق التي تقع عند زوايا خط العرض العليا (أكثر من 25°N أو -25°S).

حيث يستخدم فى تسخين السوائل والغازات (ماء - هواء - زيت الخ.) بالطريقة المباشرة والتى يمر فيها المائع مباشرة داخل المجمع الشمسي حيث يكتسب حرارة تنقل إليه بثلاث طرق لانتقال الحرارة (بالإشعاع من أشعة الشمس المباشرة وبالحمل من سطح الامتصاص وبالنوصيل أيضاً من سطح الامتصاص) أو غير المباشر بواسطة مبادل حرارى إضافى.

مميزات المجمعات الشمسية المسطحة

Advantages of flat-plate solar collectors:

- (1) يقوم بتجميع ثلاثة عناصر من الأشعة الشمسية وهى الأشعة الشمسية المباشرة direct solar radiation والأشعة الشمسية المشتتة diffuse solar radiation .reflected solar radiation from the ground
- (2) قابل للحركة لملاحقة أشعة الشمس من الشروق وحتى الغروب.
- (3) يحتاج إلى صيانة بسيطة أثناء عمليات التشغيل.
- (4) أكثر بساطة في التصميم والتنفيذ والتشغيل من النوع المركز Concentrating
- (5) يعتبر هذا النوع من المجمعات الشمسية اقتصادي في عمليات التسخين التي تتطلب درجة حرارة أقل من 100°C.
- (6) يستخدم في العديد من التطبيقات سواء في عمليات تسخين السوائل أو الغازات حيث تستغل المواقع الساخنة بواسطة هذه المجمعات في تدفئة منازل الإنسان وإسطبلات الماشية ومساكن الدواجن والبيوت المحمية وعمليات التجفيف وغيرها من التطبيقات المختلفة.

ينقسم هذا النوع من المجمعات الشمسية على حسب نوع مائع التشغيل إلى نوعين أساسيين هما: operating fluid

أولاً: سخانات الماء الشمسية : Solar Water Heaters

يستخدم هذا النوع من السخانات الشمسية في تسخين السوائل المختلفة (ماء نقى - ماء مخلط بسوائل مانعة للتجمد والغليان - زيت) ويطلق عليه اسم وعاء التسخين الشمسي solar panel وهو نوع شائع الاستخدام ويتميز بكفاءة وأداء حراري عاليين وبالتالي فإنه يستخدم على نطاق واسع في العديد من التطبيقات التي تتطلب ماء أو سائل ساخن خاصية في موسم الشتاء مثل: البيوت المحمية - إسطبلات الماشية - مساكن الدواجن - الورش الزراعية - الاستعمالات المنزليه المختلفة - عمليات تصنيع الغذاء النباتي والحيوانى - عمليات التجفيف المختلفة. يتكون هذا النوع من السخانات الشمسية من ستة أجزاء رئيسية كما هي موضحة بالشكل (12-2) وهي:

(1) صندوق السخان : Panel Box

في الغالب يكون مستطيل الشكل ويصنع إما من الخشب أو الألمنيوم أو الحديد وذلك بغرض تقليل الحرارة المفقودة من السخان إلى الوسط المحيط.

(2) اللوح الماصل : Absorber Plate

يعتبر هذا الجزء هو أهم أجزاء السخان الشمسي ويكون أيضاً مستطيل الشكل ويصنع رقائق (صفائح) من النحاس أو الألمنيوم بسمك 2mm ومن الناحية الاقتصادية يفضل أن يكون من الألمنيوم نظراً لرخص ثمنه مقارنة بنفس الوحدة من النحاس على الرغم من الفارق بين الألمنيوم والنحاس في معامل التوصيل (k for aluminum = 205 W/m.^oC; k for copper = 385 W/m.^oC) ويطلى هذا السطح باللون الأسود المطفأ matt black paint لزيادة معامل الامتصاص للأشعة الشمسية الساقطة عليه وفي نفس الوقت تقليل فقد بواسطه الانبعاث الحراري للأشعة طويلة الموجة من السطح الماصل إلى الوسط المحيط.

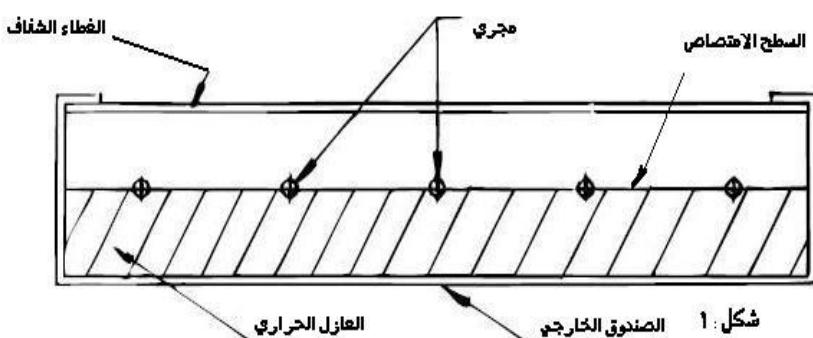
(3) الأنابيب النحاسية : Copper Pipes

من الأجزاء الهامة أيضاً في سخانات الماء الشمسية وتستخدم بأقطار مختلفة وأن كانت الأبحاث العديدة التي أجريت على هذا النوع من السخانات أوضحت أن أفضل قطر يمكن استخدامه هو 12mm يتم تثبيت المواسير النحاسية

بطريقة محكمة في اللوح الماصل absorber plate من أعلى أو من أسفل والثبت الشائع والأفضل هو من أعلى اللوح الماصل ويكون تثبيت هذه الأنابيب إما على التوالي series أو على التوازي parallel كما هو موضح بالشكل (2-13) وتطلى هذه الأنابيب النحاسية أيضاً باللون الأسود (طلاء أسود مطفاً) من نفس نوع الطلاء المستخدم من قبل مع لوح الامتصاص. تقوم هذه الأنابيب النحاسية ولوح الامتصاص بتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية كما تقوم بنقل الحرارة الممتصة والمكتسبة إلى السائل المار بداخل الأنابيب.

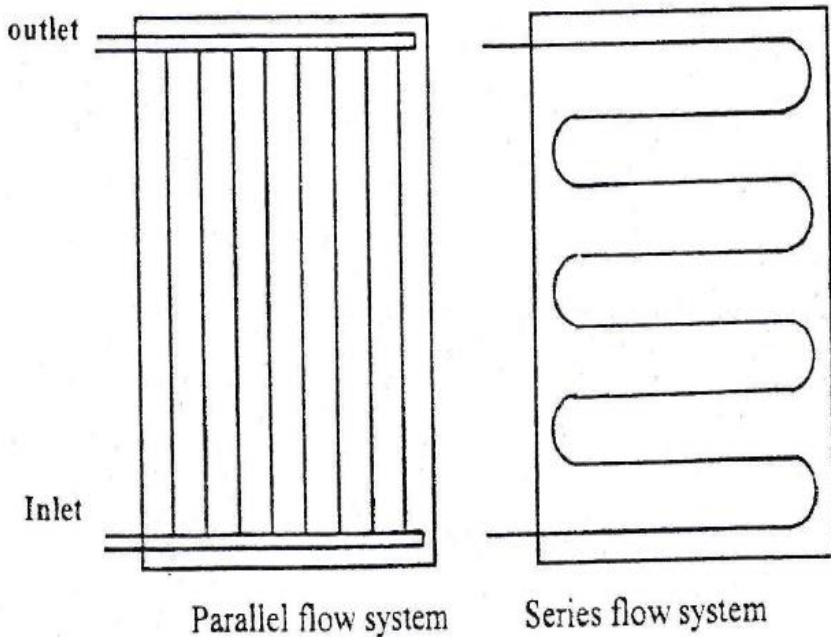
(4) المادة العازلة : Insulation Materials

وهي المادة التي تقوم بملئ الفراغ الموجود في جوانب وظهر السخان الشمسي بين لوح الامتصاص وصندوق السخان وهذه المادة تستخدم أساساً لقليل كمية الحرارة المفقودة بالتوصيل بين أجزاء السخان الداخلية وبالحمل الطبيعي من جوانب وظهر السخان الشمسي مع الوسط المحيط بالسخان.



شكل ١ الصندوق الخارجي

شكل (2-12): قطاع في سخان ماء شمسي



شكل (2-13): تثبيت الانابيب النحاسية باللوح الماصل إما على التوالي او على التوازي

Glass Cover : (5) الغطاء الزجاجي :

وهو الجزء الذى يقوم بتنعيم السخان الشمسي من اعلى ويجب أن يكون هذا الغطاء من مادة شفافة تسمح بنفاذ الأشعة ذات الموجات القصيرة إلى داخل السخان وفي نفس الوقت لا تسمح بنفاذ الأشعة ذات الموجات الطويلة من داخل السخان إلى خارجه. يمكن استخدام زجاج بسمك يتراوح بين 3-5mm وأهم فوائد الغطاء الزجاجي هو تقليل الحرارة المفقودة بالإشعاع وبالحمل الطبيعي من سطح لوح الامتصاص إلى الوسط المحيط. ويجب ألا تقل المسافة الرأسية بين لوح الامتصاص وبين الغطاء الزجاجي عن 5cm ولا تزيد عن 10cm.

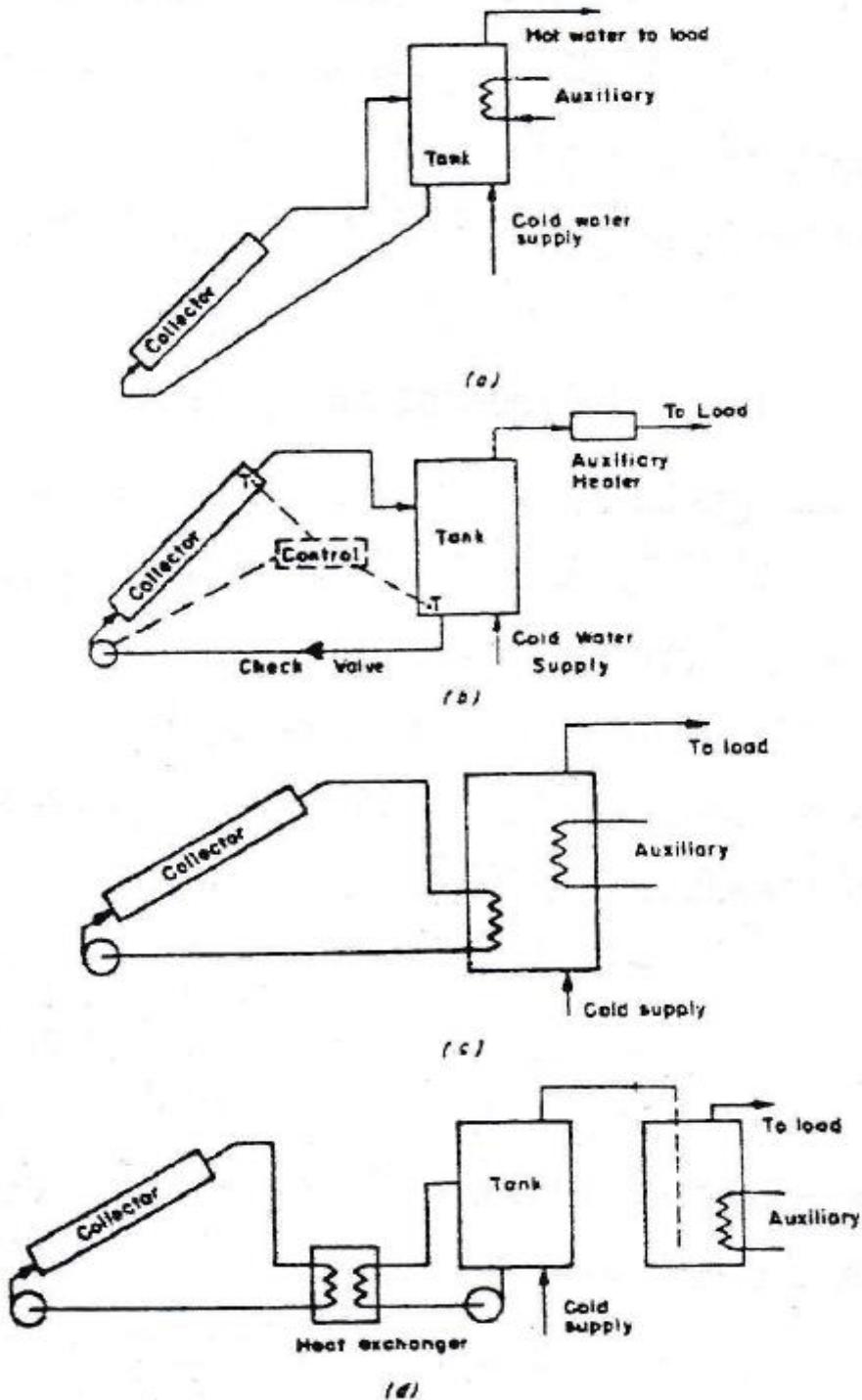
(6) خزان تخزين الطاقة : Energy Storage Tank

بعد مرور الماء بداخل السخان الشمسي وامتصاصه الحرارة المتولدة بداخله يتم تخزين الماء الساخن داخل خزان معزول جيداً (لتقليل كمية الحرارة المفقودة بالحمل خلال جدران الخزان) إلى حين استخدامه في أي من التطبيقات المختلفة. يختلف حجم هذا الخزان على حسب مساحة سطح المجمع الشمسي (السخان الشمسي) وكمية الماء الساخن ودرجة حرارة الماء المطلوبة واللازمة للتطبيق. وخزان التخزين المعزول يمكن وضعه تحت سطح الأرض كما يمكن وضعه فوق سطح الأرض. يتوقف احتياج هذا النوع من السخانات الشمسية إلى طلمبة دفع للماء على حسب وضع خزان التخزين بالنسبة للسخان الشمسي، فإذا كان الخزان في مستوى أعلى من السخان فإن الماء يمر داخل السخان تحت تأثير الضغط الطبيعي للماء من أسفل نقطة فيه والتي تسمى بنقطة دخول الماء water inlet ويخرج الماء من أعلى نقطة في السخان في مستوى أدنى من السخان الشمسي فإن النظام يحتاج إلى طلمبة لدفع الماء داخل السخان حيث يتم توصيل الطلمبة بأسفل نقطة في خزان التخزين مع نقطة دخول الماء للسخان.

بعد دراستنا للأجزاء الرئيسية لسخانات الماء الشمسية سوف نتعرض البعض نظم تسخين الماء بالطاقة الشمسية والتي كما سبق أن أوضحنا أن لها العديد من التطبيقات والاستخدامات في المجال الزراعي بصفة عامة.

2- نظم تسخين الماء بالطاقة الشمسية Solar Water Heating Systems:

العناصر الأساسية في سخانات الماء الشمسية يمكن ترتيبها في شكل نظم تسخين كما هو موضح بالشكل (14-2).



شكل (14-2): نظم تسخين الماء بالطاقة الشمسية

1-2 نظام الدوران الطبيعي : Natural Circulation System :

يوضع الخزان في هذا النظام في مستوى أعلى من مستوى السخان الشمسي والماء يمر ويدور بين خزان التخزين والسخان بواسطة الحمل الطبيعي natural convection فكلما تم تجميع وامتصاص كمية كبيرة من الطاقة الشمسية بواسطة السخان الشمسي كلما اكتسب الماء المار داخل السخان طاقة حرارية فترتفع درجة حرارته وبالتالي تقل كثافة الماء فترتفع إلى أعلى ليحل محلها ماء بارد وهذا تتم الدورة الطبيعية للسريان. يحتوى هذا النظام كما هو موضح بالشكل (2-14 أ) على سخان إضافى auxiliary heater يوضع أعلى خزان التخزين وقريب من نقطة سحب ماء السخان للتطبيق بغرض رفع درجة حرارة الماء بخزان التخزين إلى الدرجة المطلوبة واللازمة لعملية التطبيق.

2- نظام الدوران الجبى : Forced Circulation System :

يحتوى هذا النظام على طلمبة لدفع الماء داخل السخان الشمسي حيث يوضع خزان التخزين تقريباً في نفس مستوى السخان، كما يحتوى هذا النظام على نظام تحكم control system يحتوى على ثرمومستات فرقى differential thermostat للتحكم فى تشغيل طلمبة دفع الماء (فتح وغلق الطلمبة) فعندما تكون درجة حرارة لوح الامتصاص أعلى من درجة حرارة الماء داخل خزان التخزين يقوم نظام التحكم بتشغيل الطلمبة والعكس عندما تكون درجة حرارة لوح الامتصاص تساوى أو أقل من درجة حرارة الماء داخل خزان التخزين يقوم نظام التحكم بغلق طلمبة دفع الماء. كما يحتوى هذا النظام على سخان إضافى auxiliary heater يوضع خارج خزان التخزين على خط الماء الساخن الخارج الخزان والذاهب إلى حمل التطبيق. هذا النظام مزود أيضاً بصمام ضبط check valve يقوم بمنع ارتداد دورة السريان من السخان الشمسي إلى الخزان نتيجة للحرارة المفこءة أثناء الليل، لذا فإن هذا الصمام يوضع على خط الماء البارد الواسع بين أسفل الخزان وطلمبة دفع الماء كما هو موضح بالشكل (2-14 ب). يمكن استخدام هذا النظام في المناطق الشديدة البرودة (حيث تنخفض درجة حرارة الجو إلى مادون الصفر المئوي) حيث يحدث تجمد للماء الموجود داخل الأنابيب النحاسية مما يؤدي إلى تكسير وإتلاف هذه الأنابيب. وتلافي مثل هذه المشكلة يجب تطوير هذا النظام ليكون واحد من النظائر الموضعين بالشكلين (2-14 ج ، د)

ولتلافي ومقاومة ظاهرة التجمد Freezing phenomenon داخل السخانات الشمسية في المناطق الشديدة البرودة تستخدم أحد الطرق الخمس التالية:

(1) استخدام المحاليل المضادة للتجمد : Using of antifreeze solutions :

يتم مزج المحاليل المضادة للتجمد مع الماء الموجود بخزان التخزين والذي يمر داخل السخان الشمسي solar panel مع استخدام مبادل حراري heat exchanger يوضع بين السخان وخزان التخزين كما في الشكلين (14-2 ج ، د) وقد يوضع المبادل الحراري خارج خزان التخزين كما في الشكل (14-2 د). أو يكون على شكل ملف يوضع داخل خزان التخزين كما في الشكل (14-2 ج).

(2) استخدام الهواء الساخن : Using of hot air :

يمكن استخدام الهواء الساخن كمائع ناقل للحرارة لمنع ظاهرة التجدد داخل السخانات الشمسية وذلك بدفعه داخل السخان أو وحدة المبادل الحراري المتصلة بالسخان كما في الشكل (14-2 د).

(3) استخدام الماء الساخن : Using of hot water :

يمكن دفع تيار من الماء الساخن الموجود بخزان التخزين ليمر داخل الأنابيب النحاسية بالسخان في الوقت الذي يتوقع فيه حدوث التجمد ولكن يعيب هذه الطريقة زيادة الحرارة المفقودة من خزان التخزين، لذا يجب إضافة نظام تحكم لتشغيل طلمبة دفع الماء أثناء الليل في الوقت الذي تنخفض فيه درجة الحرارة وتقترب من نقطة التجمد. هذه الطريقة يمكن استخدامها في المناطق التي يكون فيها ظاهرة التجمد نادرة الحدوث أو تحدث ولكن بصورة غير منتظمة للمحافظة على كمية الحرارة المخزنة داخل خزان التخزين أثناء النهار وتقليل الحرارة المفقودة وبالتالي.

(3) صرف الماء من السخان الشمسي:

Draining water from solar panel

عند وقف التشغيل قبل غروب الشمس يتم صرف جميع الماء الموجود بأنابيب السخان إما إلى خزان التخزين أو وحدة المبادل الحراري أو خارج النظام كجزء مفقود وبالتالي تكون الأنابيب النحاسية خالية تماماً من مصدر التجمد.

(5) تصميم الأنابيب ولوح الامتصاص :

Designing the solar panel plate and piping

يمكن تصميم السخان الشمسي بحيث يكون لوح الامتصاص والأنابيب من مواد تقاوم عملية التجمد مثل كاوتش بوتيل butyl rubber والتى تتمدد عند تجمد الماء بداخلها.

إذا كان انخفاض درجة الحرارة داخل السخان الشمسي تؤدى إلى حدوث أضرار بالسخان أثناء التشغيل (عملية تجمد الماء بداخله) فان ارتفاع درجة الحرارة داخل سخانات المياه الشمسية تؤدى أيضاً إلى حدوث أضرار أخرى وهى الأضرار التى تترجم عن ارتفاع درجة حرارة الماء داخل السخان اعلى من نقطة الغليان boiling point. اتزان درجة الحرارة داخل السخانات الشمسية الجيدة التصميم تكون اعلى من نقطة غليان الماء (100°C under atmospheric pressure) تحت ظروف عدم حدوث سريان منتظم للماء داخل السخان وفى نفس الوقت تكون هناك زيادة كبيرة فى كمية الأشعة الشمسية الساقطة على سطح السخان مع ارتفاع فى درجة حرارة الهواء المحيط بنظام التسخين الشمسي. يتوقع حدوث مثل هذه المشاكل فى المناطق الحارة وعند توقف عملية سحب الماء الساخن من خزان التخزين إلى عمليات التطبيق وإحلال ماء بارد مكانه لامتصاص الطاقة الحرارية الزائدة والمتوفرة داخل السخان الشمسي. ويمكن تفادى وتقليل هذه المشاكل بإتباع احد طرق الوسائل التالية:

[1] استخدام محلائل المضادة للتجمد :

يمكن استخدام بعض محلائل المضادة للتجمد والتى تؤدى إلى رفع نقطة غليان السائل إلى اعلى من 100°C مثل محلول 50% ايثيلين جليكول أو محلول 50% بروبيلين جليكول 50% ethylene glycol or 50% propylene glycol الذى يضاف إلى الماء فيؤدى إلى رفع نقطة غليان السائل (خلط الماء ومحلول مضاد للتجمد) تحت تأثير الضغط الجو العادى إلى درجة حرارة 112°C عند استخدام محلول 50% ethylene glycol والى درجة حرارة 108°C عند استخدام محلول 50% propylene glycol.

[2] تشغيل النظام تحت ضغوط أعلى من الضغط الجوى

Operating the system at pressures of several atmosphere:

يمكن وضع سائل التشغيل تحت ضغط أعلى من الضغط الجوى العادى وبالتالي يؤدى ذلك لرفع درجة حرارة نقطة الغليان خصوصاً عند استخدام المحاليل المضادة للتجمد مع وضع السائل تحت ضغط.

يعادل 4 ضغط جوى (405.2 kB/m^2)
فإن نقطة غليان السائل ترتفع إلى 150°C عند استخدام 50% ethylene glycol
والى 145°C عند استخدام .50% propylene glycol.

[3] استخدام صمام أمان للضغط : Using pressure relief valve :

من الناحية العملية يفضل استخدام صمام أمان لتسريب البخار الزائد والمتولد من غليان سائل التشغيل وتحويل جزء منه إلى بخار.

ثانياً: سخانات الهواء الشمسية : Solar Air Heaters

تستخدم سخانات الهواء الشمسية فى العديد من التطبيقات مثل تجفيف بعض محاصيل الحبوب والفاكهه والخضر والنباتات الطبية والعطرية كما تستخدم فى تدفئة الهواء الداخلى للبيوت المحمية وإسطبلات الماشية ومساكن الدواجن أثناء موسم الشتاء وغيرها من التطبيقات المختلفة. يتكون هذا النوع من السخانات من أربع أجزاء رئيسية وهى:-

(1) صندوق المجمع الشمسي : Solar collector Box

فى الغالب يكون مستطيل الشكل ويصنع إما من الخشب أو الألومونيوم أو الحديد وذلك بغرض تقليل الحرارة المفقودة من السخان إلى الوسط المحيط.

(2) اللوح الماصل : Absorber Plate

يعتبر هذا الجزء هو أهم أجزاء السخان الشمسي ويكون أيضاً مستطيل الشكل وينصح بصنع رقائق (صفائح) من النحاس أو الألومونيوم بسمك 2mm ومن الناحية الاقتصادية يفضل أن يكون من الألومونيوم نظراً لرخص ثمنه مقارنة بنفس الوحدة من النحاس. اللوح الماصل فى هذا النوع من السخانات يكون بدون الأنابيب

النحاسية كما أنه يمكن أن يكون مسطح أملس flat plate أو يتم تشكيل سطح اللوح الماصل ليكون مجعد السطح corrugated plate بعرض زيادة وحدة مساحة سطح الامتصاص بالنسبة لوحدة مساحة المجمع الشمسي كما يزيد من الطاقة الحرارية للأشعة الشمسية الساقطة على السطح الماصل ويطلى هذا السطح باللون الأسود المطفأ matt black paint لزيادة معامل الامتصاص للأشعة الشمسية الساقطة عليه.

(3) المادة العازلة : Insulation Materials

وهي المادة التي تقوم بملئ الفراغ الموجود في جوانب وظهر المجمع الشمسي بين لوح الامتصاص وصندوق المجمع وهذه المادة تستخدم أساساً لتقليل كمية الحرارة المفقودة بالتوصيل بين أجزاء المجمع الداخلية وبالحمل الطبيعي من جوانب وظهر المجمع الشمسي مع الوسط المحيط به.

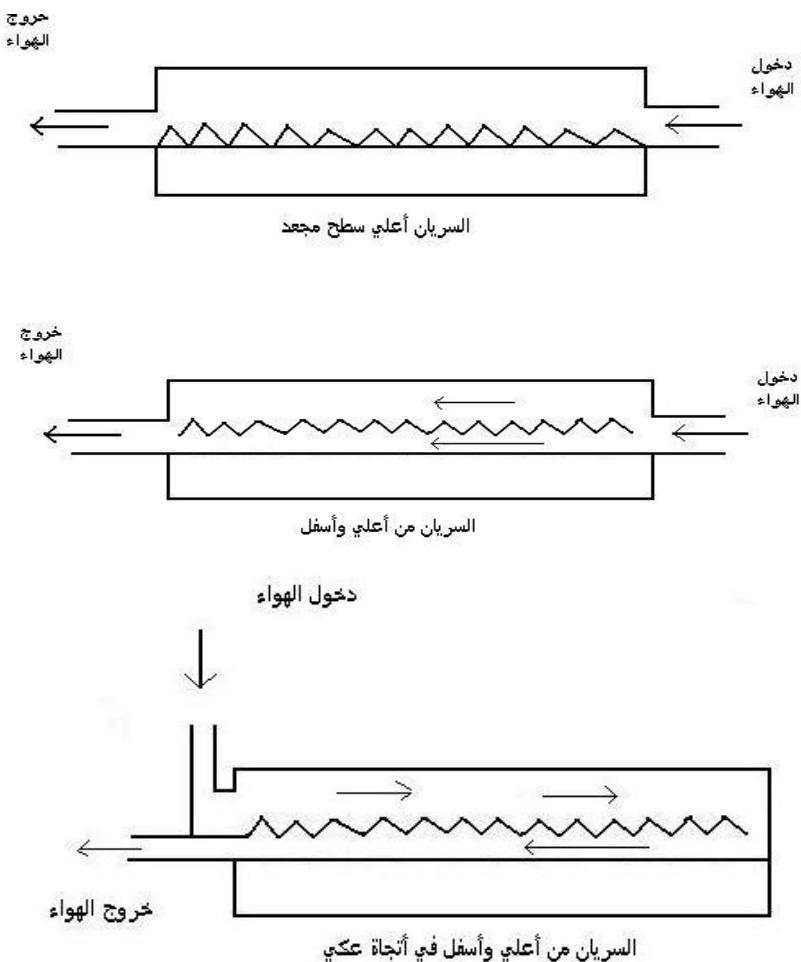
(4) الغطاء الزجاجي : Glass Cover

وهو الجزء الذي يقوم بتغطية المجمع الشمسي من أعلى ويجب أن يكون هذا الغطاء من مادة شفافة تسمح بنفذ الأشعة ذات الموجات القصيرة إلى داخل المجمع وفي نفس الوقت لا تسمح بنفذ الأشعة ذات الموجات الطويلة من داخل المجمع إلى خارجه. يمكن أيضاً استخدام زجاج بسمك يتراوح بين 3-5mm وأهم فوائد الغطاء الزجاجي هو تقليل الحرارة المفقودة بالإشعاع وبالحمل الطبيعي من سطح لوح الامتصاص إلى الوسط المحيط. ويجب ألا تقل المسافة الرأسية بين لوح الامتصاص وبين الغطاء الزجاجي عن 5cm ولا تزيد عن 10cm.

في هذا النوع من السخانات الشمسية تستخدم مروحة سحب suction fan بدلاً من طلمبة دفع الماء وذلك لسحب الهواء من خارج المجمع الشمسي ليمر على سطح الامتصاص فيكتسب حرارة منه ليخرج على درجة حرارة أعلى من تلك الداخل عليها. سريان الهواء داخل المجمع الشمسي قد يكون من أعلى فقط upper flow system وقد يكون من أعلى وأسفل في اتجاه متوازي parallel flow system وقد يكون أعلى وأسفل في اتجاه عكسي counter flow system هو موضح بالشكل (2-15).

يتميز هذا النوع من السخانات الشمسية (سخانات الهواء الشمسي) عن النوع السابق (سخانات الماء الشمسية) بالميزات التالية:-

- 1) لا تحدث به ظاهرة التجمد ولا ظاهرة الغليان كما هو الحال في سخانات الماء الشمسية.
- 2) سهل التصميم والتركيب والتشغيل ولا يحتاج في تشغيله إلى خبرة كبيرة.
- 3) يحتاج إلى صيانة أقل من سخانات الماء الشمسية.
- 4) اقتصادي إذ لا يحتوى على أنابيب نحاسية كما هو الحال في سخانات الماء الشمسية.



شكل (15-2): سخان هواء شمسي ونظم سريان الهواء داخل السخان

Thermal Performance Tests of Solar Collectors

ظهر العديد من التصميمات المختلفة للمجمعات الشمسية في الأسواق التجارية في منتصف السبعينيات من القرن الماضي مما تطلب ضرورة تطوير اختبارات الأداء الحراري بغرض توفير بيانات كافية عن الأداء الحراري لكل نوع من هذه المجمعات. الطريقة الأساسية لقياس وحساب وتحديد الأداء الحراري للمجمع الشمسي تكمن في تعرض المجمع الشمسي للأشعة الشمسية الساقطة وقياس كل من درجة حرارة خروج ودخول مائع التشغيل من والى المجمع الشمسي وأيضاً قياس كتلة معدل سريان مائع التشغيل داخل المجمع. ويمكن وصف الأداء الحراري للمجمعات الشمسية بدلالة العديد من العوامل التي تستخدم خصيصاً لتحديد الأداء وهذه العوامل وتأثيرها على الأداء الحراري للمجمعات الشمسية سواء المستخدمة في تسخين الغازات أو السوائل تم دراستها بواسطة العديد من الباحثين والعلماء ويمكن توضيحها كما يلى:

1- الطاقة الشمسية المتاحة : (Q)

يمكن تحديد وحساب كمية الطاقة الشمسية المتاحة بدلالة الطاقة الشمسية على سطح المجمع الشمسي (R , W/m^2) ومساحة سطح المجمع الشمسي (A_c , m^2). لذا فإن كمية الطاقة الشمسية المتاحة (Q) يمكن حسابها من المعادلة التالية:

$$Q = R A_c \quad , \quad W$$

2- الطاقة الشمسية الممتصة : (Q_a)

يمكن استنتاج كمية الطاقة الشمسية الممتصة بدلالة الطاقة الشمسية الساقطة بتدفق على سطح المجمع الشمسي (R) ومساحة سطح المجمع الشمسي (A) ومعامل نفاذ غطاء المجمع للأشعة الشمسية (τ) ومعامل امتصاص السطح الممتص للأشعة الشمسية (α). لذا فإن كمية الشمسي الممتصة يمكن تحديدها حسابها من المعادلة التالية:

$$Q_a = \tau \alpha R A_c \quad , \quad W$$

or

$$Q_a = \tau \alpha Q , \quad W$$

يمكن تحديد وحساب معامل نفاذ غطاء المجمع الشمسي للأشعة الشمسية من العلاقة التالية :

$$\tau = \tau_{\max} - 0.00487 \exp[0.0936(\theta - 30)]$$

يمكن تحديد وحساب معامل نفاذ غطاء المجمع الشمسي للأشعة الشمسية من العلاقة التالية :

$$\alpha = \alpha_{\max} - 0.00476 \exp[0.0940(\theta - 35)]$$

حيث أن (θ) هى زاوية سقوط الأشعة الشمسية على سطح المجمع الشمسي وقد تم توضيح كيفية تحديدها وحسابها عند دراسة وضع الشمس.

3- كفاءة الامتصاص : (η_a)

يمكن تحديد وحساب كفاءة الامتصاص للمجمع الشمسي عن طريق قسمت كمية الطاقة الشمسية الممتصة (Q_a) على كمية الطاقة الشمسية المتاحة (Q) كما هو موضح بالعلاقة الرياضية التالية:

$$\eta_a = \frac{Q_a}{Q} \times 100 , \%$$

4- الحرارة المكتسبة والمستفاد بها للتخزين Useful heat gain to storage (Q_c)

يمكن استنتاج كمية الحرارة المكتسبة للمجمع الشمسي بدلالة درجة حرارة دخول السائل للمجمع (T_{fi}) ودرجة حرارة خروج السائل من المجمع (T_{fo}) وكتلة سريان السائل داخل المجمع (m) والحرارة النوعية لسائل التشغيل (C_p). لذلك فإن كمية الحرارة المكتسبة والمستفاد بها للتخزين يمكن تحديدها وحسابها من المعادلة الرياضية التالية:

$$Q_c = m C_p (T_{fo} - T_{fi}), \quad W$$

5- كفاءة عملية انتقال الحرارة : η_h

يمكن تحديد وحساب كفاءة عملية انتقال الحرارة داخل المجمع الشمسي أثناء عملية التشغيل بقسمة كمية الحرارة المكتسبة والمستفاد بها للتخزين (Q_c) على كمية الحرارة الممتصة (Q_a) كما هو موضح بالمعادلة التالية:

$$\eta_h = \frac{Q_c}{Q_a} \times 100 , \%$$

6- الحرارة المفقودة من المجمع الشمسي:

Solar collector heat losses (Q_L)

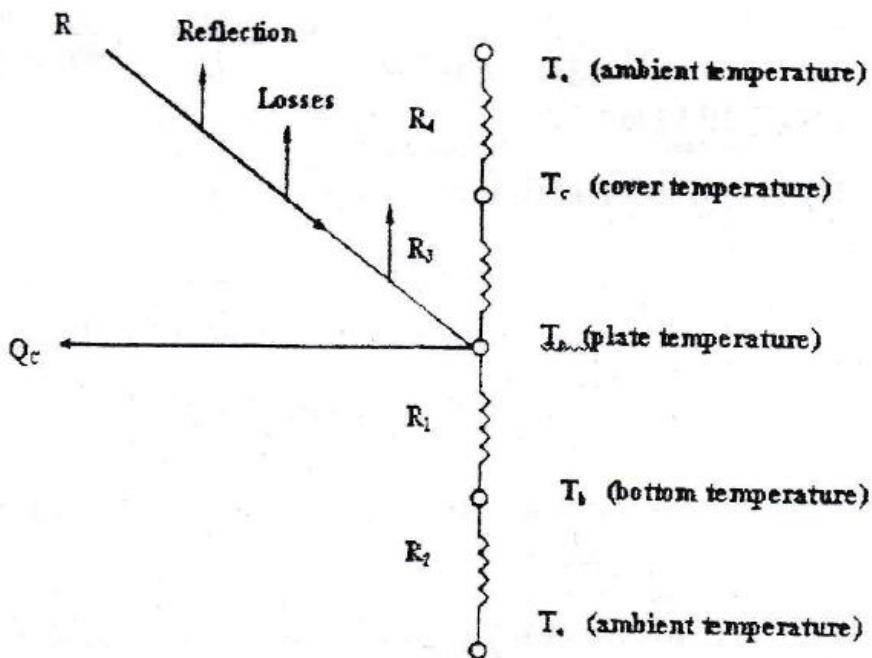
يمكن تعريف كمية الحرارة المفقودة من المجمع الشمسي أثناء عملية التشغيل بأنها عبارة عن الفرق بين كمية الحرارة الممتصة (Q_a) وكمية الحرارة المكتسبة والمستفاد بها للتخزين (Q_c) لذا فإن كمية الحرارة المفقودة من المجمع الشمسي يمكن تحديدها وحسابها من المعادلة التالية:

$$Q_L = Q_a - Q_c , \quad W$$

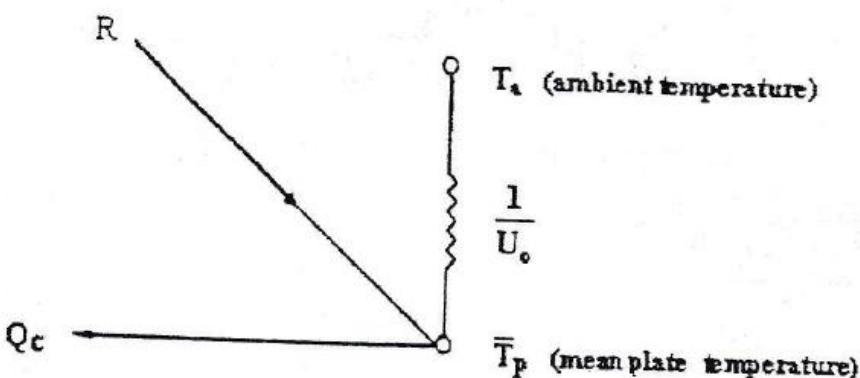
ولكن العديد من علماء وباحثين الطاقة الشمسية قرروا أن كمية الطاقة الحرارية المفقودة من المجمع الشمسي أثناء عملية التشغيل يمكن تحديدها وحسابها بدلاًلة معامل انتقال الحرارة الكلى (U_o) ومساحة سطح المجمع الشمسي (A_c) ومتوسط درجة حرارة السطح الماصل للمجمع (\bar{T}_p) ودرجة حرارة الهواء المحيط بالمجمع الشمسي (T_a) كما هو موضح بالمعادلة التالية:

$$Q_L = A_c U_o (\bar{T}_p - T_a) , \quad W$$

كمية الطاقة الحرارية المفقودة من المجمع الشمسي إلى الوسط المحيط به تتم بواسطة التوصيل الحراري والحمل الطبيعي وأخيراً الإشعاع الحراري. من المفيد جداً تطوير مفهوم معامل انتقال الحرارة الكلى للمجمع الشمسي لتسهيل العمليات الرياضية المستخدمة في عمليات الحساب. توزع كمية الطاقة الشمسية الممتصة إلى فوائد حرارية خلال السطح العلوي والسطح السفلى وجوانب المجمع الشمسي والباقي من هذه الكمية يكون متاح للتخزين. يوضح الشكل (2-16) والشكل (2-17) الشبكة الحرارية المقابلة لهذه العملية.



شكل (16-2): الشبكة الحرارية لمجمع شمسي مسطح



شكل (17-2): الشبكة الحرارية المتزنة لمجمع شمسي مسطح

حيث أن (R_1) تمثل انتقال الحرارة بالتوسيط من السطح السفلي و (R_2) مقاومة انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي وبالإشعاع بين السطح السفلي والوسط المحيط ويمكن إهمال هذا الجزء في المجمعات الشمسية التي تكون معزولة جيداً من أسفل و (R_3) مقاومة انتقال الحرارة بواسطة الحمل والإشعاع بين السطح

الماس وغطاء المجمع الشمسي و (R_4) مقاومة انتقال الحرارة بواسطة الحمل والإشعاع بين غطاء المجمع الشمسي من أعلى والوسط المحيط بالمجمع. يمكن إيجاد قيمة معامل انتقال الحرارة الكلى بجمع كل من معامل انتقال الحرارة من السطح العلوي (U_4) والسطح السفلى (U_b) والجوانب (U_e) بالنسبة إلى مساحة سطح المجمع الشمسي (A_c) كما هو موضح بالمعادلة التالية:

$$U_o = U_t + U_b + U_e, \quad W/m^2/K$$

يمكن تحديد وحساب معامل فقد الحرارة من السطح العلوي للمجمع الشمسي ذو الغطاء الزجاجي المفرد (U_t) من المعادلة الرياضية التالية:

$$U_t = \left(\frac{1}{h_{pc} + h_{rpc}} + \frac{1}{h_{cw} + h_{rcw}} \right)^{-1}, \quad W/m^2 / K$$

ويمكن تحديد وحساب معامل انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي (h_{pc}) بين السطح الماس والغطاء الزجاجي للمجمع الشمسي بدالة رقم ناسيلت (Nu) ومعامل التوصيل الحرارى للهواء (k) والمسافة الافقية بين اللوح الماس وغطاء الزجاجي (L) من المعادلة الآتية:

$$h_{pc} = Nu \frac{k}{L}$$

المعادلة التالية تعطى العلاقة بين رقم ناسيلت ورقم ريلي (R_a) للسطح المائل بزاوية تتراوح بين 0° و 75° كما يلى:

$$Nu = 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1708}{R_a \cos \beta} \right]^+ \left(1 - \frac{1708(\sin \beta)^{1.6}}{R_a \cos \beta} \right) + \left[\left(\frac{R_a \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]$$

$$R_a = G_r P_r$$

$$G_r = \frac{g \beta' L^3 (T_p - T_c)}{\mu^2}$$

حيث أن (g) عجلة الجاذبية الأرضية و (β') معامل التمدد الحجمي (الغاز المثالى $T_f = 1/\beta$) و (β) الزوجة الكيناميكية. الأُس الموجب على بعض الأقواس يعني أن قيمة القوس لابد وأن تكون موجبة الإشارة وإذا كانت قيمة القوس سالبة الإشارة يستخدم صفر قيمة لهذا القوس.

معامل انتقال الحرارة بالإشعاع بين اللوح الماصل والغطاء الزجاجي للمجمع الشمسي (h_{rpc}) يمكن تحديده وحسابه بدلالة ثابت استيفاء بولتزمان الذي يساوى 5.67×10^{-8} وات/م²/كلفن ودرجة حرارة حرارة اللوح الماصل (T_p) ودرجة حرارة الغطاء الزجاجي للمجمع الشمسي (T_e) ومعامل انبعاث اللوح الماصل للأشعة (ϵ_p) ومعامل انبعاث الغطاء الزجاجي للأشعة (ϵ_e) من المعادلة التالية:

$$h_{rpc} = \frac{\sigma(T_p + T_e)(T_p^2 + T_e^2)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_e} - 1}, \quad \text{W/m}^2 / \text{K}$$

معامل انتقال الحرارة بالحمل بسبب الرياح يمكن تحديده وحسابه بدلالة سرعة الرياح (v) بالمتر على الثانية (m/s) من المعادلة التالية:

$$h_{cw} = 2.8 + 3.0(v), \quad \text{W/m}^2/\text{K}$$

وأخيراً معامل انتقال الحرارة بالإشعاع بين الغطاء الزجاجي والسماء يمكن تحديده وحسابه بدلالة درجة حرارة الغطاء الزجاجي للمجمع الشمسي (T_e) ودرجة حرارة السماء (T_s) من المعادلة التالية:

$$h_{rcw} = \sigma \epsilon_e (T_e + T_s)(T_e^2 + T_s^2), \quad \text{W/m}^2 / \text{K}$$

$$T_s = 0.0552 T_a^{1.5}, \quad \text{K}$$

معامل فقد الحرارة من السطح السفلي للمجمع الشمسي (U_p) يمكن تحديده وحسابه بدلالة معامل التوصيل الحراري للمادة العازلة (k_i) ومعامل التوصيل الحراري للمادة المصنوع منها السطح السفلي للمجمع (k_s) سمك المادة العازلة (Z_i) وسمك المادة المصنوع منها السطح السفلي للمجمع (Z_s) من المعادلة التالية:

$$U_p = \frac{1}{\frac{Z_i}{k_i} + \frac{Z_s}{k_s}} , \quad \text{W/m}^2 / K$$

معامل فقد الحرارة من سطح القطاع الجانبي للمجمع الشمسي (U_e) يمكن تحديده وحسابه بدلالة معامل التوصيل الحراري للمادة العازلة (k_i) سماكة المادة العازلة (Z_i) وطول المجمع الشمسي (L) وعرض المجمع الشمسي (W) وسمك القطاع الجانبي للمجمع الشمسي (Z) من المعادلة التالية:

$$U_p = \frac{k_i}{Z_i} \left[\frac{2(L + W)Z}{A_c} \right] , \quad \text{W/m}^2 / K$$

مثال:

احسب معامل انتقال الحرارة الكلى لمجمع شمسي طول 2m وعرضه 1m مع المواصفات التالية:

المسافة الرأسية بين اللوح الماصل والغطاء الزجاجي 50mm

معامل انبعاث اللوح الماصل للأشعة 0.88

درجة حرارة الهواء المحيط بالمجمع الشمسي من الخارج 10°

سرعة الرياح التي تهب على سطح الغطاء الزجاجي 2.4 m/s

درجة الحرارة المتوسطة للوح الماصل 85 °C

زاوية ميل المجمع الشمسي على المستوى الأفقي 45 °

معامل انبعاث الغطاء الزجاجي للأشعة 0.90

معامل التوصيل الحراري للمادة العازلة 0.034 W/m/ °K

معامل التوصيل الحراري للمادة المصنوع منها المجمع الشمسي 202 W/m/K

50 mm	سمك طبقة المادة العازلة داخل المجمع الشمسي
10 mm	سمك المادة المصنوع منها المجمع الشمسي
35 °C	درجة حرارة سطح الغطاء الزجاجي

الحل

$$T = 85 + 273 = 358 \text{ K}$$

$$T_c = 35 + 273 = 308 \text{ K}$$

$$T_f = \frac{358 + 308}{2} = 333 \text{ K}$$

$$\beta' = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{333} \text{ K}^{-1}$$

الخصائص الطبيعية للهواء المحصور بين اللوح الماصل والغطاء الزجاجي يمكن الحصول عليه عند درجة حرارة $T_f = 333 \text{ }^{\circ}\text{K}$ وهي كما يلى:

$$k = 0.0272 \text{ W/m/K}$$

$$\mu = 1.99 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$P_r = 0.7$$

$$G_r = \frac{g\beta'L^3(T_p - T_c)}{\mu^2} = \frac{9.81(0.05)^3(358 - 308)}{333(1.99 \times 10^{-5})^2} \\ = 464942$$

$$R_a = G_r P_r = 464942 (0.7) = 325459.4$$

$$X = \frac{1708}{R_a \cos \beta} = \frac{1708}{324459.4(\cos 45)} \\ = 0.00742175$$

$$Y = [\sin 1.8\beta]^{1.6} = [\sin(1.8)(45)]^{1.6} \\ = 0.98037422$$

$$Z = \left[\frac{R_a \cos \beta}{5830} \right]^{\frac{1}{3}} = \left[\frac{325459.4 \cos 45}{5830} \right]^{\frac{1}{3}} \\ = 3.4049$$

$$N_u = 1 + 1.44 [1 - X] [1 - (X)(Y)] + [Z - 1] \\ N_u = 1 + 1.44 [1 - (0.00742175)] [1 - (0.00742175)(0.98037422)] \\ + [3.4049 - 1] \\ = 4.8238$$

معامل انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي (h_{pc}) بين اللوح الماصل والغطاء الزجاجي للمجمع الشمسي يمكن تحديده وحسابه من المعادلة التالية:

$$h_{pc} = N_u \frac{k}{L} = 4.8238 \frac{0.0272}{0.05} \\ = 2.6242 \text{ W/m}^2 / K$$

معامل انتقال الحرارة بالإشعاع (h_{rpe}) بين اللوح الماصل والغطاء الزجاجي للمجمع الشمسي يمكن تحديده وحسابه من المعادلة التالية:

$$h_{rpe} = \frac{\alpha (T_p + T_c) (T_p^2 + T_c^2)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} , \text{ W/m}^2 / K \\ h_{rpe} = \frac{5.67 \times 10^{-8} (358 + 308) ((358)^2 + (308)^2)}{\frac{1}{0.88} + \frac{1}{0.90} - 1} \\ = 6.7513 \text{ W/m}^2 / K$$

معامل انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي بسبب الرياح التي تهب على سطح الجمع الشمسي (h_{ew}) يمكن تحديده وحسابه من المعادلة التالية :

$$h_{ew} = 2.8 + 3.0 (v) = 2.8 + 3.0 (2.4) = 10 \text{ W/m}^2 / K$$

معامل انتقال الحرارة بالإشعاع (h_{rpe}) بين الغطاء الزجاجي للمجمع الشمسي والسماء يمكن تحديده وحسابه من المعادلة التالية:

$$T_s = 0.0552 T_a^{1.5} = 0.0552 (283)^{1.5} = 263 \text{ K}$$

$$h_{rcw} = \alpha \varepsilon_c (T_c + T_s) (T_c^2 + T_s^2) , \quad \text{W/m}^2 / K$$

$$\begin{aligned} h_{rcw} &= 5.67 \times 10^{-8} \times 0.90 (308 + 263) ((308)^2 + (263)^2) \\ &= 4.7796 \quad \text{W/m}^2 / K \end{aligned}$$

معامل فقد الحرارة من السطح العلوي للمجمع الشمسي (U_e) يمكن الان تحديده وحسابه من المعادلة التالية:

$$U_e = \left(\frac{1}{h_{pc} + h_{rpc}} + \frac{1}{h_{cw} + h_{rcw}} \right)^{-1} , \quad \text{W/m}^2 / K$$

$$\begin{aligned} U_e &= \left(\frac{1}{2.6242 + 6.7513} + \frac{1}{10 + 4.7796} \right)^{-1} \\ &= 5.7365 \quad \text{W/m}^2 / K \end{aligned}$$

معامل فقد الحرارة من السطح السفلى للمجمع الشمسي (U_t) يمكن تحديده وحسابه من المعادلة التالية:

$$U_p = \frac{1}{\frac{Z_i}{k_i} + \frac{Z_s}{k_s}} , \quad \text{W/m}^2 / K$$

$$U_p = \frac{1}{\frac{0.050}{0.034} + \frac{0.010}{202}} = 0.6800 \quad \text{W/m}^2 / K$$

معامل فقد الحرارة من سطح الجانبي للمجمع الشمسي (U_e) يمكن تحديده وحسابه من المعادلة التالية:

$$U_p = \frac{k_i}{Z_i} \left[\frac{2(L + W)Z}{A_c} \right] , \quad \text{W/m}^2 / K$$

$$\begin{aligned} U_p &= \frac{0.034}{0.50} \left[\frac{2(2+1)0.10}{2} \right] \\ &= 0.2040 \quad \text{W/m}^2 / K \end{aligned}$$

يمكن الآن إيجاد قيمة معامل انتقال الحرارة الكلى يجمع كل من معامل فقد الحرارة من السطح العلوى (U_t) ومعامل فقد الحرارة من السطح السفلى (U_b) ومعامل فقد الحرارة من جوانب المجمع الشمسي (U_e) كما هو موضح بالمعادلة التالية:

$$U_o = U_t + U_b + U_e = 5.7365 + 0.6800 + 0.2040$$

$$U_o = 6.6205 \quad W/m^2/K$$

درجة حرارة الغطاء الزجاجي للمجمع الشمسي (T_e) يمكن تحديد قيمتها من المعادلة التالية:

$$T_a = T_p - \frac{U_t(T_p - T_a)}{h_{pc} + h_{rpc}}$$

$$T_a = 358 - \frac{5.7365(358 - 283)}{2.6242 + 6.7513} = 312.1 \quad K$$

$$T_f = \frac{358 + 312.1}{2} = 335.1 K$$

ودرجة الحرارة الجديدة للطبقة الفعلية لانتقال الحرارة بين اللوح الماصل والغطاء الزجاجي للمجمع الشمسي ($T_f = 335.1 \text{ } ^\circ K$) تعتبر قريبة جداً من نفس درجة الحرارة ($T_f = 333 \text{ } ^\circ K$) التي بدأنا بها الإجابة على هذا المثال.

7- معامل إزاحة الحرارة من المجمع الشمسي ومعامل السريان :

Solar collector heat removal factor and flow factor (F_R and F_F)

يجب عند اختيار الأداء الحراري للمجمعات الشمسية تحديد الكمية التي تربط بين الكمية الفعلية للحرارة المكتسبة والمستقاد بها للتخزين وتلك الكمية من الحرارة المكتسبة والمستقاد بها للتخزين عندما يكون سطح اللوح الماصل عند نفس درجة حرارة دخول المائع للمجمع الشمسي. وهذه الكمية هي التي تسمى بمعامل إزاحة الحرارة من المجمع الشمسي (F_R) ويمكن تحديد هذه الكمية رياضياً بدلالة معامل سريان المائع داخل المجمع الشمسي (F_F) ومعامل كفاءة المجمع الشمسي (F_E) من المعادلة التالية:

$$F_R = F_F \quad F_E, \quad \text{decimal}$$

معامل كفاءة المجمع الشمسي (F_E) يمكن تحديده وحسابه بدلالة المسافة بين ماسورتين من النحاس متتاليتين (W) والقطر الخارجي للماسورة النحاس (D) والقطر الداخلي للماسورة (D_i) ومعامل انتقال الحرارة بالحمل داخل الماسورة (H_{fi}) ومعامل كفاءة الزعنفة القياسي (F) من المعادلة التالية:

$$F_E = \frac{1}{\frac{W}{D + F(W - D)} + \frac{WU_o}{\pi D_i h_{fi}}}$$

معامل كفاءة الزعنفة القياسي (F) يمكن حسابه من المعادلة الرياضية التالية:

$$F = \frac{\tanh\left[m\left(\frac{W - D}{2}\right)\right]}{m\left(\frac{W - D}{2}\right)}$$

حيث (m) يمكن تحديدها بدلالة معامل التوصيل الحراري لمادة الماسورة (k_e) وسمك اللوح الماص (δ) من المعادلة التالية :

$$m = \left(\frac{U_o}{k_c \delta} \right)^{\frac{1}{2}}$$

معامل السريان للمجمع الشمسي (F_F) يمكن تحديدها وحسابها من المعادلة التالية:

$$F_F = \frac{mC_p}{A_c U_o F_E} \left[1 - \exp\left(-\frac{A_c U_o F_E}{mC_p}\right) \right]$$

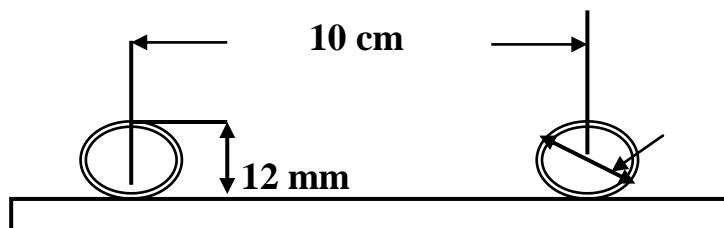
كمية معامل إزاحة الحرارة من المجمع (F_R) تكافئ فاعلية تبادل الحرارة بالحمل الحراري والذي يعرف على أنه النسبة بين انتقال الحرارة الفعلى وأقصى انتقال حرارة ممكן حدوثه كما سبق أن عرفنا أن أقصى طاقة مكتسبة ومستفاد بها للتخزين في المجمعات الشمسية يمكن أن تحدث عندما تكون درجة حرارة كل أجزاء المجمع الشمسي عند نفس درجة حرارة دخول المائع للمجمع وبالتالي تكون الفوائد الحرارية من المجمع إلى الوسط المحيط عند أدنى مستوى لها. معامل إزاحة الحرارة من المجمع الشمسي مضروب في أقصى طاقة مكتسبة ومستفاد بها للتخزين تساوى الطاقة المكتسبة فعلياً المستفاد بها للتخزين (Q_c) والتي يمكن تحديدها من العلاقة الرياضية التالية:

$$Q_e = F_R [Q_a - U_o A_c (T_{fi} - T_a)] , \quad W$$

مثال:

احسب المتوسط اليومي للطاقة المكتسبة والمستفاد بها للتخزين للمجمع الشمسي المذكور بالمثال السابق إذ كان المتوسط اليومي الكلى للطاقة الشمسية الساقطة بتدفق على سطح المجمع الشمسي 8.9 kW/m^2 وكفاءة امتصاص الطاقة الشمسية 0.855 وكتلة معدل سريان الماء داخل المجمع 0.2 kg/s ودرجة حرارة دخول الماء للمجمع الشمسي 15°C وبعض المواصفات الأخرى لهذا المجمع موضحة بالشكل التالي:

الحل



$$\eta_a = 0.855$$

$$D = 0.012 \quad m, \quad W - D = 0.088 \text{ m}$$

$$D_i = 0.010 \quad m, \quad (W - D)/2 = 0.044 \text{ m}$$

$$\delta = 0.002 \quad m$$

معامل كفاءة الزعنفة القياسي (F) يمكن حسابه من المعادلة الرياضية

التالية:

$$m = \left(\frac{U_o}{k_c \delta} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$m = \left(\frac{6.6205}{385(0.002)} \right)^{\frac{1}{2}} = 2.9322$$

$$F = \frac{\tanh \left[m \left(\frac{W - D}{2} \right) \right]}{m \left(\frac{W - D}{2} \right)}$$

$$F = \frac{\tanh \left[2.9322 \left(\frac{0.044}{2} \right) \right]}{2.9322 \left(\frac{0.044}{2} \right)}$$

$$= 0.9945$$

معامل كفاءة المجمع الشمسي (F_E) يمكن تحديده وحسابه من المعادلة

التالية:

$$F_E = \frac{1}{\frac{W}{D + F(W - D)} + \frac{WU_o}{\pi D_i h_{fi}}}$$

$$F_E = \frac{1}{\frac{0.10}{0.012 + 0.9945(0.088)} + \frac{0.10(6.6205)}{3.14(0.010)(110)}} \\ = 0.8358$$

معامل السريان للمجمع الشمسي (F_F) يمكن تحديدها وحسابها من المعادلة التالية:

$$F_F = \frac{mC_P}{A_c U_o F_E} \left[1 - \exp \left(-\frac{A_c U_o F_E}{mC_P} \right) \right] \\ F_F = \frac{0.20(4200)}{2(6.6205)(0.8358)} \left[1 - \exp \left(-\frac{2(6.6205)(0.8358)}{0.20(4200)} \right) \right] \\ = 0.9934$$

معامل إزاحة الحرارة من المجمع (F_R) يمكن تحديده رياضياً بدلالة معامل سريان المائع داخل المجمع الشمسي (F_F) ومعامل كفاءة المجمع الشمسي (F_E) من المعادلة التالية:

$$F_R = F_F F_E = 0.9934 (0.8358) = 0.8303$$

المتوسط اليومي للطاقة الشمسية الممتصة بواسطة اللوح الماص (Q_a) يمكن تحديده وحسابه من المعادلة التالية:

$$Q_a = Q \eta_a = R A_c \eta_a = 8900 (2) (0.855) \\ = 15219 \text{ W}$$

المتوسط اليومي للطاقة الحرارية المكتسبة المستفاد بها للتخزين (Q_c) يمكن الآن تحديدها من المعادلة التالية:

$$Q_c = F_R [Q_a - U_o A_c (T_{fi} - T_a)], \text{ W} \\ Q_c = 0.8303 [15219 - 6.6205 (2) (15 - 10)] \\ = 12581.4 \text{ W}$$

8- الكفاءة الحرارية الكلية : η_o

تعتمد الكفاءة الحرارية الكلية للمجمع الشمسي على كمية الطاقة الشمسية التي تم تجميعها بواسطة المجمع الشمسي وأيضاً على كمية الحرارة المكتسبة والمستفاد بها للتخزين. الكفاءة الحرارية الكلية للمجمع الشمسي (η_o) عبارة عن النسبة بين كمية الحرارة المكتسبة والمستفاد بها للتخزين (Q_c) وكمية الطاقة الشمسية المتاحة على سطح المجمع الشمسي (Q). يمكن تحديد وحساب الكفاءة الحرارية الكلية للمجمع الشمسي (η_o) من المعادلة التالية:

$$\eta_o = \frac{Q_c}{Q} \times 100 , \%$$

$$\eta_o = \frac{mC_p(T_{fo} - T_{fi})}{RA_c} \times 100 , \%$$

9- زيادة درجة الحرارة : D_T

زيادة درجة الحرارة لمائع التشغيل عبارة عن الفرق بين درجة حرارة دخول المائع للمجمع الشمسي (T_{fi}) ودرجة حرارة الهواء المحيط بالمجمع الشمسي من الخارج (T_a) مقسومة على كمية الطاقة الشمسية الساقطة بتدفق (R). يمكن تحديد وحساب الزيادة في درجة حرارة مائع التشغيل (D_T) من المعادلة التالية:

$$D_T = \frac{T_{fi} - T_a}{R} , ^\circ C.m^2/W$$

10- الطاقة الشمسية المخزنة (Q_s)

من المهم جداً تعظيم كمية الطاقة الشمسية المخزنة من المجمع الشمسي بغرض الاستفادة من هذه الكمية في أي من التطبيقات التي تتطلب حرارة. يمكن تحديد وحساب كمية الطاقة الشمسية المخزنة في اليوم (Q_s) بدلالة كثلة مائع التشغيل (M_s) والحرارة النوعية لمائع التشغيل (C_p) والفرق بين المتوسط درجة حرارة خزان التخزين عند الغروب (T_{k2}) ومتوسط درجة حرارة خزان التخزين عند الشروق (T_{k1}) من المعادلة التالية:

$$Q_s = M_s C_p (T_{k2} - T_{k1}) , W$$

يمكن استخدام المعادلة السابقة لتحديد وحساب كمية الطاقة الشمسية المخزنة في خزان التخزين كل ساعة واحدة أو كل دقيقة لدراسة العلاقة بين كمية الطاقة الشمسية المخزنة وكل من الزمن ودرجة حرارة الهواء المحيط وكمية الطاقة الشمسية المجمعة بواسطة المجمع الشمسي وأخيراً درجة حرارة مائع التشغيل داخل خزان التخزين:

11- كفاءة نظام التخزين : (η_s) Storage system efficiency :

يمكن تعريف كفاءة نظام التخزين على أنه النسبة بين كمية الطاقة الشمسية المخزنة بخزان التخزين (Q_s) وكمية الحرارة المكتسبة والمستفاد بها للتخزين (Q_c). يمكن تحديد وحساب كفاءة نظام التخزين من المعادلة التالية:

$$\eta_a = \frac{Q_s}{Q_c} \times 100 \quad , \quad \%$$

$$\eta_a = \frac{M_s C_p (T_{k1} - T_{k2})}{m C_p (T_{fi} - T_{fo})} \times 100 \quad , \quad \%$$

مثال:

احسب الكفاءة الحرارية الكلية والزيادة في درجة الحرارة وكمية الطاقة الشمسية المخزنة في خزان التخزين وكفاءة نظام التخزين للمجمع الشمسي المذكور بالمثالين السابقين. إذا علمت أن كتلة الماء (مائع التشغيل) بالخزان 288 liters وأن متوسط درجة حرارة الماء داخل الخزان عند الغروب 45°C وأن متوسط درجة حرارة الماء داخل الخزان عند الشروق 15°C .

الحل

من المثالين السابقين

$$T_a = 10^{\circ}\text{C} \quad , \quad T_{fi} = 15^{\circ}\text{C} \quad ,$$

$$T_{ki} = 15^{\circ}\text{C} \quad ,$$

$$T_{k2} = 45^{\circ}\text{C} , \quad A_e = 2 \text{ m}^2 ,$$

$$R = 8900 \text{ W/m}^2$$

$$Q_e = 12581.4 \text{ W}$$

$$M_s = \frac{288}{3600} = 0.080 \text{ kg/s}$$

يمكن تحديد وحساب الكفاءة الحرارية الكلية (η_o) من المعادلة التالية:

$$\eta_o = \frac{Q_c}{RA_c} \times 100 \text{ , \%}$$

$$\eta_o = \frac{12581.4}{8900(2)} \times 100 = 70.68 \text{ \%}$$

يمكن تحديد وحساب الزيادة في درجة حرارة المجمع الشمسي (D_T) من المعادلة التالية:

$$D_T = \frac{T_{fi} - T_a}{R} \text{ , } ^\circ\text{C.m}^2 / \text{W}$$

$$D_T = \frac{15 - 10}{8900} = 5.618 \text{ } ^\circ\text{C.m}^2 / \text{W}$$

يمكن تحديد وحساب كمية الطاقة الشمسية المخزنة (Q_s) من المعادلة التالية:

$$Q_s = M_s C_p (T_{k2} - T_{k1}) \text{ , W}$$

$$Q_s = 0.080 (4200) (45 - 15) = 10080 \text{ W}$$

أخيراً يمكن تحديد وحساب كفاءة نظام التخزين (η_s) من المعادلة التالية:

$$\eta_s = \frac{Q_s}{Q_c} \times 100 \text{ , \%}$$

$$\eta_s = \frac{10080}{12581.4} \times 100 = 80.12 \text{ \%}$$

نظم التجفيف الشمسي Solar Drying Systems

تستخدم الطاقة الشمسية في مجال التسخين الآن على نطاق واسع في كثير من دول العالم بغرض تقليل الكميات الكبيرة من الطاقة التقليدية المستخدمة في التسخين وتعظيم الاستفادة من الطاقة الجديدة كمصدر نظيف للطاقة ومنخفض التكلفة. ونظم تسخين المواقع (ماء - سوائل - زيت - هواء) بالطاقة الشمسية بواسطة سخانات الماء الشمسية solar water heaters أو سخانات الهواء الشمسية solar air heaters والتي سبق الحديث عنها يمكن استغلالها جمیعاً في عمليات التجفيف الشمسي للعديد من المحاصيل الزراعية بهدف التخزين الأمن لها (تجفيف الحبوب الشمسى solar grain drying - تجفيف الأعلاف الشمسى solar fruit drying - تجفيف الفاكهة الشمسى solar hay drying - تجفيف النباتات الطبية والعلوية الشمسى solar medicinal and aromatic drying .).

تحرى عمليات التجفيف للمحاصيل الزراعية المختلفة بهدف خفض المحتوى الرطوبى لها مما يؤدى إلى تخزينها لأطول فترة ممكنة وتقليل احتمال إصابتها ببعض الأمراض الفطرية علاوة على سهولة إجراء بعض عمليات التصنيع مثل طحن الحبوب وتببيض الأرز. يؤدى أيضاً خفض المحتوى الرطوبى إلى إمكانية تواجد المحصول بالأأسواق أطول فترة ممكنة مثل تجفيف الفاكهة (الزبيب - المشمش المجفف - التين المجفف - البرقوق المجفف). كما يؤدى التجفيف إلى المحافظة على كمية ونوعية الإنتاج لبعض المحاصيل مثل تجفيف الأعلاف الخضراء والتي من الممكن أن تكون الكمية المنتجة منه في فترة معينة من الموسم أكبر من الكمية المستهلكة كما هو الحال مع محصول البرسيم خلال موسم الشتاء حيث تزيد الكمية المنتجة منه خلال شهري يناير وفبراير عن الكمية المستهلكة مما يؤدى إلى فقد كمية كبيرة من المحصول خلال هذه الفترة. يوجد العديد من طرق التجفيف التي تستغل الطاقة الشمسية فيها كمصدر رئيسي لعملية التسخين أثناء عملية التجفيف نذكر منها الطرق التالية:

1- التجفيف الشمسي الطبيعي : Natural Solar Drying

تعتبر هذه الطريقة هي أقدم طرق التجفيف حيث استغل قدماء المصريين الطاقة الشمسية المباشرة في تجفيف العديد من المحاصيل الزراعية واللحوم (لحوم القرابين) وما زالت هذه الطريقة تستغل حتى الآن سواء في تجفيف محاصيل

الحبوب أو الفاكهة أو اللحوم (لحوم الأضاحى بعد موسم الحج). يتم فى هذه الطريقة وضع المحصول المطلوب. تجفيفه على سطح الأرض فى مكان مفتوح غير مظلل حيث يتعرض المحصول للأشعة الشمسية المباشرة مما يؤدى إلى ارتفاع درجة حرارة السطح الخارجى للمحصول ثم حدوث انتقال للحرارة بالتوسيط خلال مادة المحصول وبالتالي تحرك الماء الحر بالمحصول من الداخل ونحو الخارج مما يؤدى إلى خفض المحتوى الرطوبى للمحصول وإتمام عملية التجفيف. طريقة التجفيف الشمسى الطبيعية يوجد بها عيوب عديدة تذكر منها ما يلى:

- (1) صعوبة بل استحالة التحكم فى درجة الحرارة والرطوبة النسبية للهواء المحيط بالمحصول أثناء عملية التجفيف الشمسى الطبيعى.
- (2) طول فترة التجفيف حيث تأخذ بعض المحاصيل أكثر من أسبوع حتى يتم التجفيف والوصول إلى المحتوى الرطوبى المتوازن مع الوسط المحيط.
- (3) انخفاض جودة المحاصيل المجففة بهذه الطريقة نظراً ل تعرضها للأتربة والحشرات الطائرة والقوارض المختلفة علاوة على إمكانية إصابتها بالأمراض الفطرية والبكتيرية.
- (4) تتطلب هذه الطريقة مساحة كبيرة من الأرض لإجراء عملية التجفيف مما يؤدى إلى تأخير زراعة المحصول التالى كما هو الحال عند تجفيف البرسيم فى نهاية شهر مايو.
- (5) زيادة نسبة الفوائد فى المحاصيل المجففة بهذه الطريقة من حيث الكم والنوعية سواء أثناء عملية التجفيف مثل تجفيف الأعلاف حيث يفقد أهم جزء بالمحصول وهو الورقة (تحتوى على أكثر من 70% بروتين) أو بعد التجفيف وأثناء عمليات التصنيع مثل زيادة نسبة الكسر عند إجراء عملية التبييض لمحصول الأرز المجفف طبيعياً نتيجة لإعادة تشرب الحبوب بالرطوبة أثناء الليل.
- (6) تغير بعض الخواص الطبيعية والكيميائية لبعض المحاصيل مثل تغير اللون (من الأخضر إلى اللون الرصاصى الداكن) ومحتوى النباتات المجففة بهذه الطريقة من الزيوت الطيارة كما هو الحال فى النباتات الطيبة والعطرية.

(7) انخفاض القيمة التسويقية للمحاصيل المجففة بهذه الطريقة نظراً لانخفاض الجودة النهائية.

2- التجفيف الشمسي المباشر : Direct Solar Drying

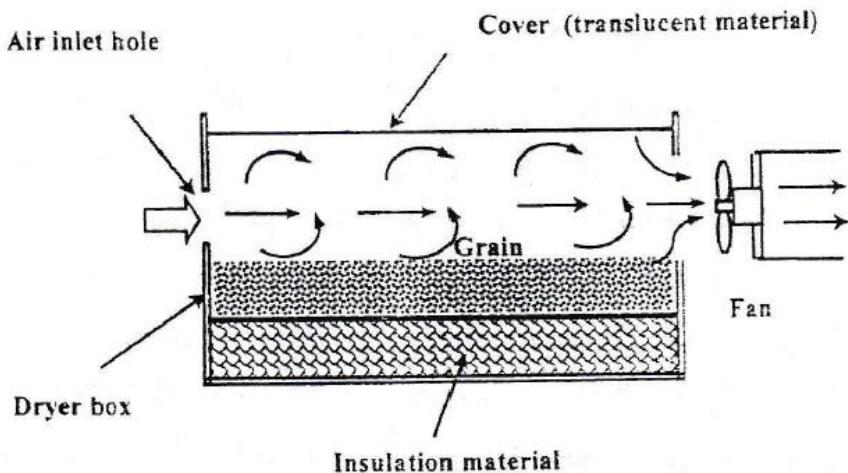
تستخدم هذه الطريقة على نطاق واسع في العديد من دول العالم لتجفيف بعض المحاصيل التي يمكن أن تتحمل حمل الأشعة الشمسية المباشرة دون حدوث تغير في الخواص والخصائص الطبيعية والكيميائية لها مثل محصول الذرة الكامل بالغلاف (كيزان كاملة تحتفظ بالغلاف الخارجي لها) محاصيل لأعلاف الخضراء مثل البرسيم المصري والجهازى. تعتمد هذه الطريقة على وضع المحصول المراد تجفيفه داخل وعاء تجفيف (صندوق التجفيف) مغلق بمادة معتمة (خشب أو الومنيوم) من جميع جوانبه إلا الجانب العلوي حيث يغطى بمادة شفافة (بلاستيك - فيبر جلاس مسطح - زجاج نقى) تنفذ الأشعة الشمسية إلى داخل المجفف.

يوجد نظم عديدة لهذه الطريقة من طرق التجفيف ذكر منها ما يلى:

1-2 الحبوب كمجمع شمسي : Grain as a Solar Collector

تعمل الحبوب في هذا النظام كسطح ماص absorber plate للأشعة الشمسية الساقطة بتتدفق داخل مجفف شمسي عبارة عن صندوق مستطيل الشكل طوله ضعف عرضه مصنوع من الخشب أو الالومنيوم من جميع جوانبه دون الجانب العلوي والذي يغطى بمادة شفافة يفضل أن تكون من الزجاج النقى بسمك يتراوح بين 3-5 mm يحتوى أحد الجوانب العرضية للمجفف على مجموعة من الفتحات لدخول الهواء air inlet holes كما هو موضح بالشكل (2-18). يتم وضع المحصول المراد تجفيفه داخل المجفف حيث يتعرض للأشعة الشمسية المباشرة وبالتالي يمتص المحصول نسبة من هذه الأشعة تتوقف على لون المحصول فترتفع درجة حرارته ليحدث انتقال للحرارة والكتلة ممثلة في كمية من الماء الموجود بالحبوب. تقوم مروحة السحب بأحداث فرق في الضغط بين مركز المجفف والمنطقة الأمامية من المروحة فيندفع تيار من الهواء الخارجي من خلال فتحات الدخول إلى داخل المجفف فيحمل الرطوبة المتتصاعدة من الحبوب إلى خارج المجفف. في هذه الطريقة يمكن التحكم في درجة حرارة الحبوب والرطوبة النسبية للهواء داخل المجفف عن طريق التحكم في كتلة معدل سريان الهواء الداخل

للمجف. يتميز المحصول المجف بهذه الطريقة بجودة العالية واحفاظه بالكثير من الخواص والخصائص الطبيعية وبالتالي ارتفاع قيمته التسويقية ولكن يحظر من استخدام هذه الطريقة مع المحاصيل الحساسة للأشعة الشمسية المباشرة وبالتالي درجات الحرارة العالية.



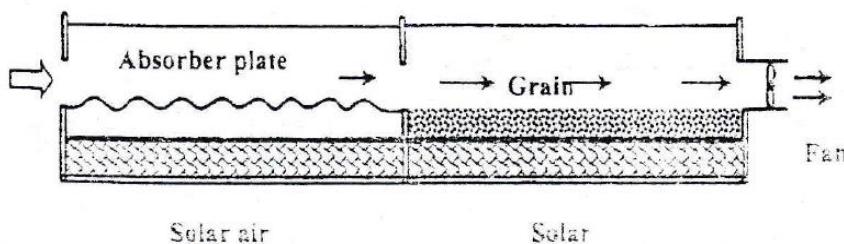
شكل (18-2): الحبوب كمجمع شمسي مباشر

2-2 الحبوب كمجمع شمسي مع سخان هواء شمسي :

Grain as a Solar Collector with Solar Air Heater

يتكون هذا النظام أساساً من وحدتين متصلتين معاً على التوالي ، الأولى عبارة عن مجمع شمسي (سخان هواء شمسي) لرفع درجة حرارة الهواء قبل دخوله للوحدة الثانية، وهذه الوحدة عبارة عن صندوق مستطيل الشكل طوله ضعف عرضه مصنوع من الخشب أو الألومنيوم من جميع جوانبه دون الجانب العلوي والذي يغطي بمادة شفافة يفضل أن تكون من الزجاج النقى بسمك يتراوح بين - 3 mm كما يحتوى قاع هذا الصندوق على لوح ماص من الألومنيوم مسطح الشكل أو مجعد ومطلى باللون الأسود المطفى ويفضل النوع الثانى لما له من مميزات عديدة ذكرناها سابقا، يحتوى أحد الجوانب العرضية لهذه الوحدة على مجموعة من الفتحات لدخول الهواء air inlet holes والجانب الآخر المتصل بالمجف يحتوى أيضاً على مجموعة من الفتحات لخروج الهواء إلى الوحدة الثانية، والوحدة الثانية

عبارة عن المجف والذى فيه الحبوب تعمل كسطح امتصاص وهذه الوحدة لها نفس الشكل والأبعاد مثل الوحدة الأولى والجانب العرضى لهذه الوحدة والمتعلقة بالمجمع الشمسي يحتوى على مجموعة من الفتحات لدخول الهواء الساخن والجانب العرضى الآخر مركب عليه مروحة سحب suction fan كما هو موضح بالشكل (19-2). يعمل هذا النظام عن طريق قيام مروحة السحب بإحداث فرق في الضغط بين مركز المجف والمنطقة الأمامية من المروحة فيندفع تيار من الهواء الخارجى من خلال فتحات الدخول إلى داخل المجمع الشمسي (الوحدة الأولى) فيكتسب الهواء طاقة حرارية من لوح الامتصاص تؤدى إلى رفع درجة حرارته ليمر الهواء الساخن إلى المجف (الوحدة الثانية) مما يؤدى إلى زيادة درجة حرارة الحبوب وبالتالي زيادة كمية الرطوبة المتصاعدة من الحبوب وتحمل هذه الرطوبة المتصاعدة مع الهواء إلى خارج المجف. هذا النظام كفاءته الحرارية عالية مقارنة بالنوع السابق كما يمكن استغلاله للمحاصيل التى تتطلب درجة حرارة عالية للهواء أثناء عملية التجفيف. وأيضاً هذا النظام يتميز بأن المحصول المجف به يكون ذو جودة عالية مع احتفاظه بالكثير من الخواص والخصائص الطبيعية وبالتالي ارتفاع قيمته التسويقية ولكن يحظر من استخدام هذا النظام مع المحاصيل الحساسة للأشعة الشمسية المباشرة وبالتالي لدرجات الحرارة العالية.



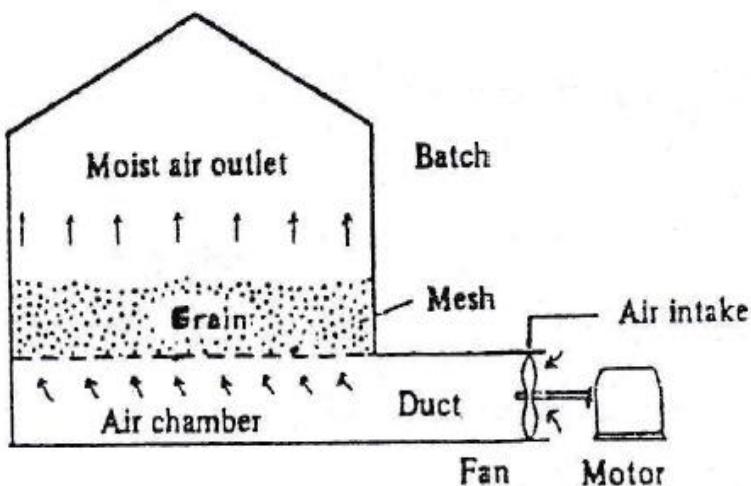
شكل (19): الحبوب كمجمع شمسي مع سخان هواء شمسي

3-2 البيوت المحمية كمجفف شمسي للحبوب :

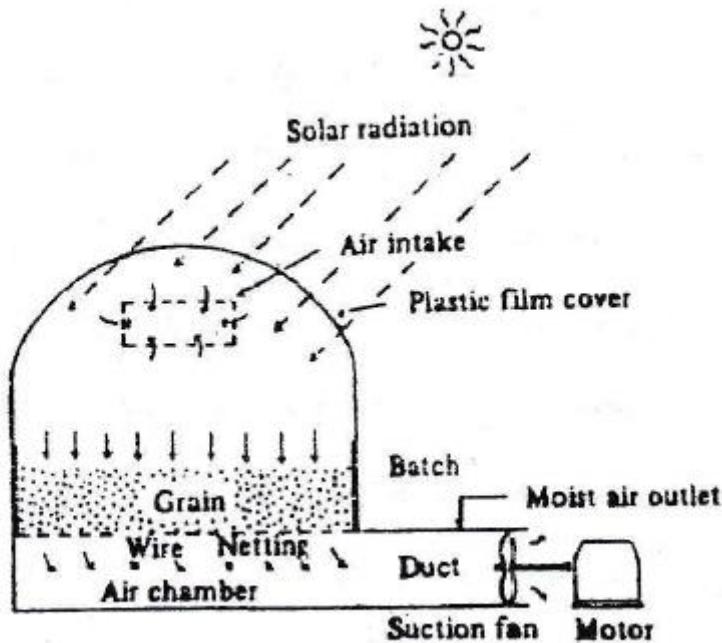
Greenhouses as a Solar Grain Dryer

تستغل البيوت المحمية الآن كمجمع شمسي خصوصاً في موسم الصيف حيث تسمح نوعية الغطاء لهذه البيوت بنفاذ كمية كبيرة من الأشعة الشمسية قصيرة الطول الموجي إلى داخل البيوت مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الهواء داخلها وبالتالي يمكن استغلال هذا الهواء الساخن في عمليات التجفيف المباشر لبعض المحاصيل التي تحمل الأشعة المباشرة ودرجات حرارة هواء التجفيف العالية. يوجد نظامين لحركة الهواء القائم بعملية التجفيف داخل البيوت المحمية وكلا النظامين يتميز بانخفاض التكلفة الإجمالية لعملية التجفيف ، النظام الأول وهو مجفف من النوع المسطح الأرضية flat floor type batch dryer يعتمد على دفع الهواء بواسطة مروحة دفع (مركبة خارج البيت المحمي) إلى أنبوب الهواء air duct ومنه إلى غرفة الهواء air chamber حيث يمر الهواء عمودياً من أسفل إلى أعلى على الحبوب المطلوب تجفيفها ثم بعد ذلك إلى خارج البيت المحمي كما هو موضح بالشكل (20-2). الهواء المار على حبوب التجفيف في هذا النظام تكون درجة حرارته منخفضة ولذا فإن دور الهواء في هذه الطريقة يقتصر على حمل الرطوبة المتتصاعدة من الحبوب أثناء التجفيف وجزء من حرارة الحبوب والتي تكتسبها من امتصاص الأشعة الشمسية الساقطة عليها. وكفاءة هذا النظام تعتبر منخفضة لحد ما علاوة على قصر استخدام هذا النظام تعتبر منخفضة لحد ما الأشعة الشمسية المباشرة. النظام الثاني والذي يعتمد على دخول الهواء من خارج البيت المحمي إلى داخله من خلال فتحة السحب intake hole حيث ترتفع درجة حرارته بفعل شدة الإشعاع الحراري داخل البيت المحمي ليمر الهواء الساخن أيضاً رأسياً على الحبوب ولكن في هذا النظام من أعلى إلى أسفل وذلك بفعل مروحة سحب مركبة خارج البيت المحمي كما هو موضح بالشكل (21-2). المجفف في هذا النظام عبارة عن صندوق من الخشب مفتوح من أعلى ومن أسفل ، الجزء السفلي من الصندوق (قاع الصندوق) مركب عليه شبكة سلك wire net يمنع سقوط الحبوب من صندوق الحبوب إلى غرفة الهواء والجزء العلوي يمكن تغطيته بواسطة شبكة من البلاستيك أسود اللون black plastic net عند تجفيف بعض المحاصيل الحساسة للأشعة الشمسية المباشرة.

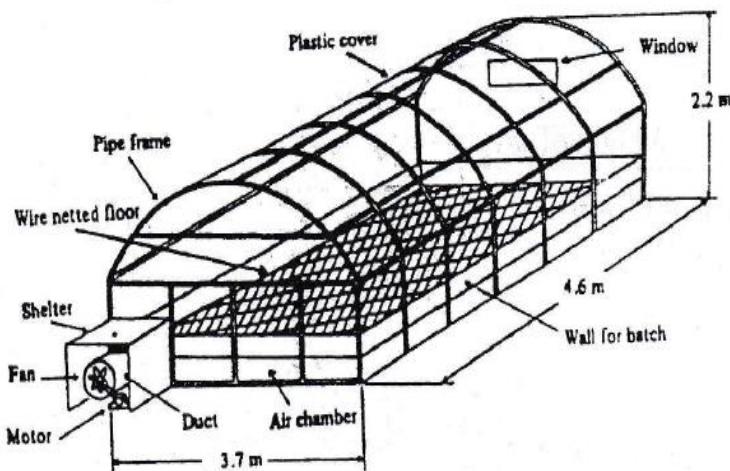
الكفاءة الحرارية ومعدل التجفيف لهذا النظام أعلى من النظام الأول. الشكل (22-2) يوضح الشكل الإنسائي لبيت محمى من النوع Modified Quonset Type والذى يستخدم على نطاق واسع في العديد من دول العالم في عملية تجفيف المحاصيل الحقلية والفاكهه ومحاصيل الأعلاف وغيرها. البيت المحمى الذي يعمل كمجفف شمسي والموضح بالشكل (22-2) تعتمد عليه اليابان والعديد من دول شرق آسيا في تجفيف محصول الأرز بعد حصاده ميكانيكيًا لخفض المحتوى الرطوبى من حوالي 22% (بعد الحصاد) إلى 13.2% تقريبًا بعد التجفيف داخل هذا النوع من المجففات الشمسية نظرًا لأنخفاض تكالفة تصميمه وتنفيذها وتشغيله.



شكل (20-2): البيت المحمى كمجفف شمسي للحبوب



شكل (21-2): البيت المحمى كمجف سمشى للحبوب من أعلى الى اسفل



شكل (22-2): الشكل الانشائى لبيت محمى يستخدم لمجف شمسي للحبوب

3- نظرية تصميم البيت المحمى كمجف حبوب شمسى :

Design Theory of a Greenhouse as a Solar Grain Dryer**1-3 وزن الحبوب القابلة للتجفيف (W) :**

يمكن تحديد وحساب وزن الحبوب بالكيلو جرام والتى يكون مطلوب تجفيفها داخل البيت المحمى الذى يعمل كمجف بداخله معدل سريان الهواء الحجمى للمرودحة (V, m^3/s) ونسبة سريان هواء التجفيف خلال الحبوب ($m, m^3/s \cdot ton$) من العلاقة الرياضية التالية:

$$W = \frac{\text{Air flow rate}}{\text{Air flow ratio}} \times 1000 = \frac{V(m^3/s)}{m(m^3/s \cdot ton)} \times 1000 \text{ kg}$$

2-3 حجم الحبوب القابلة للتجفيف (C) :

يمكن تحديد وحساب حجم الحبوب بالметр المكعب والتى يكون مطلوب تجفيفها داخل البيت المحمى الذى يعمل كمجف بداخله وزن الحبوب (W, kg) وكتافة الحبوب (الوزن النوعى للحبوب) (ρ , kg/m^3) من العلاقة الرياضية التالية:

$$C = \frac{\text{Weight of grain}}{\text{Specific gravity of grain}} = \frac{W(kg)}{\rho(kg/m^3)} \text{ m}^3$$

الجدول (2-2) يوضح المحتوى الرطوبى المتوازن على أساس رطب الوزن النوعى (الكتافة) لبعض المحاصيل الحقلية القابلة للتجفيف بهذا النظام من المجففات.

الجدول (2-2): المحتوى الرطوبى المتوازن على أساس رطب والوزن النوعي (الكثافة) لبعض المحاصيل الحقلية القابلة للتجفيف بهذا النظام من المجففات

Type of grain	Equilibrium moisture content	specific gravity (kg/ m ³)
Rape	7.1	664
Naked	14.3	803
Barley	14.4	783
Wheat	16.8	736
Barley	13.2	590
Paddy rice	13.3	758
Soybean		

3-3 مساحة سطح المجفف : (A)

يمكن تحديد وحساب مساحة سطح المجفف بالمتر المربع داخل البيت المحمى الذى يعمل كمجفف بذلة حجم الحبوب المطلوب تجفيفها (c, m³) وسمك طبقة التجفيف (S,m) من العلاقة الرياضية التالية :

$$A = \frac{\text{Volume of grain}}{\text{Thickness of drying layer}} = \frac{C(m^3)}{S(m)} \text{ m}^2$$

4-3 سرعة الهواء المار خلال طبقة الحبوب :

Air velocity passing through the grain (Va)

يمكن تحديد وحساب سرعة تيار الهواء المار خلال طبقة الحبوب المطلوب تجفيفها بدلالة معدل سريان الهواء الحجمي للمروحة (V , m^3/s) ومساحة سطح المجفف بالمتر المربع داخل البيت المحمى (A) من المعادلة التالية:

$$V_a = \frac{\text{Air flow rate}}{\text{Floor surface area}} = \frac{V(m^3/s)}{A(m^2)} \text{ m/s}$$

يجب ألا تزيد طول المجفف من هذا النوع عن 6m ولا يزيد عرضه عن 4m حتى يمكن الحصول على أعلى كفاءة حرارية ممكنة وبالتالي الحصول على أكبر معدل تجفيف.

مثلاً :

بيت محمى من النوع Modified Quonset أبعاده من الداخل $\times 5.8$ m $\times 3.5$ m يستخدم كمجفف شمسي لمحصول الأرز يستخدم مرحلة سحب محورية قطرها 60cm وتصرفها $120 m^3/hr$ ونسبة سريان هواء التجفيف خلال الحبوب $800 m^3/hr$ لطن الواحد من الحبوب. حدد وزن الحبوب التي يمكن تجفيفها وسمك طبقة التجفيف وسرعة الهواء المار خلال طبقة الحبوب.

الحل

$$\text{Floor surface area (A)} = 5.8 (3.5) = 20.3 m^2$$

$$\text{Air flow rate (V)} = \frac{6120}{3600} = 1.7 m^3/s$$

$$\text{Air flow ratio (m)} = \frac{1800}{3600} = 0.5 m^3/s \cdot ton$$

The weight of fresh paddy rice in ton (W) which can be dried under the above conditions is computed as:

$$W = \frac{\text{Air flow rate}}{\text{Air flow ratio}} \times 1000 = \frac{V(m^3/s)}{m(m^3/s.\text{ton})} \times 1000$$

$$= \frac{1.70}{0.50} = 3.4 \text{ ton}$$

$$W = 304 \times 1000 = 3400 \text{ kg}$$

From table (9) the specific gravity of paddy rice (ρ) = 590 kg/m³.

The thickness of drying layer (S) of baddy rice batch can be calculated from the following equation:

$$S = \frac{\text{Weight of baddy rice}}{\text{Density of rice} \times \text{floor surface area}} = \frac{W(kg)}{\rho(m^3/s) \times A(m^2)}$$

$$S = \frac{3400}{590 \times 20.3} = 0.284 m = 28.4 cm$$

The mean air velocity passing through the drying layer (V_a) can be determined from the following equation:

$$V_a = \frac{\text{Air flow rate}}{\text{Floor surface area}} = \frac{V(m^3/s)}{A(m^2)} \text{ m/s}$$

$$V_a = \frac{1.70}{20.3} = 0.084 \text{ m/s}$$

مثال:

قطعة ارض مساحتها 100 feddan متوسط إنتاجية الفدان الواحد من محصول الأرز 3.5 ton والمطلوب تصميم مجموعة من المجففات الشمسية من النوع Modified Quonset بحيث لا يزيد سمك طبقة التجفيف في الدفعه الواحدة عن 25 cm إذا علمت أن كل مجفف يستخدم مروحة سحب محوريه قطرها 60 cm وتصرفها 6120 m³/hr ونسبة سريان هواء التجفيف خلال الحبوب 1800 m³/hr للطن الواحد من الحبوب.

الحل

$$\text{Air flow rate } (V) = \frac{6120}{3600} = 1.7 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Air flow ratio } (m) = \frac{1800}{3600} = 0.5 \text{ m}^3/\text{s.ton}$$

Thickness of layer (S) = 25 cm = 0.25 m

The total weight of fresh paddy rice in ton (W_t) which can be dried inside the modified Quonset greenhouses within ten days is calculated as:

$$W_t = 100 (3.5) = 350 \text{ ton}$$

The total weight of baddy rice in kilogram (W) which can be dried in one days is computed as:

$$W = \frac{350 \times 1000}{10} = 35000 \text{ kg}$$

The total surface area of baddy rice solar dryers (A_t) can be calculated from the following equation:

$$A_t = \frac{\text{Weight of baddy rice}}{\text{Density of rice} \times \text{thickness of layer}} = \frac{W_t (\text{kg})}{\rho (\text{m}^3 / \text{s}) \times S (\text{m})}$$

$$A_t = \frac{350000}{590 \times 0.25} = 2372.88 \text{ m}^2$$

The surface area of baddy rice solar fryers (A) required for one day drying is calculated as :

$$A = \frac{\text{Wiegth of bady rice}}{\text{Density of rice} \times \text{thickness of layer}} = \frac{W_t(kg)}{\rho(m^3 / s) \times S(m)}$$

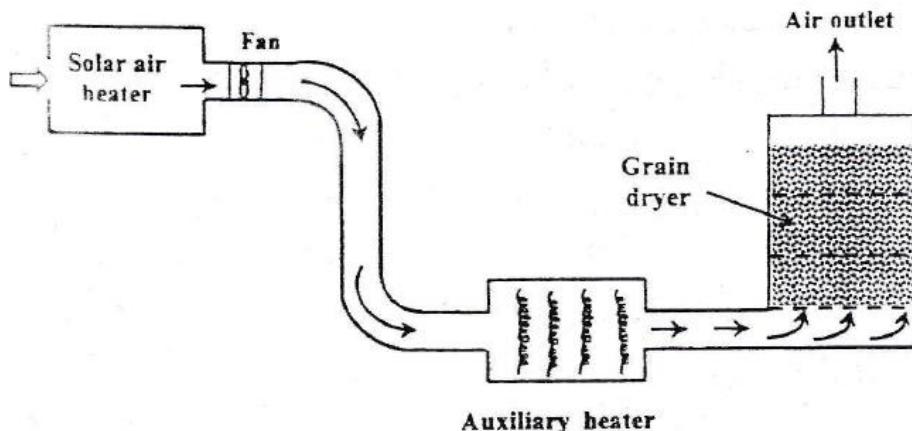
$$A = \frac{35000}{590 \times 0.25} = 237.288 m^2$$

If the dimensions of one baddy rice solar dryer are 6 m long and 4 m wide, the net surface area of that dryer is 24m², then the number of solar dryers (N_d) is computed as:

$$N_d = \frac{237.288}{24} = 9.887 = 10 \text{ dryers}$$

4- التجفيف الشمسي غير المباشر : Indirect Solar Drying

تستخدم هذه الطريقة على نطاق واسع في العديد من دول العالم لتجفيف بعض المحاصيل التي لها حساسية عالية لدرجات الحرارة المرتفعة لهواء التجفيف وأيضاً لا تتحمل الأشعة الشمسية المباشرة مثل النباتات الطبية والعلمية وبعض محاصيل الزيتون وبعض أنواع الفاكهة حيث يجب المحافظة على الخواص والخصائص الطبيعية والكيميائية لهذه النباتات. يتكون نظام التجفيف الشمسي غير المباشر من وحدتين مستقلتين عن بعض ، الوحدة الأولى عبارة عن سخان هواء شمسي solar air heater يستخدم أي نظام من نظم سريان الهواء (السريان من أسفل اللوح الماصل - السريان من أعلى اللوح الماصل - السريان من أسفل و أعلى اللوح الماصل) والوحدة الثانية عبارة عن المجفف والذي يتكون من صندوق يحتوى على مجموعة من الأرفف التي يوضع عليها المحصول المراد تجفيفه ، يصل بين الوحدتين مجرى للهواء air duct حيث يتم سحب الهواء بواسطة مروحة سحب محورية من السخان الشمسي ودفعها داخل المجفف من خلال مجرى الهواء. عندما تكون درجة حرارة الهواء الخارج من السخان الشمسي غير كافية لعملية التجفيف يتم تزويد هذا النظام بسخان إضافي auxiliary hater يعمل بالكهرباء لرفع درجة حرارة هواء التجفيف إلى الدرجة المرغوبة قبل الدخول للمجفف كما هو موضح بالشكل (23-2).

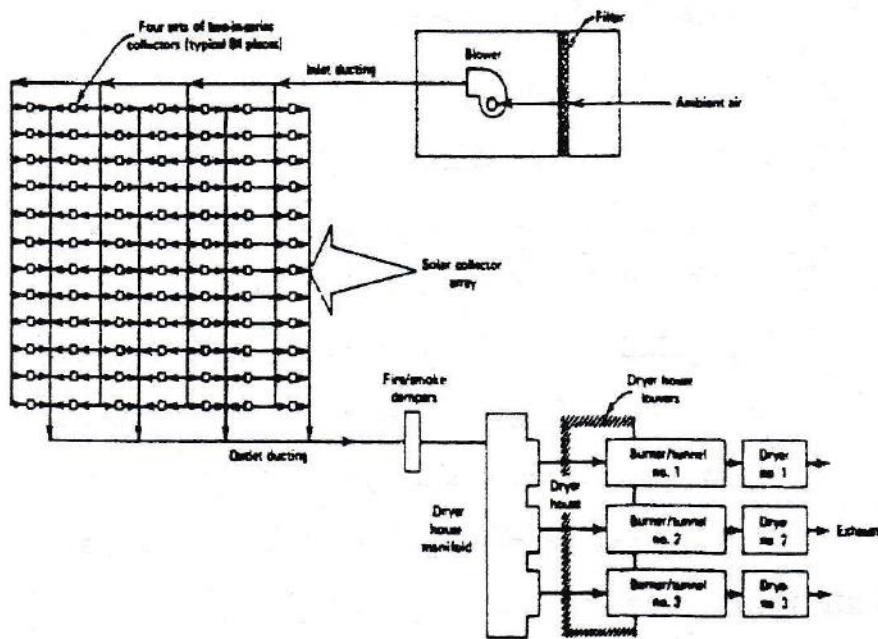


شكل (23-2): التجفيف الشمسي الغير مباشر

الهواء الساخن يستخدم أيضاً في استعمالات صناعية عديدة مثل التجفيف التجارى (على نطاق واسع) تكييف البيوت المحمية أثناء موسم الشتاء إمداد المنازل بالهواء النقي الساخن وغيرها من التطبيقات المختلفة.

يعتبر تسخين الهواء الجوى من أفضل العمليات فى هذا المجال لوجوده قريباً من المجمعات الشمسية وبالتالي فإنه لا يحتاج لعمليات نقل إلى السخانات الشمسية. الشكل (24-2) يوضح واحد من اكبر أجهزة تسخين الهواء بواسطة الطاقة الشمسية واستغلال هذا الهواء الساخن فى تجفيف محصول فول الصويا فى ولاية آلاباما الأمريكية. يتكون هذا الجهاز من مجموعة كبيرة من المجمعات الشمسية مساحتها 200 m^2 لتسخين الهواء الجوى العادى وإمداد مجفف فول الصويا بهذا الهواء الساخن. نتيجة أن الطاقة الشمسية قد لا تكون متوفرة فى كل الوقت أو أن درجة حرارة الهواء الساخن الخارج من المجمعات الشمسية تكون أقل من درجة الحرارة المطلوبة لعملية التجفيف ، لذلك يتم خلط الهواء الخارج من المجمعات الشمسية بهواء آخر تم تسخينه بأى صورة من صور الطاقة التقليدية مثل الكهرباء أو الوقود (المازوت) للوصول بهواء التجفيف إلى درجة الحرارة المطلوبة لعملية التجفيف. تم وضع مرشح هواء air filter فى الجانب العلوى عند فتحة الدخول لتنقية الهواء من الأتربة والشوائب التى قد تكون عالقة بالهواء والتى وجودها يسبب بعض المشاكل داخل النظام عند التشغيل كما تم وضع المروحة blower أيضاً فى الجانب العلوى من المجمعات الشمسية solar collectors مما

يجعل هذه المجمعات تعمل تحت ضغط موجب، حيث تقوم المروحة بدفع تيار من الهواء الجوى العادى داخل المجمعات الشمسية كما فى الشكل (24-2) ليخرج هذا الهواء على درجة حرارة اعلى من تلك التى دخل عليها المجمعات كنتيجة للطاقة الحرارية التى امتصها أثناء مروره داخل المجمعات الشمسية سواء من الطاقة المباشرة (الأشعة الشمسية الساقطة داخل المجمعات) كذلك من الطاقة الممتصة من سطح اللوح الماصل absorber (انتقال وتبادل الحرارة بالحمل الجوى). تم تثبيت المجمعات الشمسية فى إطار قابل للحركة movable frame بحيث يمكن إمالة الإطار بزاوية ميل مناسبة لتجمیع اکبر كمية ممکنة من الأشعة الشمسية الساقطة بتدفق على سطح المجمعات الشمسية. نظراً لكبر المساحة فى هذا النظام ($1200m^2$) وبعد الربط بين التكاليف الكلية المترتبة على تغير زاوية الميل والتوجيه والزيادة المقابلة فى الأداء الحرارى للمجمعات الشمسية يتم توجيه وإمالة المجمعات مرة واحدة كل شهر لصعوبة تحريك هذا النظام ليلاحق أشعة الشمس من الشروق وحتى الغروب كل يوم كذلك التكاليف الباهظة التى تتطلبها هذه العملية. يعمل هذا النظام بدون تخزين طاقة طالما أن درجة حرارة خروج الهواء من النظام تكون اقل من درجة الحرارة المطلوبة للتجفيف ولكن يمكن تخزين جزء من الطاقة الحرارية للهواء الساخن عندما تكون درجة حرارته اعلى من درجة الحرارة المطلوبة للتطبيق، كما يمكن تخزين جزء من طاقة الهواء الحرارية عندما تصل المادة الغذائية المراد تجفيفها إلى مرحلة التجفيف النهائى (الوصول إلى المحتوى الرطوبى المتوازن) أثناء النهار فإن الطاقة الحرارية لباقي النهار يمكن تخزينها واستغلالها عندما يتم وضع مادة غذائية رطبة مرة أخرى بداخل المجفف.



شكل (24-2): مجمع شمسي لتجفيف فول الصويا في ولاية البااما الامريكية

5- نظم تسخين الماء بالطاقة الشمسية للأغراض الصناعية:

Solar Industrial Water Heating Systems

يمكن تقسيم نظم تسخين الماء بالطاقة الشمسية للأغراض الصناعية إلى ثلاثة أنواع على حسب طريقة دفع الماء داخل المجمعات الشمسية ونوعية المجمع الشمسي المستخدم كما يلى:

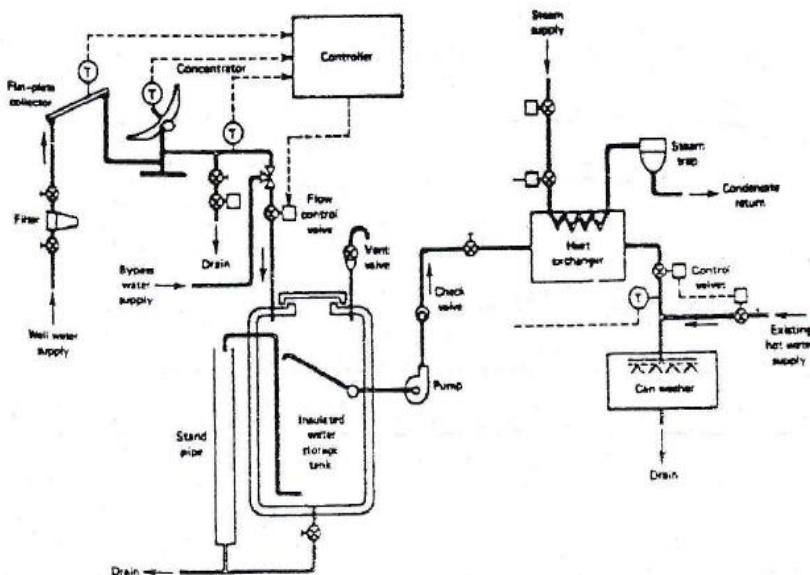
5-1-5 نظم تسخين الماء بتمريره مرة واحدة داخل المجمع الشمسي:

Once-through industrial solar water heating system

يتم دفع الماء البارد في هذه الطريقة داخل المجمعات الشمسية ليمر مرة واحدة بحيث أن الماء الساخن والخارج من المجمعات الشمسية لا يعاد تسخينه أو دفعه مرة أخرى داخل المجمعات الشمسية. تستخدم هذه الطريقة على نطاق واسع في مصانع الأغذية حيث يستهلك هذه المصانع كميات كبيرة من الماء الساخن في المراحل المختلفة لتصنيع الغذاء ومنها مرحلة تنظيف المواد الغذائية (خضر -

فاكهة) من الأتربة والشوائب العالقة بها من الحقل أو أثناء عملية النقل. كما سبق أن ذكرنا سابقاً فقد تكون درجة الحرارة الخارج عليها الماء من المجمعات الشمسية أقل من درجة الحرارة المطلوبة للتطبيق، في هذه الحالة لا يتم تخزين الطاقة الحرارية (الماء ساخن) بل يتم تزويد نظام الطاقة الشمسية بسخان إضافي (مساعد) auxiliary heater لرفع درجة حرارة الماء الخارج من المجمعات الشمسية إلى درجة الحرارة المطلوبة للتطبيق داخل مصنع الأغذية كما هو موضح بالشكل (25-2). في المناطق التي يتوفّر بها كميات كبيرة من الطاقة الشمسية من ناحية ومن ناحية أخرى في المصانع التي تحتاج لماء ساخن على فترات متباينة تكون عملية تخزين الطاقة الحرارية مرغوبه أيضاً اقتصادياً. نظام تسخين الماء بالطاقة الشمسية والموضّح بالشكل (25-2) يمكن استخدامه في أغراض عملية كثيرة مثل تدفئة المنازل domestic warming مصانع الألبان dairy plants greenhouses warming مساكن الدواجن poultry housing processing plants و غيرها من التطبيقات المختلفة. في هذا النظام يتم دفع الماء البارد من المصدر (مياه البلدية) بواسطة طلمبة إلى مجمعين للطاقة الشمسية متصلين معاً على التوالي الأول مجمع شمسي من النوع المسطح flat concentrating solar plate solar collector بحيث يتم تمرير الماء مرة واحدة داخل المجمع الأول ومنه إلى المجمع الثاني وبعد خروج الماء الساخن من المجمع الثاني يتم تخزينه داخل خزان معزول insulated storage tank في حالة ما إذا كانت درجة حرارة الماء الخارج من المجمعات الشمسية أقل من درجة الحرارة المطلوبة يتم سحب الماء الساخن من خزان التخزين المعزول بواسطة طلمبة إلى خزان فرعى يحتوى على مبادل حراري heat exchanger حيث يتم رفع درجة حرارة الماء إلى الدرجة المطلوبة للتطبيق وذلك باستخدام سخان بخار إضافي auxiliary steam heater . هذا النظام تم استخدامه في الولايات المتحدة الأمريكية عام 1978 حيث تم توفير حوالي 75% من الطاقة الكلية المستخدمة من قبل (بدون نظام التسخين بالطاقة الشمسية) في مصنع من مصانع الأغذية. كما تم استخدام هذا النظام بنيوزيلندا في إسطبل من إسطبلات ماشية اللبن يحتوى على 350 dairy cows وذلك باستخدام 18 solar panels مساحة كل واحد منها $0.72m^2$ نظمت في ثلاثة صفوف على

التواري كل صف يحتوى على solar panels 6 متصلة معاً على التوالى لتوفير ماء ساخن على درجة حرارة 90°C لتنظيف الأوعية والمعدات المستخدمة فى عملية الحلب الآلى مرة فى الصباح الباكر وأخرى فى المساء. أمكن بواسطة هذا النظام توفير 29% من الطاقة الكلية التى تستخدم فى تجهيز هذا الماء الساخن.



شكل (25-2): نظام تسخين المياه بتمريره داخل المجمع الشمسي

2-5 تسخين الماء بإعادة تمريره مرة أخرى :

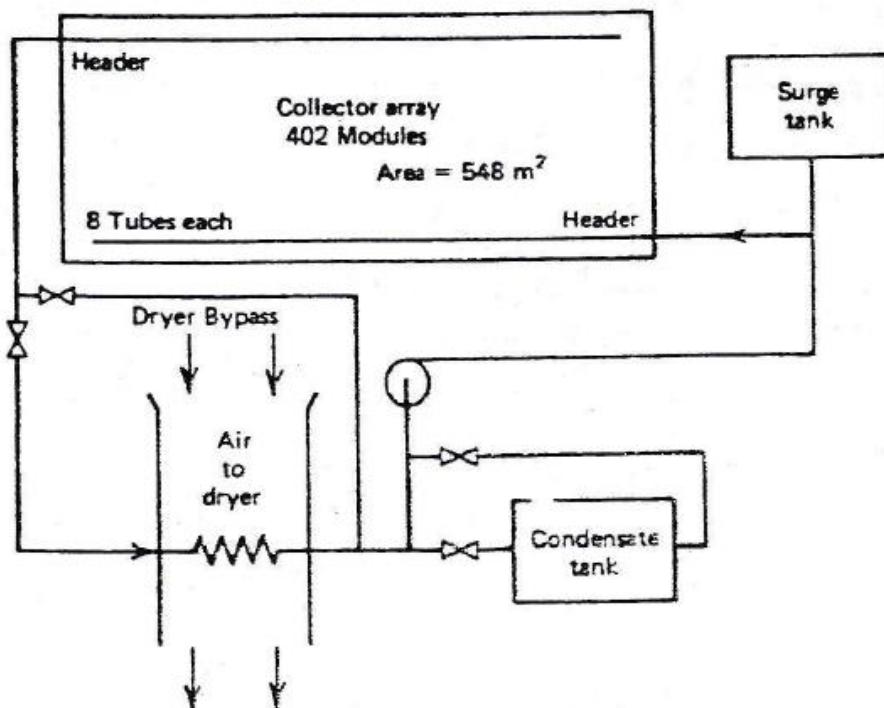
Recirculation industrial solar water heating

يمر الماء فى هذه الطريقة فى دورة مغلقة مكونة من مجمع شمسي وخزان معزول للتخزين يحتوى على كمية معينة من الماء اللازم لأى عملية من عمليات التطبيق حيث يتم سحب الماء البارد من خزان التخزين المعزول ودفعه بواسطة طلمبة إلى المجمع الشمسي ثم يخرج من المجمع ساخناً ليخلط مع الماء البارد الموجود بخزان التخزين ليعاد دفعة مرة أخرى داخل المجمع الشمسي وهكذا. سوف نقتصر هنا على ذكر نماذجين لهذا النوع من نظام السريان على حسب طريقة استغلال الماء الساخن وهما:

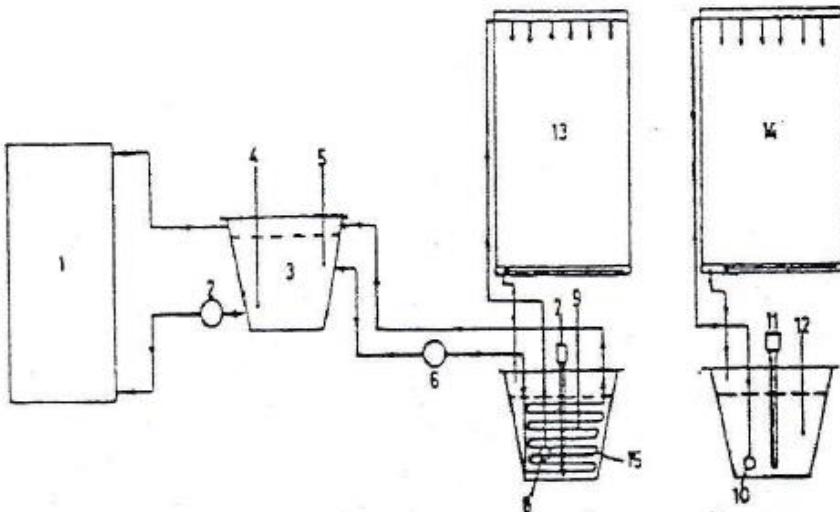
النموذج الأول: يتم سحب الماء من خزان معزول للماء (يحتوى على كمية محدودة من الماء تتوقف على كمية الطاقة الشمسية المتاحة في منطقة التطبيق وعلى درجة الحرارة التي تحتاجها عملية التطبيق) ودفعه داخل مجمع شمسي ليخرج الماء الساخن مع المجمع ليمر داخل مبادل حراري heat exchanger يستغل لتسخين الهواء البارد (يقوم الهواء المدفوع على المبادل الحراري بامتصاص جزء كبير من الطاقة الحرارية الموجودة بالماء الساخن داخل المبادل) وبالتالي تنخفض درجة حرارة الماء فيعاد الماء مرة أخرى إلى الخزان ومنه مرة أخرى إلى المجمع الشمسي وهكذا كما هو موضح بالشكل (2-26). يمكن استغلال الهواء الساخن الخارج من صندوق المبادل الحراري في أغراض كثيرة مثل التجفيف (بدفعه داخل المجفف) تدفئة البيوت المحمية (بدفعه من خلال نظام توزيع حراري داخل البيوت المحمية) وغيرها من التطبيقات المختلفة. تتوقف الكفاءة الحرارية الكلية لهذا النظام على كفاءة انتقال الحرارة من الماء إلى الهواء من خلال المبادل الحراري، وقد تم استخدام هذا النظام في الولايات المتحدة الأمريكية لتجفيف التبغ ولكن أقصى كفاءة حرارية تم التوصل إليها كانت 30% فقط بسبب انخفاض معامل انتقال الحرارة الكلى لمعدن المبادل الحراري الذي تم استخدامه وأيضاً لضعف المادة العازلة المحيطة بخزان التخزين.

النموذج الثاني: يتم سحب الماء من خزان التخزين المعزول ودفعه داخل مجمع شمسي ليخرج الماء الساخن إلى مبادل حراري موضوع داخل خزان آخر للماء بعرض رفع درجة حرارة هذا الماء ويمكن استخدام هذا النظام لتوفير الماء الساخن للأغراض المنزلية كذلك في بعض إسطبلات الماشية والبيوت المحمية. الشكل (2-27) يوضح واحد من نظم تسخين الماء بالطاقة الشمسية بإعادة دفع تيار الماء داخل المجمع الشمسي. تم استخدام هذا النظام في جامعة لندن بالمملكة المتحدة عام 1984 لتسخين محلول المغذي (NFT) Nutrient Film Technique solution المستخدم في نظام الزراعة المائية (الزراعة بدون تربة) hydroponics system protected cropping ونظرية عمل هذا النظام لتغذية محاصيل البيوت المحمية على درجة حرارة أعلى من التي دخل عليها المجمع فيعود إلى خزان التخزين ليخلط مع الماء الموجود بالخزان وتعود الدورة مرة أخرى من الخزان إلى المجمع وهكذا. الماء الساخن في خزان التخزين المعزول يتم سحبه بواسطة طلمبة أخرى

ليدفع داخل مبادل حراري موجود داخل خزان المحلول المغذى حيث تنتقل الطاقة الحرارية الموجودة بالماء الساخن إلى المحلول المغذى والذي يدفع بدوره إلى النباتات (محصول الخس) ليمر المحلول المغذى الدافئ بمنطقة جذور المحصول.



شكل (26-2): نظام تسخين المياه باعادة تمريرها مرة أخرى

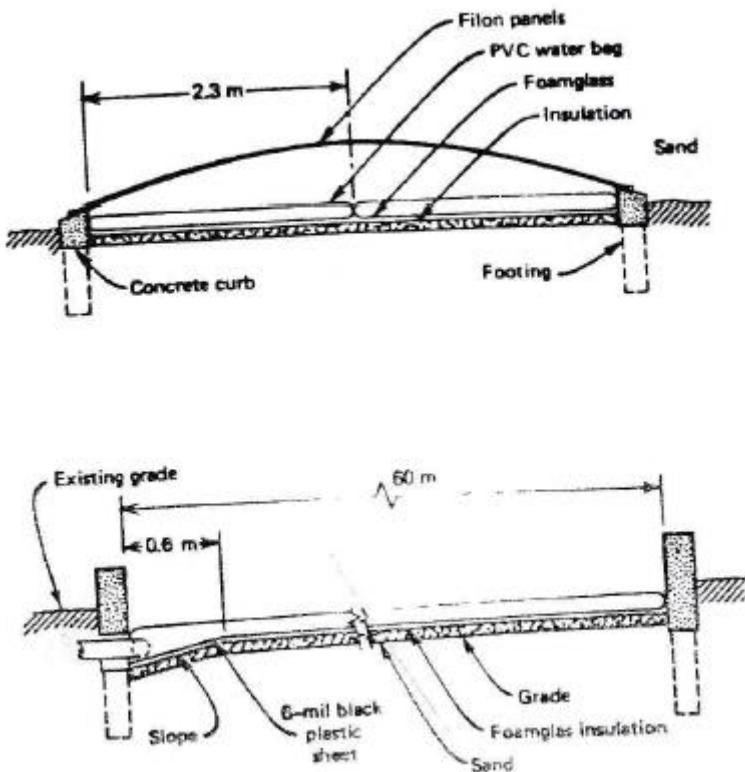


شكل (27-2): نظام تسخين المياه باعادة تمريرها مرة اخرى مع نظام NFT

3-5-3 سخانات الماء الشمسية ذات القناة الضحلة :

Shallow pond solar water heating system

يتكون هذا النظام من مجمع شمسي يحتوى على أغلفة من البلاستيك plastic envelopes حيث يتم دفع تيار من الماء البارد داخل الأغلفة بعمق مناسب فى الصباح الباكر ويترك الماء بداخل الأغلفة البلاستيكية لامتصاص الطاقة الشمسية الساقطة على المجمع الشمسي طوال ساعات النهار كما هو موضح بالشكل (28-2). عندما تزيد كمية الطاقة المفقودة من الماء الساخن داخل الأغلفة البلاستيكية عن كمية الطاقة الممتصة بواسطة الماء أو حينما تصل درجة حرارة الماء داخل الأغلفة إلى درجة الحرارة المثلث خلال ساعات النهار يتم سحب الماء الساخن من داخل المجمع الشمسي ويتم تخزينه في خزان معزول إلى حين استخدامه. يصلح هذا النظام فى بعض المناطق المتوسطة فى كمية الطاقة الشمسية المتاحة ، ويجرى الآن فى كثير من دول العالم العديد من الأبحاث على هذا النوع من نظم التسخين بالطاقة الشمسية لحل المشاكل التى تحدث أثناء التشغيل كذلك محاولات زيادة الكفاءة الحرارية الكلية لهذا النوع.



شكل (28-2): سخانات المياه الشمسية ذات القناه الضحلة

