

الباب الثانى
الطاقة الشمسية

SOLAR ENERGY

في نهاية هذا الباب يكون الطالب قادر على:-

- التعرف على زوايا الشمس وكيفية حسابها
- حساب كمية الاشعة الشمسية الساقطة على مساحة معينة.
- حساب الفواقد من الطاقة الشمسية.
- التعرف على نظم التسخين الشمسى.
- التعرف على نظم التجفيف الشمسى.

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 فى توفير نسبة عالية من الطاقة التقليدية علاوة على كونها طاقة نظيفة لا تحدث أى تلوث للبيئة بالإضافة لكونها ارخص 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 تحقق إلا فى السنوات القليلة الماضية وما زال هذا المجال حتى الان يقع تحت دراسة العديد من الباحثين والعلماء فى مختلف دول العالم وصولاً إلى احسن وأفضل الطرق لتجميع وتخزين هذا النوع من الطاقة الطبيعية والنظيفة (صديقة البيئة)والرخيصة التكاليف.

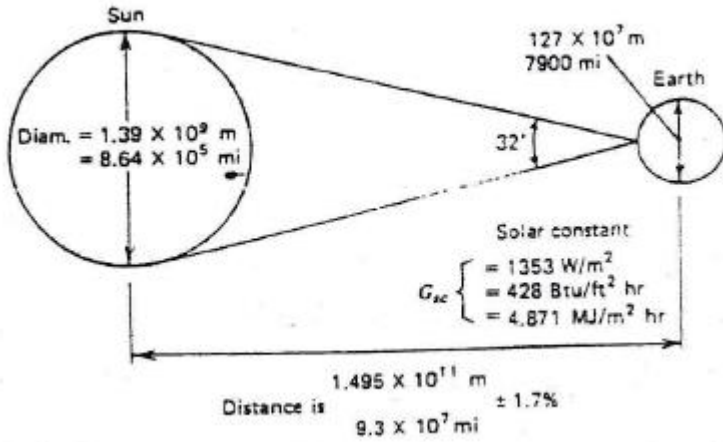
الشمس كمصدر رئيسى للطاقة الشمسية:

لكى يتم دراسة نظم التسخين الشمسى وبالتالي استغلال الطاقة الشمسية كأحد صور الطاقة المتجددة فى العديد من التطبيقات الزراعية فلا بد من معرفة مصدر هذه الطاقة وتوضيح بعض المعلومات الخاصة بها ألا وهى الشمس. تعتبر الشمس هى المصدر الرئيسى للطاقة الشمسية والشمس عبارة عن كرة ذات مقدار غير معين من الغازات الكثيفة والملتهبة حيث يبلغ قطرها حوالى 106 km × 1.4 (حوالى 1.4 مليون كيلو متر) وتبعد الشمس عن كوكب الأرض فى المتوسط بمسافة مقدارها 108 km × 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 الشمالى 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 فى الحقيقة عبارة عن مفاعل مستمر لاندماج ذرات الغازات الملتهبة التى تتكون منها الشمس ومن تفاعلات الاندماج العديدة التى تمدنا بالطاقة المشعة بواسطة الشمس (تعتبر من أهم هذه التفاعلات تلك الممثلة فى عملية اندماج الهيدروجين لتكوين الهليوم). فالطاقة الشمسية المنبعثة من الشمس والتى تصل إلى سطح كوكب الأرض تكون نتاج تفاعل كيميائى مستمر داخل قلب الشمس لتحويل غاز الهيدروجين إلى غاز الهليوم وذلك عن طريق اندماج ذرتين من الهيدروجين (4 بروتون) معاً لتكوين ذرة واحدة من غاز الهليوم، وحيث أن كتلة ذرة واحدة من غاز الهليوم الناتج من عملية الاندماج تكون اقل من كتلة ذرتين من غاز الهيدروجين فإن فرق الكتلة المفقودة من عملية الاندماج تتحول إلى طاقة مشعة وهى فى حقيقة الأمر عبارة عن الطاقة الشمسية التى تنبعث خارج غلاف الشمس ومنها إلى الغلاف الخارجى للكرة الأرضية ثم إلى السطح الأرضى. تنتج هذه الطاقة فى داخل الكرة الشمسية عند درجات حرارة عالية. ويحدث عمليات انتقال حرارة متتالية بالإشعاع وبالحمل يعقبها انبعاث للطاقة وامتصاص لجزء من هذه الطاقة وإشعاع الجزء المتبقى وهذا الجزء المشع يتم فى قلب الشمس ويكون فى صورة أشعة إكس وجاما.

الثابت الشمسى: The solar constant

نتيجة للاختلاف 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 (1-2). يؤدى الإشعاع المنبعث من الشمس إلى الأرض إلى توفير شدة من الإشعاع الشمسى تكون ثابتة تقريباً خارج غلاف الكرة الأرضية وهذا الثابت هو ما يعرف بالثابت الشمسى (Gcs) والثابت الشمسى عبارة عن الطاقة المنبعثة من الشمس بالنسبة لوحدة الزمن والتى تصل إلى وحدة مساحة لسطح عمودى على اتجاه الأشعة الساقطة عند المسافة المتوسطة بين الشمس والأرض خارج غلاف الكرة الأرضية. وقد تم قياس الثابت الشمسى خارج غلاف الكرة الأرضية بواسطة سفن الفضاء والبالون والمناطيد ووجد أنه يساوى تقريباً 1353 W/m^2 مع نسبة خطأ تقدر بحوالى $\pm 1.5\%$.



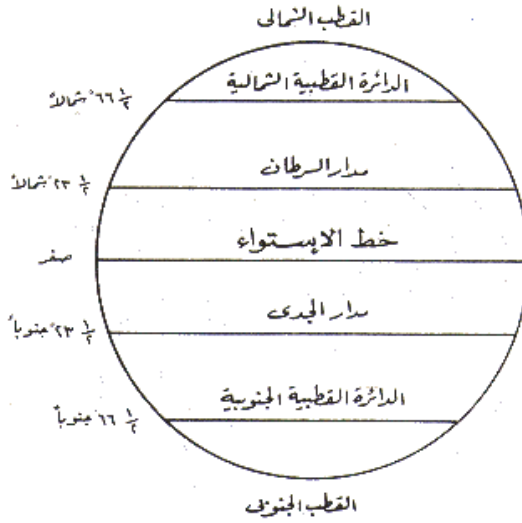
شكل (1-2): العلاقة بين الشمس والارض

دراسة وضع الشمس: The position of the sun

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

1- زاوية خط العرض (Φ) Latitude angle

قسمت الكرة الأرضية فى الاتجاه العرضى 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 التى تقع شمال خط الاستواء تكون موجبة الإشارة بينما تكون جميع خطوط العرض جنوب خط الاستواء سالبة الإشارة أى 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 الارضية

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° الى -23.45° فإذا كانت هذه الزاوية موجبة الإشارة فهذا يعنى أن القطب الشمالي من الكرة الأرضية يقترب من الشمس وبالتالي فإن نصف الكرة الشمالى يميل نحو الشمس ويبتعد القطب الجنوبى عن الشمس ويحدث هذا فى فصل الصيف بالنسبة لنصف الكرة الشمالى من الأرض وفى نفس الوقت يكون النصف الجنوبى من الكرة الأرضية فى فصل الشتاء وتكون الشمس فى هذا الوقت من العام متعامدة على مدار السرطان Tropic cancer أما إذا كانت هذه الزاوية سالبة الإشارة فإن هذا يعنى أن القطب الشمالى من الكرة الأرضية يبتعد عن الشمس بينما القطب الجنوبى من الكرة الأرضية يقترب من الشمس ويحدث هذا فى فصل الشتاء بالنسبة للنصف الشمالى من الكرة

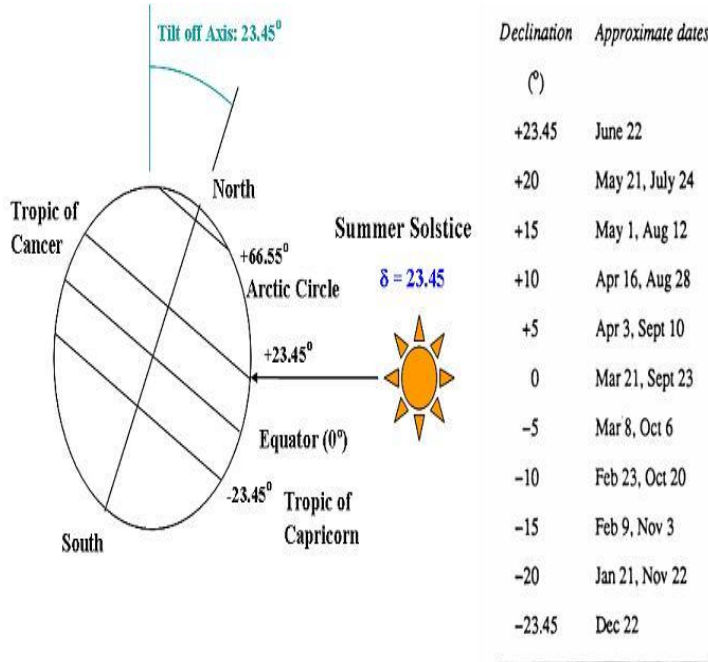
الأرضية وفي فصل الصيف بالنسبة لنصف الكرة الجنوبي وتكون الشمس في هذا الوقت من العام متعامدة على مدار الجدى Tropic of Capricorn وعلى هذا فإن هذه الزاوية تساوى صفر في يوم 21 مارس ويوم 21 سبتمبر عندما تكون الشمس متعامدة تماماً على خط الاستواء كما هو موضح بالشكل (2-3) وتساوى 23.45° يوم 22 يونيه وتساوى 23.45° - 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

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

The number of the (n) حيث أن (n) هى رقم اليوم اعتباراً من أول يناير . day from of January



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

مثال:

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

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 الشمسى Solar hour angle

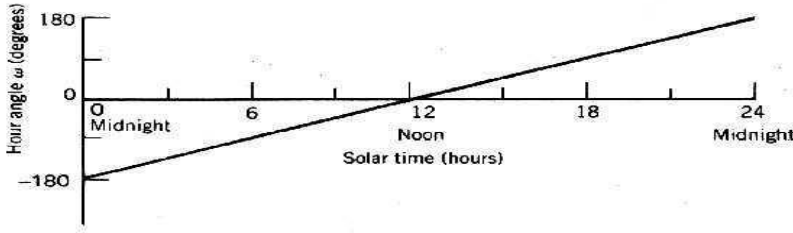
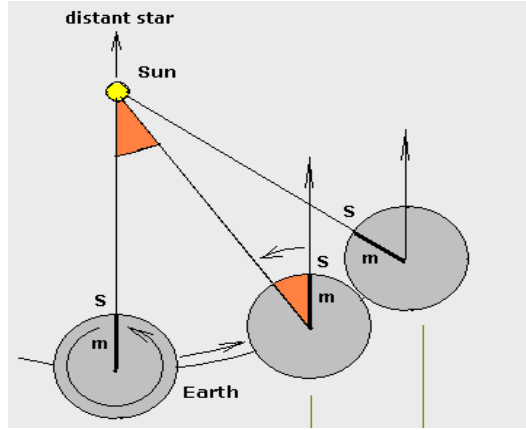
عبارة عن الإزاحة الزاوية للشمس شرق أو غرب خط طول صفر (خط جرينتش Meridia) نتيجة دوران الأرض حول محورها بمقدار 15 درجة كل ساعة (15°/hr) كما فى شكل (4). وهذه الزاوية تكون سالبة الإشارة صباحاً وتكون موجبة الإشارة بعد الظهر وبالتالي فإنها تساوى صفر عند الظهر وشكل (4-2) يوضح ذلك.

ويمكن تحديد وحساب قيمة هذه الزاوية من المعادلة التالية:-

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

حيث أن (LAT) عبارة عن التوقيت المحلى للمكان Local Apparent

.Time



شكل (2-4): زاوية الوقت الشمسي

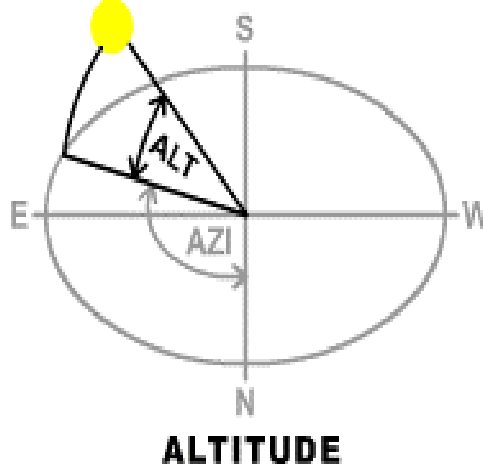
4- زاوية الارتفاع الشمسي (ψ) Solar altitude angle

عبارة عن الزاوية المحصورة بين الأشعة الشمسية الساقطة والمستوى الأفقى لسطح الأرض كما هو واضح فى شكل (2-5). 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 فى التناقص التدريجى 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 فى التناقص التدريجى حتى تصل إلى اقل 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 (5-2): زاوية ارتفاع الشمس

مثال:

حدد زاوية ارتفاع الشمس عند خط عرض 25°N عند الظهر يوم 23 ديسمبر ويوم 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 الشمسى وقد تغيرت قيمتها من 41.6° يوم 23 ديسمبر إلى أقصى قيمة لها 88.5° يوم 21 يونيو.

5- زاوية السمى الشمسى الرأسية (z) Solar zenith angle

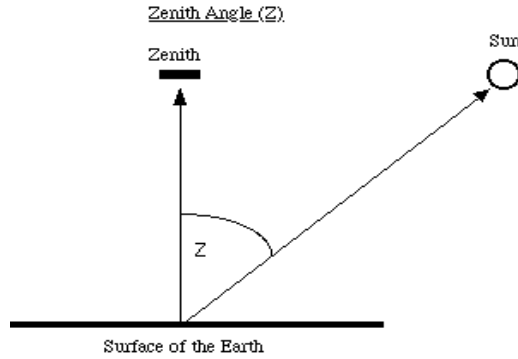
عبارة عن الزاوية المحصورة بين الأشعة الشمسية الساقطة والعمود المقام على المستوى الأتقى لسطح الأرض كما هو موضح بالشكل (2-6). وهذه الزاوية تعتبر الزاوية المتممة مع زاوية الارتفاع الشمسى وبالتالي فإن قيمتها تكون عكس قيمة زاوية الارتفاع الشمسى فعند زيادة قيمة زاوية الارتفاع الشمسى تقل قيمة زاوية الارتفاع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

يمكن تحديد وحساب زاوية السمى الشمسى الرأسية من المعادلة التالية:

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

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

$$z = 90 - \Psi$$



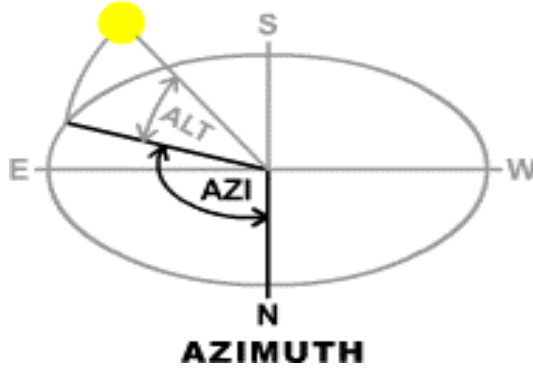
شكل (6-2): زاوية السمى الشمسى الرأسية

6- زاوية السمى الشمسى الأفقية (γ_s) Solar azimuth angle

عبارة عن الزاوية الأفقية المحصورة بين خط إسقاط الأشعة الشمسية على المستوى الأفقى والخط المتطابق مع اتجاه الجنوب الجغرافى كما هو موضح بالشكل (7-2). وهذه الزاوية تكون قيمتها سالبة الإشارة من الشروق وحتى قبل الظهر وتكون موجبة الإشارة بعد الظهر وبالتالي فإن قيمتها تساوى صفر عند الظهر. ويمكن تحديد وحساب قيمة هذه الزاوية بدلالة زاوية انحراف الشمس عن خط الاستواء عند الظهر (δ) وزاوية الوقت الشمسى (ω) وأخيراً زاوية الارتفاع الشمسى (ψ) من المعادلة التالية:

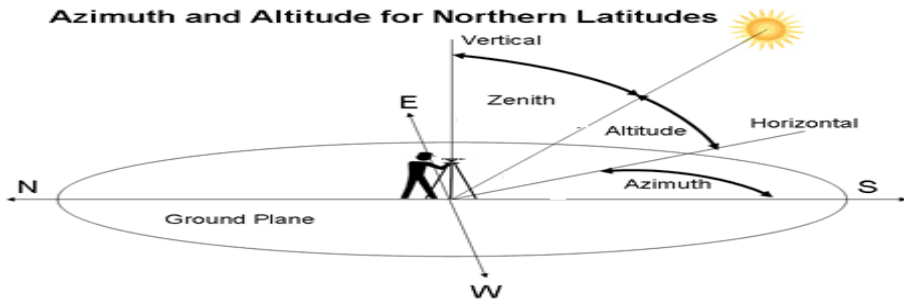
$$\sin(\gamma_s) = \left(\frac{\cos(\delta) \sin(\omega)}{\cos(\Psi)} \right)$$

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



شكل (2-7): زاوية السمات الشمسي الأفقية

ويوضح شكل (2-8) الفرق بين كل من زاوية الإرتفاع الشمسي وزاوية السمات الشمسي الأفقية وزاوية السمات الشمسي الرأسية.



شكل (2-8): الفرق بين كل من زاوية الإرتفاع الشمسي وزاوية السمات الشمسي الأفقية وزاوية السمات الشمسي الرأسية

مثال:

حدد زاوية السمات الشمسي الرأسية والافقية لمكان يقع عند خط عرض 30°N الساعة 10 صباحاً يوم 16 مارس.

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 المثلى للسطح : (β_o) Optimum tilt angle of a surface

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

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

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

$$\beta_o = z = 90 - \Psi$$

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

عبارة عن الزاوية المحصورة بين الأشعة الشمسية الساقطة والعمود المقام على سطح المستقبل لهذه الأشعة كما هو موضح بالشكل (2-9). وتعتبر هذه الزاوية أيضاً من الزوايا الهامة جداً حيث تلعب دوراً كبيراً فى زيادة أو نقص حمل التسخين الطبيعى (حمل التسخين الشمسى) على أسقف المنازل وإسطبلات الماشية ومساكن الدواجن والبيوت المحمية وأخيراً المجمعات الشمسية. كما أن هذه الزاوية تعتبر احد 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 الشمسى بدلالة زاوية الارتفاع الشمسى (Ψ) وزاوية سمت الشمسى الأفقية (β_s) وأخيراً زاوية ميل السطح المستقبل للأشعة الشمسية (β) من المعادلة التالية:

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

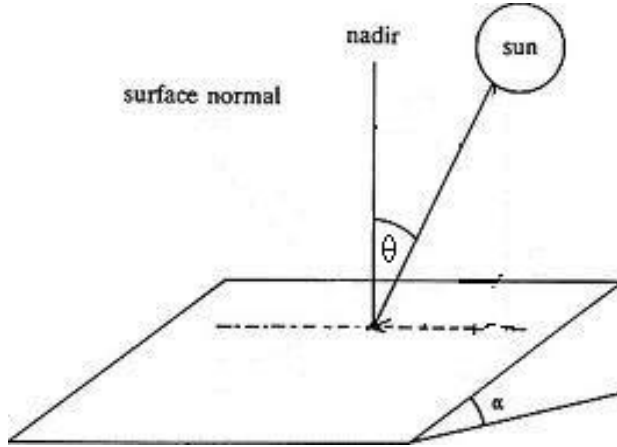
$$\theta = \arccos[\cos(\Psi)\cos(\gamma_s)\sin(\beta) + \sin(\Psi)\cos(\beta)]$$

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

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

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

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



شكل (9-2): زاوية السقوط الشمسى

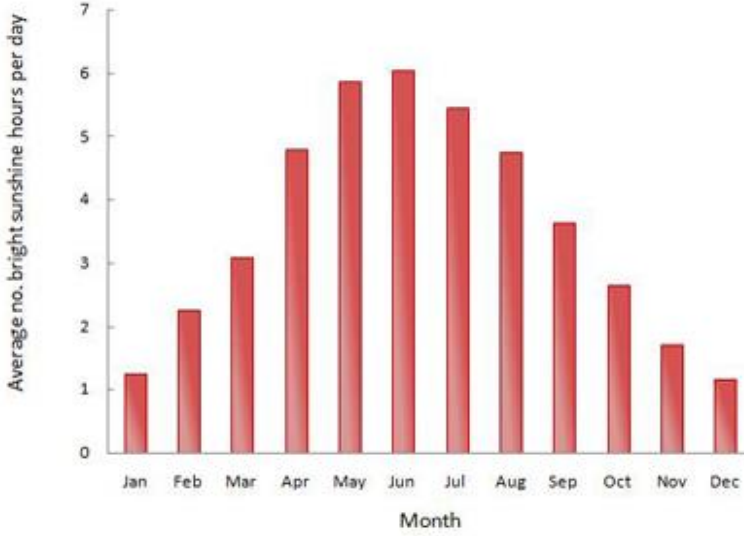
9- عدد ساعات الإضاءة الشمسية

Number of bright sunshine hours (N)

عبارة عن أقصى عدد لساعات سطوع الشمس فى اليوم الواحد (طول النهار) ويمكن تحديد وحساب عدد ساعات الإضاءة اليومية لأى مكان على سطح الكرة الأرضية بدلالة زاوية خط العرض (Φ) وزاوية الانحراف الشمسى 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 (10-2): متوسط عدد ساعات سطوع الشمس اليومي لكل شهر خلال السنة

10- وقت شروق الشمس (T_s): Sunrise time

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 فى 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 لمهندس التدخين والتبريد وتكييف الهواء (ASHRAE). الأشعة الشمسية الكلية قصيرة الطول الموجى (I_T) والتي تصل إلى مستوى أى سطح مائل وهى تكون عبارة عن مجموع الأشعة الشمسية المباشرة (I_D) direct solar radiation والأشعة الشمسية المشتتة من السماء (I_d) diffuse sky radiation والأشعة الشمسية من السطوح المحيطة 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) Direct total solar radiation

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 معامل كسوف 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 الشمسى الساقط والعمود المقام على هذا السطح. زاوية سقوط الأشعة الشمسية للسطح الأفقى فى الشكل (1-2) تكون هى الزاوية θ_H . وللسطح العمودى تكون هى الزاوية θ_V (QOV) ولأى سطح مائل θ_H . θ_V (QOP) ولأى سطح مائل بزواوية (β) تكون هى الزاوية θ والتى يمكن تحديدها بدلالة زاوية ارتفاع الشمس (Ψ) وزاوية السمت الأفقية للشمس والسطح معاً (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 $\beta = 0$ 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 $\beta = 90^\circ$ وبالتالي فإن المعادلة الأساسية يتم تعديلها لتصبح كما يلى:

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

3- الأشعة الشمسية الساقطة على سطح أفقى

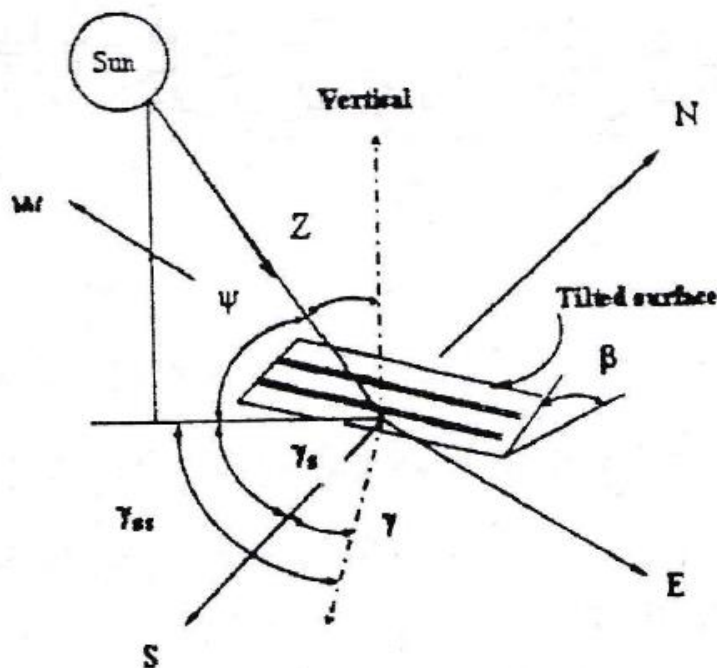
Solar radiation flux incident on a horizontal surface:

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

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

جدول (1-2): الاشعاع الشمسى ورقم اليوم وزاوية الانحراف الشمسى والاشعة الشمسية المرئية ومعامل كسوف الشمس ومعامل تشتت الاشعة الشمسية للمتوسط اليومى فى كل شهر.

Month	Date	n	δ	I_0	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 للأسطح الأفقية 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:

$$n = 288, \quad \Phi = 32^{\circ}\text{N} \quad \omega = 0$$

$$A = 1\,192 \text{ W/m}^2, \quad B = 0.160, \quad \gamma_{ss} = 0$$

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

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

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

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

$$\psi = 46.2^\circ$$

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

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

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

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

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

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

الأشعة الشمسية المباشرة والساقطة 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 والساقطة 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 والساقطة 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 الساقطة من السماء المشرقة على سطح أفقى.

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

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

ويتم 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 الارض

Solar radiation diffusely reflected from the ground (I_r):

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

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

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 الارض

F_{sg} معامل الزاوية بين السطح المستقبل للأشعة المنعكسة و سطح 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 الافقى بزاوية مقدارها 30° وموجه نحو الجنوب عند خط عرض $25^\circ N$ 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

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

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

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

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

$$= 0.888$$

$$\psi = 62.6^\circ$$

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

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

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

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:

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

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

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:

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

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

معامل الزاوية بين سطح المجمع الشمسى 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:

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

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

معامل الزاوية بين سطح المجمع الشمسى 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 الشمسى (I_r) يمكن حسابها من المعادلة التالية:

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

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

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

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

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

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

$$I_T = 6.55.5 + 108.0 + 26.6 = 790.1 \quad \text{W/m}^2$$

أثبتت جميع القياسات والحسابات التى 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 هى الأدق والأقرب لما يتم قياسه من الشروق وحتى الغروب.

تصميم المجمعات الشمسية المسطحة ونظم التسخين بالطاقة الشمسية

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

بعد أن درسنا بعض التعاريف والعلاقات الرياضية المتعلقة بدراسة وضع الشمس وطريقة تحديد وحساب وضع الشمس على أى مكان على ظهر الكرة الأرضية وطرق تحديد وحساب كمية الأشعة الشمسية التى تصل لسطح الأرض فى اليوم المتوسط لكل شهر وبالتالي الساقطة على سطح مجمع شمسي مائل بزواوية 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 المركزة Concentrating solar.

تعتبر المجمعات الشمسية نوع خاص من المبادلات 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 المركزة تتطلب التشغيل تحت ظروف مناخية صافية ونقية من الغبار والأتربة والتي بدورها تؤثر على الكفاءة الحرارية لهذه المجمعات تأثير سلبى بالغ، لذا فإن المجمعات الشمسية المسطحة هي التى 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 فى العالم كله خاصة فى المناطق التى 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 والتي يمر فيها المائع مباشرة داخل المجمع الشمسى حيث يكتسب حرارة تنقل إليه بثلاث طرق لانقال الحرارة (بالإشعاع من أشعة الشمس المباشرة وبالحمل من سطح الامتصاص وبالتوصيل 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 والأشعة الشمسية المنعكسة من سطح الأرض 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 فى التصميم والتنفيذ والتشغيل من النوع المركز Concentrating.

(5) يعتبر هذا النوع من المجمعات الشمسية اقتصادى فى عمليات التسخين التى تتطلب درجة حرارة أقل من 100°C .

(6) يستخدم فى العديد من التطبيقات سواء فى عمليات تسخين السوائل أو الغازات حيث تستغل الموائع الساخنة بواسطة هذه المجمعات فى 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

operating fluid إلى نوعين أساسيين هما:

أولاً: سخانات الماء الشمسية : Solar Water Heaters

يستخدم هذا النوع من السخانات الشمسية فى تسخين السوائل المختلفة (ماء نقى – ماء مختلط بسوائل مانعة للتجمد والغليان – زيت) ويطلق عليه اسم وعاء التسخين الشمسى solar panel وهو نوع شائع الاستخدام ويتميز بكفاءة وأداء حرارى عاليين وبالتالي فإنه يستخدم على نطاق واسع فى العديد من التطبيقات التى تتطلب ماء أو سائل ساخن خاصة فى موسم الشتاء مثل: البيوت المحمية – إسطبلات الماشية – مساكن الدواجن – الورش الزراعية – الاستعمالات المنزلية المختلفة – عمليات تصنيع الغذاء النباتى والحيوانى – عمليات التجفيف المختلفة. يتكون هذا النوع من السخانات الشمسية من ستة أجزاء رئيسية كما هى موضحة بالشكل (2-12) وهى:

(1) صندوق السخان : Panel Box

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

(2) اللوح الماص : Absorber Plate

يعتبر هذا الجزء هو أهم أجزاء السخان الشمسى ويكون أيضاً مستطيل الشكل ويصنع رقائق (صفائح) من النحاس أو الألمونيوم بسمك 2mm ومن الناحية الاقتصادية يفضل أن يكون من الألمونيوم نظراً لرخص ثمنه مقارنة بنفس الوحدة من النحاس على الرغم من الفارق بين الألمونيوم والنحاس فى معامل التوصيل الحرارى (k for aluminum = 205 W/m.°C; k for copper = 385 W/m.°C) ويطلقى هذا السطح باللون الأسود المطفاً matt black paint لزيادة معامل الامتصاص للأشعة الشمسية الساقطة عليه وفى نفس الوقت تقليل الفقد بواسطة الانبعاث الحرارى للأشعة طويلة الموجة من السطح الماص إلى الوسط المحيط.

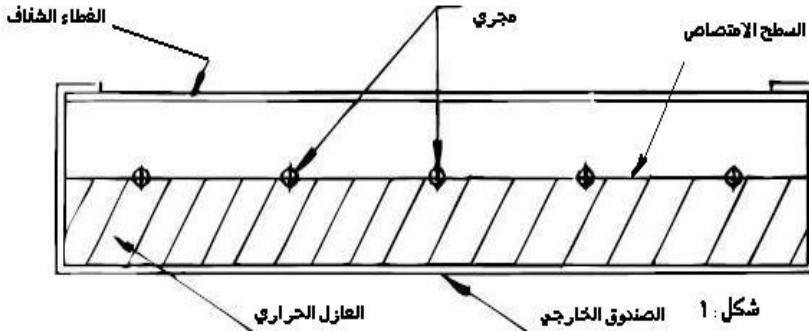
(3) الأنابيب النحاسية : Copper Pipes

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

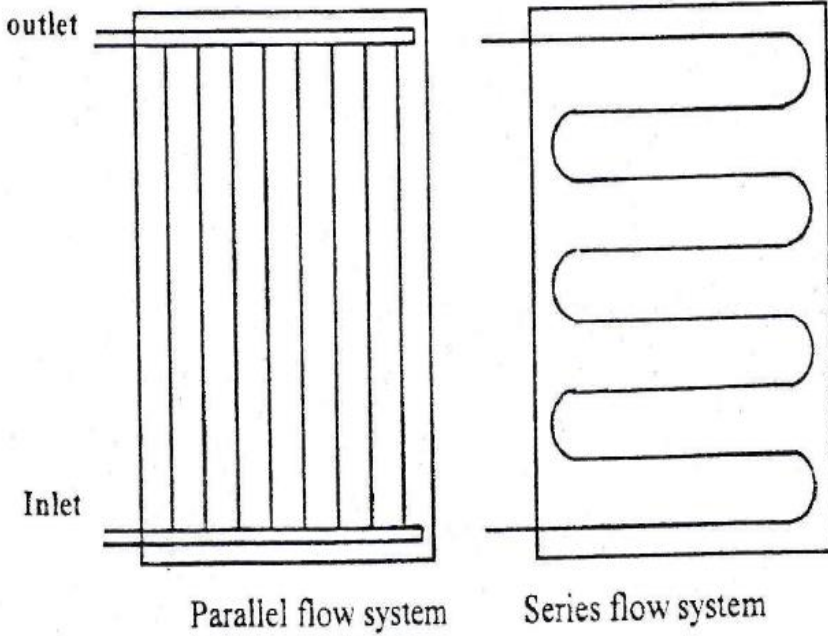
بطريقة محكمة فى اللوح الماص absorber plate من اعلى أو من أسفل والتثبيت الشائع والأفضل هو من اعلى اللوح الماص ويكون تثبيت هذه الأنابيب إما على التوالي series أو على التوازي parallel كما هو موضح بالشكل (2-13) وتطلى هذه الأنابيب النحاسية أيضاً باللون الأسود (طلاء اسود مطفاً) من نفس نوع الطلاء المستخدم من 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

وهى المادة التى تقوم بملئ الفراغ الموجود فى جوانب وظهر السخان الشمسى بين لوح الامتصاص وصندوق السخان وهذه المادة تستخدم أساساً لتقليل كمية الحرارة المفقودة بالتوصيل بين أجزاء السخان الداخلية وبالحمل الطبيعى من جوانب وظهر السخان الشمسى مع الوسط المحيط بالسخان.



شكل (2-12): قطاع فى سخان ماء شمسى



شكل (2-13): تثبيت الانابيب النحاسية باللوح الماص إما على التوالى او على التوازى

(5) الغطاء الزجاجى : Glass Cover

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

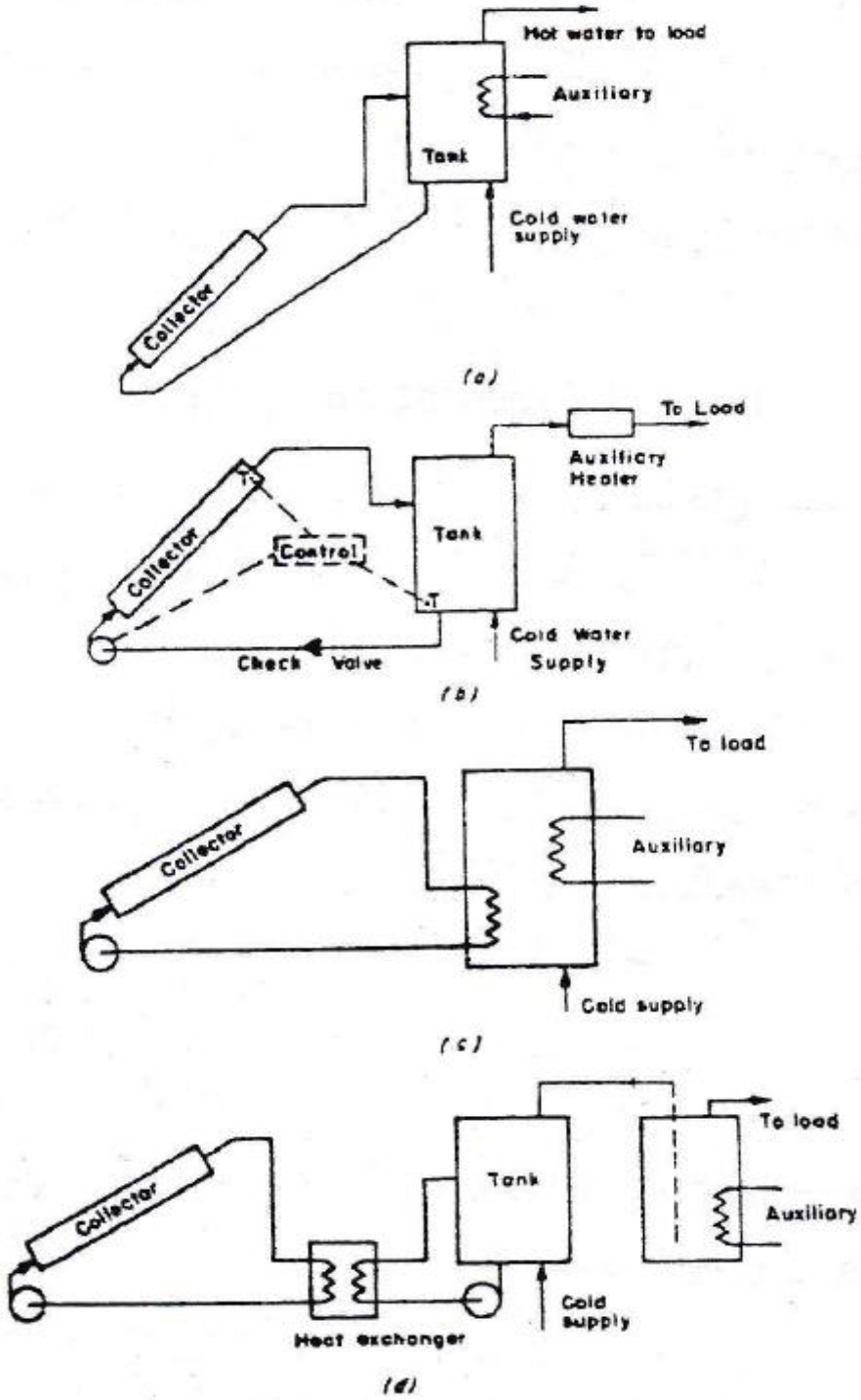
(6) خزان تخزين الطاقة : Energy Storage Tank

بعد مرور الماء بداخل السخان الشمسى وامتصاصه الحرارة المتولد بداخله يتم تخزين الماء الساخن داخل خزان معزول جيداً (لتقليل كمية الحرارة المفقودة بالحمل خلال جدران الخزان) إلى حين استخدامه فى أى من التطبيقات المختلفة. يختلف حجم هذا الخزان على حسب مساحة سطح المجمع الشمسى (السخان الشمسى) 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 طلبية دفع للماء على حسب وضع خزان التخزين بالنسبة للسخان الشمسى، فإذا كان الخزان فى مستوى اعلى من السخان فإن المار يمر داخل السخان تحت تأثير الضغط الطبيعى للماء من أسفل نقطة فيه والتي تسمى بنقطة دخول الماء water inlet ويخرج الماء من اعلى نقطة فى السخان فى مستوى أدنى من السخان الشمسى فإن النظام يحتاج إلى طلبية لدفع الماء داخل السخان حيث يتم توصيل الطلبية بأسفل نقطة فى خزان التخزين مع نقطة دخول الماء للسخان.

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

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

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



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

1-2 نظام الدوران الطبيعي : Natural Circulation System

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

2-2 نظام الدوران الجبرى : Forced Circulation System

يحتوى هذا النظام على طلبية لدفع الماء داخل السخان الشمسى حيث يوضع خزان التخزين تقريباً فى نفس مستوى السخان، كما يحتوى هذا النظام على نظام تحكم control system يحتوى على ثرموستات فرقى differential thermostat للتحكم فى تشغيل طلبية دفع الماء (فتح وغلق الطلبية) فعندما تكون درجة حرارة لوح الامتصاص اعلى من درجة حرارة الماء داخل خزان التخزين يقوم نظام التحكم بتشغيل الطلبية والعكس عندما تكون درجة حرارة لوح الامتصاص تساوى أو اقل من درجة حرارة الماء داخل خزان التخزين يقوم نظام التحكم بغلق طلبية 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 الشمسى إلى الخزان نتيجة للحرارة المفقودة أثناء الليل، لذا فإن هذا الصمام يوضع على خط الماء البارد الواصل بين أسفل الخزان وطلبية دفع الماء كما هو موضح بالشكل (14-2 ب). يمكن استخدام هذا النظام فى المناطق الشديدة البرودة (حيث تنخفض درجة حرارة الجو إلى مادون الصفر المئوى) حيث يحدث تجمد للماء الموجود داخل الأنابيب النحاسية مما يؤدي إلى تكسير وإتلاف هذه الأنابيب. وتلافى مثل هذه المشكلة يجب تطوير هذا النظام ليكون واحد من النظامين الموضحين بالشكلين (14-2 ج ، د)

ولتلافى ومقاومة ظاهرة التجمد Freezing phenomenon داخل السخانات الشمسية فى 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 والذى بدوره يمر داخل السخان الشمسى solar panel مع استخدام مبادل حرارى heat exchanger يوضع بين السخان وخزان التخزين كما فى الشكلين (2-14 ج ، د) وقد يوضع المبادل الحرارى خارج خزان التخزين كما فى الشكل (2-14 د). أو يكون على شكل ملف يوضع داخل خزان التخزين كما فى الشكل (2-14 ج).

(2) استخدام الهواء الساخن : Using of hot air

يمكن استخدام الهواء الساخن كمانع ناقل للحرارة لمنع ظاهرة التجمد داخل السخانات الشمسية وذلك بدفعه داخل السخان أو وحدة المبادل الحرارى المتصلة بالسخان كما فى الشكل (2-14 د).

(3) استخدام الماء الساخن : Using of hot water

يمكن دفع تيار من الماء الساخن الموجود بخزان التخزين ليمر داخل الأنابيب النحاسية بالسخان فى الوقت الذى 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 فى الوقت الذى تنخفض فيه درجة الحرارة وتقرب من نقطة التجمد. هذه الطريقة يمكن استخدامها فى المناطق التى 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 بالتالى.

(3) صرف الماء من السخان الشمسى:

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 الحرارى أو خارج النظام كجزء مفقود وبالتالى تكون الأنابيب النحاسية خالية تماماً من مصدر التجمد.

(5) تصميم الأنابيب ولوح الامتصاص :

Designing the solar panel plate and piping

يمكن تصميم السخان الشمسى بحيث يكون لوح الامتصاص والأنابيب من مواد تقاوم عملية التجمد مثل كاوتش البوتيل butyl rubber والتي تتمدد عند تجمد الماء بداخلها.

إذا كان انخفاض درجة الحرارة داخل السخان الشمسى تؤدي إلى حدوث أضرار بالسخان أثناء التشغيل (عملية تجمد الماء بداخله) فإن ارتفاع درجة الحرارة داخل سخانات المياه الشمسية تؤدي أيضاً إلى حدوث أضرار أخرى وهى الأضرار التى تنجم 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 الشمسى. يتوقع حدوث مثل هذه المشاكل فى المناطق الحارة وعند توقف عملية سحب الماء الساخن من خزان التخزين إلى عمليات التطبيق وإحلال ماء بارد مكانه لامتناس الطاقة الحرارية الزائدة والمتوفرة داخل السخان الشمسى. ويمكن تفادى وتقليل هذه المشاكل بإتباع احد طرق والوسائل التالية:

[1] استخدام محاليل المضادة للتجمد : Using antifreeze solutions

يمكن استخدام بعض المحاليل المضادة للتجمد والتي تؤدي إلى رفع نقطة غليان السائل إلى اعلى من 100°C مثل محلول 50% اثيلين جليكول أو محلول 50% بروبيلين جليكول 50% ethylene glycol or 50% propylene glycol الذى يضاف إلى الماء فيؤدي إلى رفع نقطة غليان السائل (خليط 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 اعلى من الضغظ الجوى**Operating the system at pressures of several atmosphere:**

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

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

[3] استخدام صمام امان للضغظ : Using pressure relief valve :

من الناحية العملية يفضل استخدام صمام امان 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 والفاكهة 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 الشمسى : 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 الماص : Absorber Plate

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

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

(3) المادة العازلة : Insulation Materials

وهى المادة التى تقوم بملئ الفراغ الموجود فى جوانب وظهر المجمع الشمسى بين لوح الامتصاص وصندوق المجمع وهذه المادة تستخدم أساساً لتقليل كمية الحرارة المفقودة بالتوصيل بين أجزاء المجمع الداخلية وبالحمل الطبيعى من جوانب وظهر المجمع الشمسى مع الوسط المحيط به.

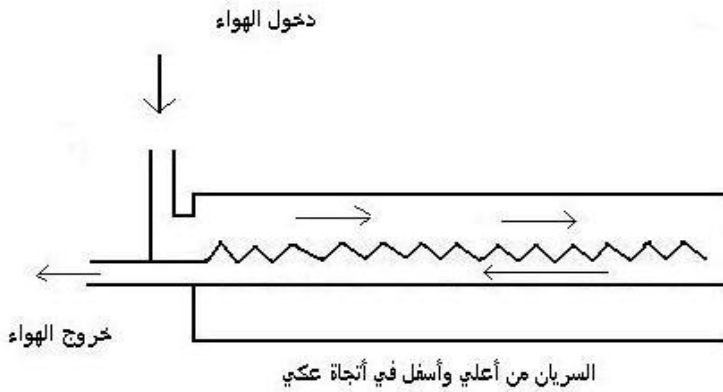
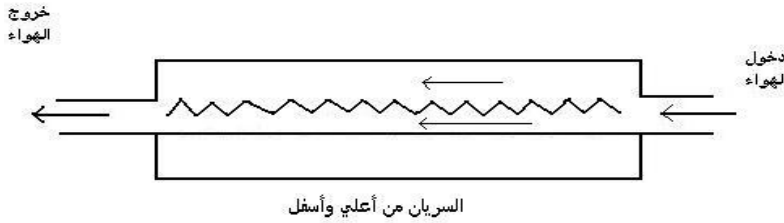
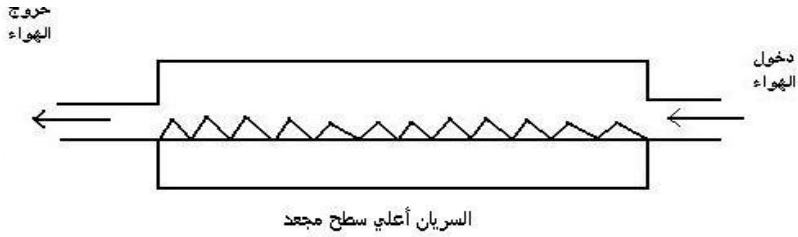
(4) الغطاء الزجاجى : Glass Cover

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

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

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

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



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

Thermal Performance Tests of Solar Collectors

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

1- الطاقة الشمسية المتاحة (Q) : Solar energy available (Q)

يمكن تحديد وحساب كمية الطاقة الشمسية المتاحة بدلالة الطاقة الشمسية على سطح المجمع الشمسى ($R, W/m^2$) ومساحة سطح المجمع الشمسى (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) : Absorbed solar energy (Q_a)

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

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

or

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

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) هي زاوية سقوط الأشعة الشمسية على سطح المجمع الشمسي وقد تم توضيح كيفية تحديدها وحسابها عند دراسة وضع الشمس.

3- كفاءة الامتصاص (η_a) : Absorbed efficiency

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:

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

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 : (Heat transfer efficiency (η_h))

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

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

6- الحرارة المفقودة من المجمع الشمسى:**Solar collector heat losses (Q_L)**

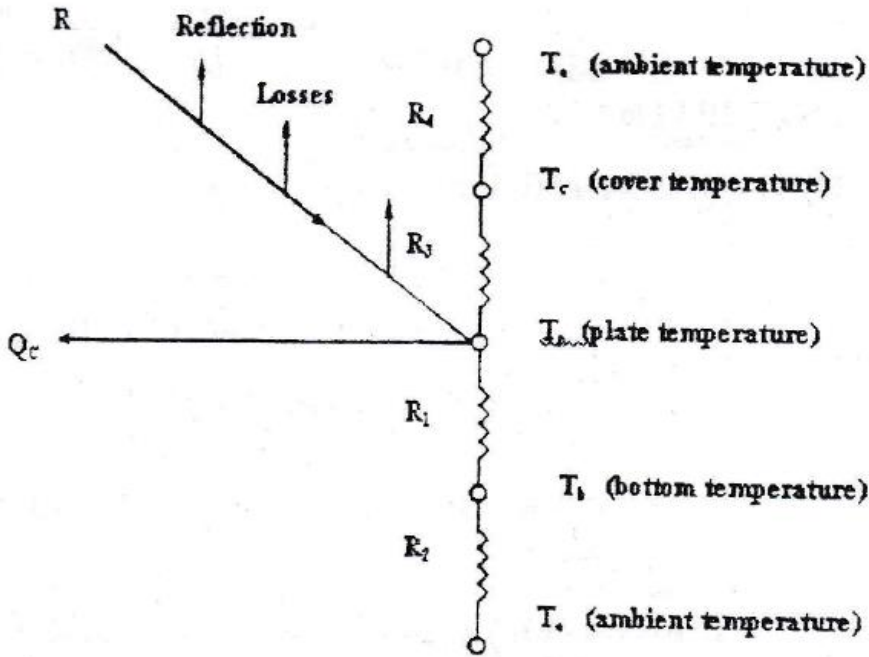
يمكن تعريف كمية الحرارة المفقودة من المجمع الشمسى أثناء عملية التشغيل بأنها عبارة عن الفرق بين كمية الحرارة الممتصة (Q_a) وكمية الحرارة المكتسبة والمستفاد بها للتخزين (Q_c) لذا فإن كمية الحرارة المفقودة من المجمع الشمسى يمكن تحديدها وحسابها من المعادلة التالية:

$$Q_L = Q_a - Q_c \text{ , } W$$

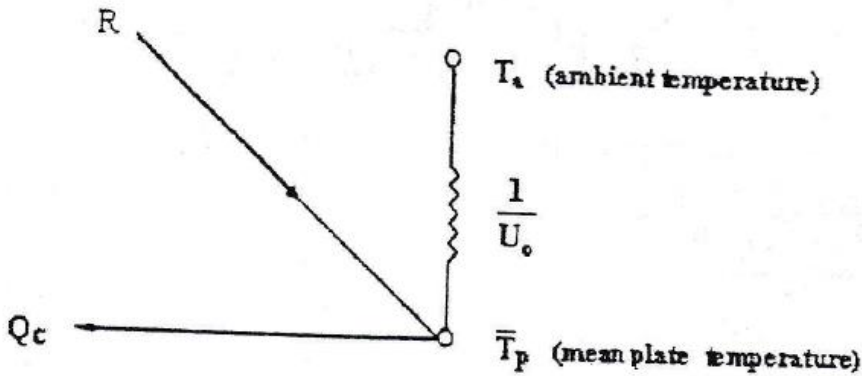
ولكن العديد من علماء وباحثين الطاقة الشمسية قرروا أن كمية الطاقة الحرارية المفقودة من المجمع الشمسى أثناء عملية التشغيل يمكن تحديدها وحسابها بدلالة معامل انتقال الحرارة الكلى (U_o) ومساحة سطح المجمع الشمسى (A_c) ومتوسط درجة حرارة السطح الماص للمجمع (\bar{T}_p) ودرجة حرارة الهواء المحيط بالمجمع الشمسى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

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

كمية الطاقة الحرارية المفقودة من المجمع الشمسى إلى الوسط المحيط به تتم بواسطة التوصيل الحرارى والحمل الطبيعى وأخيراً الإشعاع الحرارى. من المفيد جداً تطوير مفهوم معامل انتقال الحرارة الكلى للمجمع الشمسى لتسهيل العمليات الرياضية المستخدمة فى عمليات الحساب. توزع كمية الطاقة الشمسية الممتصة إلى فواقد حرارية خلال السطح العلوى والسطح السفلى وجوانب المجمع الشمسى 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 بالتوصيل من السطح السفلى و (R_2) مقاومة انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي وبالإشعاع بين السطح السفلى والوسط المحيط ويمكن إهمال هذا الجزء فى المجمعات الشمسية التى تكون معزولة جيداً من أسفل و (R_3) مقاومة انتقال الحرارة بواسطة الحمل والإشعاع بين السطح

الماص وغطاء المجمع الشمسى و (R_4) مقاومة انتقال الحرارة بواسطة الحمل والإشعاع بين غطاء المجمع الشمسى من اعلى والوسط المحيط بالمجمع. يمكن إيجاد قيمة معامل انتقال الحرارة الكلى بجمع كل من معامل انتقال الحرارة من السطح العلوى (U_4) والسطح السفلى (U_b) والجوانب (U_e) بالنسبة إلى مساحة سطح المجمع الشمسى (Ac) 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 العلوى للمجمع الشمسى ذو الغطاء الزجاجى 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 الطبيعى (h_{pc}) بين السطح الماص والغطاء الزجاجى للمجمع الشمسى بدلالة رقم ناسيلت (Nu) ومعامل التوصيل الحرارى للهواء (k) والمسافة الافقية بين اللوح الماص والغطاء الزجاجى (L) من المعادلة الاتية:

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

المعادلة التالية تعطى العلاقة بين رقم ناسيلت ورقم ريلى (R_a) للسطح المائل بزاوية تتراوح بين $\beta = 0$ and $\beta = 75^\circ$ كما يلى:

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

$$R_a = G_r P_r$$

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

حيث أن (g) عجلة الجاذبية الأرضية و (β^1) معامل التمدد الحجمى (للغاز المثالى $\beta = 1/T_f$) و (μ) اللزوجة الكيناميتكية. الأس الموجب على بعض الأقواس يعنى أن قيمة القوس لا بد وأن تكون موجبة الإشارة وإذا كانت قيمة القوس سالبة الإشارة يستخدم صفر كقيمة لهذا القوس.

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

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

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 الزجاجى والسماء يمكن تحديده وحسابه بدلالة درجة حرارة الغطاء الزجاجى للمجمع الشمسى (T_c) ودرجة حرارة السماء (T_s) من المعادلة التالية:

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

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

معامل فقد الحرارة من السطح السفلى للمجمع الشمسى (U_p) يمكن تحديده وحسابه بدلالة معامل التوصيل الحرارى للمادة العازلة (k_i) ومعامل التوصيل الحرارى للمادة المصنوع منها السطح السفلى للمجمع (k_s) سمك المادة العازلة (Z_i) وسمك المادة المصنوع منها السطح السفلى 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 الجانبى للمجمع الشمسى (U_e) يمكن تحديده وحسابه بدلالة معامل التوصيل الحرارى للمادة العازلة (k_i) سمك المادة العازلة (Z_i) وطول المجمع الشمسى (L) وعرض المجمع الشمسى (W) وسمك القطاع الجانبى للمجمع الشمسى (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 شمسى طول 2m وعرضه 1m مع المواصفات التالية:

50mm المسافة الرأسية بين اللوح الماص والغطاء الزجاجى

0.88 معامل انبعاث اللوح الماص للأشعة

10° درجة حرارة الهواء المحيط بالمجمع الشمسى من الخارج

2.4 m/s سرعة الرياح التى تهب على سطح الغطاء الزجاجى

85 °C درجة الحرارة المتوسطة للوح الماص

45 ° زاوية ميل المجمع الشمسى على المستوى الأفقى

0.90 معامل انبعاث الغطاء الزجاجى للأشعة

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

معامل التوصيل الحرارى للمادة المصنوع منها المجمع الشمسى 202 W/m/K

50 mm سمك طبقة المادة العازلة داخل المجمع الشمسى

10 mm سمك المادة المصنع منها المجمع الشمسى

35 °C درجة حرارة سطح الغطاء الزجاجى

الحل

$$T = 85 + 273 = 358 \quad K,$$

$$T_c = 35 + 273 = 308 \quad K$$

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

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

الخصائص الطبيعية للهواء المحصور بين اللوح الماص والغطاء الزجاجى

يمكن الحصول عليه عند درجة حرارة $T_f = 333 \text{ }^\circ K$ وهى كما يلى:

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

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

$$P_r = 0.7$$

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

$$= 464942$$

$$R_a = G_r P_r = 464 \ 942 (0.7) = 325 \ 459.4$$

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

$$= 0.00742175$$

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

$$= 0.98037422$$

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

$$= 3.4049$$

$$N_u = 1 + 1.44[1 - X][1 - (X)(Y)] + [Z - 1]$$

$$N_u = 1 + 1.44[1 - (0.00742175)][1 - (0.00742175)(0.98037422)]$$

$$+ [3.4049 - 1]$$

$$= 4.8238$$

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

$$h_{rpc} = \frac{\alpha(T_p + T_c)(T_p^2 + T_c^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1}, \quad \text{W/m}^2 / K$$

$$h_{rpc} = \frac{5.67 \times 10^{-8} (358 + 308)((358)^2 + (308)^2)}{\frac{1}{0.88} + \frac{1}{0.90} - 1}$$

$$= 6.7513 \text{ W/m}^2 / K$$

معامل انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي بسبب الرياح التي تهب على سطح المجمع 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 العلوى للمجمع الشمسى (U_e) يمكن الآن 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 الشمسى (U_i) 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 الجانبى للمجمع الشمسى (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 الشمسى (U_e) كما هو موضح بالمعادلة التالية:

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

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

درجة حرارة الغطاء الزجاجى للمجمع الشمسى (T_e) يمكن تحديد قيمتها من المعادلة التالية:

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

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

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

ودرجة الحرارة الجديدة للطبقة الرقيقة لانتقال الحرارة بين اللوح الماص والغطاء الزجاجى للمجمع الشمسى ($T_f = 335.1 \text{ }^\circ\text{K}$) تعتبر قريبة جداً من نفس درجة الحرارة ($T_f = 333 \text{ }^\circ\text{K}$) التى بدأنا بها الإجابة على هذا المثال.

7- معامل إزاحة الحرارة من المجمع الشمسى ومعامل السريان :

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

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

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

معامل كفاءة المجمع الشمسى (F_E) يمكن تحديده وحسابه بدلالة المسافة بين ماسورتين من النحاس متتاليتين (W) والقطر الخارجى للماسورة النحاس (D) والقطر الداخلى للماسورة (D_i) ومعامل انتقال الحرارة بالحمل داخل الماسورة (H_{fi}) ومعامل كفاءة الزعنفه القياسى (F) من المعادلة التالية:

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

معامل كفاءة الزعنفه القياسى (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 الحرارى 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 الشمسى (F_F) يمكن تحديدها وحسابها من المعادلة

التالية:

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

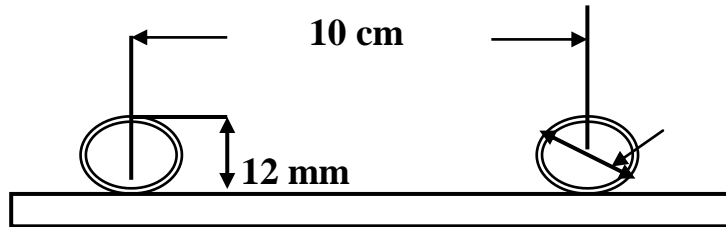
كمية معامل إزاحة الحرارة من المجمع (F_R) تكافئ فاعلية تبادل الحرارة بالحمل الحرارى والذي يعرف على أنه النسبة بين انتقال الحرارة الفعلى وأقصى انتقال حرارة ممكن حدوثه كما سبق أن عرفنا أن أقصى طاقة مكتسبة ومستفاد بها للتخزين فى المجمعات الشمسية يمكن أن تحدث عندما تكون درجة حرارة كل أجزاء المجمع الشمسى عند نفس درجة حرارة دخول المائع للمجمع وبالتالي تكون الفواقد الحرارية من المجمع إلى الوسط المحيط عند أدنى مستوى لها. معامل إزاحة الحرارة من المجمع الشمسى مضروب فى أقصى طاقة مكتسبة ومستفاد بها للتخزين تساوى الطاقة المكتسبة فعلياً والمستفاد 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 الشمسى المذكور بالمثال السابق إذ كان المتوسط اليومي الكلى للطاقة الشمسية الساقطة بتدفق على سطح المجمع الشمسى 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 الشمسى 15°C وبعض المواصفات الأخرى لهذا المجمع موضحة بالشكل التالى:

الحل



$$\eta_a = 0.855$$

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

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

$$\delta = 0.002 \quad \text{m}$$

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 والمستفاد 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): Overall thermal efficiency

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

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

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

9- زيادة درجة الحرارة (D_T): Temperature rise

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

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

10- الطاقة الشمسية المخزنة (Q_s): Solar energy stored

من المهم جداً تعظيم كمية الطاقة الشمسية المخزنة من المجمع الشمسى بغرض الاستفادة من هذه الكمية فى أى من التطبيقات التى تتطلب حرارة. يمكن تحديد وحساب كمية الطاقة الشمسية المخزنة فى اليوم (Q_s) بدلالة كتلة 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:

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

يمكن استخدام المعادلة السابقة لتحديد وحساب كمية الطاقة الشمسية المخزنة فى 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 الشمسى 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:

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

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

مثال:

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

الحل

من المثالين السابقين

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

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

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

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

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

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

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

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

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

يمكن تحديد وحساب الزيادة فى درجة حرارة المجمع الشمسى (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:

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

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

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

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

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

نظم التجفيف الشمسى Solar Drying Systems

تستخدم الطاقة الشمسية فى مجال التسخين الآن على نطاق واسع فى كثير من دول العالم بغرض تقليل الكميات الكبيرة من الطاقة التقليدية المستخدمة فى التسخين وتعظيم الاستفادة من الطاقة الجديدة كمصدر نظيف للطاقة ومنخفض التكلفة. ونظم تسخين الموائع (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 جميعاً فى عمليات التجفيف الشمسى للعديد من المحاصيل الزراعية بهدف التخزين الأمن لها (تجفيف الحبوب الشمسى solar grain drying - تجفيف الأعلاف الشمسى solar hay drying - تجفيف الفاكهة الشمسى solar fruit drying - تجفيف النباتات الطبية والعطرية الشمسى solar medicinal and aromatic drying).

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

1- التجفيف الشمسى الطبيعى : Natural Solar Drying

تعتبر هذه الطريقة هى أقدم طرق التجفيف حيث استغل قدماء المصريين الطاقة الشمسية المباشرة فى تجفيف العديد من المحاصيل الزراعية واللحوم (لحوم القرابين) وما زالت هذه الطريقة تستغل حتى الآن سواء فى 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 بالتوصيل 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 لتعرضها 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 الفواقد 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 الطبية والعطرية.

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

2- التجفيف الشمسى المباشر : Direct Solar Drying

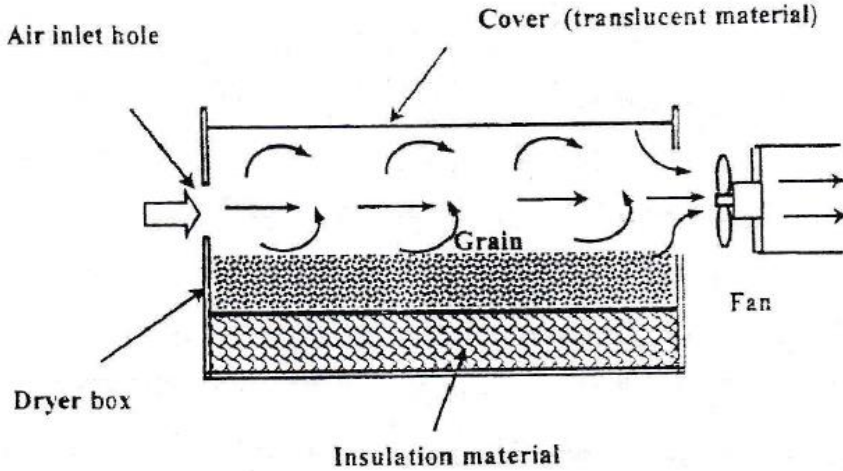
تستخدم هذه الطريقة على نطاق واسع فى العديد من دول العالم لتجفيف بعض المحاصيل التى يمكن أن تتحمل حمل الأشعة الشمسية المباشرة دون حدوث تغير فى الخواص والخصائص الطبيعية والكيميائية لها مثل محصول الذرة الكامل بالغللاف (كيزان كاملة تحتفظ بالغللاف الخارجى لها) محاصيل لأعلاف الخضراء مثل البرسيم المصرى والحجازى.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

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

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

تعمل الحبوب فى هذا النظام كسطح ماص absorber plate للأشعة الشمسية الساقطة بتدفق داخل مجفف شمسى عبارة عن صندوق مستطيل الشكل طوله ضعف عرضه مصنوع من الخشب أو الالومنيوم من جميع جوانبه دون الجانب العلوى والذى يغطى بمادة شفافة يفضل أن تكون من الزجاج النقى بسمك يتراوح بين 3-5 mm يحتوى احد الجوانب العرضية للمجفف على مجموعة من الفتحات لدخول الهواء air inlet holes للمجفف والجانب العرضى الآخر عليه مروحة سحب suction fan 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 فى كمية من الماء الموجود بالحبوب. تقوم مروحة السحب بأحداث فرق فى الضغط بين مركز المجفف والمنطقة الأمامية من المروحة فيندفع تيار من الهواء الخارجى من خلال فتحات الدخول إلى داخل المجفف فيحمل الرطوبة المتصاعدة من الحبوب إلى خارج المجفف. فى هذه الطريقة يمكن التحكم فى درجة حرارة الحبوب والرطوبة النسبية للهواء داخل المجفف عن طريق التحكم فى كتلة معدل سريان الهواء الداخلى

للمجفف. يتميز المحصول المجفف بهذه الطريقة بجودة عالية واحتفاظه بالكثير من الخواص والخصائص الطبيعية وبالتالي ارتفاع قيمته التسويقية ولكن يحظر من استخدام هذه الطريقة مع المحاصيل الحساسة للأشعة الشمسية المباشرة وبالتالي لدرجات الحرارة العالية.



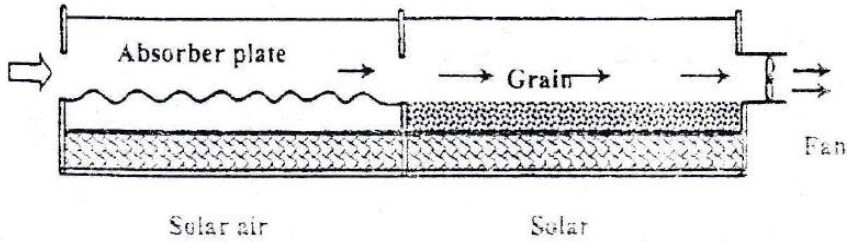
شكل (2-18): الحبوب كمجمع شمسي مباشر

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 النقي بسمك يتراوح بين 3 – 5 mm كما يحتوي قاع هذا الصندوق على لوح ماص من الألومنيوم مسطح الشكل أو مجعد ومطلى بالون الأسود المطفى ويفضل النوع الثاني لما له من مميزات عديدة ذكرناها سابقاً، يحتوي احد الجوانب العرضية لهذه الوحدة على مجموعة من الفتحات لدخول الهواء air inlet holes والجانب الآخر المتصل بالمجفف يحتوي أيضاً على مجموعة من الفتحات لخروج الهواء إلى الوحدة الثانية، والوحدة الثانية

عبارة عن المجفف الذى فيه الحبوب تعمل كسطح امتصاص وهذه الوحدة لها نفس الشكل والأبعاد مثل الوحدة الأولى والجانب العرضى لهذه الوحدة والمتصل بالمجمع الشمسى يحتوى على مجموعة من الفتحات لدخول الهواء الساخن والجانب العرضى الآخر مركب عليه مروحة سحب suction fan كما هو موضح بالشكل (2-19). يعمل هذا النظام عن طريق قيام مروحة السحب بإحداث فرق فى الضغط بين مركز المجفف والمنطقة الأمامية من المروحة فيندفع تيار من الهواء الخارجى من خلال فتحات الدخول إلى داخل المجمع الشمسى (الوحدة الأولى) فيكتسب الهواء طاقة حرارية من لوح الامتصاص تؤدي إلى رفع درجة حرارته ليمر الهواء الساخن إلى المجفف (الوحدة الثانية) مما يؤدي إلى زيادة درجة حرارة الحبوب وبالتالي زيادة كمية الرطوبة المتصاعدة من الحبوب وتحمل هذه الرطوبة المتصاعدة مع الهواء إلى خارج المجفف. 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 المجفف 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.



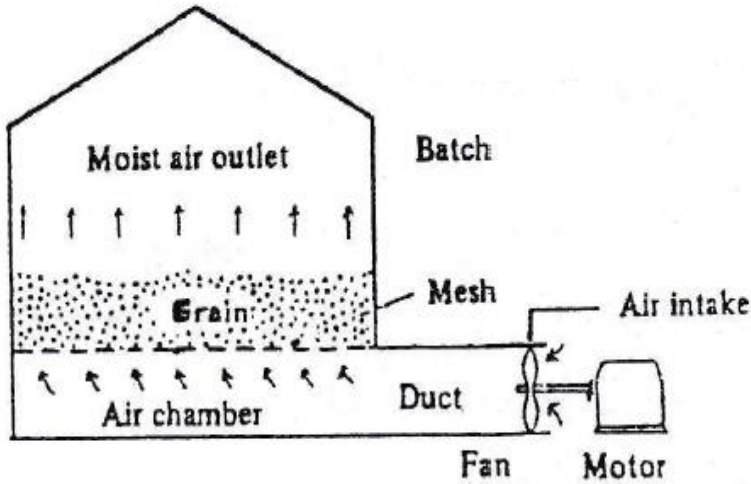
شكل (19): الحبوب كمجمع شمسى مع سخان هواء شمسى

2-3 البيوت المحمية كمجفف شمسي للحبوب :

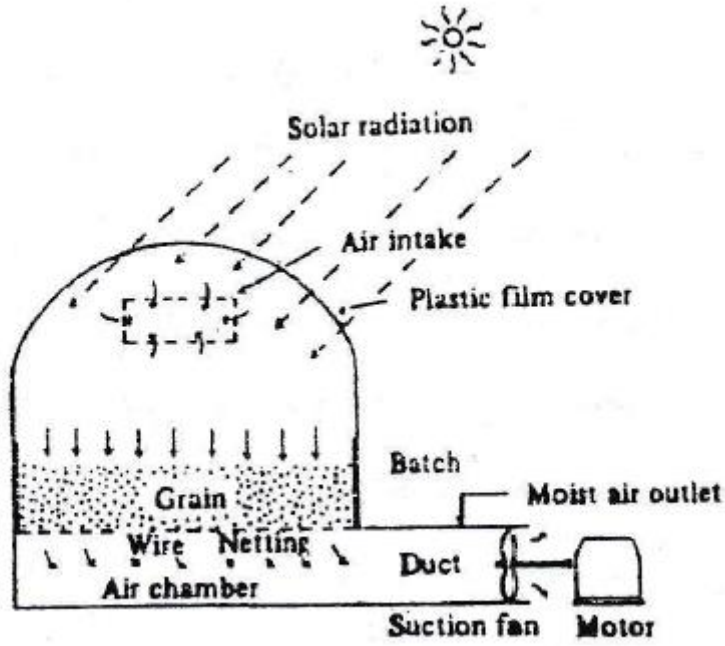
Greenhouses as a Solar Grain Dryer

تستغل البيوت المحمية الآن كمجمع شمسي خصوصاً فى 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 فى عمليات التجفيف المباشر لبعض المحاصيل التى تتحمل 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 (2-20). الهواء المار على حبوب التجفيف فى هذا النظام تكون درجة حرارته منخفضة ولذا فإن دور الهواء فى هذه الطريقة يقتصر على حمل الرطوبة المتصاعدة 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 علاوة على قصر استخدام هذا النظام على الحبوب التى يمكن أن تتحمل شدة الأشعة الشمسية المباشرة. النظام الثانى والذى يعتمد على دخول الهواء من خارج البيت المحمي إلى داخله من خلال فتحة السحب intake hole حيث ترتفع درجة حرارته بفعل شدة الإشعاع الحرارى داخل البيت المحمي ليمر الهواء الساخن أيضاً رأسياً على الحبوب ولكن فى هذا النظام من أعلى إلى أسفل وذلك بفعل مروحة سحب مركبة خارج البيت المحمي كما هو موضح بالشكل (2-21). المجفف فى هذا النظام عبارة عن صندوق من الخشب مفتوح من أعلى ومن أسفل ، الجزء السفلى من الصندوق (قاع الصندوق مركب عليه شبك سلك wire net يمنع سقوط الحبوب من صندوق الحبوب إلى غرفة الهواء والجزء العلوى يمكن تغطيته بواسطة شبك من البلاستيك أسود اللون black plastic net عند تجفيف بعض المحاصيل الحساسة للأشعة الشمسية المباشرة.

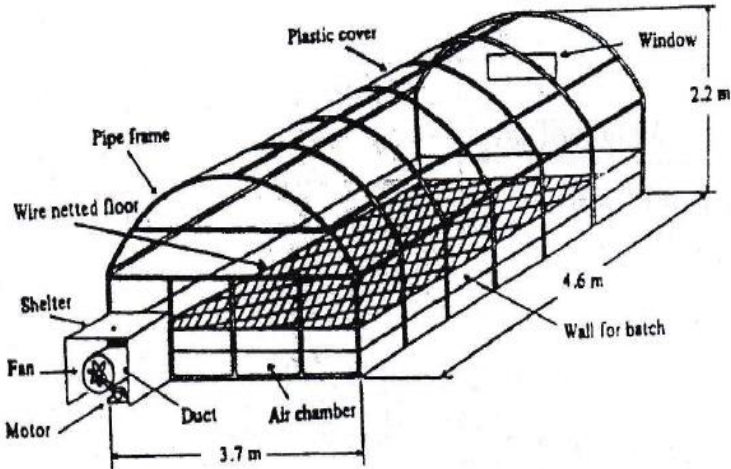
الكفاءة الحرارية ومعدل التجفيف لهذا النظام اعلى من النظام الأول. الشكل (22-2) يوضح الشكل الإنشائى لبيت محمى من النوع Modified Quonset Type والذي يستخدم على نطاق واسع فى العديد من دول العالم فى عملية تجفيف المحاصيل الحقلية والفاكهة ومحاصيل الأعلاف وغيرها. البيت المحمى الذى يعمل كمجفف شمسى والموضح بالشكل (22-2) تعتمد عليه اليابان والعديد من دول شرق أسيا فى تجفيف محصول الأرز بعد حصاده ميكانيكياً لخفض المحتوى الرطوبى من حوالى 22% (بعد الحصاد) إلى 13.2% تقريباً بعد التجفيف داخل هذا النوع من المجففات الشمسية نظراً لانخفاض تكلفة تصميمه وتنفيذه وتشغيله.



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



شكل (21-2): البيت المحمي كمجفف شمسي للحبوب من أعلى الى اسفل



شكل (22-2): الشكل الانشائي لبيت محمي يستخدم لمجفف شمسي للحبوب

3- نظرية تصميم البيت المحمى كمجفف حبوب شمسي :

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

يمكن تحديد وحساب وزن الحبوب بالكيلو جرام والتي يكون مطلوب تجفيفها داخل البيت المحمى الذى يعمل كمجفف بدالة معدل سريان الهواء الحجمى للمروحة (V, m³/s) ونسبة سريان هواء التجفيف خلال الحبوب (m, m³/s.ton) من العلاقة الرياضية التالية:

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

2-3 حجم الحبوب القابلة للتجفيف (C) : Volume of grain dryable

يمكن تحديد وحساب حجم الحبوب بالمتر المكعب والتي يكون مطلوب تجفيفها داخل البيت المحمى الذى يعمل كمجفف بدالة وزن الحبوب (W, kg) وكثافة الحبوب (الوزن النوعى للحبوب) (ρ, specific gravity of grain (m³/s.ton) من العلاقة الرياضية التالية:

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

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

الجدول (2-2): المحتوى الرطوبى المتوازن على أساس رطب والوزن النوعى (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 بدالة حجم الحبوب المطلوب تجفيفها (c, m³) وسمك طبقة التجفيف (S,m) من العلاقة الرياضية التالية :

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

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 الحجمى 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 اعلى كفاءة حرارية ممكنة وبالتالي الحصول على اكبر معدل تجفيف.

مثال :

بيت محمى من النوع Modified Quonset أبعاده من الداخل 5.8×3.5 m يستخدم كمجفف شمسى لمحصول الأرز يستخدم مروحة سحب محورية قطرها 60cm وتصرفها $120 \text{ m}^3/\text{hr}$ ونسبة سريان هواء التجفيف خلال الحبوب $1800 \text{ m}^3/\text{hr}$ للطن الواحد من الحبوب. حدد وزن الحبوب التى يمكن تجفيفها وسمك طبقة التجفيف وسرعة الهواء المار خلال طبقة الحبوب.

الحل

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

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

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

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

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

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

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

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:

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

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

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 فى الدفعة الواحدة عن 25 cm إذا علمت أن كل مجفف يستخدم مروحة سحب محورية قطرها 60 cm وتصرفها 6120 m³/hr ونسبة سريان هواء التجفيف خلال الحبوب 1 800 m³/hr للطن الواحد من الحبوب.

الحل

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

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

$$\text{Thickness of layer } (S) = 25 \text{ cm} = 0.25 \text{ m}$$

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:

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

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

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

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

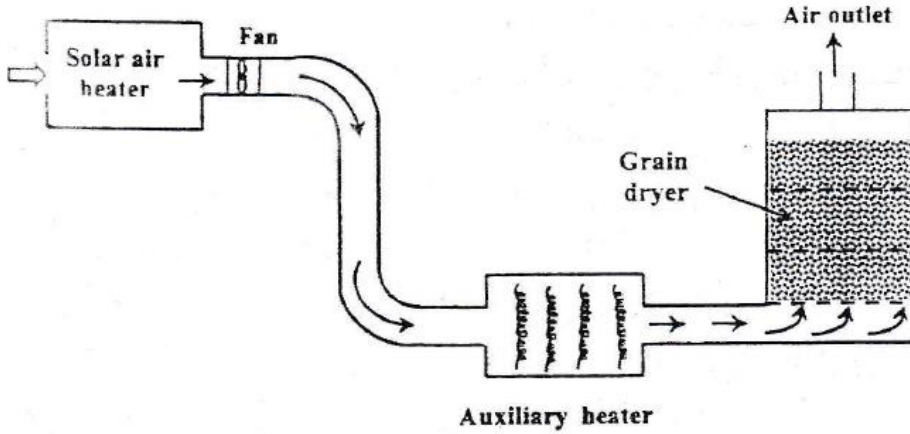
$$A = \frac{35000}{590 \times 0.25} = 237.288 m^2$$

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 الشمسى غير المباشر : Indirect Solar Drying

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

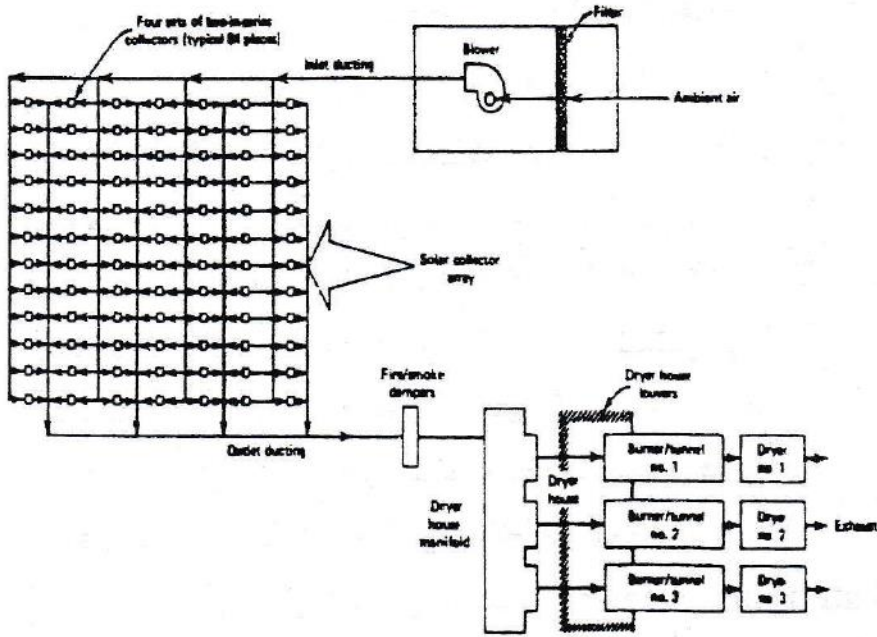


شكل (23-2): التجفيف الشمسى الغير مباشر

الهواء الساخن يستخدم أيضاً فى استعمالات صناعية عديدة مثل التجفيف التجارى (على نطاق واسع) تكييف البيوت المحمية أثناء موسم الشتاء إمداد المنازل بالهواء النقى 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 ألباما الأمريكية. يتكون هذا الجهاز من مجموعة كبيرة من المجمعات الشمسية مساحتها 1200 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 (2-24) 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 الماص absorber (انتقال وتبادل الحرارة بالحمل الجبرى). تم تثبيت المجمعات الشمسية فى إطار قابل للحركة movable frame بحيث يمكن إمالة الإطار بزواوية ميل مناسبة لتجميع اكبر كمية ممكنة من الأشعة الشمسية الساقطة بتدفق على سطح المجمعات الشمسية. نظراً لكبر المساحة فى هذا النظام (1200m^2) وبعد الربط بين التكاليف الكلية المترتبة على تغيير 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 الباما 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 يلي:

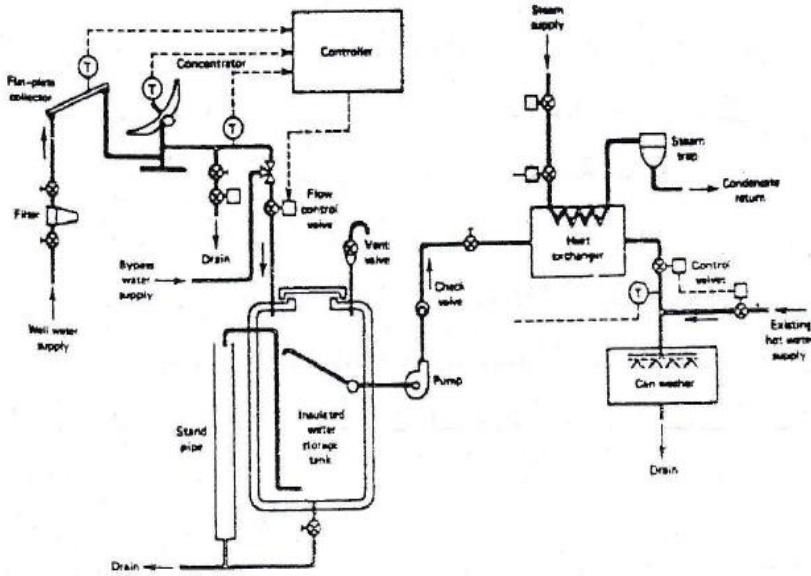
1-5 نظم تسخين الماء بتمريره مرة واحدة داخل المجمع الشمسي:

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 اقل من درجة الحرارة المطلوبة للتطبيق، فى هذه الحالة لا يتم تخزين الطاقة الحرارية (الماء الساخن) بل يتم تزويد نظام الطاقة الشمسية بسخان إضافى (مساعد) auxiliary heater لرفع درجة حرارة الماء الخارج من المجمعات الشمسية إلى درجة الحرارة المطلوبة للتطبيق داخل مصنع الأغذية كما هو موضح بالشكل (2-25). فى المناطق التى يتوفر بها كميات كبيرة من الطاقة الشمسية من ناحية ومن ناحية أخرى فى المصانع التى تحتاج لماء ساخن على فترات متباعدة تكون عملية تخزين الطاقة الحرارية مرغوبة أيضاً اقتصادياً. نظام تسخين الماء بالطاقة الشمسية والموضح بالشكل (2-25) يمكن استخدامه فى أغراض عملية كثيرة مثل تدفئة المنازل domestic warming تدفئة البيوت المحمية greenhouses warming مصانع الألبان dairy plants مصانع الأغذية food processing plants مساكن الدواجن poultry housing إسطبلات ماشية اللبن dairy livestock housing وغيرها من التطبيقات المختلفة. فى 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 plate solar collector والأخر من النوع المركز concentrating solar collector بحيث يتم تمرير الماء مرة واحدة داخل المجمع الأول ومنه إلى المجمع الثانى وبعد خروج الماء الساخن من المجمع الثانى يتم تخزينه داخل خزان معزول insulated storage tank فى حالة ما إذا كانت درجة حرارة الماء الخارج من المجمعات الشمسية اقل من درجة الحرارة المطلوبة يتم سحب الماء الساخن من خزان التخزين المعزول بواسطة طلمبة إلى خزان فرعى يحتوى على مبادل حرارى heat exchanger حيث يتم رفع درجة حرارة الماء إلى الدرجة المطلوبة للتطبيق وذلك باستخدام سخان بخار إضافى auxiliary steam heater . هذا النظام تم استخدامه فى الولايات المتحدة الأمريكية عام 1978 حيث تم توفير حوالى 75% من الطاقة الكلية المستخدمة من قبل (بدون نظام التسخين بالطاقة الشمسية) فى مصنع من مصانع الأغذية. كما تم استخدام هذا النظام بنيوزلندا فى إسطبل من إسطبلات ماشية اللبن يحتوى على 350 dairy cows وذلك باستخدام 18 solar panels مساحة كل واحد منها $0.72m^2$ نظمت فى ثلاث صفوف على

التوازي كل صف يحتوى على 6 solar panels متصلة معاً على التوالي 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 توفر 29% من الطاقة الكلية التى تستخدم فى تجهيز هذا الماء الساخن.



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

2-5 تسخين الماء بإعادة تمريره مرة أخرى :

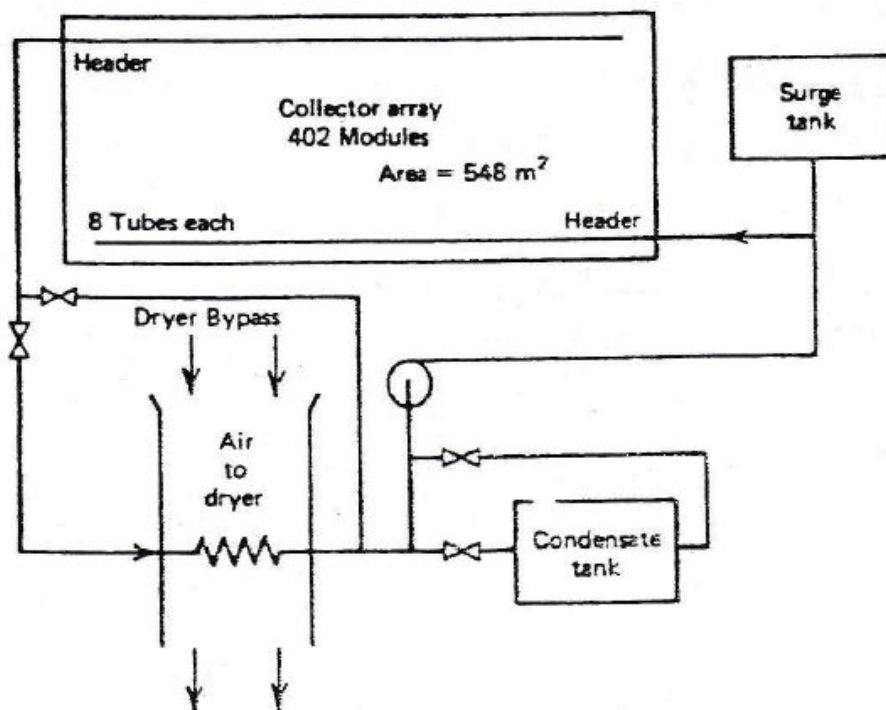
Recirculation industrial solar water heating

يمر الماء فى هذه الطريقة فى دورة مغلقة مكونة من مجمع شمسى 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 ظلمبة إلى المجمع الشمسى ثم يخرج من المجمع ساخناً ليخلط مع الماء البارد الموجود بخزان التخزين ليعاد دفعة مرة أخرى داخل المجمع الشمسى وهكذا. سوف نقتصر هنا على ذكر نموذجين لهذا النوع من نظام السريان على حسب طريقة استغلال الماء الساخن وهما:

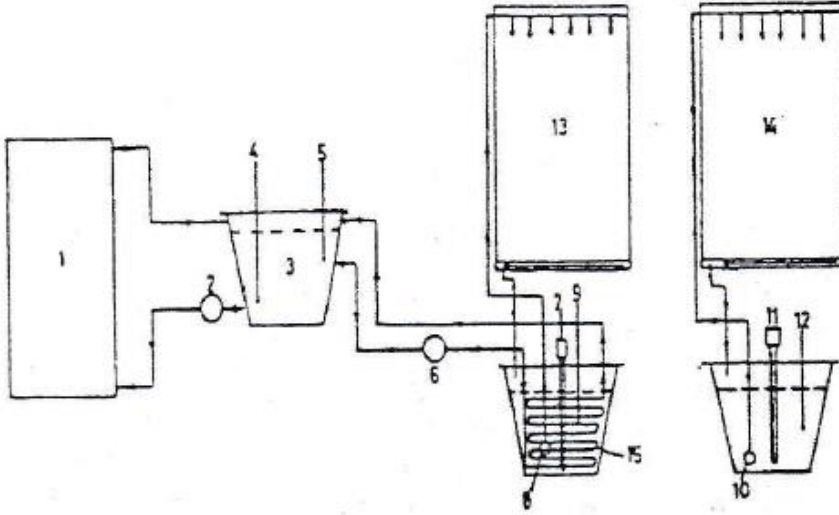
النموذج الأول: يتم سحب الماء من خزان معزول للماء (يحتوى على كمية محدودة من الماء تتوقف على كمية الطاقة الشمسية المتاحة فى منطقة التطبيق و على درجة الحرارة التى تحتاجها عملية التطبيق) ودفعه داخل مجمع شمسي ليخرج الماء الساخن مع المجمع ليمر داخل مبادل حرارى heat exchanger يستغل لتسخين الهواء البارد (يقوم الهواء المدفوع على المبادل الحرارى 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 الحرارى فى أغراض كثيرة مثل التجفيف (بدفعه داخل المجفف) تدفئة البيوت المحمية (بدفعة من خلال نظام توزيع حرارى داخل البيوت المحمية) وغيرها من التطبيقات المختلفة. تتوقف الكفاءة الحرارية الكلية لهذا النظام على كفاءة انتقال الحرارة من الماء إلى الهواء من خلال المبادل الحرارى، وقد تم استخدام هذا النظام فى الولايات المتحدة الأمريكية لتجفيف التبغ ولكن أقص كفاءة حرارية تم التوصل إليها كانت 30% فقط بسبب انخفاض معامل انتقال الحرارة الكلى لمعدن المبادل الحرارى الذى تم استخدامه وأيضاً لضعف المادة العازلة المحيطة بخزان التخزين.

النموذج الثانى: يتم سحب الماء من خزان التخزين المعزول ودفعه داخل مجمع شمسي ليخرج الماء الساخن إلى مبادل حرارى موضوع داخل خزان آخر للماء بغرض رفع درجة حرارة هذا الماء ويمكن استخدام هذا النظام لتوفير الماء الساخن للأغراض المنزلية كذلك فى 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 فى جامعة لندن بالمملكة المتحدة عام 1984 لتسخين المحلول المغذى (NFT) Nutrient Film Technique solution المستخدم فى نظام الزراعة المائية (الزراعة بدون تربة) hydroponics system لتغذية محاصيل البيوت المحمية protected cropping ونظرية عمل هذا النظام تتلخص فى سحب الماء البارد من خزان التخزين ودفعه داخل مجمع شمسي ليخرج على درجة حرارة اعلى من التى دخل عليها المجمع فيعود إلى خزان التخزين ليخلط مع الماء الموجود بالخزان وتعود الدورة مرة أخرى من الخزان إلى المجمع وهكذا. الماء الساخن فى خزان التخزين المعزول يتم سحبه بواسطة طلمبة أخرى

ليدفع داخل مبادل حرارى 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

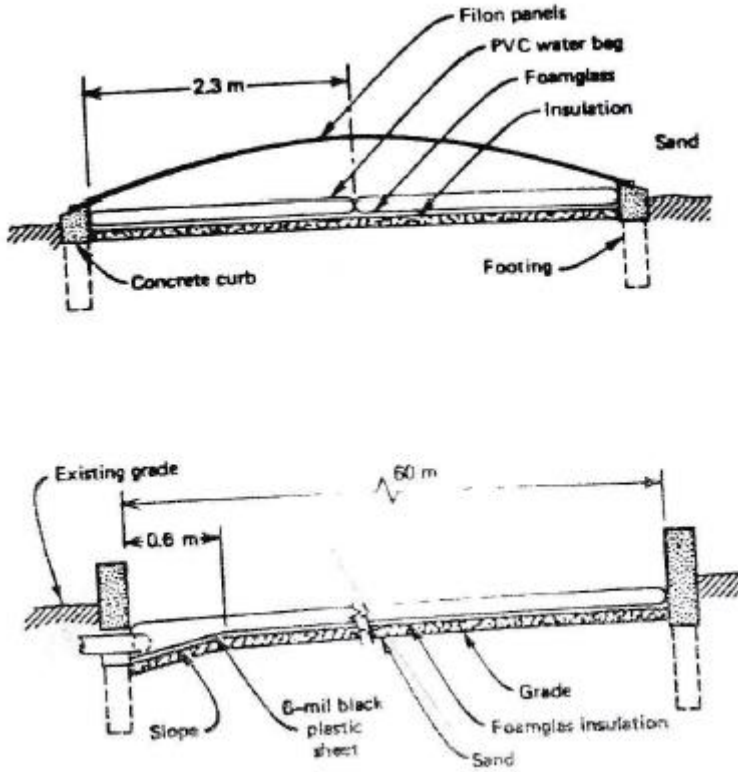


شكل (27-2): نظام تسخين المياه باعادة تمريرها مرة اخرى مع نظام NFT

3-5-10 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 المثلى خلال ساعات النهار يتم سحب الماء الساخن من داخل المجمع الشمسي ويتم تخزينه فى 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 القناة الضحلة

