





المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم  
إدارة برامج العلوم والبحث العلمي

## سلسلة الحقايب التعليمية التدريبية في مجال الطاقات المتجددة

إشراف

الأستاذ الدكتور البهلول اليعقوبي

منسق المشروع

الدكتور أمين القلق

المحرر العلمي العام

الأستاذ الدكتور محمد المعالج

التدقيق اللغوي

الدكتور عبد اللطيف عبيد

### حقيبة السخان الشمسي

إعداد

م. مالك الكباريتي م. عمار الطاهر م. نضال عبدالله م. مظفر عميش

المعهد الوطني لبحوث الطاقة / المملكة الأردنية الهاشمية

## المقدمة

تشكل الطاقة مشكلة اقتصادية واستراتيجية لجميع دول العالم المستوردة للنفط إلا أن هذه المشكلة تشكل بعداً أكثر جدية في حالة الدول النامية وذلك بسبب اعتمادها الكلي على الطاقة المستوردة، كما وان الانفجار السكاني في الدول النامية وسعي جميع الدول سواء أكانت متقدمة أم نامية إلى رفع مستوى الحياة لشعوبها وتطوير عملية التقدم والتصنيع.

ونظراً لأن الطاقة المستمدة من مصادر أخرى كالوقود الاحفوري والمفاعلات النووية، يصحبها تلوث للبيئة، تعود انعكاساته السلبية على كل الكائنات الحية، مما يتسبب في تدهور الظروف الصحية والبيئية، وانتشار الأمراض والأوبئة وزيادة الزحف الصحراوي الذي يهدد الغطاء النباتي والغابات بالانحسار والتقلص ويهدد الثروة الحيوانية ومصادر الغذاء في العالم اجمع بالتراجع المستمر في النوع والكمية.

ولقد انتبه العالم إلى خطر التلوث الذي يهدد البشرية كلها، وبدأ منذ أكثر من ربع قرن بإجراء البحوث والتجارب لإيجاد مصادر بديلة للطاقة تتميز بالتجدد والاستمرارية مع عدم تلويثها للبيئة. ولقد ركز العلماء تجاربهم وأبحاثهم على الطاقة الشمسية وما يتطلبه ذلك من تقنيات لاستثمارها.

وإذا كان العالم الغربي قد ركز بشكل أساسي، ومنذ الحرب العالمية الثانية على الأبحاث العلمية في مجال الذرة وسجل بفضل صناعته المتقدمة تقدماً كبيراً في هذه الأبحاث يصعب على الدول النامية اللحاق به، فان اهتمامه بالطاقة الشمسية بقي قليلاً ومتريداً. ومن غير المستبعد إذا بذل الجهد اللازم أن تجد الدول العربية في الطاقة الشمسية مجالاً لكي يكون لها دوراً ريادياً في البحث العلمي.

بناءً على ما تقدم ومنذ نشوب الأزمة النفطية عام 1973 بدأ العالم يبحث عن مصادر بديلة للطاقة التقليدية ذات الاحتياطي المحدود لتفي باحتياجاته من الطاقة أو جزء منها. وقد اتجه العديد من الدول العربية إلى استغلال مصادر الطاقة المتجددة (الطاقة الشمسية وطاقة الرياح) واجريت البحوث والدراسات العديدة في هذا المجال وانتقلت بعض هذه الدول من مرحلة البحث والدراسة إلى مرحلة تصنيع مكونات وأنظمة استغلال الطاقة المتجددة.

وبدأ استخدام أنظمة استغلال الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في الانتشار تدريجياً حتى وصل إلى المرحلة التجارية واصبح الكثير من الدول يعتمد على هذه الأنظمة في توفير جزء لا يستهان به من احتياجاته من الطاقة (الكهربائية، الحرارية والميكانيكية).



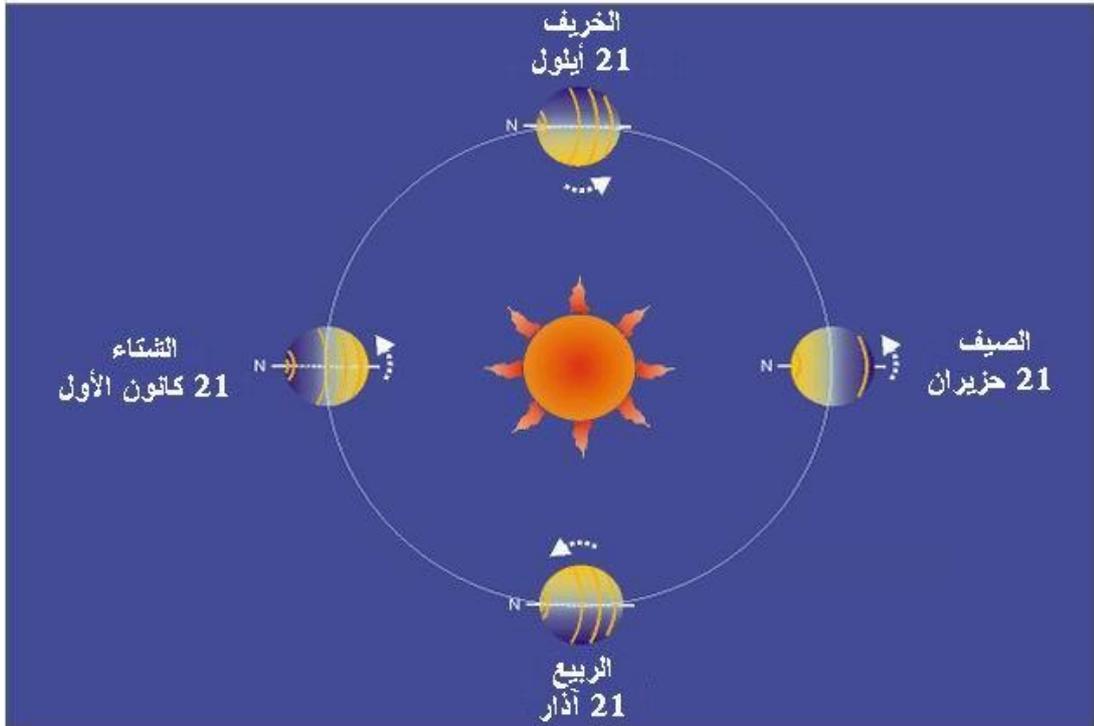
## الفصل الأول

### الطاقة الشمسية والإشعاع الشمسي Solar Energy and Solar Radiation

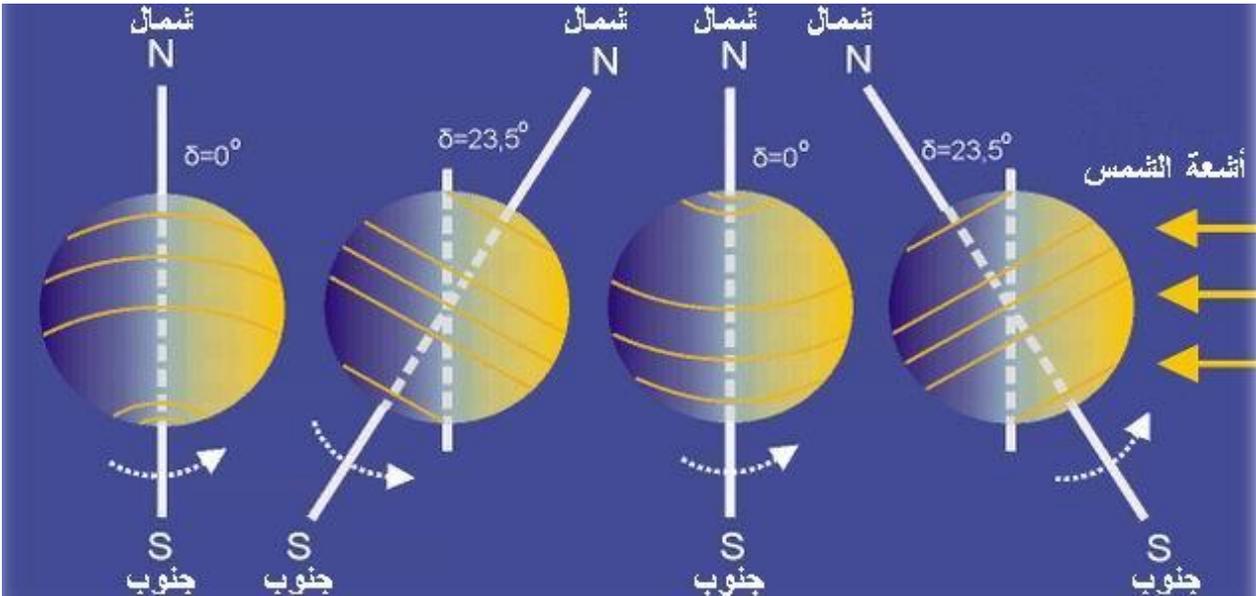
#### 1- توافر الطاقة الشمسية على سطح الأرض Solar Energy Availability

تدور الأرض حول نفسها دورة كل 24 ساعة وحول الشمس دورة كل 365.25 يوم في مدار اهليجي elliptical، وتبلغ اقرب مسافة بين الأرض والشمس 147.1 مليون كم عندما تكون الأرض في الحضيض perigee (في 3 كانون الأول) وابتعد مسافة 152.1 مليون كم عندما تكون الأرض في الاوج apogee (في الأول من شهر تموز) فيكون معدل المسافة =  $2/(147.1 + 152.1) = 149.5985$  مليون كم.

تدور الأرض حول محور يميل 23.5° عن مدار دورانها حول الشمس وهذا الميلان هام جداً لتوزيع الإشعاع الشمسي على سطح الأرض. (انظر الشكلين رقم 1 و2).



الشكل (1): تشكل الفصول الأربعة بسبب ميلان الأرض



الشكل (2): ميلان الأرض عن محورها

تستقبل الأرض كمية من الطاقة على شكل إشعاع شمسي بمعدل  $10^8 \times 16$  واط وبما يزيد عن 10 آلاف ضعف من حاجة العالم الحالية من الطاقة، لذلك فإن الإشعاع الشمسي يعد مصدراً هاماً ورئيسي للطاقة المتجددة. إن منظومات تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية أو كهربائية تختلف عن باقي المنظومات الأخرى وذلك أن التحكم بكمية الطاقة المتوافرة أمر ليس بالسهل فهي متغيرة بصورة مستمرة وتحددها عدة عوامل وأهمها الآتي:

- المسافة بين الأرض والشمس : وهي متغيرة لأن الأرض تدور حول الشمس على شكل اهليجي.
- ميلان محور دوران الأرض : يميل محور الأرض  $23.5^\circ$  عن مدارها حول الشمس والذي بدوره يعمل على توزيع الإشعاع الشمسي على سطح الأرض وبسببه يتغير طول الليل والنهار وتتغير فصول السنة الأربعة.
- صفاء الجو : إن الغازات المحيطة بالأرض وذرات الغبار والأبخرة المتعلقة بالجو تعمل على بعثرة الطاقة الشمسية أثناء مرورها عبر الغلاف الجوي، ويعتمد مقدار البعثرة على ظروف الجو.
- الموقع الجغرافي : بشكل عام يمكن القول بأن المناطق الواقعة على خطوط عرض قريبة من خط الاستواء يتوافر فيها الإشعاع الشمسي أكثر من غيرها.
- موقع اللاقط : إن تواجد اللاقط الشمسي في مكان مزدحم بالعمران والأشجار قد يحول دون وصول الإشعاع المباشر Direct radiation له.

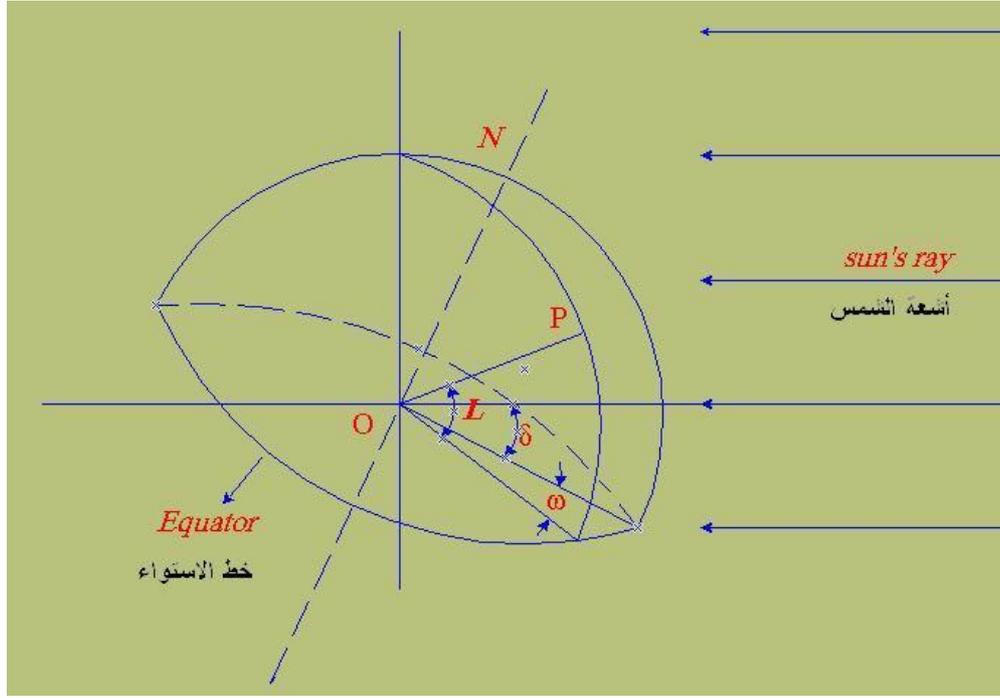
- توجيه اللاقط : اللواقط الملاحقة tracking للشمس تستقبل إشعاع شمسي أكثر من غيرها، واللواقط المثبتة بميلان نحو الجنوب تستقبل إشعاع شمسي أكثر من اللواقط المثبتة أفقياً في مناطق نصف الكرة الأرضية الشمالي.
- الوقت في النهار : بشكل عام يستقبل اللاقط وقت الظهيرة أكبر ما يمكن من الإشعاع الشمسي عن باقي الأوقات.
- الوقت في السنة : يتوافر الإشعاع الشمسي في فصل الصيف أكثر من غيره من الفصول لطول نهاره وقصر ليله.
- الظروف الجوية : إن أهم العوامل الجوية المؤثرة على الإشعاع الشمسي هي السحب والتي قد تحجب ما يزيد عن 50% من الإشعاع الكلي (المباشر + المنتشر). وهناك عوامل جوية أخرى تؤثر على الإشعاع مثل ذرات الغبار وبخار الماء والملوثات العالقة بالجو.
- نوع اللاقط : إن اللاقط إما أن يكون مستو flat plate أو مركز concentrator.

## 2- زوايا الشمس Sun angles :

لتحديد موضع الشمس في السماء بالنسبة للناظر في وقت ما، فإنه يتعين معرفة الزوايا بين الأرض والشمس وهذه الزوايا هي الآتي:

### 2-1 الميلان الشمسي Declination (d) :

هي الزاوية التي يصنعها الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض مع دائرة خط الاستواء. تتراوح قيمة هذه الزاوية بين  $23.45^\circ$  و  $-23.45^\circ$ . انظر الشكل رقم (3).



الشكل (3): زاوية كل من الميلان الشمسي والساعة الزاوية

ويمكن حساب هذه الزاوية بالعلاقة التالية:

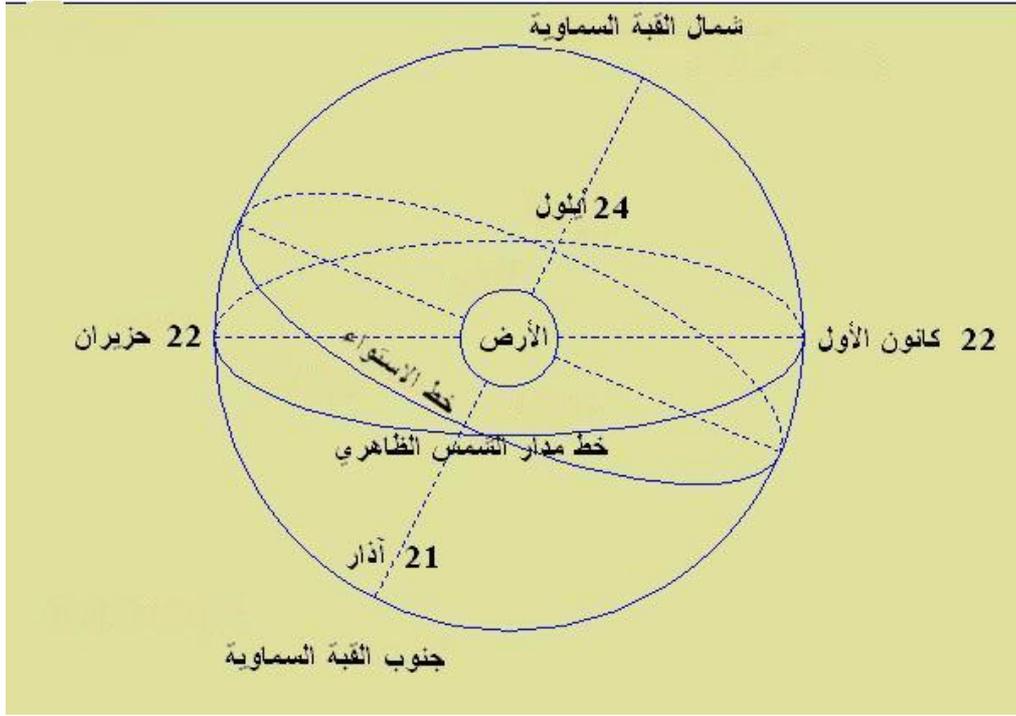
$$d = 23.45 \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right)$$

$n =$  رقم اليوم في السنة

والجدير بالذكر أن المدة الزمنية التي تقضيها الأرض في الدوران حول الشمس لا تتوافق تماماً مع الرزنامة السنوية ولذلك فإن الميلان الشمسي يختلف قليلاً لنفس اليوم من سنة لأخرى.

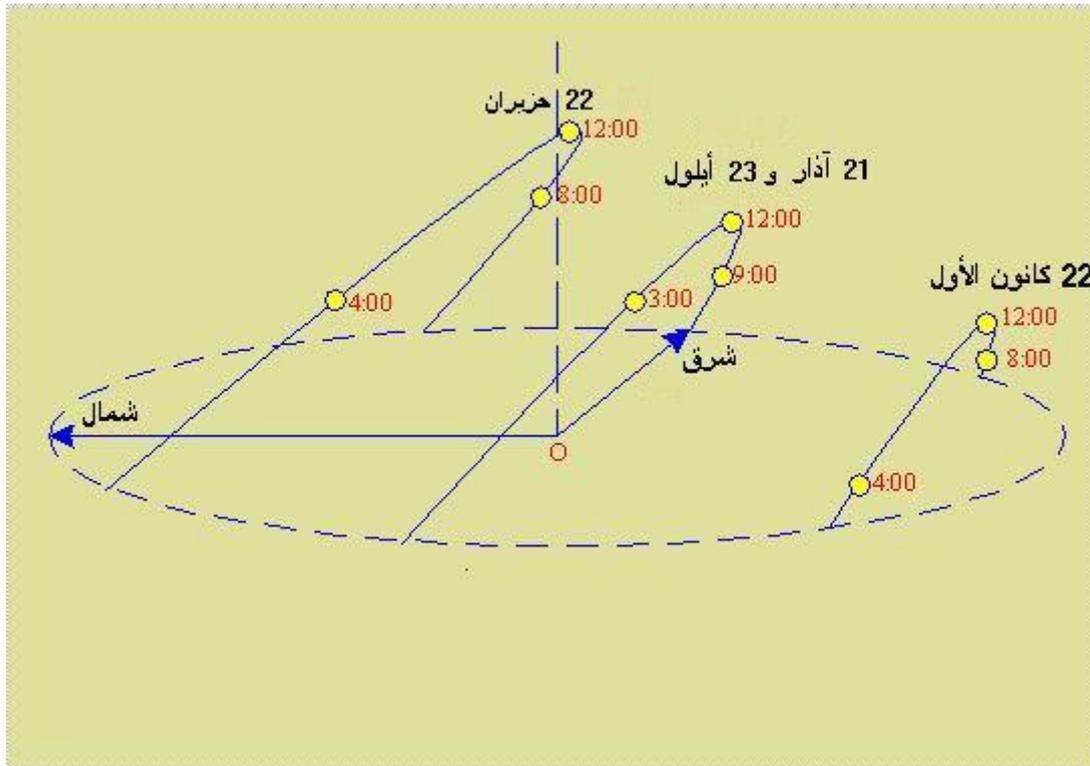
## 2-2 القبة السماوية Celestial sphere :

هي عبارة عن كرة تخيلية مركزها الأرض وقطرها غير محدد، وكل الأجرام السماوية بما فيها الشمس تدور حول الأرض في نطاق هذه الكرة. كل من القطبين الشمالي والجنوبي للقبة هما امتداد للمحور القطبي للأرض قاطعة القبة السماوية.



الشكل رقم (4): القبة السماوية

شكل رقم (4) يوضح مسار الشمس من الشرق للغرب والذي يبدو كدائرة على القبة السماوية. خطوط الطول والعرض للقبة السماوية يمكن رسمها بنقل خطوط الطول والعرض للأرض على التوازي إلى سطح القبة، انظر شكل رقم (5).



الشكل (5): مسار الشمس كما يبدو على القبة السماوية

## 2-3 الساعة الزاوية Hour angle (w) :

هي وحدة قياس الوقت بدلالة الزاوية بحيث كل 1 ساعة = 15° أو 24 ساعة = 360° وتقاس من وقت الظهر الشمسي وتكون سالبة قبل الظهر وموجبة بعد الظهر. فعلى سبيل المثال عندما تكون الساعة الثامنة صباحاً فإن الساعة الزاوية الشمسية  $\omega = -60^\circ$  وعندما تكون الساعة التاسعة مساءً فإن  $\omega = +135^\circ$ . عند الظهر الشمسي والتي تكون فيها الشمس في أعلى نقطة لها في السماء بالنسبة للناظر. انظر الشكل رقم (3) السابق.

ويمكن تحديد موقع نقطة ما على الأرض بالنسبة للإشعاع الشمسي في أية لحظة إذا علم كل من خط العرض "L" Latitude والساعة الزاوية  $\omega$  وزاوية الميلان الشمسي  $\delta$ . ويمكن حساب الساعة الزاوية بدقة مقبولة إذا تم ضبط الظهر الشمسي يومياً  $t_s = 12$  بالعلاقة التالية :

$$\omega = (t_s - 12) 360/24$$

وتعرف  $t_s$  بالزمن الشمسي المحلي الحقيقي local solar time (بالساعات). ويمكن حساب الساعة الزاوية لكل من شروق الشمس وغروبها كآلاتي:

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

أو

$$\sin \alpha = \cos L \cos \delta \cos \omega + \sin L \sin \delta$$

حيث  $\alpha$  هي زاوية الارتفاع Altitude angle. نضع  $\alpha = 0$ ، فتصبح العلاقة كآلاتي :

$$\omega_{set} = - \omega_{rise}$$

ويمكن حساب طول النهار (بالساعات) في أي يوم من أيام السنة بالعلاقة التالية :

$$N = \frac{2w_{rise}}{15} = 2/15 \cos^{-1}(-\tan L \tan d)$$

## 2-4 زاوية ارتفاع الشمس "a" altitude angle

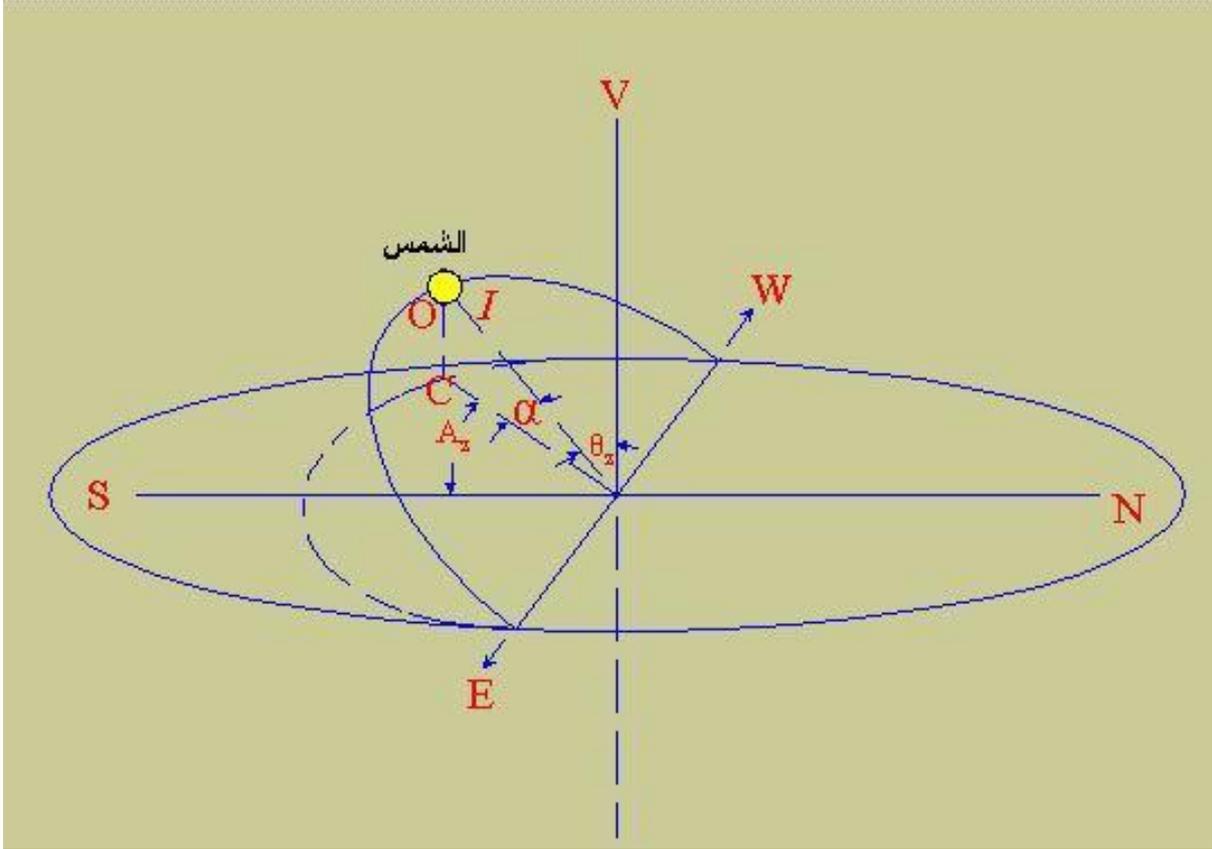
هي قياس زاوية بعد الشمس عن الأفق. انظر للشكل (6).

تحسب هذه الزاوية كالاتي :

$$\alpha = 90 - \theta_z$$

أو

$$\sin \alpha = \cos L \cos \delta \cos \omega + \sin L \sin \delta$$



الشكل رقم (6): زاوية كل من السمات الرأسية والسمت الشمسي وزاوية الارتفاع

## 5-2 الزمن الشمسي ومعادلة الزمن :

تدور الأرض حول الشمس بمدار اهليجي elliptical وهذا يعني أن سرعة دوران الأرض حول الشمس ليست ثابتة. ان متوسط الزمن الشمسي mean sun time هو الزمن الشمسي المحلي بافتراض أن سرعة دوران الأرض حول الشمس ثابتة. يعرف اليوم الشمسي solar day بالفترة الزمنية المستغرقة التي ترى فيها الشمس لاكمال دورة كاملة حول ناظر ما على سطح الأرض. إن طول اليوم الشمسي يختلف خلال السنة وليس بالضرورة أن يكون 24 ساعة، لذلك في أوقات مختلفة من السنة تظهر الشمس مبكرة أو متأخرة عن متوسط الزمن الشمسي. الفرق بين الزمن الحقيقي للشمس ومتوسط الزمن الشمسي يعرف بمعادلة الزمن equation of time وهذه القيمة تتراوح بين + 16.3 دقيقة في تشرين الثاني (نوفمبر) و - 14.4 دقيقة في شباط (فبراير).

كذلك فان من الضروري الأخذ بالاعتبار الفارق في خط الطول للناظر في منطقة ما بين خط الزوال لموقعه الحقيقي وخط الزوال الذي عمل عليه التوقيت الزمني المحلي لتلك المنطقة (خط الزوال المعياري)، حيث أن الشمس تستغرق 4 دقائق لقطع خط طول واحد.

ويمكن حساب متوسط الزمن الشمسي بالعلاقة الآتية:

$$\text{متوسط الزمن الشمسي (solar time)} = \text{الزمن المعياري (standard time)} + E + 4 \times (\text{خط الزوال المعياري} - \text{خط الطول لموقع الناظر})$$

أو

$$\text{Solar time} = \text{standard time} + 4 (L_{st} - L_{loc}) + E$$

$$E = 229.2 (0.000075 + 0.001868 \cos B - 0.032077 \sin B - 0.014615 \cos 2B - 0.04089 \sin 2B)$$

$$B = \frac{360(n-1)}{365}$$

$$n = \text{day of the year} , \quad 1 \leq n \leq 365$$

ولحساب الظهر الشمسي يمكن استخدام العلاقة التالية:

$$\text{Local solar noon (الظهر الشمسي المحلي)} = 12 - E - (L_{st} - L_{loc})/15$$

E : the equation of time in minutes on that day. معادلة الزمن بوحدة الدقائق لليوم.

L<sub>st</sub> : longitude of the location for the local time zone. (خط الطول المعياري)

L<sub>loc</sub> : the longitude of the location in question (in degrees west).

## 6-2 زاوية السميت الرأسية (q<sub>z</sub>) Zenith angle

هي الزاوية التي يصنعها عمود على سطح جسم ما مع الاشعاع الشمسي الساقط عليه. انظر الشكل رقم (6).

ويمكن حساب زاوية السميت الرأسية بالعلاقة التالية:

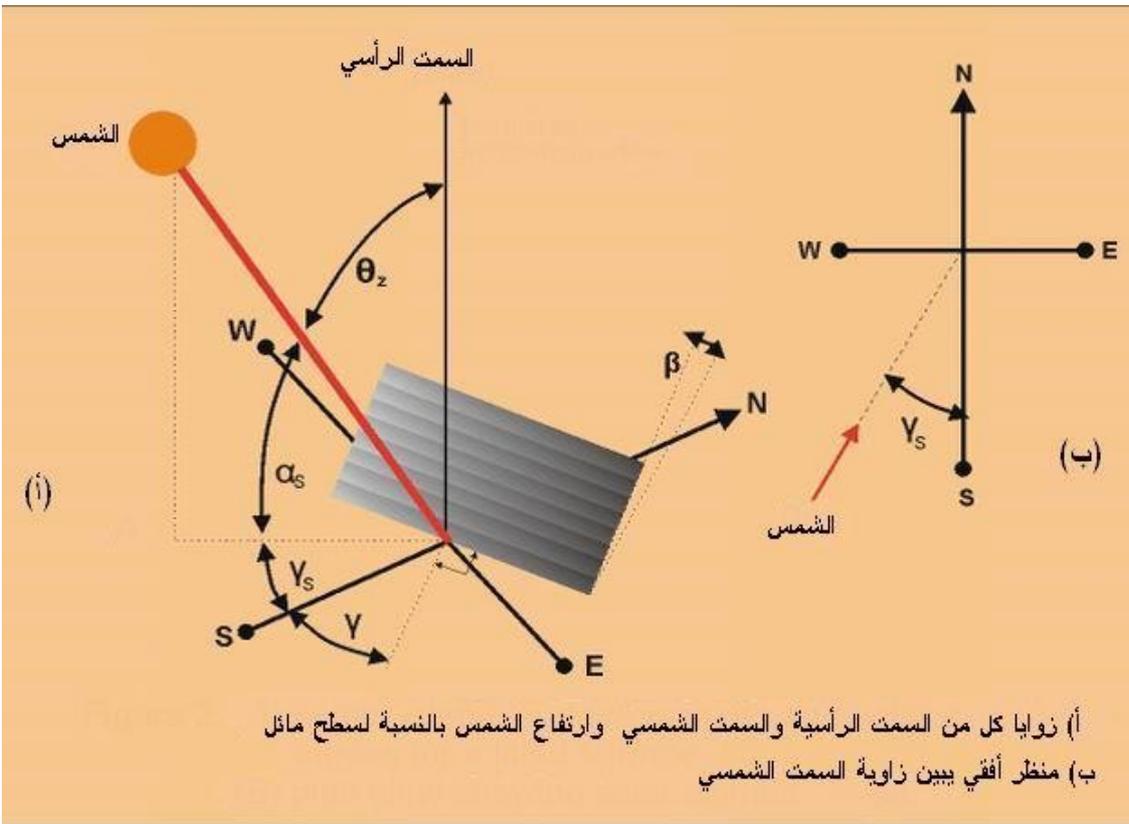
$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos L \cos \omega + \sin \delta \sin L$$

زاوية السميت الرأسية :  $\theta_z$

$\delta$  : زاوية ميلان الشمس  
 $L$  : خط العرض للمنطقة  
 $\omega$  : الساعة الزاوية

## 7-2 زاوية السميت للشمس azimuth angle ( $g_s$ ) :

هي زاوية انحراف المسقط الهندسي على مستوى أفقي لعمود ساقط من الشمس في وقت معين بحيث يكون قياس الزاوية بدءاً من الجنوب (الصفر) وتكون موجبة باتجاه الغرب وسالبة باتجاه الشرق. انظر إلى الشكلين رقم (6 و7).



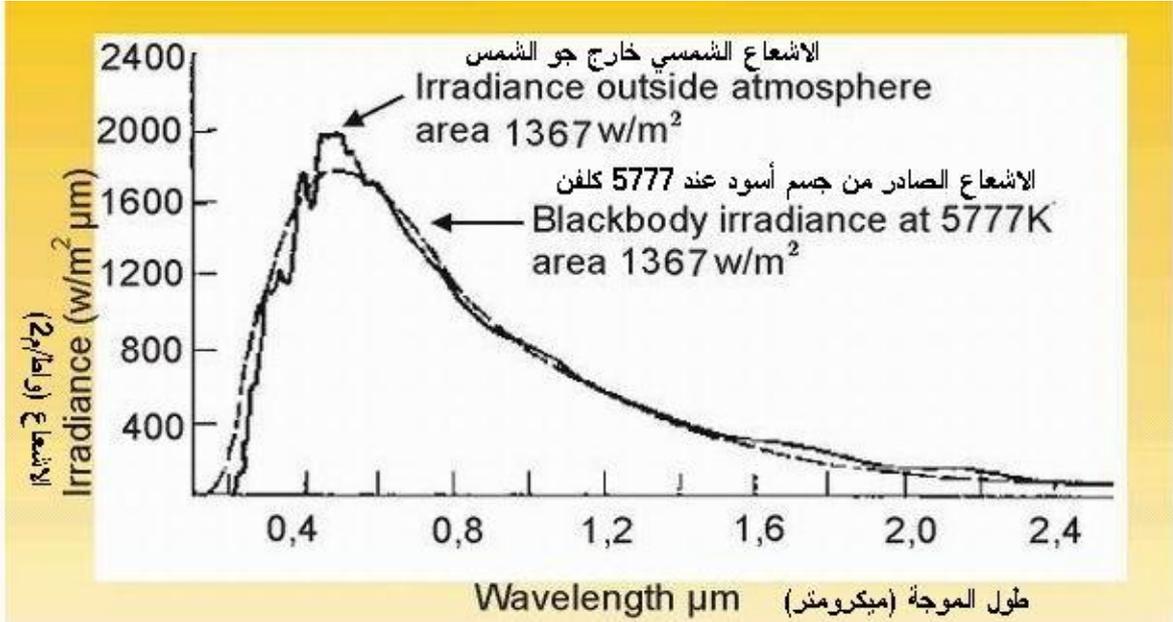
الشكل (7): يبين زوايا الشمس المختلفة

ويمكن حساب زاوية السميت كآلاتي :

$$\sin g_s = \frac{\cos d \sin w}{\cos a}$$

## 3- الثابت الشمسي ( $G_{sc}$ solar constant) :

تشع الشمس كميات هائلة من الطاقة الشمسية. لكن جزءاً يسيراً منها فقط يصل الى جو الأرض الخارجي. وهذا الجزء يشبه توزيعه الطيفي إلى حد كبير ما يشعه جسم اسود على درجة حرارة 5777 درجة كالفن. يبين الشكل (8) توزيع الطاقة الشمسية على الأطياف المختلفة خارج جو الأرض وعلى الأرض وكذلك يبين التوزيع الطيفي للطاقة الإشعاعية التي ييئها جسم اسود ساخن عند 5777 درجة كالفن.



الشكل (8): الطيف الشمسي والطيف المنبعث من جسم أسود ساخن عند 5777 درجة كالفن

الثابت الشمسي هو مقدار الطاقة القادمة من الشمس لوحدة الزمن الساقطة عمودياً على وحدة المساحة على سطح مستو خارج الغلاف الجوي الأرضي عندما يكون متوسط المسافة بين الأرض والشمس  $1.495 \times 10^{11}$  م.

إن افضل قيمة قد تم قياسها للثابت الشمسي هي:  $G_{sc} = 1367 \text{ w/m}^2$  (واط/م<sup>2</sup>)

على الرغم من أن مدار الأرض حول الشمس هو قريب من الدائري، فإن اختلاف البعد بين الأرض والشمس يؤثر على شدة الإشعاع الشمسي خلال العام الواحد بنسبة 7%. ويمكن حساب هذا التأثير في أي وقت من السنة بالعلاقة الرياضية التالية:

$$G_{on} = [1 + 0.033 \cos(\frac{360n}{365})]G_{sc}$$

$G_{sc}$  : solar constant      الثابت الشمسي

n : the day of year رقم اليوم في السنة  
G<sub>on</sub> : extraterrestrial radiation شدة الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي

#### 4- استنزاف الإشعاع الشمسي لمروره بالغلاف الجوي :

ينقسم الإشعاع الشمسي في العادة إلى ثلاثة أقسام:

(أ) الإشعاع الشمسي المباشر Direct solar radiation : وهو الإشعاع الساقط على سطح ما مباشرة من قرص الشمس.

(ب) الإشعاع الشمسي المنتشر أو المشتت Diffuse solar radiation: وهو الإشعاع الساقط على سطح ما بعد أن تشتت خلال مروره بطبقات الجو، أو هو الإشعاع الذي انعكس وسقط على ذلك السطح.

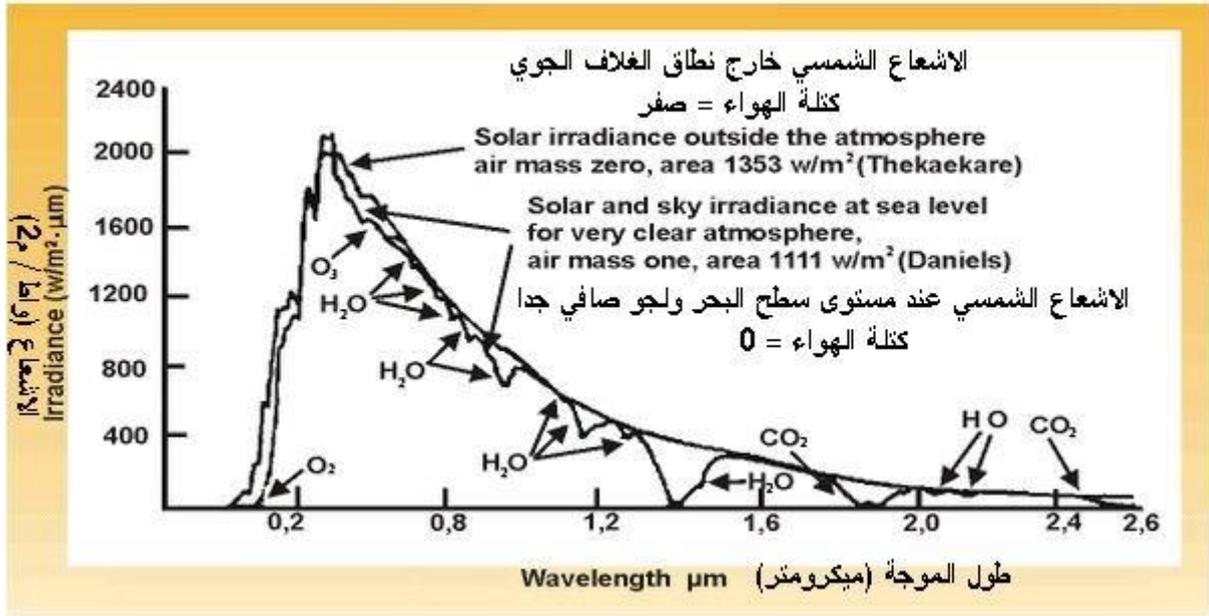
(ج) الإشعاع الشمسي الكلي Global solar radiation: وهو مجموع كل من الإشعاع المباشر والإشعاع المشتت.

يتكون الجو شكلياً من أربع طبقات، الطبقة الجوية السفلية التي تمتد من سطح الأرض إلى ارتفاع يتراوح بين 10 و 15 كم. وتليها طبقة السكاك وهي تمتد إلى 100 كم ويوجد بعدها الجو المؤين ثم الجو الخارجي الأقصى الذي يفتح على الفضاء.

ويحتوي الجو على غاز ثاني أكسيد الكربون CO<sub>2</sub> بنسبة 0.03%، والآرجون Ar بنسبة 0.9%، والأوكسجين O<sub>2</sub> بنسبة 21% و النيتروجين N<sub>2</sub> بنسبة 78% وقليل من الغازات الأخرى، كما يوجد بالقرب من السطح بخار الماء و يوجد على علو 20 كم تقريباً طبقة من الأوزون تلعب دوراً هاماً في امتصاص الأشعة فوق البنفسجية. ويوجد أيضاً غبار و رذاذ وسحب من قطرات ماء أو بلورات ثلج. وتقع أهم التغيرات التي تطرأ على الإشعاع الشمسي في الطبقة الجوية السفلية. ويقدر سمك الغازات التي يعبر من خلالها ضوء الشمس بما يقارب 7.8 كم إذا اعتبرنا الجو في حالة عادية (ضغط جوي = بار، درجة حرارة = صفر مئوية).

#### 4-1 استنزاف الإشعاع الشمسي في حالة صفاء الجو :

عندما يكون الجو صافياً، يستنزف الإشعاع الشمسي بالظروف التالية:  
 أولاً: امتصاصه من طرف بخار الماء وجزيئات الأوكسجين وغاز الأوزون وثاني أكسيد الكربون  
 حسب أطوال أمواج معينة.  
 يبين الشكل (9) تأثير كل من الأوكسجين، وبخار الماء، وثاني أكسيد الكربون وغيرها من مركبات  
 الجو على الطيف الشمسي.



الشكل (9): تأثير الغازات على الطيف الشمسي.

ثانياً: التشتيت "Scattering" : يتكون الجو من العديد من الهباءات (جزيئات بعض الغازات)، غبار، قطرات من الماء وهكذا. ولكن حجم الفراغ الكائن بين الهباءات اكبر بكثير من حجم الهباءات نفسها. كل هباءة تعمل كعائق أمام سير الإشعاع الذي يجوب الجو، تماماً كالحجارة أمام أمواج الماء تعيقها من الاستمرار في التقدم. تتغير الأمواج وتبدو كأنها منطلقة من العوائق نفسها. وكذلك فان الهباءات في الجو تعيق تقدم أمواج الإشعاع وتغير اتجاهها إلى كل ناحية، وهذا ما يسمى بالتشتيت، وهما نوعان:

1-4-1 تشتيت رالي Rayleigh Scattering : ويكون بواسطة جزيئات الهواء أو

الغازات التي أحجامها صغيرة جداً مقارنة مع أطوال أمواج الإشعاع.

1-4-2 تشتيت ماي Mie Scattering : ويكون بواسطة جزيئات اكبر من طول موجة

الإشعاع مثل جزيئات الغبار التي هي اكبر من جزيئات الهواء ويختلف تركيزها من مكان إلى

آخر وحسب ارتفاعها ومن وقت لآخر ولذلك فانه من الصعب حساب مقدار التشتت الماي رياضياً.

وعندما يضم الهواء كميات كبيرة من القطرات والغبار يصبح التشتيت غير انتقائي. أي أنها تشتت جميع الأمواج وهكذا تصبح السماء اقل زرقة وأكثر بياضا أو كلون الحليب. وفي الحقيقة فان زرقة الهواء تدل على نقائه.

وبالإجمال فان حوالي 12% من الإشعاع المتجه نحو الأرض ينتشت، وان نصف الإشعاع المبعثر يعود إلى الفضاء الخارجي.

وعندما يحدث استنزاف للإشعاع الشمسي بالتشتيت والامتصاص فان جزءاً من الطاقة الإشعاعية تتحول إلى طاقة حرارية فيفقد جزء منها ويتجه الجزء الآخر للأسفل على شكل إشعاع منتشر.

#### 4-2 استنزاف الإشعاع الشمسي في الجو الغائم :

ويواجه الإشعاع عائقاً آخر في طريقه إلى سطح الأرض، ألا وهو السحاب. ويكون الاستنزاف للإشعاع الشمسي والجو غائم اكبر ما يمكن، حيث أن معظم الإشعاع ينعكس للخارج نحو الفضاء وجزء منه تمتصه السحب وينبعث الجزء المتبقي للأسفل نحو الأرض على شكل إشعاع منتشر (diffuse radiation). إن معظم أنواع السحاب ذات انعكاسية جيدة وامتصاصية قليلة للطاقة المشعة. وان قدرة السحاب على عكس الإشعاع تعتمد على كثافة السحب وعلى حجم جزيئات السحب، هل هي قطرات ماء أم تليج وعلى أحجام هذه الجزيئات. وان انعكاسية "Reflectivity" السحب قد تقل عن 50% وقد تزيد لتصل الى 80%. ولا يزيد ما تمتصه السحب من الإشعاع الواصل إليها عن 10% وان معظم ما لا تعكسه الغيوم يخترقها.

#### 4-3 الانعكاس وعاكسية الأرض (الببدو $\rho_{ground}$ ) :

عندما يصل الإشعاع إلى الأرض يتأثر بها أيضاً، و سطح الأرض عاكس رديء وتعتمد عاكسية الأرض على نوع التربة. ويستقبل اللاقط الشمسي الإشعاع الشمسي الكلي global من السماء وكذلك يستقبل الإشعاع الشمسي المنعكس من الأرض. إن مقدار الإشعاع المنعكس من الأرض يعتمد على معامل الانعكاس للأرض والتي يُعرف بالببدو  $\rho_{ground}$  "  $\rho_{ground}$ ". وتتراوح قيمة  $\rho_{ground}$  بين 0.2 للحالة العادية و 0.7 عند تواجد الثلوج. والجدول (1) يبين بعض المواد التي توجد على الأرض وقدرتها على عكس الإشعاع.

الجدول (1): عاكسية "Reflectivity" Albedo لبعض السطوح

العاكسية	
50 % إلى 55 %	معدل جميع أنواع الغيوم
17 % إلى 27 %	الخراسانة
5 % إلى 15 %	المزروعات الخضراء
5 % إلى 10 %	الغابات
10 % إلى 20 %	المراعي الخضراء
14 % إلى 17 %	حقل محروث رطب
5 % إلى 10 %	طريق اسفلت اسود
34 % إلى 40 %	رمل ابيض
75 % إلى 90 %	ثلج حديث
45 % إلى 70 %	ثلج قديم
5 % إلى 15 %	تربة داكنة
25 % إلى 30 %	تربة كالصحراء
8 % ويعتمد على اتجاه الشمس	الماء

## الفصل الثاني

### مبادئ أولية في القوانين الفيزيائية التي تحتاج إليها تطبيقات الطاقة الشمسية

بالإضافة إلى معرفة كمية الإشعاع الشمسي وخواصه، وتوزيعه على مدار السنة في المكان الذي نرغب إقامة مشاريع استغلال الطاقة الشمسية فيه، وتوزيعه في اليوم أو معدله في اليوم، فإن المصمم أو الباحث في حقل استغلال الطاقة الشمسية يحتاج إلى معرفة بعض المبادئ الهندسية الأساسية التي تدخل في عملية الحسابات. وأهم هذه المبادئ هي : ديناميكا السوائل والغازات، نقل الحرارة، خواص الأجسام الشفافة وخواص الأجسام التي تمنع مرور الضوء خلالها.

إن جميع النظم التي تستغل الطاقة الشمسية حرارياً تتكون من جهاز فيه مائع لنقل الحرارة من مكان تجميعها إلى مكان استعمالها أو تخزينها. وإن هذا المائع غالباً ما يكون ماء أو هواءً وقد يكون غير ذلك. ويحتاج الماء قوة لدفعه في الأنابيب، كذلك فإن الهواء يحتاج إلى قوة تدفعه. وتأتي هذه القوة من مضخة Pump (في حالة الأنظمة القسرية Forced systems) إذا كان المائع سائلاً، من مروحة نفخ "Blower" إذا كان المائع هواءً. ويتم اختيار المضخة أو المروحة بالاعتماد على حسابات تحدد المقاومة لسريان المائع في كل المنظومة. ويعتمد المهندس لحساب ذلك على معادلات وجداول ورسومات بيانية تحدد مقاومة كل جزء من أجزاء المنظومة. وتعتمد المقاومة هذه على سرعة سريان المائع في الأنابيب التي تحدد حقلين للحساب الحقل الأول ما يسمى بالحقل الرقائقي "Laminar"، والحقل الثاني ما يسمى بالحقل المضطرب "Turbulent". ويمكن حساب فواقد الضغط Pressure Drop السوائل كالاتي:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 4f \frac{L}{D} r \frac{\bar{V}^2}{2}$$

ويعني كل من هذه الرموز ما يلي:

(Pressure Drop)  $\Delta P = P_1 - P_2$  الفواقد في ضغط المائع في سريانه من نقطة 1 إلى نقطة 2 في أنبوب  
طوله L وقطره D.

(Average Velocity)  $\bar{V}$  معدل سرعة السائل في المجرى وهي تساوي:

$$\bar{V} = \frac{4m\dot{}}{r\rho D^2}$$

$m\dot{}$  = معدل تدفق الكتلة التي تجري (kg/s) Mass Flow Rate

$\rho$  = كثافة المائع (kg/m<sup>3</sup>) Density

$f$  = معامل الاحتكاك Friction Factor.

وإذا كان السريان رقائقى Laminar Flow فإن  $f$  تساوي:

$$f = \frac{16}{Re}$$

حيث أن  $Re$  تعرف برقم رينولد "Reynold Number"

$$Re = \frac{r\bar{V}D}{m}$$

وتعني  $\mu$  لزوجة "Viscosity" المائع المستعمل

وإذا كان "Re" في أنبوبة اقل من 2100 فإن السريان يكون رقائقياً وإلا فإنه يكون مضطرباً.  
بعد أن تحسب جميع الفواقد تجمع ويحدد على أساسها القدرة الذي يجب أن تقدمه المضخة أو المروحة.  
ولكن أجهزة كهذه لها كفاءات محددة "Efficiencies" ومعظمها تدورها محركات كهربائية لها كفاءات  
محددة أيضاً. ولذلك فإن الطاقة الكهربائية المطلوبة  $W_e$  تساوي:

$$W_e = \frac{W_{sh}}{h_p h_m}$$

$W_{sh}$  = القدرة اللازمة والتي تساوي مجموع المقاومة في المنظومة (واط)

$\eta_p$  = كفاءة المضخة

$$\eta_m = \text{كفاءة المحرك الكهربائي}$$

تنتقل الحرارة بثلاثة طرق هي: بالتوصيل Conduction والحمل Convection والإشعاع Radiation. ولكل من هذه الطرق دور في أنظمة الطاقة الشمسية. فعندما يسخن السطح الماص في اللاقط الشمسي تنتقل الحرارة إلى السائل الناقل في الأنابيب بالتوصيل. وان هذا السطح الماص نظراً لارتفاع حرارته يشع حرارة قد يخسرها اللاقط لولا أن ألواح الزجاج التي تغطي اللاقط تمنعها عادة من التسرب إلى الخارج. ثم أن ألواح الزجاج تسخن وتسخن الهواء الذي حولها فيرتفع ويحل محله هواء ابرد منه وهكذا دواليك. وهذه هي طريقة انتقال الحرارة بالحمل.

وان ما يهيم المهندس المصمم لجهاز استغلال الطاقة الشمسية هو تجميع اكبر كمية من الطاقة الشمسية الساقطة على اللاقط وخسارة اقل ما يمكن من هذه الطاقة، أي انه يجب أن يمنع تسرب الطاقة الحرارية من اللاقط بأي طريقة من الطرق.

ويمكن حساب كمية الطاقة المتسربة Heat loss بالتوصيل بالمعادلة التالية:

$$Q = \frac{KA}{\Delta X} (T_1 - T_2)$$

$Q =$  تدفق الحرارة من حيز دافئ إلى حيز بارد مثل الحرارة المتسربة من الغرفة إلى الخارج في

فصل الشتاء (kW).

$T_1 =$  درجة حرارة السطح الساخن (°C).

$T_2 =$  درجة حرارة السطح البارد (°C).

$K =$  الموصلية الحرارية "Thermal Conductivity" (W/m.°C).

$A =$  مساحة السطح (m<sup>2</sup>).

$\Delta X =$  سمك الجسم من الداخل إلى الخارج (m).

وإذا أردنا حساب الحرارة المتسربة من جميع أجزاء جسم إلى خارجه أو حساب الحرارة الداخلة إلى جسم من جميع أجزاءه فإننا نحسب Q لكل سطح من السطوح ونجمعها كلها لنحصل على النتيجة. وفي اللواقط الحرارية فان المهندس المصمم يحاول تقليل مجموع Q بقدر الإمكان وبحسب ما تسمح له اقتصاديات الجهاز والتطبيق.

وهناك معادلة مشابهة لحساب كمية الحرارة المنقولة وهي الآتي:

$$q = \bar{h}A(T_s - T_f)$$

q : تدفق الحرارة بالحمل الحراري (W) .

$\bar{h}$  = معامل نقل الحرارة بالحمل (Average convection heat transfer coefficient) (W/m<sup>2</sup>°C)

A = مساحة السطح (Surface area) (m<sup>2</sup>).

T<sub>s</sub> = درجة حرارة السطح (Surface temperature) (°C).

T<sub>f</sub> = درجة حرارة المائع الذي يحمل الحرارة (Fluid temperature) (°C).

ولإيجاد جميع الحرارة التي يفقدها جسم بهذه الطريقة فان heat loss تحسب لكل سطح ثم تجمع كلها. هناك ثلاث خواص للأجسام غير الشفافة تهتم المهندس المصمم لأجهزة استغلال الطاقة الشمسية. وهذه الخواص هي : الامتصاصية "Absorptivity" والانبعاثية "Emissivity" والعاكسية "Reflectivity". وان قابلية السطوح وقدرتها على امتصاص أو بعث أو عكس الحرارة أو الأمواج الأخرى تعتمد على أطوال الأمواج وعلى زاوية الالتقاء وغيرها. ويمكن أن نعرف معدل التفاعل للإشعاع مع الأجسام غير الشفافة من خلال الخواص هذه كما يلي:

الامتصاصية " Absorptivity " : هي نسبة ما يمتصه الجسم من إشعاع إلى كمية الإشعاع الواصلة إليه.

الانبعاثية " Emissivity " : نسبة ما يبعثه (يشعه) جسم عادي من إشعاع إلى كمية الانبعاث التي يبعثها جسم أسود مثالي "Blackbody" على نفس درجة الحرارة.

العاكسية " Reflectivity " : نسبة ما يعكسه سطح من الإشعاع إلى كمية الإشعاع الساقطة عليه.

وإذا كان الجسم متوازن الحرارة فان ما يمتصه من إشعاع يساوي ما يبعثه. وان ما لا يمتصه من إشعاع قادم إليه يعكسه. لذلك فانه يمكن كتابة المعادلة التالية:  $\alpha = \epsilon = 1 - \rho$

$\alpha$ : الامتصاصية

$\epsilon$ : الانبعاثية

$\rho$ : العاكسية

وقد صممت سطوح خاصة مهمة، تستعمل في صناعة مجمعات الإشعاع الشمسي. وتسمى هذه السطوح بالسطوح الانتقائية. وان من أهم خواص هذه السطوح أنها تمتص اكبر قدر ممكن من الإشعاع وتبعث كميات ضئيلة جداً منه. وقد كان ممكناً تصميم مثل هذه السطوح لان 98% من طاقة إشعاع الشمس تكون

بموجات اقل من 3 ميكرونات بينما 99% من طاقة الاشعاع لجسم على درجة حرارة 400 كالفن تكون فوق 3 ميكرونات.

إن الخاصية الرابعة من خواص تفاعل المواد والإشعاع هي معامل النفاذية "Transmittance" وتختص بالمواد الشفافة التي تسمح بمرور الإشعاع. ومعامل النفاذية هذا هو من خواص الجسم الشفاف وتعتمد قيمته على طول أمواج الإشعاع، وزاوية التقاء الإشعاع بالسطح، ومعامل الانكسار "Refractive Index" ومعامل الإفناء "Extinction Coefficient".

إن معامل الإفناء هذا يحدد كمية الطاقة التي تمتصها المادة من جراء مرور الإشعاع فيها مرة واحدة. وان معامل الانكسار يحدد سرعة الإشعاع فيها وكمية الانعكاس على سطحها. ويمكن استعمال المعادلات التالية لحساب الكميات المختلفة :

$$r_{\perp}^1 = \frac{\sin^2(q_2 - q_1)}{\sin^2(q_2 + q_1)}$$

$r_{\perp}^1$ : Perpendicular Reflectance العاكسية العمودية

$\theta_1$ : Incident angle زاوية السقوط

$\theta_2$ : Angle of refraction . زاوية الانحراف .

$$r_{\parallel}^1 = \frac{\tan^2(q_2 - q_1)}{\tan^2(q_2 + q_1)}$$

$r_{\parallel}^1$ : Parallel Reflectance العاكسية المتوازية

$$t = e^{-\frac{KL}{\cos q_2}}$$

Transmittance =  $\tau$  النفاذية

Extinction coefficient = K معامل الإفناء

The distance the radiation has traveled in the = L طول المسافة التي يقطعها الإشعاع .medium

ويمكن كتابة المعادلة التي تبين العلاقة بين الامتصاصية والنفاذية والانعكاسية للمواد الشفافة كالاتي:

$$\alpha = 1 - \rho - \tau$$

ويمكن حساب كمية تدفق الطاقة بالإشعاع بالعلاقة التالية:

$$Q = \sigma \varepsilon A (T_1^4 - T_2^4)$$

Where :

Q : radiation heat transfer (W) تدفق الحرارة بالإشعاع (واط)

$\sigma$ : Stefan constant =  $5.67 \times 10^{-8}$  (W/m<sup>2</sup> K<sup>4</sup>) ثابت ستيفان (واط/م<sup>2</sup> كلفن<sup>4</sup>)

$\varepsilon$  : the emittance of the gray surface انبعاثية السطح الرمادي

A: surface area (m<sup>2</sup>) مساحة السطح (م<sup>2</sup>)

T<sub>1</sub> : temperature of the gray body (K) درجة حرارة الجسم الرمادي (كلفن)

T<sub>2</sub> : temperature of blackbody (K) درجة حرارة الجسم الأسود

## الفصل الثالث

# السخانات الشمسية وطرق تجميعها وتوصيلها بشبكة المياه الساخنة للأنظمة الهامدة Thermosyphon Systems والأنظمة القسرية Forced Systems

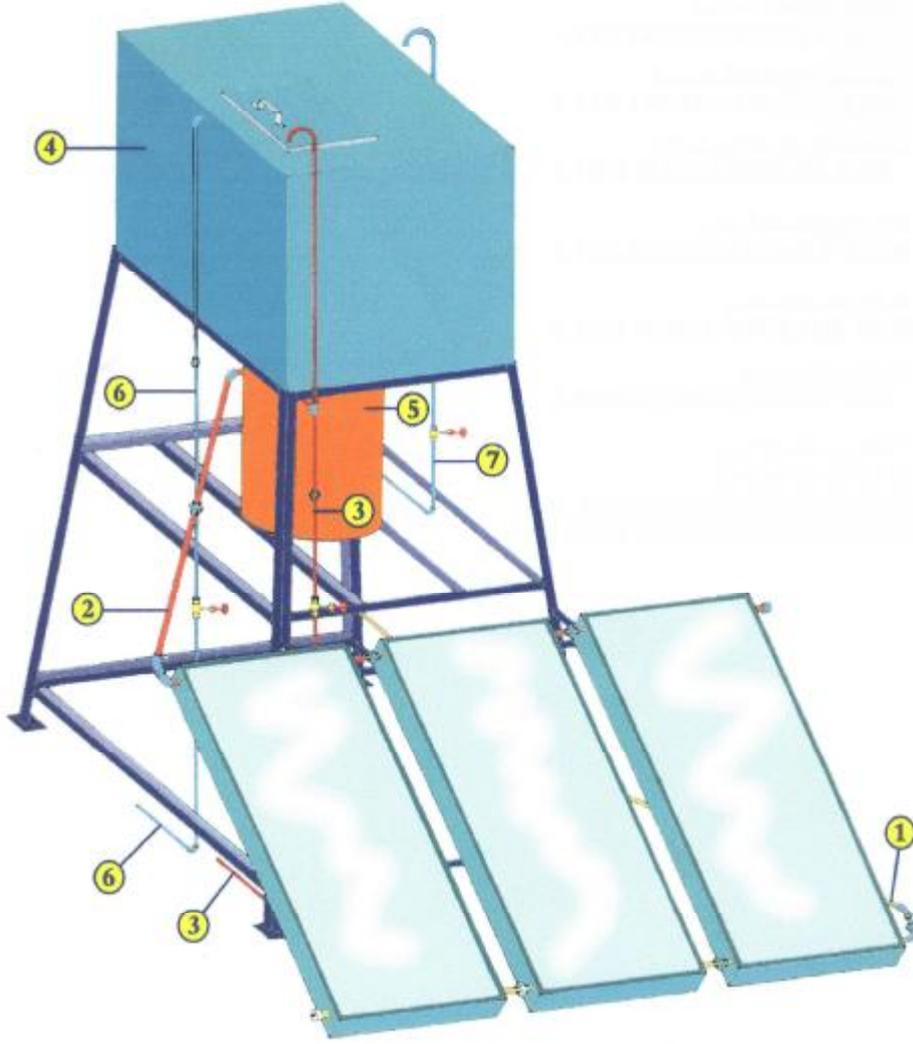
### 1- تعريف السخان الشمسي:

هو جهاز يحول الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية يستفاد منها في تسخين المياه. وقد أصبح استعمال هذا الجهاز واسع الانتشار في معظم أنحاء العالم.

### 2- أجزاء السخان الشمسي Solar water heater parts :

يمكن تقسيم السخان الشمسي إلى الأجزاء الرئيسية التالية (شكل (10)):

- اللاقط الشمسي.
- خزان الماء الساخن (الخازن الحراري).
- أنابيب توصيل ما بين الماصات الحرارية وخزان الماء الساخن.
- خزان ماء بارد

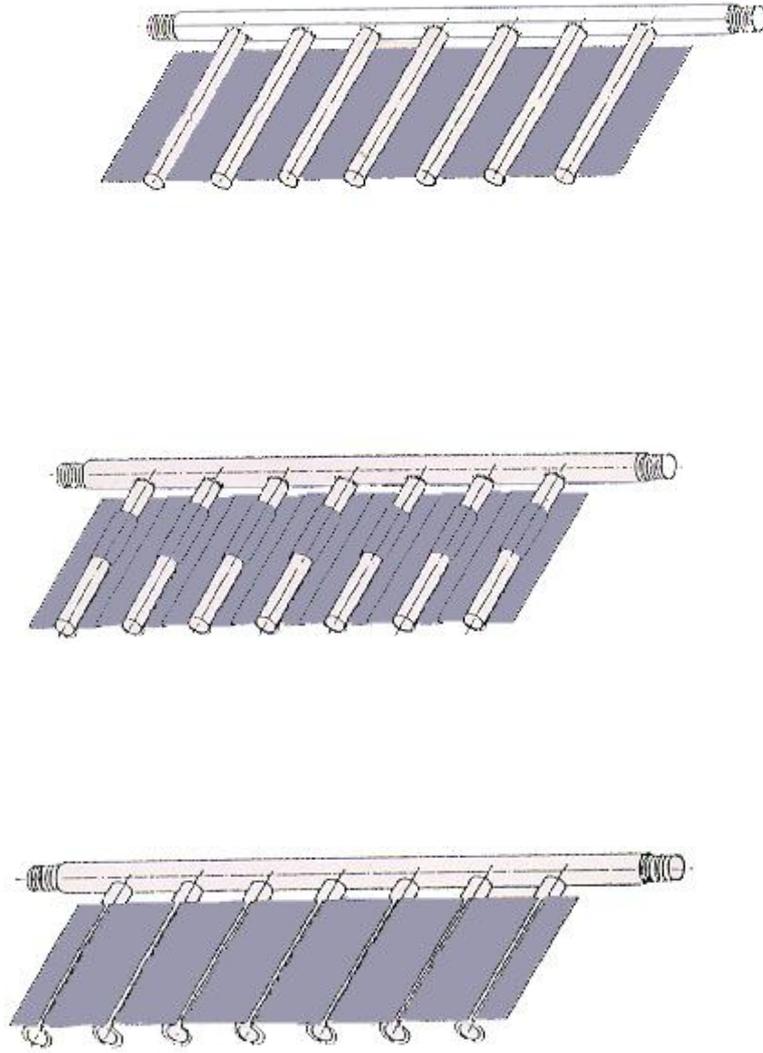


- (1) خط تزويد اللواقط الشمسية .Collector inlet line  
 (2) الخط الخارج من اللواقط الشمسية .Collector outlet line  
 (3) خط الماء الساخن المزود للمنزل .Hot water outlet line  
 (4) خزان تزويد الماء البارد . Cold water supply tank  
 (5) خزان الماء الساخن .Hot water storage tank  
 (6) خط تزويد الماء البارد .Cold water supply line  
 (7) خط تزويد الماء البارد لخزان الماء الساخن Cold water feed line to hot water storage tank  
 الشكل (10): السخان الشمسي

## 1-2 اللاقط الشمسي Solar collector :

يمكن اعتبار اللاقط الشمسي العمود الفقري للسخان الشمسي إذ انه يحول الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية.

وهناك أشكال عديدة للاقط الشمسي كما هو موضح في الشكل (11).



الشكل (11) : أشكال اللواقط الشمسية العديدة

## 2-2 خزان الماء الساخن Hot water storage

هو عبارة عن خزان حراري معزول لحفظ الماء الساخن الناتج عن اللاقط الشمسي لحين استعماله، كما أنه يحافظ على درجة حرارة الماء الساخن أثناء الليل والأيام التي تكثر فيها الغيوم ( الشكل 10).

إن الخزان يتكون من خزان داخلي معزول بمواد عازلة، كما أن الخزان الداخلي والعوازل المحيطة به يجب أن تكون محفوظة داخل وعاء آخر ( سواء مصنوع من مواد معدنية أو بلاستيكية) ليمنع وصول الهواء والمطر إلى المواد العازلة.

## 2-3 أنابيب التوصيل Pipes connection :

هي أنابيب تستعمل لتوصيل الماء البارد من أسفل الخزان إلى اللواقط الشمسية وكذلك توصيل الماء الساخن الناتج عن اللواقط الشمسية إلى نقطة علوية داخل الخزان (الشكل 10). يجب أن تحاط هذه الأنابيب بمواد عازلة لتحافظ على درجة حرارة الماء وإلا فقدت جزءاً من الحرارة إلى الهواء.

## 2-4 خزان الماء البارد Water tank :

وهو خزان لتجميع الماء البارد القادم من المصدر المغذي الرئيسي وذلك لضمان تغذية سخان الشمسي بالماء في حالات انقطاع المياه من المصدر الرئيسي. ويكون حجم هذا الخزان عادة متراً مكعباً خاصة في المباني الصغيرة. ( الشكل 10).

## 3- أنواع السخانات الشمسية:

توجد أنواع متعددة وذلك حسب المواد المتوفرة والطقس ومتطلبات المستفيدين منه وأهمها:

### 3-1 السخان الشمسي المندمج Integral solar system (اللاقط الشمسي والخزان وحدة واحدة):

هو سخان ماء شمسي يدمج عمل كل من اللاقط الشمسي والخازن الحراري. يختلف تصميم هذا السخان عن باقي السخانات التقليدية، حيث يتكون من أنبوب أو عدة أنابيب متصلة بعضها ببعض، بحيث تكون أقطارها أكبر نسبياً من أقطار الأنابيب التي في اللاقط التقليدي لتشكل ما يشبه بالخازن الحراري. ويُعزل بغطاء شفاف يسمح بمرور أشعة الشمس من خلاله لتسخين تلك الأنابيب والمدهونة بالأسود عادة. وهناك نوع آخر مطور يمكن صنعه من مواسير بلاستيكية (أو معدنية) سوداء اللون، بحيث



يتراوح قطر الماسورة بين 75 مم و 150 مم ، و تصف جنباً إلى جنب حسب الحاجة وتغطي بزجاج أو بلاستيك شفاف من الأعلى وتعزل من الجوانب ومن الأسفل. انظر الشكل رقم (12). و يمكن وضعه بشكل مائل بحيث يتلاءم مع خط العرض للمنطقة كما أنه يحفظ الحرارة لوضع ساعات ولكن ليس طيلة الليل.

الشكل (12): السخان الشمسي المتكامل

### 2-3 السخان الشمسي التقليدي Conventional solar heater (اللاقط الشمسي والخزان وحدات منفصلة):

إن هذا النوع هو أكثر السخانات انتشاراً في أنحاء العالم وإن تعددت موادّه ومواصفاته. يمتاز هذا النوع عن غيره بأنه يحافظ على الحرارة المكتسبة داخل الخزان لعدة أيام حتى ولو لم تظهر الشمس خلالها. توجد طريقتان متبعتان لهذا النوع:

1-2-3 طريقة السيفون الحراري Thermosyphon method أو الدفع الذاتي (تعمل على مبدأ اختلاف كثافة الماء البارد والساخن) وهو أكثر الأنواع انتشاراً. في هذه العملية يصعد الماء الساخن إلى الأعلى ويحل محله الماء البارد كما يشترط أن يكون الخزان أعلى بقليل من اللواقط الشمسية. انظر الشكل (10) السابق.

2-2-3 طريقة الدفع القسري Forced method ويكون دوران الماء بواسطة مضخة لضخ الماء من اللاقط الشمسي إلى الخزان وهذه مستعملة في المباني والمنشآت الكبيرة. ومن قبيل الاحتياط يفضل تزويد هذه الأجهزة بمقاومة تسخين كهربائية لتسخين الماء في أيام الشتاء الغائمة والحالات التي يتطلب بها ماء ساخناً أكثر من المتوقع.

## 4- الأسس العلمية المتعلقة بالسخان الشمسي التقليدي

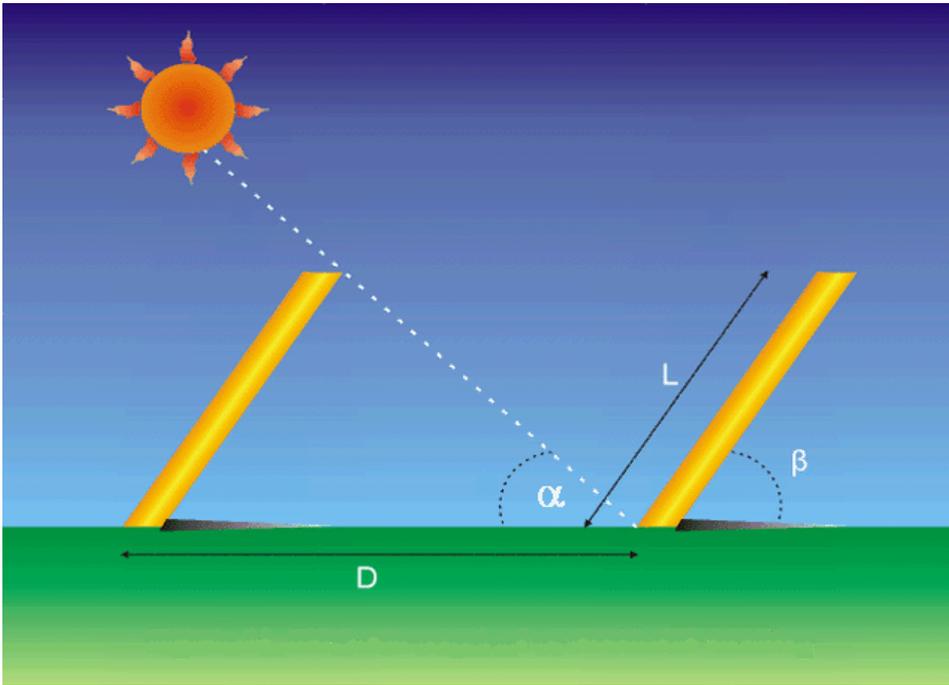
### 1-4 الأنظمة الهامدة Thermosyphon:

الشكل رقم (10) السابق يبين لنا نظام السيفون الحراري العادي والذي هو الأكثر استعمالاً، وفي حالة تركيب هذا النظام يجب مراعاة التعليمات التالية:

#### 1-1-4 اختيار الموقع

إن اختيار الموقع المناسب هام جداً ويجب أن تكون اللواقط الشمسية معرضة لأشعة الشمس معظم ساعات النهار وخصوصاً ما بين الساعة التاسعة صباحاً والساعة الثالثة من بعد الظهر وهذا يعني لمنطقتنا أن تكون متجهة نحو الجنوب، ويجب أن تكون بعيدة عن المباني المجاورة المرتفعة أو الأشجار العالية خوفاً من التظليل وتركب عادة فوق أسطح المباني.

ولحساب أدنى مسافة  $D$  بين صفين من صفوف اللواقط الشمسية لتقادي التظليل كما هو موضح بالشكل (13) ، نستخدم المعادلة التالية:



الشكل (13): المسافة بين اللواقط لتقادي التظليل

$$\text{Minimum spacing distance } D = L \cos \beta + L \sin \beta \cos \gamma_s / \tan \alpha$$

حيث :

$L$  : طول اللاقط الشمسي collector length

$\beta$  : زاوية ميل اللاقط collector slope angle

$\gamma_s$  : زاوية السميت للشمس azimuth angle of the sun

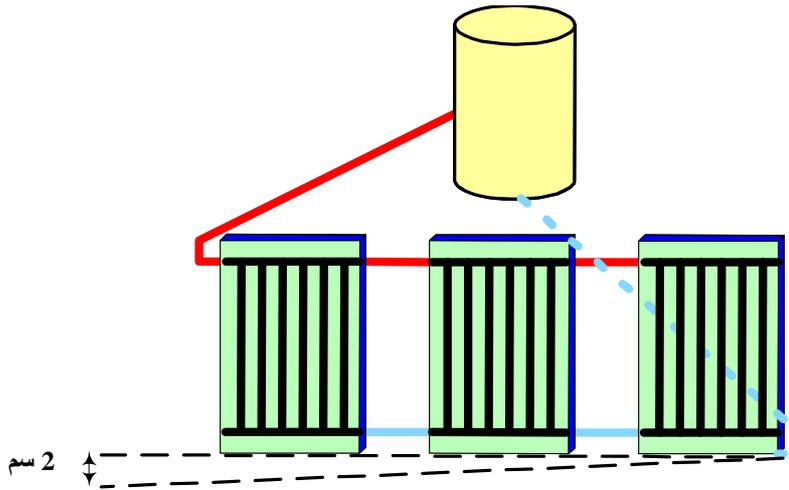
$\alpha$  : زاوية ارتفاع الشمس altitude angle

#### 2-1-4 اختيار زاوية ميلان اللواقط الشمسية

توفير الماء الساخن طيلة أيام السنة هي الوظيفة الرئيسية للسخانات الشمسية لذا يجب اختيار زاوية ميلان اللواقط الشمسية للاستفادة من أشعة الشمس لأطول فترة ممكنة من السنة وحسب رغبة المستهلك. للأحوال العادية يفضل أن تكون زاوية الميلان تساوي **خط عرض تلك المنطقة**، أما إذا كانت رغبة المستهلك الاستفادة من السخان الشمسي في فترة الشتاء فتكون زاوية الميلان تساوي خط العرض مضافاً إليه **10 إلى 15 درجة** وإذا كانت الرغبة للاستفادة من السخان الشمسي في فصل الصيف فتكون زاوية الميلان تساوي خط عرض تلك المنطقة مطروحاً منها **10 إلى 15 درجة**.

عند تركيب اللواقط الشمسية يجب مراعاة ما يلي:

- أن تكون مرتفعة قليلاً 1سم إلى 2 سم نحو جريان الماء فيها وذلك لخروج الهواء منها عند تعبئة النظام كما هو موضح في الشكل (14).



الشكل (14): اللواقط الشمسية مركبة بحيث تكون مرتفعة 2 سم عن الأرض.

- أن ترتكز حافتها السفلى على قاعدة ارتفاعها 10 سم على الأقل لحمايتها من العوامل الجوية كالأمطار والتي تساهم في تسريع تآكل السخان الشمسي.

### 3-1-4 خزان الماء الساخن (الخازن الحراري)

#### 1-3-1-4 قاعدة الخازن الحراري:

يجب أن تكون قاعدته السفلى أعلى من أعلى نقطة في اللواقط الشمسية ما بين 10 - 60 سم في حالة السيفون الحراري وان يكون قريباً إلى المكان الأكثر استعمالاً للماء الساخن ويجب أن يكون هناك جهاز لطرده الهواء (هوائية) لخط الماء الساخن.

#### 4-1-3-2 حجم خزان الماء الساخن ومواصفاته:

إن اختيار حجم الخازن الحراري يختلف من مكان إلى آخر ويخضع لعدة عوامل منها كمية الإشعاع في المنطقة، كفاءة وكمية الماء المستهلكة... الخ، ولكن ينصح بأن يكون حجم الخزان 1.5 مرة من متطلبات الاستهلاك اليومي ليكفي لسد حاجة المستفيدين منه في الأيام التي تكثر بها الغيوم. كما توجد بعض النقاط المهمة لاختيار وتركيب الخزان:

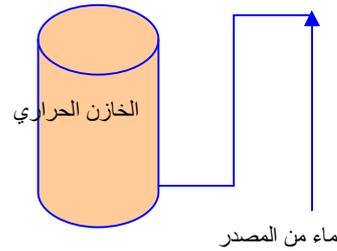
- أن تكون سعة الخزان متناسبة مع مساحة اللاقط الشمسي وأن تكون بمعدل 40 - 75 لتر لكل متر مربع من اللواقط في المنطقة العربية.
- يفضل أن يكون الخزان الداخلي مصنوعاً من نفس المواد المستعملة في التمديدات ليمنع عملية التحليل الكهربائي والصدأ.
- أن يكون الخزان معزولاً بمواد عازلة بسمك 8 - 10 سم وذلك حسب نوعية المواد العازلة.
- أن يكون موضع المقاومة الحرارية Electric Heater داخل الخزان في منطقة من أعلى الخزان (ثلث ارتفاع الخزان الحراري) تكفي لحمام شخص واحد. إن وضعه في أسفل الخزان عملية متبعة ولكن سيئاتها أنها تقوم بتسخين أكبر كمية من الماء مما يساعد على فقدان كمية كبيرة من الحرارة والتي نحن بصدد توفيرها كما أنه لا يترك الماء في الخزان تحت درجة حرارة عالية مما لا يساعد المجمعات الحرارية على القيام بواجبها.
- أن يركب ويوصل بالمواسير بطريقة لا تسمح بتفريغه في حالة انقطاع الماء ويمكن أن يتم ذلك بإحدى الطرق التالية:

\* في حالة أن يكون ضغط مصدر المياه الواصل للخزان عالياً فإنه ينصح بتركيب خزان صغير مع عوامة لتخفيف الضغط على الخزان وان يكون هذا الخزان أعلى بقليل من خزان الماء الساخن.

\* في حالة أن يكون ضغط مصدر المياه منخفضاً فإنه يمكن إيصال الماء الساخن بإحدى طريقتين:

(1) تركيب صمام ذو اتجاه واحد أي أنه يسمح بمرور الماء للخزان ولا يسمح بالعكس.

(2) توصيل المواسير كما هو موضح في الشكل التالي:



#### 4-1-4 الأنابيب وقطع التوصيل

توصل أجزاء السخانات الشمسية ببعضها ببعض بواسطة أنابيب وقطع التوصيل الأخرى مثل كوع، شد وصل ... الخ والتي يجب أن تكون من نفس نوع المواد المستعملة لتتجانس جميع هذه المواد ول الصدأ.

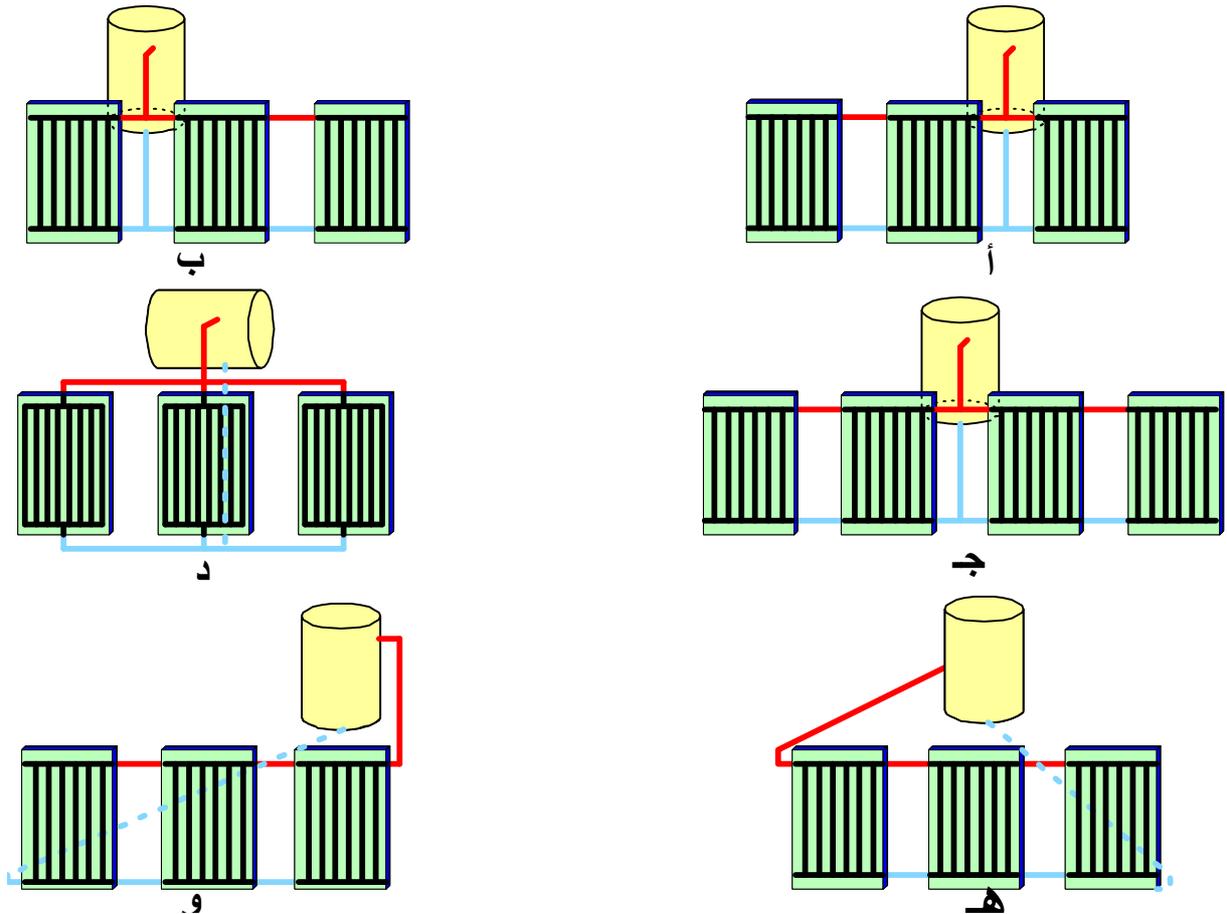
يجب أن تغطي هذه الأنابيب بمواد عازلة لا يقل سمكها عن 2.5 سم لتحافظ على الطاقة الحرارية المكتسبة ولكي يكون النقصان في درجات الحرارة أقل ما يمكن ويجب أن يكون العازل مغطى بمواد تقاوم الأحوال الجوية. والأنابيب التي يجب عزلها هي:

- الوصلات بين اللواقط الشمسية.
- الخط ما بين اللواقط الشمسية وخزان الماء الساخن.
- الخط ما بين الماء الساخن واللواقط الشمسية - الخط الراجع.
- خط التهوية ولمسافة تزيد عن 1م.
- خط تغذية خزان الماء الساخن ولمسافة تزيد عن 1م.
- الخط الواصل بين خزان الماء الساخن ونقاط الاستهلاك.

#### 4-1-5 طرق توصيل اللواقط الشمسية (للأنظمة الهامدة)

توصل اللواقط الشمسية بطرق مختلفة كما هو مبين في الشكل (15). إن الطريقتين (أ) و (ب) غير ملائمتين لأن توزيع الحرارة لن يكون متجانساً في اللواقط الثلاثة ودرجة الحرارة المتوسطة للواقط الأول تختلف عن تلك في اللاقطين الثاني والثالث لأن سرعة جريان الماء في اللواقط مختلفة وهذا يؤدي إلى التقليل من كفاءة السخان الشمسي كوحدة متكاملة.

في حالتَي التوصيل (ج) و (د) تختلف هنا أيضاً سرعة جريان الماء في اللواقط الوسطى عنها في اللواقط الجانبية مما يؤدي كذلك إلى اختلاف كفاءة هذه اللواقط وتقليلها في الوحدة الكاملة. في حالتَي التوصيل (هـ) و (و) يدخل الماء هنا إلى اللواقط من مدخل واحد ويخرج من مخرج واحد مما يجعل الضغط في شبكة اللواقط (شبكة الماص الحراري) متساوياً وهذا يؤدي إلى تساوي كفاءة اللواقط ويعطي مردوداً أفضل للسخان الشمسي كوحدة متكاملة.



الشكل (15): طرق توصيل اللواقط الشمسية

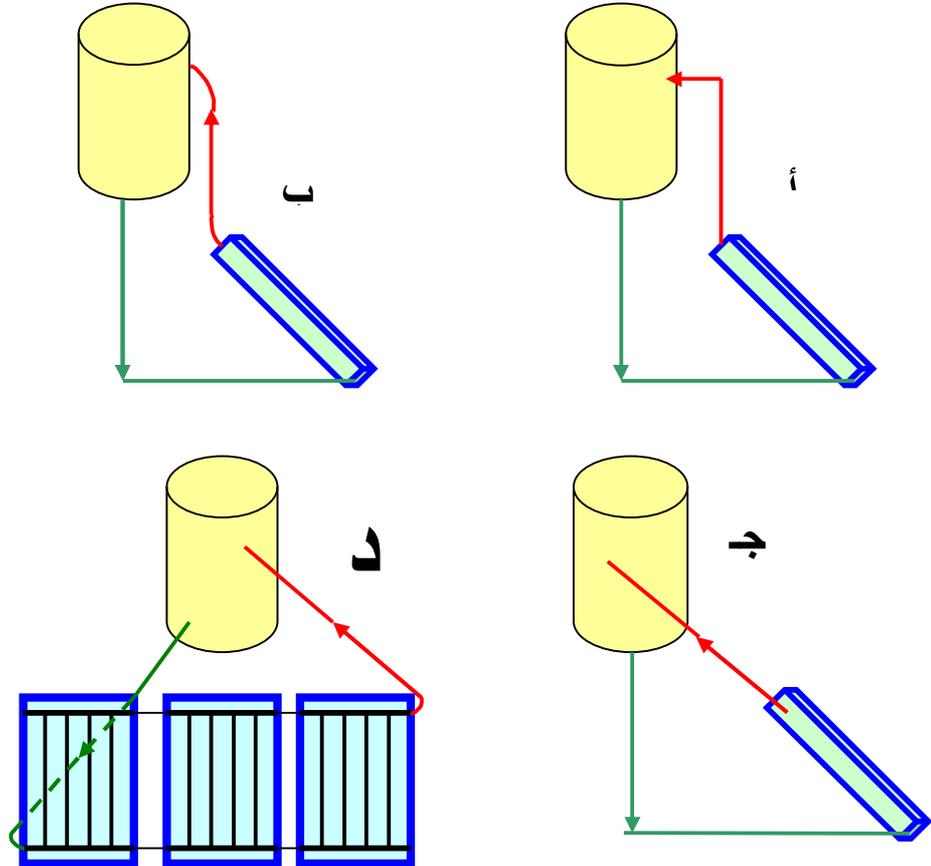
#### 4-1-6 طرق توصيل اللواقط الشمسية مع خزان الماء الساخن

تتفد طرق التوصيل بأشكال مختلفة ويبين الشكل رقم (16) هذه الطرق:

(أ) غير ملائمة لان وجود الاكواع ووصلات " تي " يسبب مقاومة وهذه تقلل من جريان الماء وتضعف السيفون الحراري.

(ب) هنا تكون مقاومة جريان الماء اقل نوعاً ما لان الأنبوب مشكل ليكون انسيابياً.

(ج) في هذه الحالة يكون الأنبوب مستقيماً وبالتالي تكون مقاومة الاحتكاك قليلة إلا انه يحدث حركة للماء داخل الخازن الحراري لان الجزء المغمور من الأنبوب طويل.



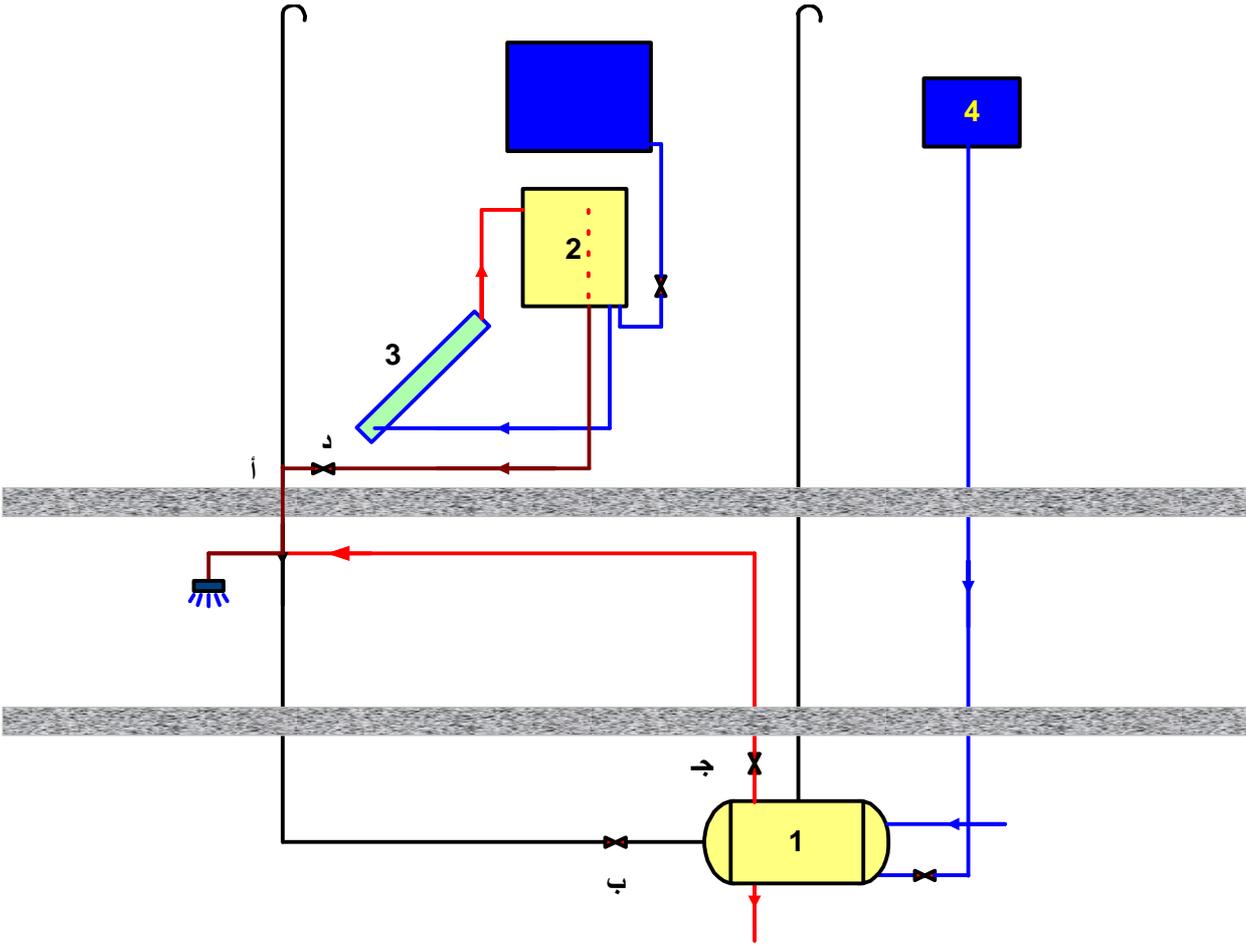
الشكل (16): طرق توصيل اللواقط الشمسية مع الخازن الحراري

(د) في هذه الحالة يكون الاحتكاك قليلاً لعدم وجود وصلات تي ولان الأنبوب يدخل قليلاً في خازن الماء الساخن وتمثل هذه الحالة الحل الأفضل.

#### 7-1-4 تركيب السخان الشمسي

عند عدم وجود نظام تقليدي لتسخين المياه مثل مرجل التدفئة، يتم تركيب السخان الشمسي على سطح المباني ويوصل خزان الماء الساخن مع شبكة الماء الساخن للبيت عن طريق خط الهوائية.

أما في حالة وجود نظام تسخين للماء عن طريق مرجل التدفئة فتتركب معظم الشركات السخان الشمسي كما يظهر في الشكل رقم (17) والذي يبين طريقة التركيب، حيث يوصل خط الماء الساخن من خازن الماء الساخن مع خط تهوية شبكة الماء الساخن عند النقطة (أ) ويوضع محبس (صمام) عند النقطة (ب) وآخر عند النقطة (ج) بإغلاق هذين المحبسين يتم فصل "سلندر" (خزان) الماء الساخن المتصل مع نظام تسخين الماء بواسطة مرجل التدفئة عن شبكة الماء الساخن للبيت ويمكن استعمال هذه الطريقة في فصول محدودة من السنة، ولكن في الأوقات غير المشمسة في فصل الشتاء يغلق المحبس (د) ويفتح المحبسان (ب) و (ج) فيفصل بذلك السخان الشمسي وتكون شبكة الماء الساخن موصولة مع نظام تسخين الماء بواسطة مرجل التدفئة.

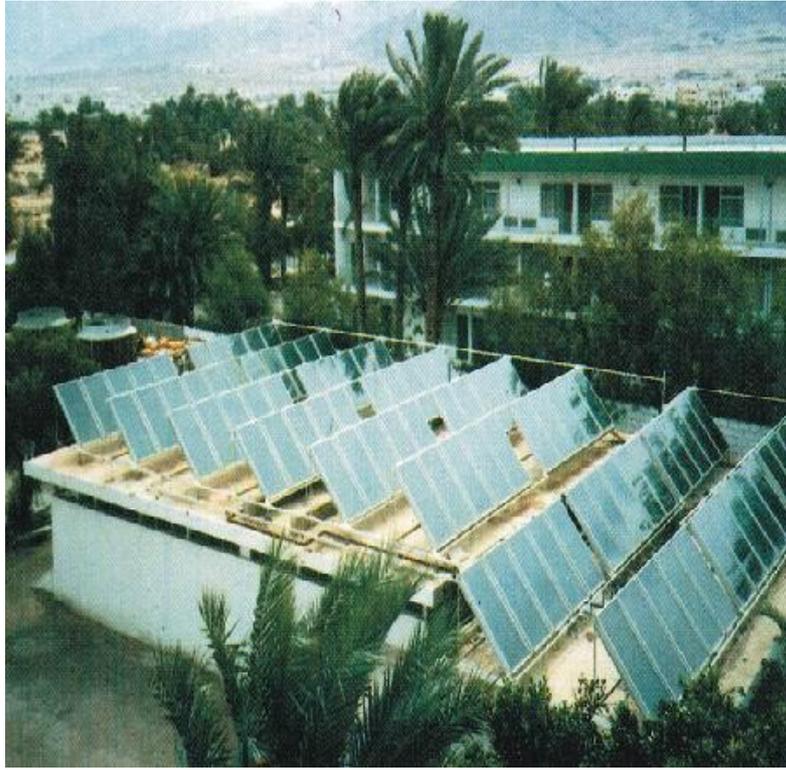


(1 اسطوانة (سلندر) ماء ساخن hot water cylinder (2 خزان ماء ساخن hot water storage (3 لواقط شمسية collectors (4 خزان ماء بارد cold water tank الشكل (17): تركيب نظام السيفون الحراري مع شبكة الماء الساخن للبيت.

هذا يعني عدم الاستفادة من السخان الشمسي في فصل الشتاء. هناك أنظمة أفضل تسمح بالاستفادة من السخان الشمسي طوال السنة في حالة وجود نظام لتسخين الماء بواسطة مرجل التدفئة وهي الأنظمة القسرية.

#### 2-4 الأنظمة القسرية

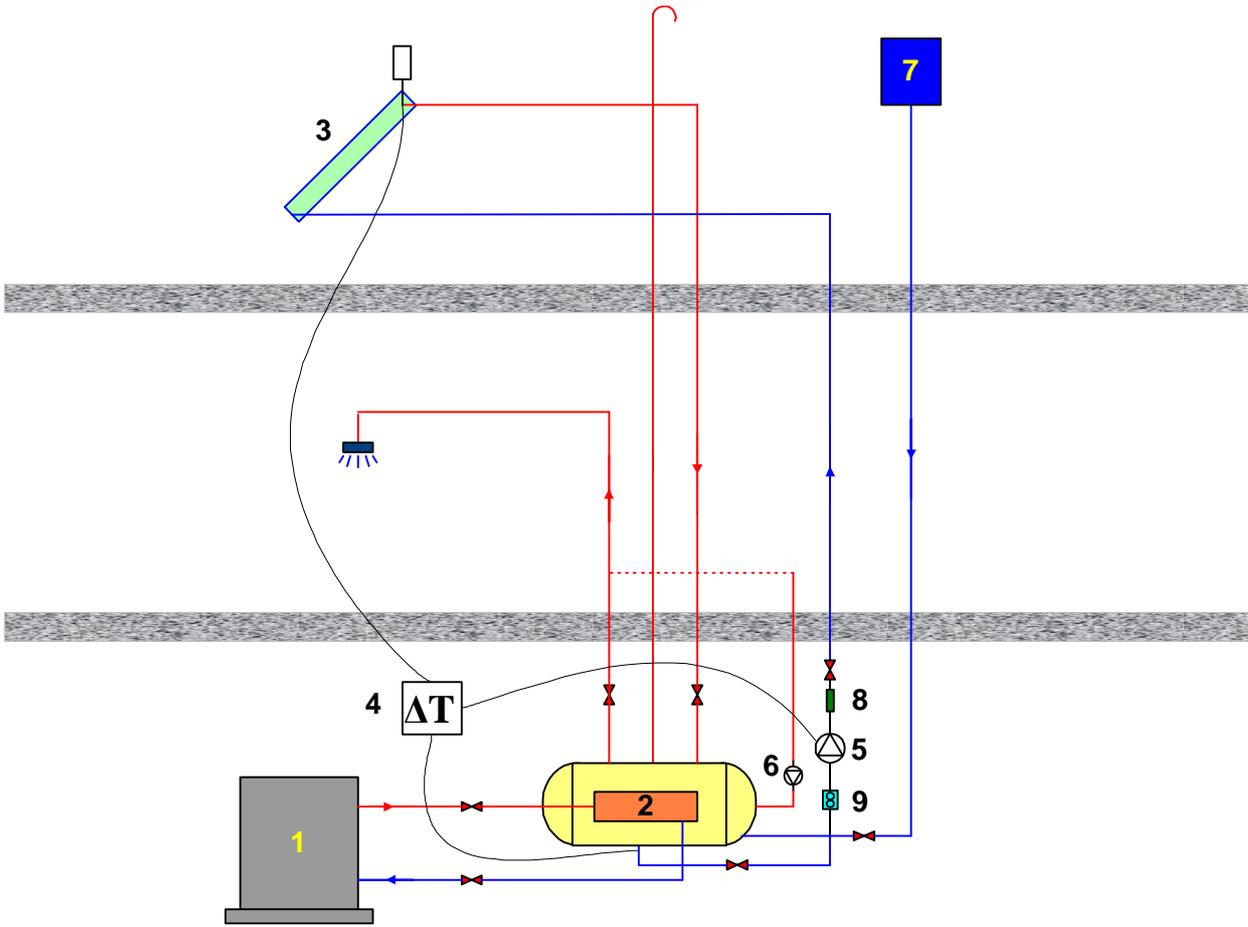
تستعمل الدورة القسرية عندما يكون خازن الماء الساخن بعيداً عن اللواقط الشمسية أو في مكان آخر. تستعمل هذه الدورة أيضاً معظم المباني المحتوية على سلندر للماء الساخن عن طريق مرجل التدفئة. يبين الشكل (18) نظام شمسي قسري لإحدى المباني.



الشكل (18): نظام شمسي قسري لإحدى المباني

#### 4-2-1 تركيب الأنظمة القسرية

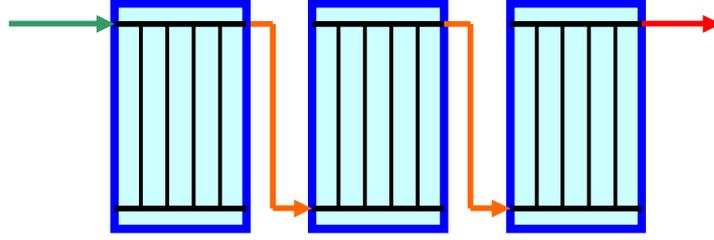
يبين الشكل رقم (19) كيفية توصيل هذا النظام بنظام الماء الساخن عن طريق مرجل التدفئة. تركيب مضخة لتدوير الماء بين اللواقط الشمسية واسطوانة (سلندر) الماء الساخن، ينظم عمل هذه المضخة جهاز تحكم  $\Delta T$  ذو مجسات حرارية يركب أحدها في إحدى اللواقط ويركب الآخر من أسفل خزان الماء الساخن. إذا كانت درجة حرارة الماء في اللاقط الشمسي أعلى بمقدار معين من درجة حرارة ماء السلندر، يعطي جهاز التحكم إيعازاً للمضخة بالدوران وبذلك ينتقل الماء من اللواقط الشمسية إلى السلندر ويحل محله ماء من السلندر والذي تكون درجة حرارته أقل ليسخن ويعود ثانية إلى السلندر، تستمر هذه العملية ما دام هناك فرق في درجات الحرارة بين ماء اللواقط وماء السلندر. عندما تتقارب درجة حرارة الماء في اللواقط مع تلك في السلندر، يعطي جهاز التحكم إيعازاً للمضخة بالتوقف وهكذا. يجب أن تكون هناك وظيفة إضافية لجهاز التحكم وهي حماية اللواقط الشمسية من تجمد الماء داخل شبكة اللاقط أيام الصقيع وأثناء الليل وذلك بأن يعطي جهاز التحكم إيعازاً للمضخة بالعمل لتنقل الماء الساخن إلى اللواقط الشمسية لترفع درجة حرارة الماء إلى حد معين وتقف بعد ذلك.



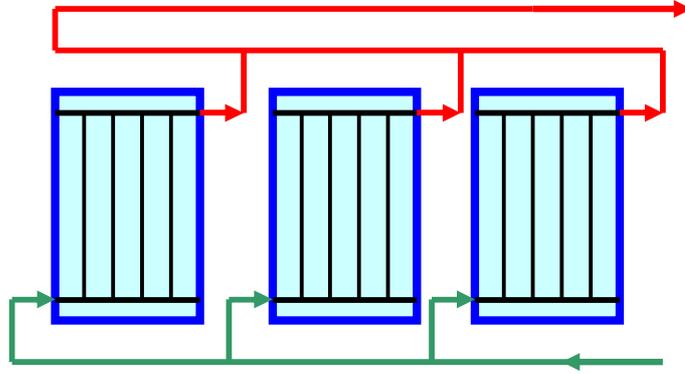
(1) مرجل تدفئة boiler (2) سلندر ماء ساخن hot water cylinder (3) لواقط شمسية collectors (4) جهاز تحكم controller (5) مضخة نظام السخان الشمسي SWHS pump (6) مضخة تدوير (7) المياه الساخنة re-circulating pump (8) خزان ماء البارد cold water tank (9) فلتر ماء water strainer

الشكل (19): طريقة تركيب النظام القسري مع نظام تسخين الماء عن طريق المرجل.

إن هذا النظام هو الأمثل للاستفادة من السخان الشمسي ان وجد نظام تسخين للماء عن طريق مرجل التدفئة وهو يعمل معظم ايام السنة ولا يؤثر على عمل سلندر الماء الساخن بواسطة مرجل التدفئة. إن عملية ومتطلبات تركيب هذا النظام تشبه إلى حد كبير المتطلبات التي وردت في الأنظمة الهامة (نظام السيفون الحراري)، مثلاً طريقة التركيب، التوجيه، العزل ... الخ، إلا انه يمكن ترتيب اللواقط الشمسية بطرق متعددة إما على التوالي أو التوازي أو التوالي والتوازي معاً مع الأخذ بعين الاعتبار أن تكون عملية توزيع الماء في اللواقط الشمسية وكذلك سرعة جريان الماء بشكل معقول أي يجب أن تكون المضخة قادرة على تدوير الماء أو السائل الناقل للحرارة ما بين اللواقط الشمسية وخزان الماء الساخن. انظر للشكلين (20 و 21).



الشكل (20): توصيل اللواقط على التوالي



الشكل (21): توصيل اللواقط على التوازي

كما يجب أن يكون نوع المضخة من الفولاذ الذي لا يصدأ أو أية مواد أخرى لا تصدأ وأن تحدد قدرتها حسب القواعد الهندسية للمضخات كما يجب أن توضع قبلها مصفاة (سترينر) وبعدها رداد Check Valve. يركب هنا خزان الماء البارد المغذي لسنندر الماء الساخن أعلى من مستوى الحافة العليا للواقط الشمسية وذلك لضمان بقاء اللواقط الشمسية مملوءة بالماء. يجب عزل جميع الأنابيب والوصلات كما ورد في نظام السيفون الحراري كما يجب عزل الخطين الواصلين بين اللواقط الشمسية وسنندر الماء الساخن سواء كانت تمديدات داخلية أو خارجية عزلاً جيداً.

## 5- صيانة الأنظمة الشمسية

إن صيانة سخانات الشمسية الهامدة أو القسرية ضرورية جداً ويمكن تلخيصها بما يلي:

- تنظيف زجاج اللواقط الشمسية كلما دعت الحاجة لذلك.
- تفقد اللواقط الشمسية من حيث الإحكام مثلاً أن يكون الشبر المطاطي للزجاج محكماً وصالحاً لعدم دخول المطر والغبار وإذا كسر الزجاج وجب تغييره فوراً.
- إذا لوحظ أن سطح الماص الأسود أصبح باهتاً أو حدث هناك صدأ فيجب تنظيفه وإعادة طلاءه.
- تفقد العازل وإعادة العزل كلما تلف.
- تفقد مصفاة المضخة وتنظيفها عند اللزوم.
- التأكد من أن المجسات الحرارية في مكانها ليقوم جهاز  $\Delta T$  بعمله بالشكل الصحيح.

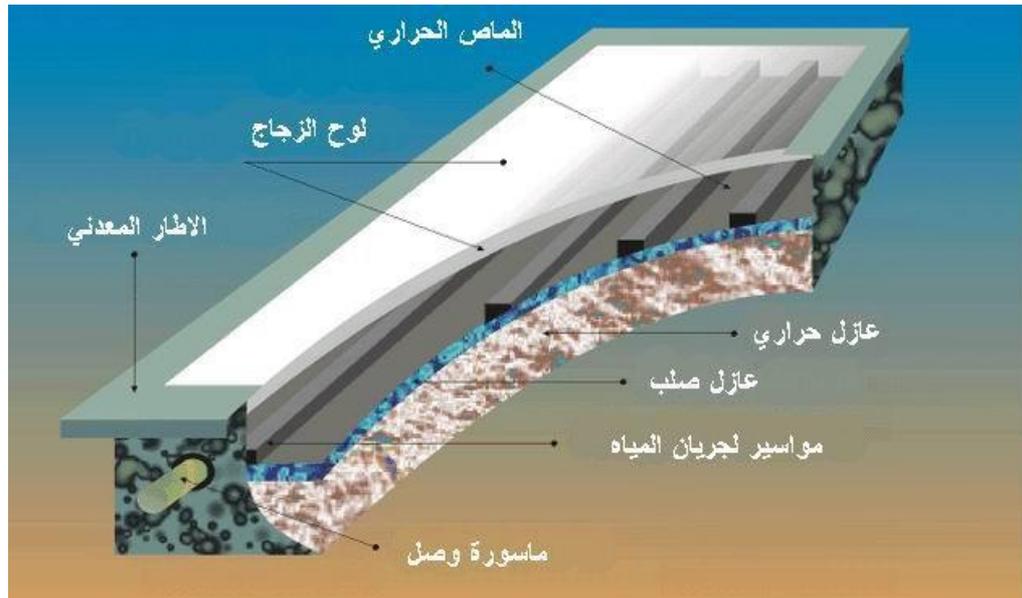
## الفصل الرابع

### تأثير أجزاء اللاقط الشمسي على أدائه

إن اللاقط الشمسي هو الجزء الأساسي والرئيسي في السخان الشمسي، وبذلك فإن كفاءة وحسن الأداء للسخان الشمسي يعتمد اعتماداً أساسياً على كفاءة وأداء اللاقط الشمسي.

#### 1- اللاقط الشمسي:

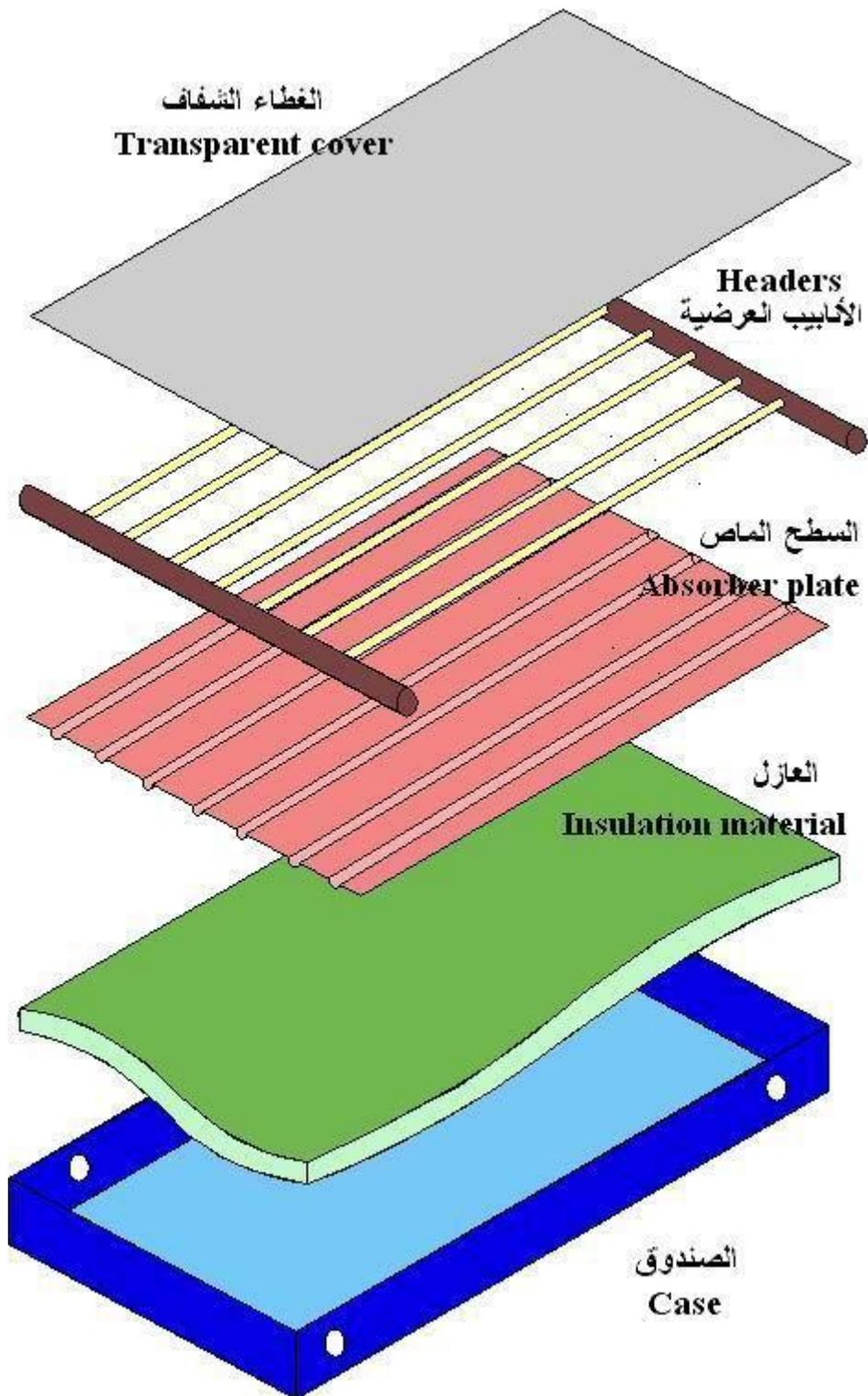
اللاقط الشمسي في الشكل (22) والشكل (23) هو عبارة عن جهاز يحول الطاقة الشمسية (الإشعاع الشمسي) إلى طاقة حرارية يمكن استغلالها عن طريق تسخين السائل المتواجد داخل اللاقط الشمسي.



الشكل (22): لاقط شمسي نموذجي

#### 1-1 أجزاء اللاقط الشمسي:

يصنع اللاقط الشمسي من أجزاء مختلفة تجمع في وحدة واحدة مكونة اللاقط الشمسي، وهذه الأجزاء كما في الشكل رقم (22) هي :



الشكل (23): أجزاء اللاقط الشمسي

### 1-1-1 الصندوق الخارجي Collector case :

يمكن تصنيع الصندوق الخارجي من صفائح الفولاذ المجلفن أو الألمنيوم المعالج أو أي مواد أخرى تتحمل تأثيرات العوامل الجوية مثل الأشعة فوق البنفسجية، والمطر والرطوبة والرياح.

### 2-1-1 الأغطية الشفافة Transparent cover :

تكون الأغطية الشفافة عادة من زجاج ذو نفاذية عالية وإذا استعملت مواد أخرى مثل البلاستيك أو البلاستيك المقوى بالألياف الزجاجية فيجب أن تتحمل هذه الأغطية العوامل الجوية وان تكون ذات نفاذية عالية.

### 3-1-1 السطح الماص Absorber plate :

يصنع السطح الماص من المواد المعدنية مثل الصاج الأسود أو النحاس أو الألمنيوم وهناك بعض السطوح المصنعة من المواد البلاستيكية وإذا استعملت هذه المواد البلاستيكية فيجب أن تتحمل تأثير الأشعة فوق البنفسجية.

### 4-1-1 شبكة الأنابيب :

تتكون شبكة الأنابيب من الأنابيب الطولية Riser والأنابيب العرضية Header، وتكون عادة من الفولاذ المجلفن أو الألومنيوم أو النحاس.

### 5-1-1 العوازل Insulation :

تكون المواد العازلة عادة من الألياف الزجاجية أو الصوف الصخري أو رغوة البولي يوريثان.

## 2- كيفية عمل اللاقط الشمسي:

يعمل اللاقط الشمسي حسب ظاهرة البيت الزجاجي Green House Effect وتتخلص هذه الظاهرة في تكوين مصيدة حرارية Heat Trap بين الزجاج والسطح الماص.

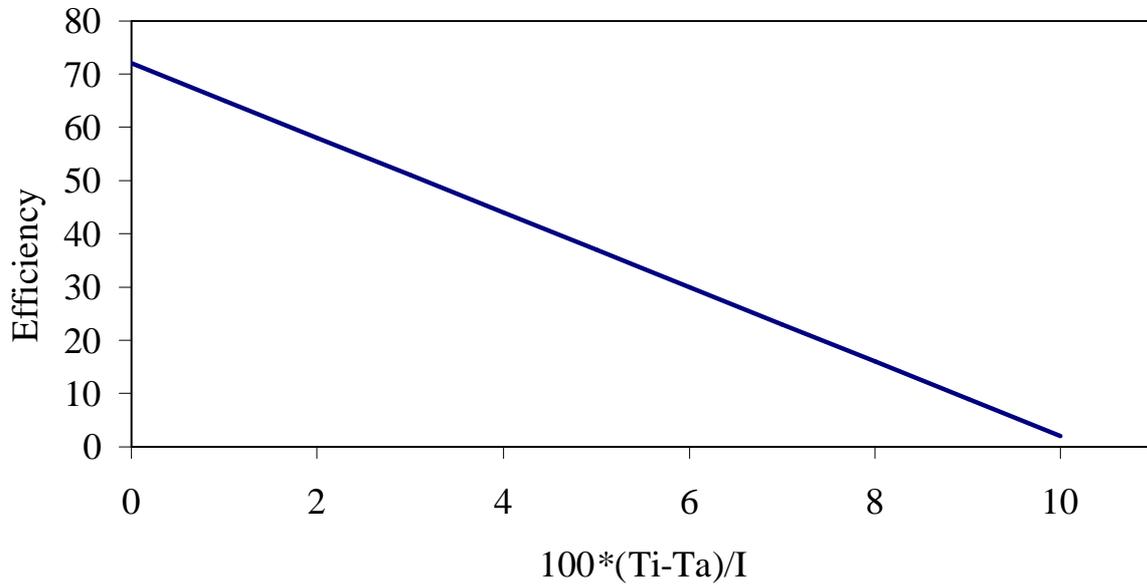
إن الشمس تشع أمواجاً كهرومغناطيسية، 98% من هذه الأمواج يتراوح طولها بين 0.3 إلى 3 ميكرومتر وهي النوع النشط التي تصل سطح الأرض وهذه الأشعة تصل إلى السطح الماص للاقط الشمسي والذي يحولها بدوره إلى طاقة حرارية ينتقل جزء منها إلى السائل الناقل أما الباقي فإنه يفقد.

### 3 - كفاءة اللاقط الشمسي Collector Efficiency :

إن جميع المواصفات العالمية تقوم على أساس تقييم كفاءة اللاقط الشمسي بنسبة الطاقة المستخلصة من قبل اللاقط الشمسي إلى الطاقة الشمسية الساقطة على اللاقط الشمسي. وهي حسب المعادلة التالية:

$$\text{كفاءة اللاقط الشمسي} = \frac{\text{الطاقة المستخلصة من اللاقط الشمسي}}{\text{الطاقة الشمسية الساقطة على اللاقط الشمسي}}$$

ويبين الرسم البياني في الشكل (24) كفاءة اللاقط الشمسي



الشكل (24): منحنى كفاءة اللاقط الشمسي

وكفاءة اللاقط هي عبارة عن خط مستقيم والنقطة الذي يلتقي بها هذا الخط مع خط الكفاءة (Efficiency) هو أعلى ما يمكن أن تصل له كفاءة هذا اللاقط. ميل المستقيم يمثل الفقدان الحراري للاقط.

يمكن كتابة كفاءة اللاقط الشمسي بالعلاقة الرياضية التالية:

$$\text{Efficiency} = F_R (\tau\alpha) - [F_R U_L (T_i - T_a)] / I$$

حيث :

$F_R (\tau\alpha)$  : ثابت للاقط الشمسي و يمثل تقاطع منحنى الكفاءة مع محور الصادات

$F_R$  : معامل ازالة الحرارة ( انظر للفصل الخامس من هذا الكتاب)

$\tau\alpha$  : حاصل ضرب كل من امتصاصية الماص الحراري ونفاذية الغطاء الشفاف.

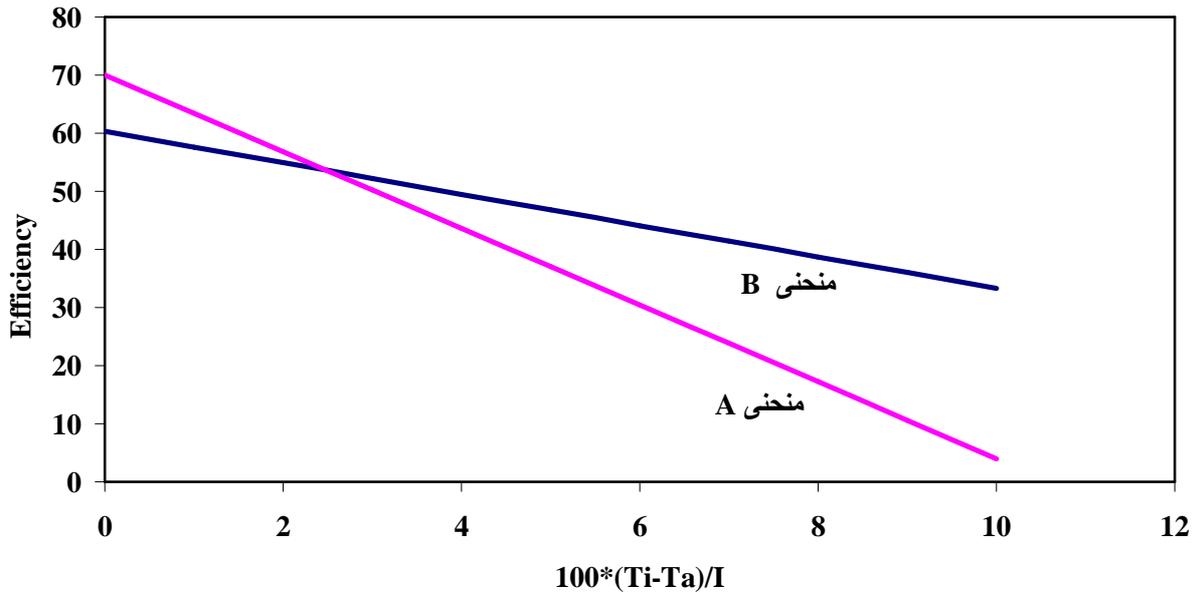
$F_R U_L$  : ثابت يمثل ميل المنحنى

$T_i$  : درجة حرارة المائع (الماء مثلا) الداخل إلى اللاقط (درجة مئوية)

$T_a$  : درجة حرارة الهواء الخارجي (درجة مئوية)

$I$  : شدة الإشعاع الشمسي (واط / م<sup>2</sup>)

و يمكن المقارنة بين لاقطين كفاءتهما مختلفة كما هو موضح في الشكل (25) .



الشكل (25): مقارنة بين منحنين مختلفي الكفاءة

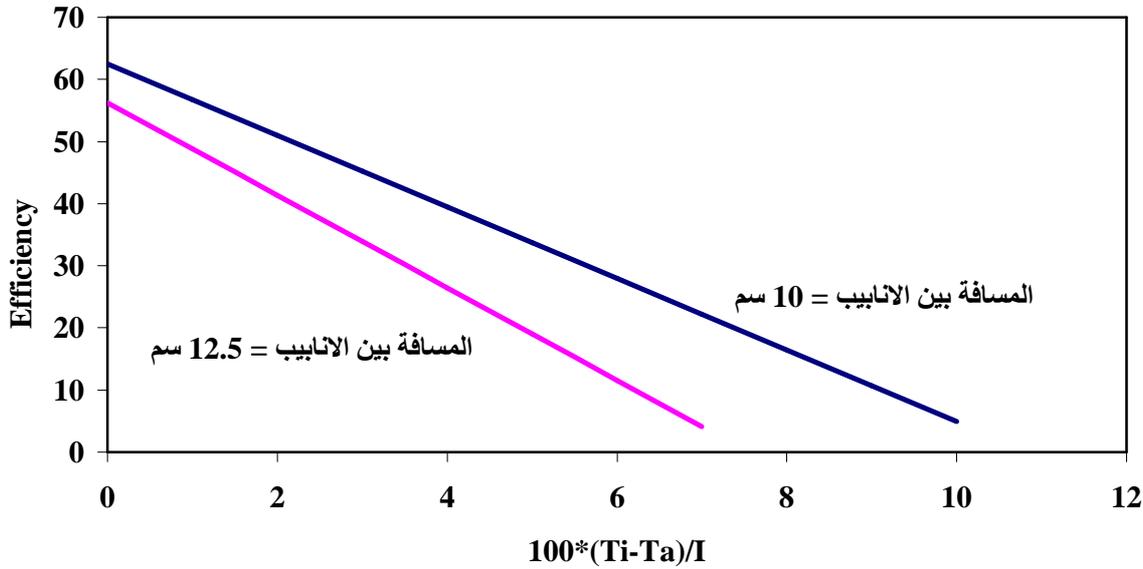
يبين لنا الشكل أن المنحنى A يظهر كفاءة عالية في أول المنحنى إلا أن ميلانه أكبر من المنحنى B وبذلك فإن اللاقط الشمسي B هو أفضل من اللاقط A. وفي حالة تسخين برك السباحة وعندما يكون الهواء أسخن أو يساوي درجة حرارة البركة، عندها يكون استخدام سخان شمسي بدون غطاء شفاف وبدون عازل حراري (منحنى A) مجدي أكثر من السخان المعزول والمغطى (منحنى B).

#### 4- تأثير أجزاء اللاقط على الأداء والكفاءة:

يبين الجدول (2) تأثير التصميم المختلفة على فعالية الماص الحراري (Fin Efficiency) ويفضل أن تكون فعالية الماص الحراري أعلى من 0.86 وفيما يلي شرح عن تأثير كل جزء من أجزاء اللاقط على كفاءته.

#### 1-4 المسافة بين الأنابيب:

إن المسافة بين الأنابيب لها تأثير أساسي على كفاءة اللاقط بحيث انه كلما ازدادت المسافة بين الأنابيب زادت الصعوبة في انتقال الطاقة من الماص الحراري إلى الأنابيب وبذلك يزيد فقدان الحرارة مما يؤدي إلى التقليل من كفاءة اللاقط ويبين الشكل (26) التأثير على كفاءة اللاقط عند تغير المسافة بين 10 سم إلى 12.5 سم ويمكن الاستعانة بالجدول (1) لتحديد المسافة المثلى بين الأنابيب، أو استخدام برنامج الكمبيوتر المرفق والذي يعطي نتائج مفصلة وأكثر دقة.



الشكل (26): تأثير المسافة بين الأنابيب على الكفاءة

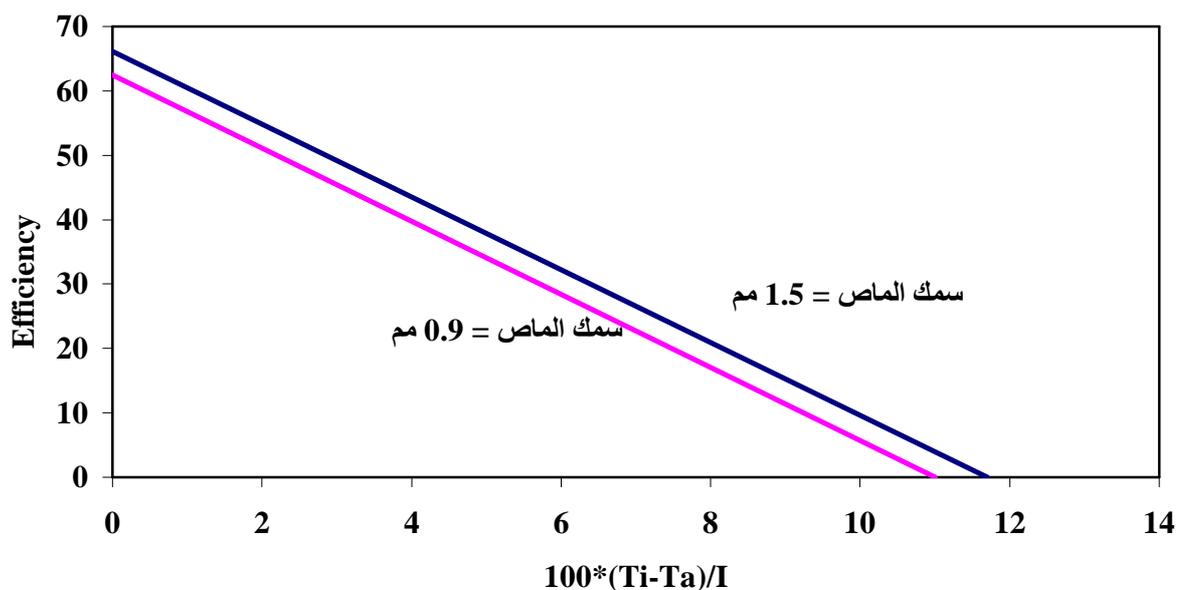
الجدول (2): فعالية الماص الحراري

المسافة بين الأنابيب / ملم									نوع الصفيحة	
220	200	180	160	140	120	100	80	60		
					0.78	0.86	0.91	0.96	0.6	صاج
					0.82	0.88	0.93	0.96	0.7	
					0.84	0.89	0.93	0.97	0.8	
				0.80	0.86	0.90	0.94	0.97	0.9	

				0.82	0.87	0.91	0.95	0.97	1.0	
			0.81	0.85	0.89	0.93	0.95	0.98	1.25	
	0.81	0.84	0.87	0.90	0.93	0.95	0.97	0.99	0.25	نحاس
0.87	0.89	0.91	0.93	0.95	0.96	0.97	0.99	0.99	0.5	
				0.84	0.88	0.92	0.95	0.99	0.25	أللمنيوم
	0.82	0.85	0.88	0.91	0.93	0.96	0.98	0.99	0.5	
	0.87	0.90	0.92	0.94	0.95	0.97	0.98	0.99	0.75	

#### 2-4 سمك الماص الحراري

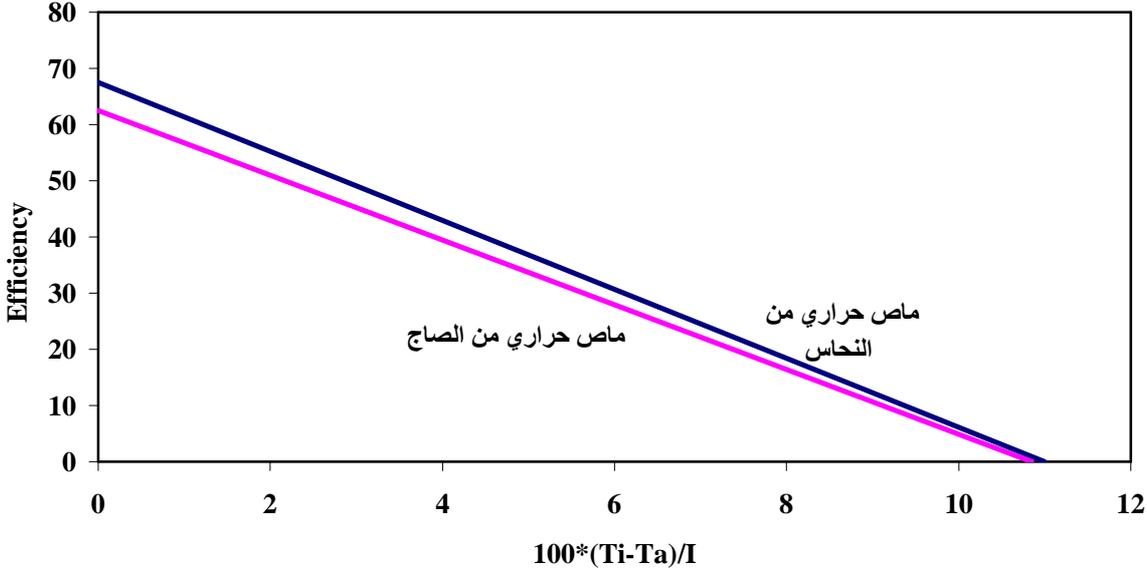
إن سمك الماص الحراري له تأثير على انتقال الطاقة من الماص الحراري إلى الأنابيب وكلما قل سمك الماص كلما صعب انتقال الطاقة عبر الماص إلى الأنابيب ومن ثم إلى السائل وبذلك يزداد الفقدان الحراري مما يقلل من كفاءة اللاقط ويمكن الاستعانة بالجدول (2) لاختيار سمك الماص المناسب، ويبين الشكل (27) تأثير سمك الماص على كفاءة اللاقط حيث أن الكفاءة تقل عندما يتغير سمك الماص، على سبيل المثال، من 1.5 ملم إلى 0.9 ملم.



الشكل (27): تأثير سمك الماص الحراري على كفاءة اللاقط الشمسي

#### 3-4 نوع الماص الحراري

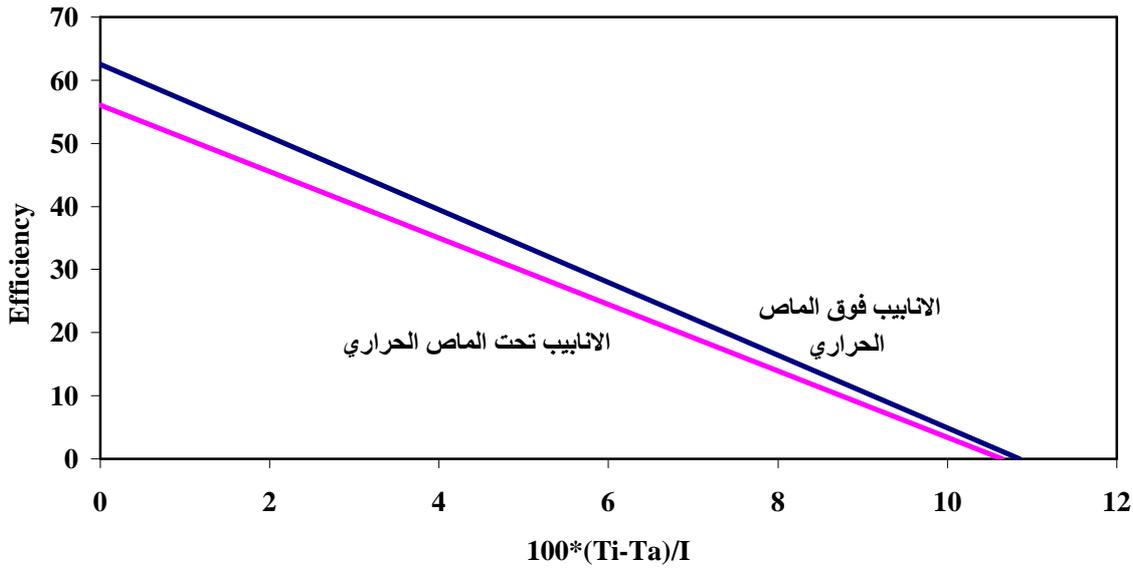
تستعمل عدة مواد لصناعة الماص الحراري وتتأثر عملية انتقال الطاقة من الماص إلى الأنابيب بنوعية المواد ذات التوصيل الحراري المختلفة، وكلما زادت خاصية التوصيل الحراري ساعد ذلك على انتقال كمية أكبر من الطاقة إلى الأنابيب ويوضح الشكل (28) أن كفاءة اللاقط تزداد عند استعمال مواد ذات توصيل عال مثل النحاس.



الشكل (28): تأثير نوع المادة المصنعة منها الماص

#### 4-4 وصل الأنابيب مع الماص الحراري

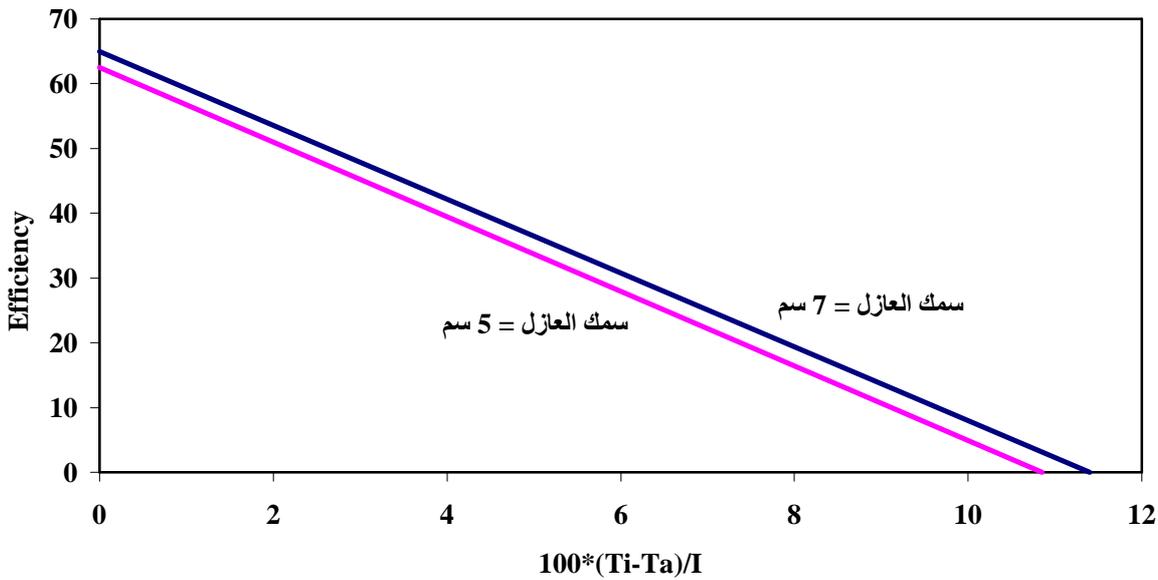
يعتمد انتقال الحرارة بين الماص الحراري والأنابيب ثم إلى السائل الناقل على كيفية وصل الأنابيب مع الماص الحراري وكلما كانا أكثر التصاقا والتحاماً كلما كان التوصيل الحراري أفضل، وإذا كانت الأنابيب جزء لا يتجزأ من الماص الحراري فهي أفضل ولكن هذه الطريقة مكلفة صناعياً، لذلك يجب العمل على توصيل الأنابيب بالماص الحراري بطريقة جيدة إما باستعمال طريقة اللحام أو التباشيم Rivets ويفضل أن تكون الأنابيب موصلة على الماص الحراري من الجهة العليا المقابلة للشمس. ويبين الشكل (29) تأثير وضع الأنابيب على كفاءة اللاقط.



الشكل (29): تأثير وضع أنابيب اللاقط الشمسي على الكفاءة

#### 5-4 المواد العازلة ونوعيتها:

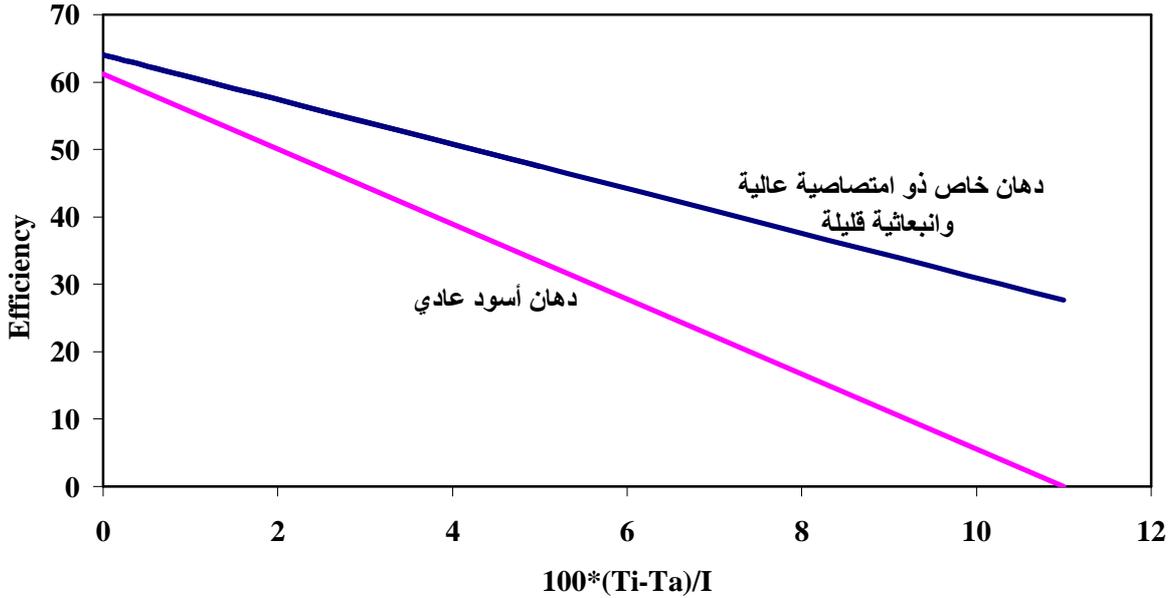
تستعمل عدة مواد عازلة في صناعة اللواقط الشمسية وهي جزء أساسي من أجزاء اللاقط حيث أنها تقلل من الفقدان الحراري للاقط وكلما زاد سمك العزل كلما قل الفقدان الحراري وزادت كفاءة اللاقط وكذلك كلما قل التوصيل الحراري لمادة العازل كلما قل الفقدان الحراري وزادت الكفاءة ويبين الشكل (30) انه عندما يزداد سمك المواد العازلة يؤثر ذلك إيجابيا على كفاءة اللاقط الشمسي.



الشكل (30): تأثير سمك العازل الحراري على كفاءة اللاقط

#### 6-4 دهان الماص الحراري:

إن نوعية الدهان الذي يستعمل في دهان الماص الحراري لها تأثير على كفاءة اللاقط فكلما زادت امتصاصية الدهان زادت كمية الإشعاع المكتسبة وزادت كمية الطاقة المكتسبة وكلما قلت الانبعاثية للدهان كلما قل فقدان الحرارة وبذلك تزداد كفاءة اللاقط، ويبين الشكل (31) تأثير استعمال الدهان المناسب للاقط ويجب أن يكون الدهان من النوع المطفأ وليس من النوع اللامع.

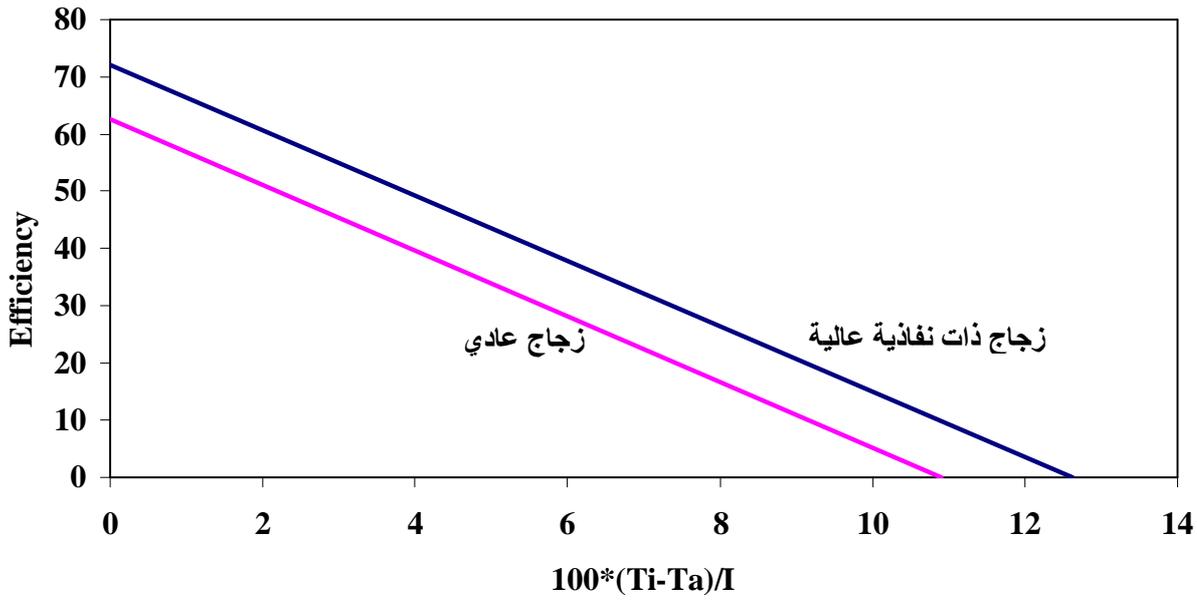


الشكل (31): تأثير نوع دهان الماص الحراري على كفاءة اللاقط الشمسي

#### 7-4 الغطاء الشفاف:

إن الوظيفة الأساسية للغطاء الشفاف هي السماح للأشعة الشمسية بالوصول إلى الماص الحراري ومنع الطاقة الحرارية من فقدان من خلال القسم العلوي من اللاقط كما انه يمنع الماء والهواء من التسرب إلى داخل اللاقط.

ويفضل استعمال زجاج ذو نفاذية عالية وعادة يكون الزجاج ذو نفاذية عالية إذا كانت نسبة الحديد به قليلة. ويوضح الشكل (32) تأثير نوع الزجاج على كفاءة اللاقط الشمسي فنرى أن كفاءته تزداد إذا استعمل زجاج ذو نفاذية عالية.



الشكل (32): تأثير نفاذية الزجاج على كفاءة اللاقط الشمسي

#### 8-4 الصندوق الخارجي:

يجب أن يكون الصندوق الخارجي محكم الإغلاق حتى لا يسمح بالتالي للهواء والماء والرطوبة من التسرب إلى داخل اللاقط حيث أن هذه العوامل تزيد من الفقدان الحراري وعليه تقل كفاءة اللاقط الشمسي.

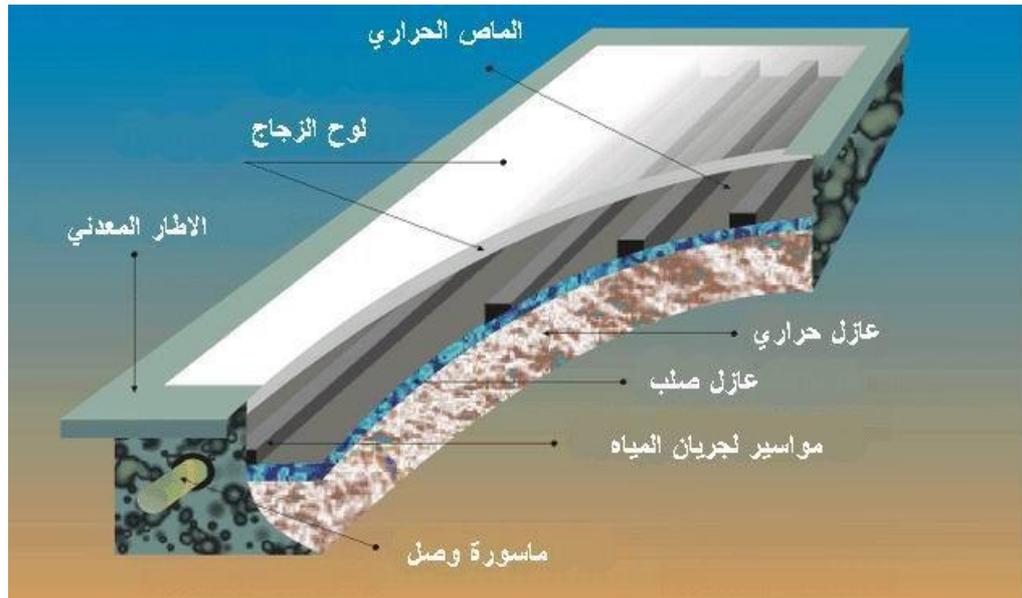
## الفصل الرابع

### تأثير أجزاء اللاقط الشمسي على أدائه

إن اللاقط الشمسي هو الجزء الأساسي والرئيسي في السخان الشمسي، وبذلك فإن كفاءة وحسن الأداء للسخان الشمسي يعتمد اعتماداً أساسياً على كفاءة وأداء اللاقط الشمسي.

#### 1- اللاقط الشمسي:

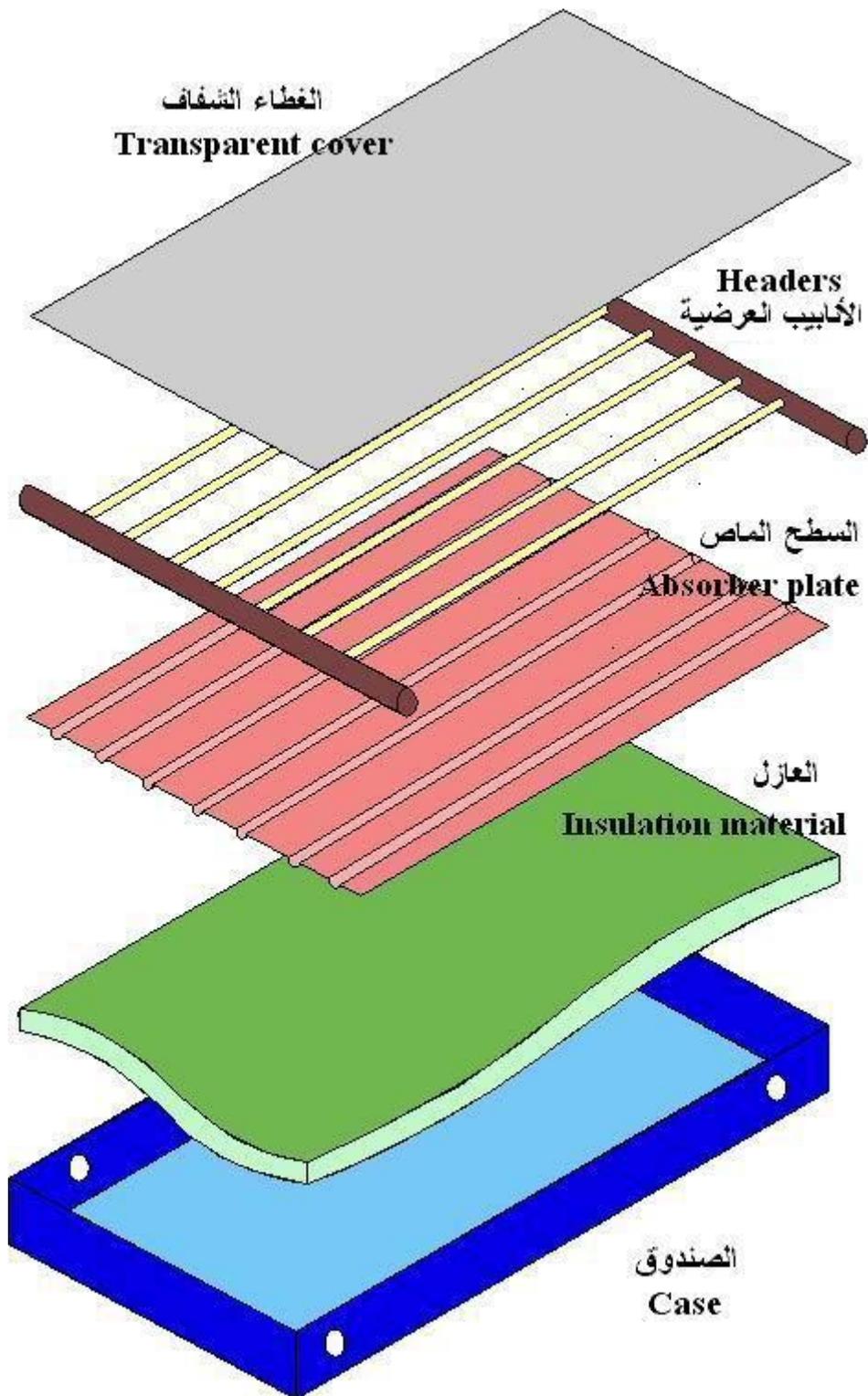
اللاقط الشمسي في الشكل (22) والشكل (23) هو عبارة عن جهاز يحول الطاقة الشمسية (الإشعاع الشمسي) إلى طاقة حرارية يمكن استغلالها عن طريق تسخين السائل المتواجد داخل اللاقط الشمسي.



الشكل (22): لاقط شمسي نموذجي

#### 1-1 أجزاء اللاقط الشمسي:

يصنع اللاقط الشمسي من أجزاء مختلفة تجمع في وحدة واحدة مكونة اللاقط الشمسي، وهذه الأجزاء كما في الشكل رقم (22) هي :



الشكل (23): أجزاء اللاقط الشمسي

### 1-1-1 الصندوق الخارجي Collector case :

يمكن تصنيع الصندوق الخارجي من صفائح الفولاذ المجلفن أو الألمنيوم المعالج أو أي مواد أخرى تتحمل تأثيرات العوامل الجوية مثل الأشعة فوق البنفسجية، والمطر والرطوبة والرياح.

### 2-1-1 الأغطية الشفافة Transparent cover :

تكون الأغطية الشفافة عادة من زجاج ذو نفاذية عالية وإذا استعملت مواد أخرى مثل البلاستيك أو البلاستيك المقوى بالألياف الزجاجية فيجب أن تتحمل هذه الأغطية العوامل الجوية وان تكون ذات نفاذية عالية.

### 3-1-1 السطح الماص Absorber plate :

يصنع السطح الماص من المواد المعدنية مثل الصاج الأسود أو النحاس أو الألمنيوم وهناك بعض السطوح المصنعة من المواد البلاستيكية وإذا استعملت هذه المواد البلاستيكية فيجب أن تتحمل تأثير الأشعة فوق البنفسجية.

### 4-1-1 شبكة الأنابيب :

تتكون شبكة الأنابيب من الأنابيب الطولية Riser والأنابيب العرضية Header، وتكون عادة من الفولاذ المجلفن أو الألومنيوم أو النحاس.

### 5-1-1 العوازل Insulation :

تكون المواد العازلة عادة من الألياف الزجاجية أو الصوف الصخري أو رغوة البولي يوريثان.

## 2- كيفية عمل اللاقط الشمسي:

يعمل اللاقط الشمسي حسب ظاهرة البيت الزجاجي Green House Effect وتتخلص هذه الظاهرة في تكوين مصيدة حرارية Heat Trap بين الزجاج والسطح الماص.

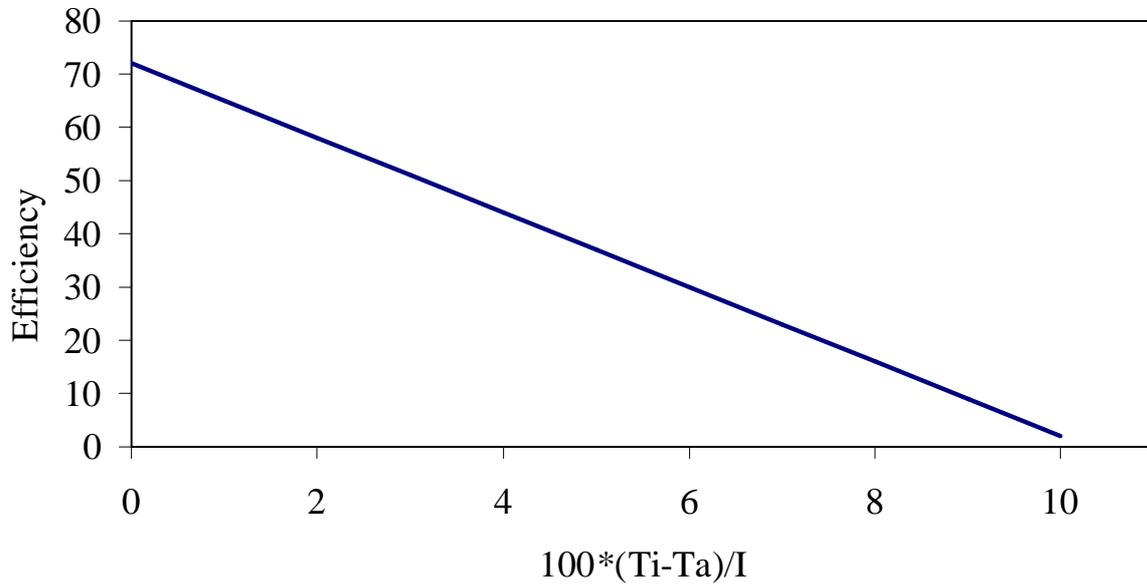
إن الشمس تشع أمواجاً كهرومغناطيسية، 98% من هذه الأمواج يتراوح طولها بين 0.3 إلى 3 ميكرومتر وهي النوع النشط التي تصل سطح الأرض وهذه الأشعة تصل إلى السطح الماص للاقط الشمسي والذي يحولها بدوره إلى طاقة حرارية ينتقل جزء منها إلى السائل الناقل أما الباقي فإنه يفقد.

### 3 - كفاءة اللاقط الشمسي Collector Efficiency :

إن جميع المواصفات العالمية تقوم على أساس تقييم كفاءة اللاقط الشمسي بنسبة الطاقة المستخلصة من قبل اللاقط الشمسي إلى الطاقة الشمسية الساقطة على اللاقط الشمسي. وهي حسب المعادلة التالية:

$$\text{كفاءة اللاقط الشمسي} = \frac{\text{الطاقة المستخلصة من اللاقط الشمسي}}{\text{الطاقة الشمسية الساقطة على اللاقط الشمسي}}$$

ويبين الرسم البياني في الشكل (24) كفاءة اللاقط الشمسي



الشكل (24): منحنى كفاءة اللاقط الشمسي

وكفاءة اللاقط هي عبارة عن خط مستقيم والنقطة الذي يلتقي بها هذا الخط مع خط الكفاءة (Efficiency) هو أعلى ما يمكن أن تصل له كفاءة هذا اللاقط. ميل المستقيم يمثل الفقدان الحراري للاقط.

يمكن كتابة كفاءة اللاقط الشمسي بالعلاقة الرياضية التالية:

$$\text{Efficiency} = F_R (\tau\alpha) - [F_R U_L (T_i - T_a)] / I$$

حيث :

$F_R (\tau\alpha)$  : ثابت للاقط الشمسي و يمثل تقاطع منحنى الكفاءة مع محور الصادات

$F_R$  : معامل ازالة الحرارة ( انظر للفصل الخامس من هذا الكتاب)

$\tau\alpha$  : حاصل ضرب كل من امتصاصية الماص الحراري ونفاذية الغطاء الشفاف.

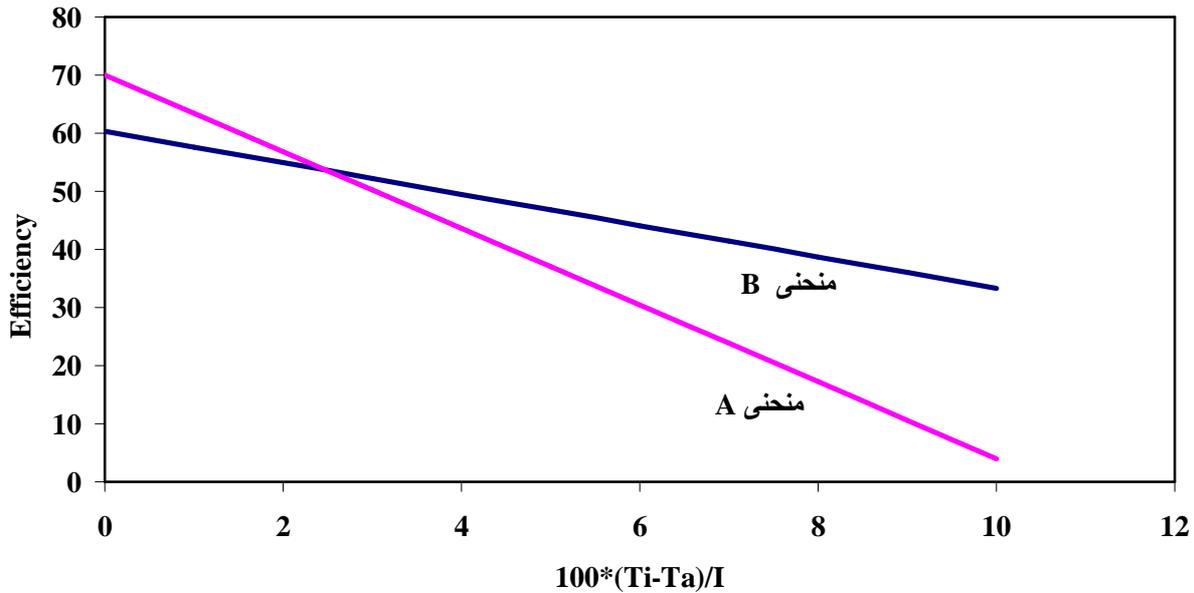
$F_R U_L$  : ثابت يمثل ميل المنحنى

$T_i$  : درجة حرارة المائع (الماء مثلا) الداخل إلى اللاقط (درجة مئوية)

$T_a$  : درجة حرارة الهواء الخارجي (درجة مئوية)

$I$  : شدة الإشعاع الشمسي (واط / م<sup>2</sup>)

و يمكن المقارنة بين لاقطين كفاءتهما مختلفة كما هو موضح في الشكل (25) .



الشكل (25): مقارنة بين منحنين مختلفي الكفاءة

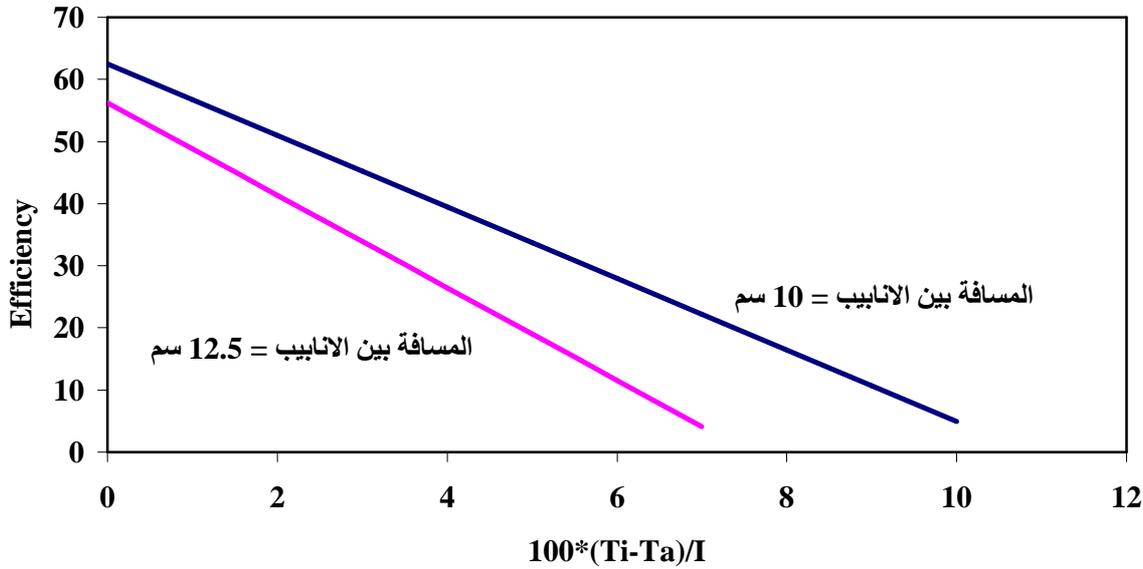
يبين لنا الشكل أن المنحنى A يظهر كفاءة عالية في أول المنحنى إلا أن ميلانه أكبر من المنحنى B وبذلك فإن اللاقط الشمسي B هو أفضل من اللاقط A. وفي حالة تسخين برك السباحة وعندما يكون الهواء أسخن أو يساوي درجة حرارة البركة، عندها يكون استخدام سخان شمسي بدون غطاء شفاف وبدون عازل حراري (منحنى A) مجدي أكثر من السخان المعزول والمغطى (منحنى B).

#### 4- تأثير أجزاء اللاقط على الأداء والكفاءة:

يبين الجدول (2) تأثير التصميم المختلفة على فعالية الماص الحراري (Fin Efficiency) ويفضل أن تكون فعالية الماص الحراري أعلى من 0.86 وفيما يلي شرح عن تأثير كل جزء من أجزاء اللاقط على كفاءته.

#### 1-4 المسافة بين الأنابيب:

إن المسافة بين الأنابيب لها تأثير أساسي على كفاءة اللاقط بحيث انه كلما ازدادت المسافة بين الأنابيب زادت الصعوبة في انتقال الطاقة من الماص الحراري إلى الأنابيب وبذلك يزيد فقدان الحرارة مما يؤدي إلى التقليل من كفاءة اللاقط ويبين الشكل (26) التأثير على كفاءة اللاقط عند تغير المسافة بين 10 سم إلى 12.5 سم ويمكن الاستعانة بالجدول (1) لتحديد المسافة المثلى بين الأنابيب، أو استخدام برنامج الكمبيوتر المرفق والذي يعطي نتائج مفصلة وأكثر دقة.



الشكل (26): تأثير المسافة بين الأنابيب على الكفاءة

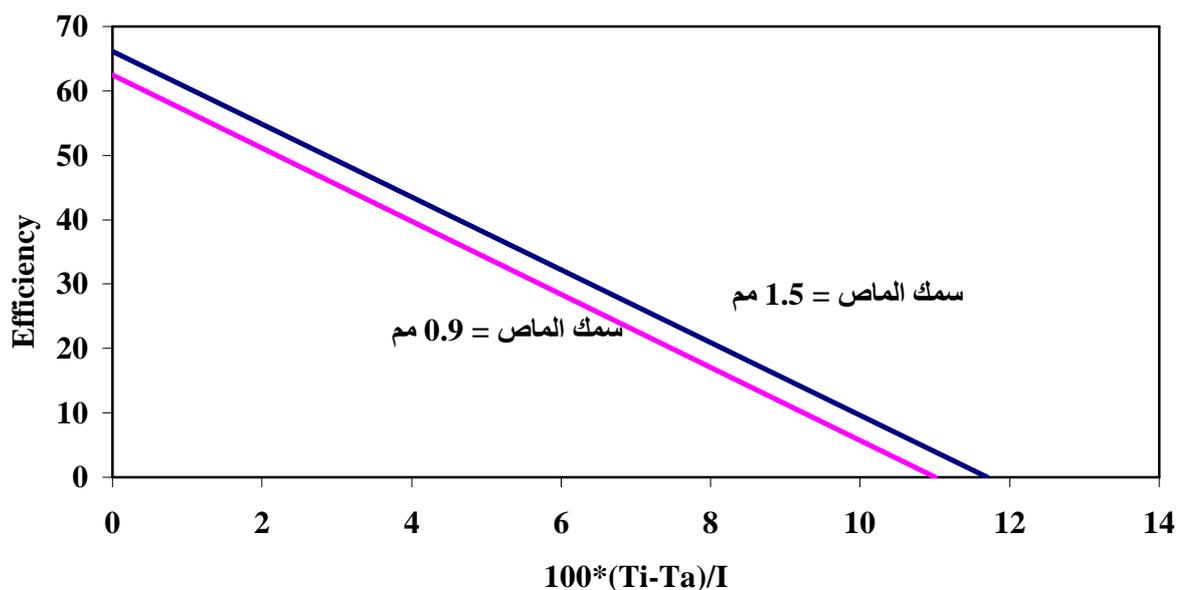
الجدول (2): فعالية الماص الحراري

المسافة بين الأنابيب / ملم									نوع الصفيحة	
220	200	180	160	140	120	100	80	60		
					0.78	0.86	0.91	0.96	0.6	صاج
					0.82	0.88	0.93	0.96	0.7	
					0.84	0.89	0.93	0.97	0.8	
				0.80	0.86	0.90	0.94	0.97	0.9	

				0.82	0.87	0.91	0.95	0.97	1.0	
			0.81	0.85	0.89	0.93	0.95	0.98	1.25	
	0.81	0.84	0.87	0.90	0.93	0.95	0.97	0.99	0.25	نحاس
0.87	0.89	0.91	0.93	0.95	0.96	0.97	0.99	0.99	0.5	
				0.84	0.88	0.92	0.95	0.99	0.25	أللمنيوم
	0.82	0.85	0.88	0.91	0.93	0.96	0.98	0.99	0.5	
	0.87	0.90	0.92	0.94	0.95	0.97	0.98	0.99	0.75	

#### 2-4 سمك الماص الحراري

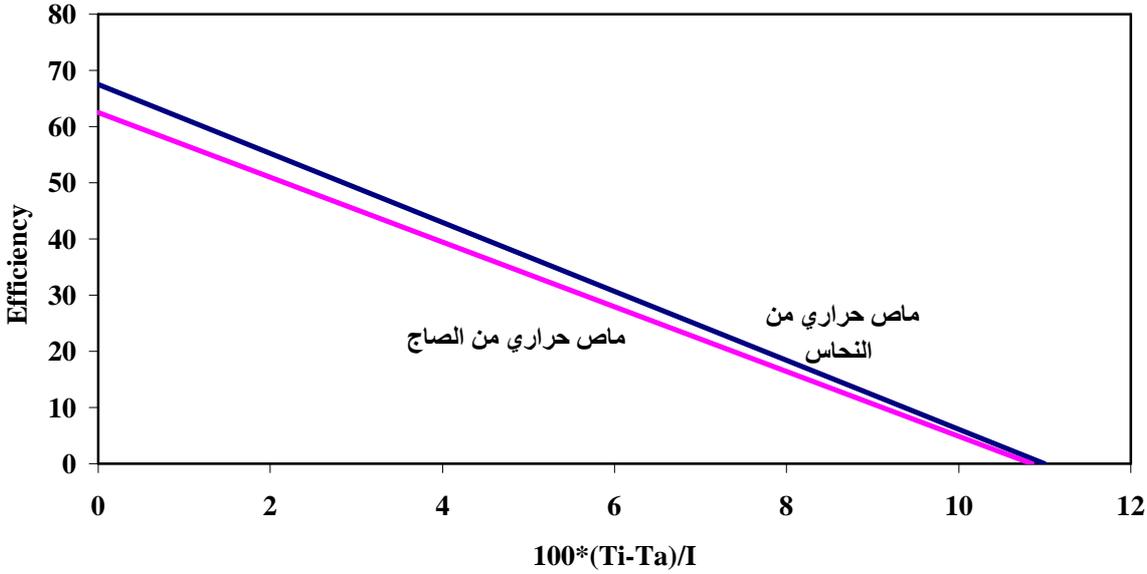
إن سمك الماص الحراري له تأثير على انتقال الطاقة من الماص الحراري إلى الأنابيب وكلما قل سمك الماص كلما صعب انتقال الطاقة عبر الماص إلى الأنابيب ومن ثم إلى السائل وبذلك يزداد الفقدان الحراري مما يقلل من كفاءة اللاقط ويمكن الاستعانة بالجدول (2) لاختيار سمك الماص المناسب، ويبين الشكل (27) تأثير سمك الماص على كفاءة اللاقط حيث أن الكفاءة تقل عندما يتغير سمك الماص، على سبيل المثال، من 1.5 ملم إلى 0.9 ملم.



الشكل (27): تأثير سمك الماص الحراري على كفاءة اللاقط الشمسي

#### 3-4 نوع الماص الحراري

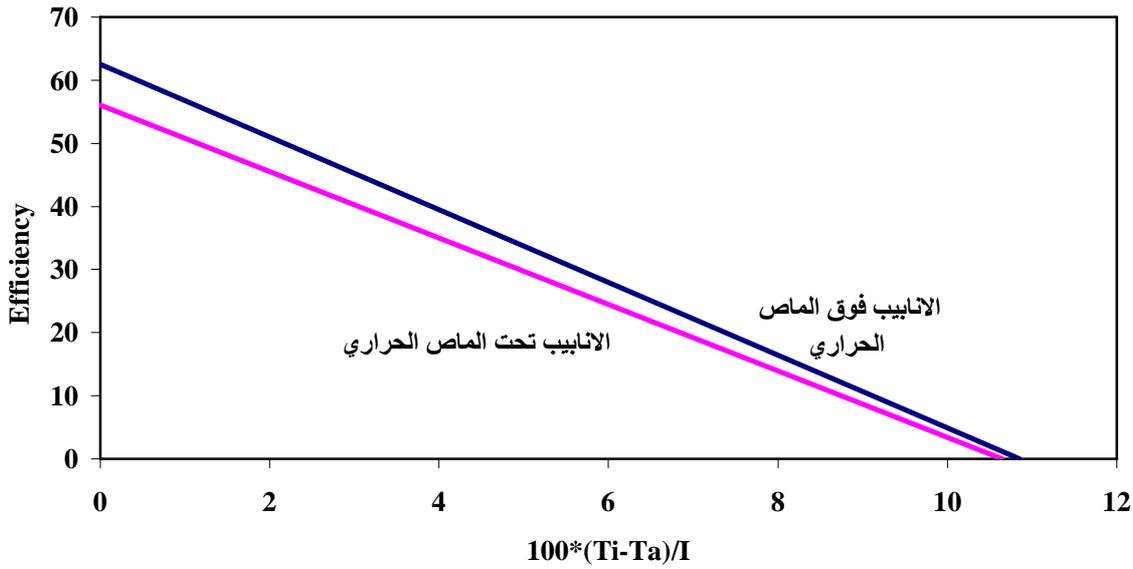
تستعمل عدة مواد لصناعة الماص الحراري وتتأثر عملية انتقال الطاقة من الماص إلى الأنابيب بنوعية المواد ذات التوصيل الحراري المختلفة، وكلما زادت خاصية التوصيل الحراري ساعد ذلك على انتقال كمية أكبر من الطاقة إلى الأنابيب ويوضح الشكل (28) أن كفاءة اللاقط تزداد عند استعمال مواد ذات توصيل عال مثل النحاس.



الشكل (28): تأثير نوع المادة المصنعة منها الماص

#### 4-4 وصل الأنابيب مع الماص الحراري

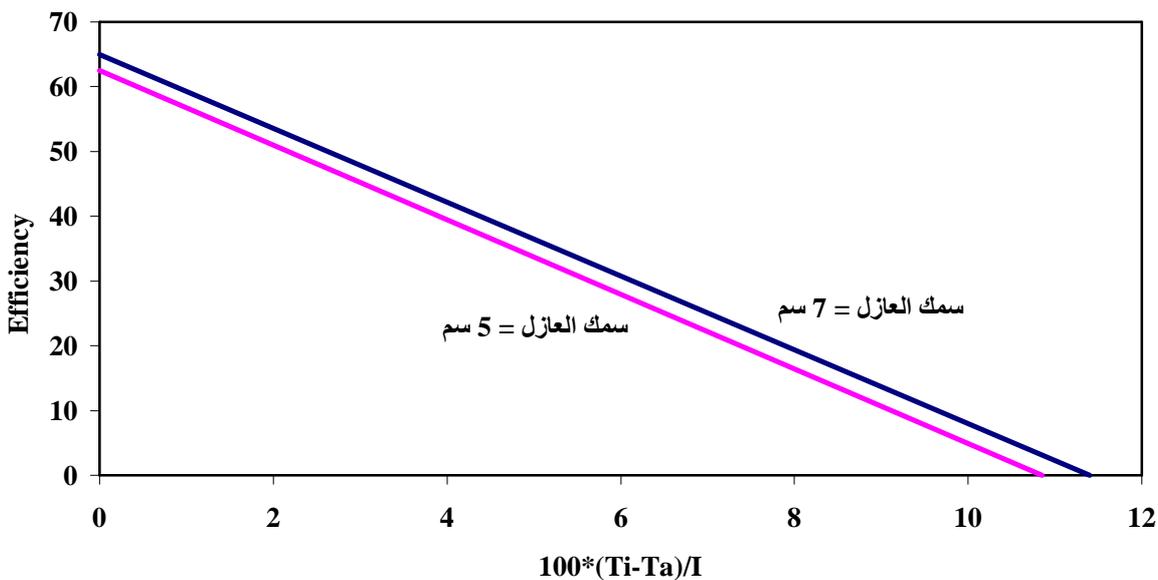
يعتمد انتقال الحرارة بين الماص الحراري والأنابيب ثم إلى السائل الناقل على كيفية وصل الأنابيب مع الماص الحراري وكلما كانا أكثر التصاقا والتحاماً كلما كان التوصيل الحراري أفضل، وإذا كانت الأنابيب جزء لا يتجزأ من الماص الحراري فهي أفضل ولكن هذه الطريقة مكلفة صناعياً، لذلك يجب العمل على توصيل الأنابيب بالماص الحراري بطريقة جيدة إما باستعمال طريقة اللحام أو التباشيم Rivets ويفضل أن تكون الأنابيب موصلة على الماص الحراري من الجهة العليا المقابلة للشمس. ويبين الشكل (29) تأثير وضع الأنابيب على كفاءة اللاقط.



الشكل (29): تأثير وضع أنابيب اللاقط الشمسي على الكفاءة

#### 5-4 المواد العازلة ونوعيتها:

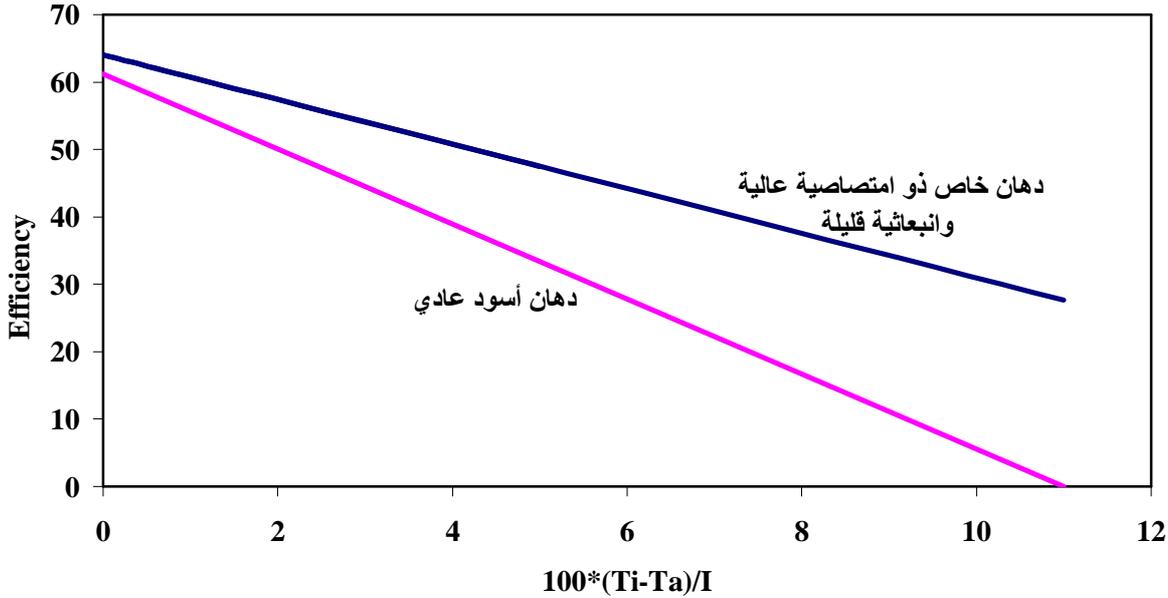
تستعمل عدة مواد عازلة في صناعة اللواقط الشمسية وهي جزء أساسي من أجزاء اللاقط حيث أنها تقلل من الفقدان الحراري للاقط وكلما زاد سمك العزل كلما قل الفقدان الحراري وزادت كفاءة اللاقط وكذلك كلما قل التوصيل الحراري لمادة العازل كلما قل الفقدان الحراري وزادت الكفاءة ويبين الشكل (30) انه عندما يزداد سمك المواد العازلة يؤثر ذلك إيجابيا على كفاءة اللاقط الشمسي.



الشكل (30): تأثير سمك العازل الحراري على كفاءة اللاقط

#### 6-4 دهان الماص الحراري:

إن نوعية الدهان الذي يستعمل في دهان الماص الحراري لها تأثير على كفاءة اللاقط فكلما زادت امتصاصية الدهان زادت كمية الإشعاع المكتسبة وزادت كمية الطاقة المكتسبة وكلما قلت الانبعاثية للدهان كلما قل الفقدان الحراري وبذلك تزداد كفاءة اللاقط، ويبين الشكل (31) تأثير استعمال الدهان المناسب للاقط ويجب أن يكون الدهان من النوع المطفأ وليس من النوع اللامع.

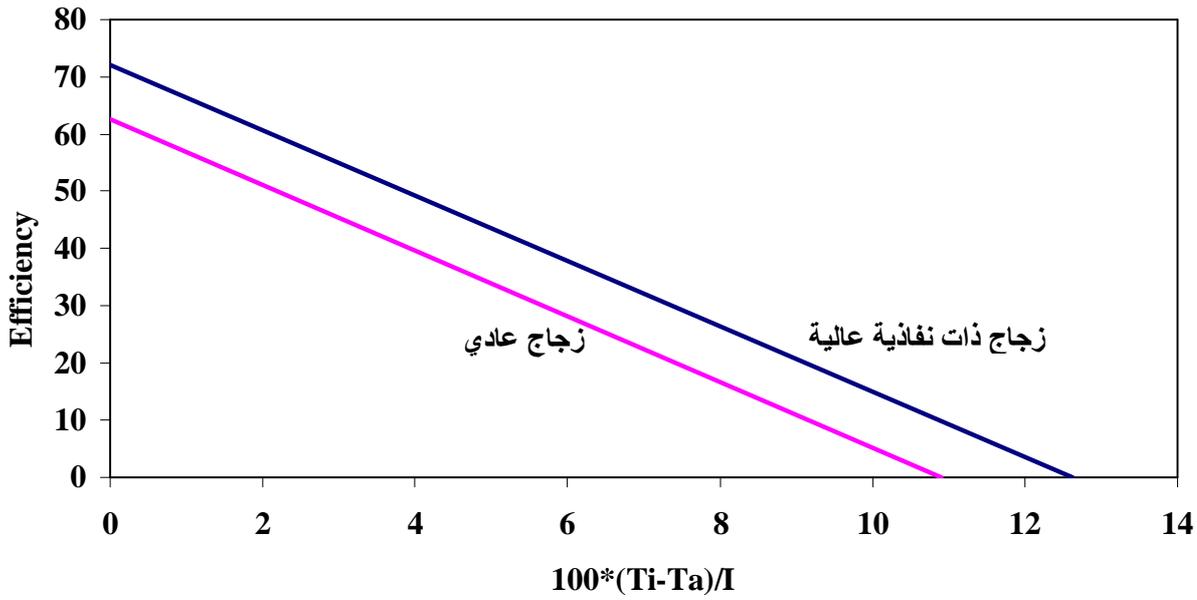


الشكل (31): تأثير نوع دهان الماص الحراري على كفاءة اللاقط الشمسي

#### 7-4 الغطاء الشفاف:

إن الوظيفة الأساسية للغطاء الشفاف هي السماح للأشعة الشمسية بالوصول إلى الماص الحراري ومنع الطاقة الحرارية من الفقدان من خلال القسم العلوي من اللاقط كما انه يمنع الماء والهواء من التسرب إلى داخل اللاقط.

ويفضل استعمال زجاج ذو نفاذية عالية وعادة يكون الزجاج ذو نفاذية عالية إذا كانت نسبة الحديد به قليلة. ويوضح الشكل (32) تأثير نوع الزجاج على كفاءة اللاقط الشمسي فنرى أن كفاءته تزداد إذا استعمل زجاج ذو نفاذية عالية.



الشكل (32): تأثير نفاذية الزجاج على كفاءة اللاقط الشمسي

#### 8-4 الصندوق الخارجي:

يجب أن يكون الصندوق الخارجي محكم الإغلاق حتى لا يسمح بالتالي للهواء والماء والرطوبة من التسرب إلى داخل اللاقط حيث أن هذه العوامل تزيد من الفقدان الحراري وعليه تقل كفاءة اللاقط الشمسي.

## الفصل الخامس

### النموذج الرياضي الخاص لتحليل أداء اللاقط الشمسي وطرق تطوير سخانات الشمسية

#### 1- تطوير نموذج تحليلي للتنبؤ بأداء اللاقط الشمسي لتصاميم مختلفة

بغرض وضع الأبعاد والقياسات المثلى للاقط الشمسي فقد تم تطوير نموذج تحليلي للتنبؤ بكفاءة اللاقط الشمسي ومن ثم إدخال هذا النموذج على شكل برنامج كمبيوتر وبالتالي يمكن على سبيل المثال إيجاد تأثير سمك اللوح الماص والمسافة بين المواسير على كفاءة اللاقط الشمسي نظرياً بسهولة وبدقة قبل التصنيع.

النموذج التحليلي الموضح فيما يلي تم تطويره من معادلات تم الحصول عليها من عدة مراجع متخصصة في الأداء الحراري للواقط الشمسية المسطحة. قيمة الطاقة المستفاد من اللاقط الشمسي للمتر المربع الواحد ( $Q_U$ ) تعتمد على شكل اللاقط الشمسي وكمية تدفق السائل. إن برنامج الكمبيوتر المطور (المرفق مع الحقيبة الشمسية) من قبل المركز الوطني لبحوث الطاقة يتمثل في الخطوات التالية:

أولاً) فرض حرارة اللوح الماص  $T_{pm}$  مساوية لحرارة السائل الداخل  $T_{fi}$ .

ثانياً) حساب معامل فقدان الحرارة للمجمع  $U_L$

$$U_L = U_b + U_e + U_t$$

حيث

$$U_b = \text{معامل فقدان الحرارة من الأسفل} = \frac{K}{L} \text{ (W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C)}$$

$$K = \text{معامل التوصيل الحراري للعازل (W/m } ^\circ\text{C)}$$

$$L = \text{سمك العازل (م)}$$

$$(W/m^2 \text{ } ^\circ C) \frac{K}{L} = \text{معامل فقدان الحرارة الجانبي} = U_e$$

$$(W/m^2 \text{ } ^\circ C) = \text{معامل فقدان الحرارة من الأعلى} = U_t$$

$$U_t = \left\{ \frac{N}{\frac{C}{T_{pm}} \left[ \frac{T_{pm} - T_a}{N + f} \right]^e} + \frac{1}{h_w} \right\}^{-1} + \frac{s(T_{pm} + T_a)(T_{pm}^2 + T_a^2)}{(\epsilon_p + 0.00591N h_w)^{-1} + \frac{2N + f - 1 + 0.133\epsilon_p}{\epsilon_g} - N}$$

حيث

$$\text{عدد الأغطية الشفافة} = N$$

$$70 > B > \text{صفر}$$

$$70 = B \text{ استعمال } 90 > B > 70$$

$$C = 520 (1 - 0.000051 B^2)$$

$$f = (1 + 0.089 h_w - 0.1166 h_w \epsilon_p) (1 + 0.07866N)$$

$$e = 0.43 (1 - 100/T_{pm})$$

$$\sigma = 5.6697 \times 10^{-8} (W/m^2 \text{ } ^\circ K^4)$$

$$\text{زاوية ميلان اللاقط الشمسي} = B$$

$$\text{إنبعائية اللوح الشفاف} = E_g = 0.88 \text{ للزجاج}$$

انبعاثية اللوح الماص	=	$\epsilon_p$
درجة حرارة الجو ( $^{\circ} K$ )	=	$T_a$
معدل درجة حرارة اللوح الماص ( $^{\circ} K$ )	=	$T_{pm}$
معامل انتقال حرارة الهواء = $5.7 + 3.8 V$	=	$h_w$
سرعة الرياح (م / ث)	=	$V$

ثالثاً) حساب كفاءة الزعانف  $F$ ، على انها زعنفة قياسية مستقيمة بمقطع مستطيل وهي كما يلي:

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

$$m = \sqrt{\frac{U_L}{K_p d_p}}$$

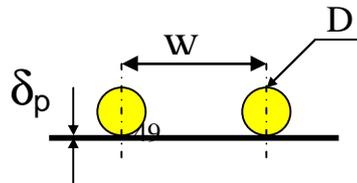
حيث

القطر الخارجي للماسورة (م)	=	$D$
معدل المسافة بين المواسير (م)	=	$W$
معدل التوصيل الحراري للوح (واط / م . م . $^{\circ}$ )	=	$K_p$
سمك اللوح الماص	=	$\delta_p$

رابعاً) حساب معامل كفاءة اللاقط الشمسي  $F'$ ، لتصاميم مختلفة كما يلي:

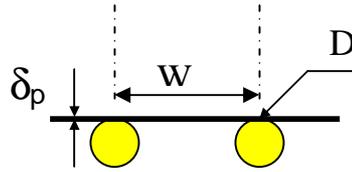
(1) المواسير فوق اللوح الماص

$$F' = \frac{1}{\frac{WU_L}{pDih} + \frac{1}{\frac{D}{W} + \frac{1}{\frac{WU_L}{C_{lond}} + \frac{W}{(W - D)F}}}}$$



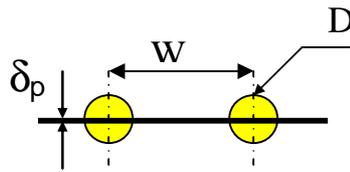
(2) المواسير تحت اللوح الماص

$$F' = \frac{1}{\frac{WU_L}{pDi h} + \frac{WU_L}{C_{bond}} + \frac{W}{D + (W - D)F}}$$



(3) المواسير مدمجة مع اللوح الماص

$$F' = \frac{1}{\frac{WU_L}{pDi h} + \frac{W}{D + (W - D)F}}$$



حيث

$(W/m^2 \text{ } ^\circ C)$  معامل انتقال الحرارة للسائل =  $h$

$(W/m \text{ } ^\circ C)$  معامل التوصيل الحراري للسائل =  $K$

$$h = \frac{K}{Di} \left\{ 4.36 + \frac{0.067[(Di/L) \text{Re Pr}]}{1 + 0.04[(Di/L) \text{Re Pr}]^{2/3}} \right\}$$

$$K = 0.552 + 0.00256 TF - 0.0000187 (TF)^2 + 59 \times 10^{-9} (TF)^3$$

$$\text{معدل حرارة السائل (م)} = T_F$$

$$\text{طول الماسورة (م)} = L$$

$$\text{رقم رينولد} = Re$$

$$Re = 4m/ur \rho Di$$

$$\text{لزوجة السائل (m}^2/\text{s)} = u$$

$$u = 1.779 \times 10^{-6} - 48.1 \times 10^{-9} (TF) + 0.6 \times 10^{-9} (TF)^2 - 2.61 \times 10^{-12} (TF)^3$$

$$\text{كثافة السائل (كجم/م}^3\text{)} = \rho$$

$$\rho = 1002.31 + 0.0191 TF - 5.9 \times 10^{-3} (TF)^2 + 15.5 \times 10^{-6} (TF)^3$$

$$\text{رقم براندلت} = Pr$$

$$Pr = Cp ur / K$$

$$\text{الحرارة النوعية (J / Kg }^\circ\text{K)} = Cp$$

$$C_p = 4216.85 - 2.31 TF + 0.03485 (TF)^2 - 0.1554 \times 10^{-3} (TF)^3$$

$$\text{القطر الداخلي للماسورة} = Di$$

خامسا) حساب معامل إزالة الحرارة  $F_R$  باستخدام المعادلة التالية:

$$F_R = \frac{GC_p}{A_c U_L} [1 - \exp(-Ac U_L F / GC_p)]$$

حيث:

$$\text{معدل تدفق السائل للمتر المربع الواحد من اللاقط (Kg / s m}^2\text{)} = G$$

$$\text{مساحة اللاقط (م}^2\text{)} = A_c$$

سادسا) حساب الطاقة المفيدة التي تم اكتسابها بواسطة اللاقط  $Q_u$  باستخدام المعادلة التالية:

$$Q_u = A_c F_R [ I (\tau \alpha) - U_L (T_{Fi} - T_a) ]$$

حيث

$$\begin{aligned} I &= \text{الإشعاعية الشمسية الكلية الساقطة (w/m}^2\text{)} \\ \tau &= \text{نفاذية اللوح الشفاف} \\ \alpha &= \text{امتصاصية اللوح الماص} \\ T_{fi} &= \text{حرارة السائل الداخل (}^\circ\text{C)} \end{aligned}$$

سابعاً) حساب معدل حرارة اللوح الماص  $T_{pm}$  ان الفرق بين حرارة اللوح الماص والسائل يكون غير ثابت في اتجاه جريان السائل نتيجة اختلاف فقدان الحرارة من اللاقط ولكن كتقدير من الممكن استعمال المعادلة التالية:

$$T_{pm} = T_{f,m} + Q_u / h_p D_i n L$$

$$T_{fm} = T_{fi} + \frac{Q_u / A_c}{U_L F_R} \left[ 1 - \frac{F_R}{F'} \right]$$

حيث:

$$\begin{aligned} T_{fm} &= \text{معدل حرارة السائل} \\ n &= \text{عدد المواسير من اللاقط} \\ L &= \text{طول كل ماسورة (م)} \end{aligned}$$

ثامناً) إذا كانت درجة حرارة اللوح الماص  $T_{pm}$  من الخطوة رقم (1) لا تساوي معدل درجة حرارة اللوح الماص من الخطوة رقم (7) ، يتم استخدام القيمة المحسوبة في الخطوة رقم (7) والعودة إلى الخطوة رقم (1) واستمرار تكرار الخطوات السابقة حتى تتساوى درجات الحرارة.

ويمكن حساب كفاءة اللاقط الشمسي كالآتي:

$$h = \frac{Q_u}{A_c I}$$

لقد تم تطوير برنامج كمبيوتر لحساب معدل حرارة اللوح الماص باستخدام الخطوات آنفة الذكر ومن ثم حساب الكفاءة الحرارية للمجمع الشمسي المسطح كما هو موضح بالشكل (33). والشكل (34) يوضح التسلسل لبرنامج الكمبيوتر بشكل مختصر.

**Collector Performance Evaluation**

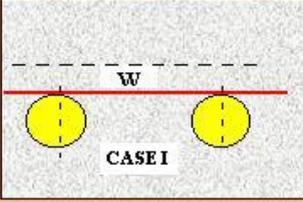
**INPUT DATA**

Absorber Plate				Collector			
Length (m)	Width (m)	Area(m <sup>2</sup> )	Kp(W/m.c)	Thick(m)	Slope	m' (kg/s)	Inlet Temp (°C)
2	1	2	45.0	0.21	45	0.015	30
δ (m)	Plate Emit	Alfa	Cb (W/m.c)	W (m)	D (m)	Di (m)	UL
0.0005	0.95	0.93	10	0.10	0.021	0.0145	8.509

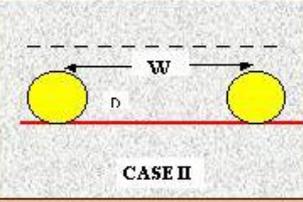
Cover			Insulation		Weather		
N	Emittance	Tau	K (W/m.c)	lThick(m)	V (m/s)	Rad (W/m <sup>2</sup> )	Ta (°C)
1	0.88	0.85	0.045	0.025	2	1000	20

C  
O  
L  
L  
E  
C  
T  
O  
R

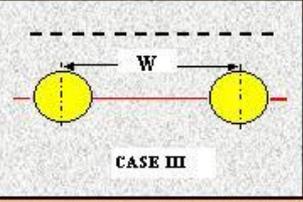
**OUTPUT DATA**



**CASE I**



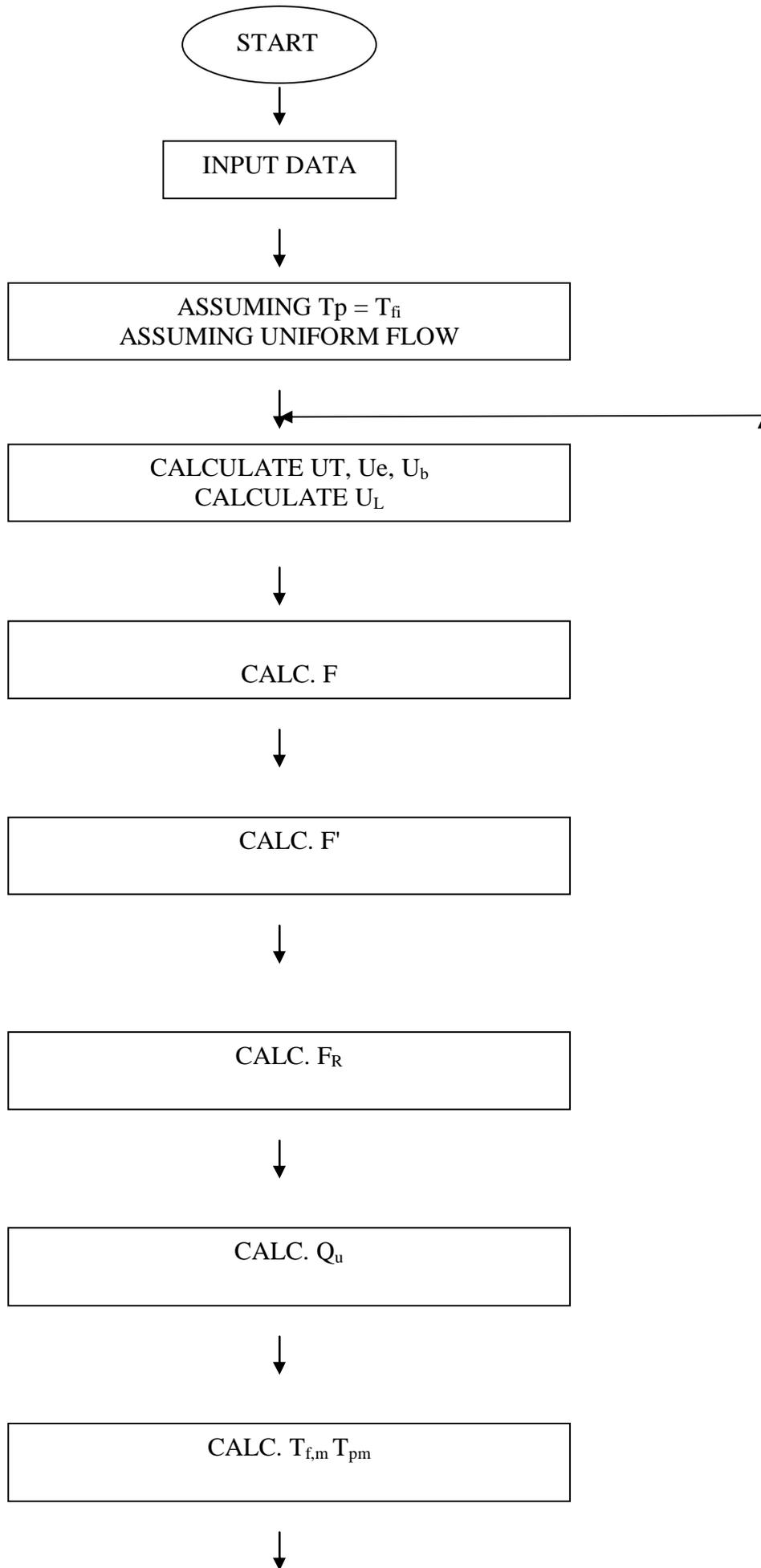
**CASE II**

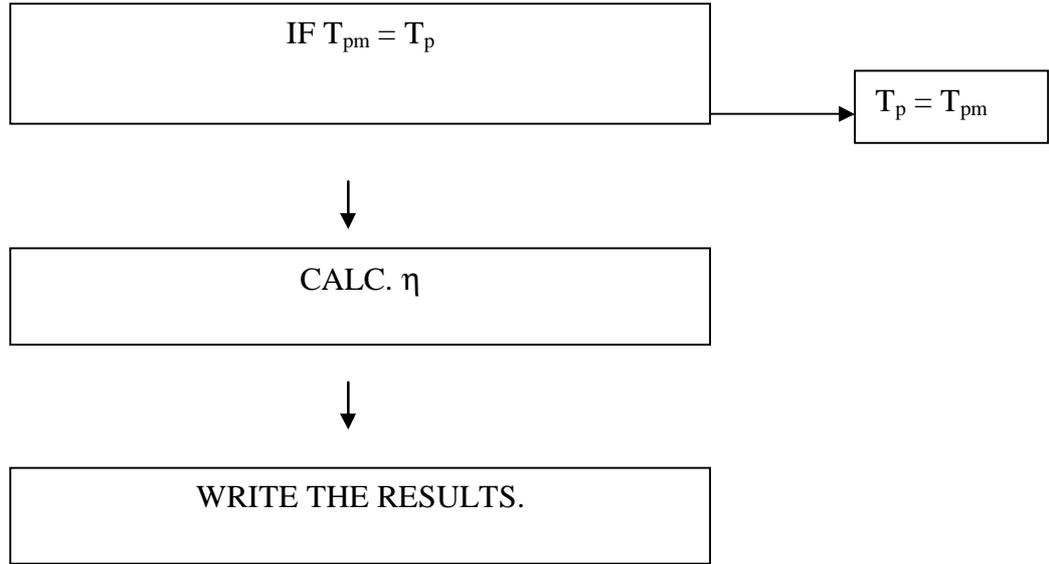


**CASE III**

EFF_Factor	FR	EFF_Factor	FR	EFF_Factor	FR
0.7718	0.6964	0.794	0.7143	0.8254	0.7393
QU	Collector Eff	QU	Collector Eff	QU	Collector Eff
982.93 W	49.15 %	1007.97 W	50.4 %	1042.97 W	52.15 %
Mean Plate Temp	Mean Fluid Temp	Mean Plate Temp	Mean Fluid Temp	Mean Plate Temp	Mean Fluid Temp
43.336 °C	38.129 °C	43.682 °C	38.345 °C	44.168 °C	38.647 °C

الشكل (33): مثال تم تطبيقه باستخدام البرنامج المرفق





الشكل (34): تسلسل برنامج معدل حرارة الماص الحراري وأداء اللاقط الشمسي

## 2- تحديد الأبعاد والسبك الأمثل للمجمع الشمسي

لقد تم وضع الأبعاد والسبك الأمثل للاقط الشمسي المسطح المصنوع من الحديد وذلك باستخدام برنامج الكمبيوتر الذي تم إرفاقه مع الحقيبة الشمسية، حيث تم استعمال لوح من الصاج المجلفن للصندوق طول 2 م وعرض 1 م مما حدد أبعاد اللاقط الشمسي لتكون 175 سم x 75 سم تقريباً، وهو يتكون مما يلي:

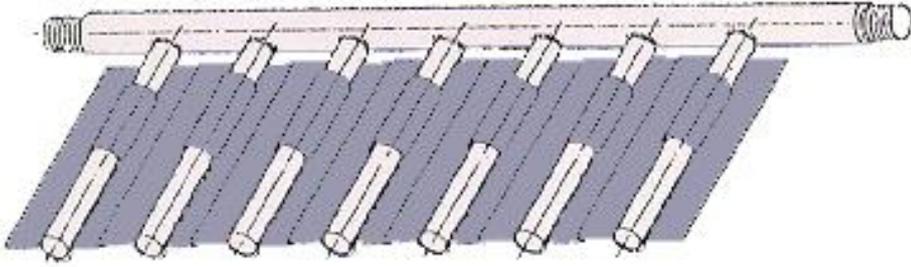
- زجاج عادي سمك 4 ملم.
- لوح ماص من الحديد غير المجلفن سمك 0.9 ملم ذو تجويف. السطح معالج بدهان اسود مطفاً عادي.
- سبع مواسير مجلفنة عمودية (قطر نصف بوصة) وماسورتين أفقيتين (قطر 1 بوصة) ملحومة معاً وملحومة مع اللوح الماص لحام نقطة في عدة أماكن.
- عزل من الصوف الزجاجي سمك 5 سم.
- صندوق من الصاج المجلفن سمك 0.7 ملم، حيث يتم قص الزوايا ومن ثم عمل 4 ثقوب في الزوايا بواسطة مكبس هيدروليكي ومن ثم يتم ثني الحواف.

### 3- وضع تصاميم معدلة للماص الحراري

يعتمد انتقال الحرارة بين الماص الحراري والأنابيب ثم إلى السائل الناقل على كيفية وصل الأنابيب مع الماص الحراري وكلما كان التوصيل بينهما احسن كلما كان التوصيل الحراري افضل وبالتالي الكفاءة افضل.

لقد تم وضع عدة تصاميم معدلة للماص الحراري المصنوع من صفائح الحديد بهدف زيادة الكفاءة عن طريق تحسين الاتصال بين اللوح الماص وشبكة المواسير. كذلك من المفضل إلغاء نقاط اللحام بين شبكة المواسير واللوح الماص للقضاء على مشاكل الصدأ المحتملة وبالتالي إطالة عمر اللاقط الشمسي.

التصميم المطور الأول (الشكل (35)) يتكون من زعانف منفصلة. كل زعنفه بها تجاويف على امتداد خط المركز الطولي. وهذه التجاويف نصف الدائرية تتناوب. يتم باستخدام المكبس تشكيل الزعانف بعرض معين وبحيث يتم تحشير (تدكيك) الأنبوب قطر (نصف بوصة) بداخلها لضمان التماس بصورة افضل من اللحام وللاستغناء عن نقاط اللحام التي قد تشكل ضعفاً في المستقبل.



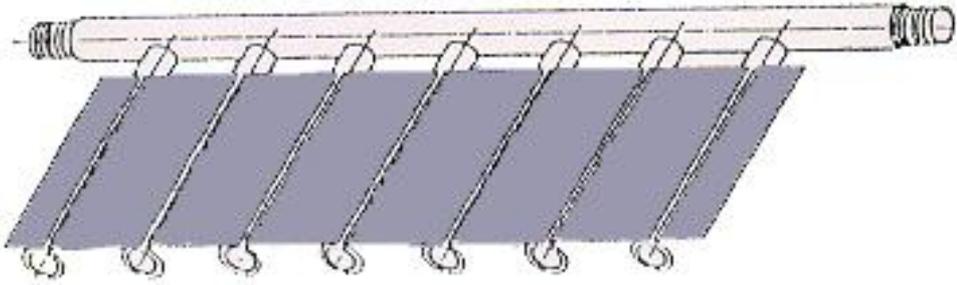
الشكل (35): لاقط شمسي مطور حيث تم فيه تحشير المواسير بزعانف الماص الحراري

يتم تصنيع اللوح المطور بالتسلسل التالي:

- قص اللوح والمواسير.
- كبس وتشكيل الزعانف باستخدام المكبس الهيدروليكي بعد عمل القالب المخصص لهذا الغرض.

- ثقب وتسنين المواسير الأفقية (قطر 1 بوصة)
- إدخال (تحشير) المواسير الرأسية (قطر نصف بوصة) داخل الزعانف.
- لحام المواسير الرأسية (قطر نصف بوصة) مع المواسير الأفقية (قطر 1 بوصة)
- دهان اللوح الماص

يهدف زيادة مساحة انتقال الحرارة بين شبكة المواسير واللوح الماص تم وضع التصميم الموضح بالشكل (36). حيث يتم كبس الزعانف المصنوعة بواسطة مكبس هيدروليكي بعد لحام شبكة المواسير كما هو موضح في الشكل.



الشكل (36): لاقط شمسي مطور والذي تم تصنيعه عن طريق كبس الزعانف بالمواسير

#### 4- زيادة مساحة اللاقط الشمسي

بغرض خفض التكلفة وزيادة كفاءة اللاقط الشمسي يتم تصنيع مجمع شمسي بطول 2 متر وعرض 1 متر حيث من الممكن استعمال لوح صاج سمك 0.7 ملم بعرض 1.25 متر و بطول 2.5 متر لتصنيع صندوق اللاقط المقترح. سيتم استخدام تصاميم اللوح الماص المختلفة المذكورة سابقاً بمساحة 2 متر مربع.

من حساب تكلفة المواد والطاقة البشرية اللازمة لتصنيع اللاقط الشمسي المذكور أعلاه تبين أن توفيراً قد تحقق مقداره 10% للمتر المربع الواحد من تكلفة اللاقط الشمسي عند مقارنته بنفس اللاقط ذو المساحة الأقل.

كذلك من المتوقع أن تزيد كفاءة اللاقط الشمسي بزيادة مساحته لنفس التصميم للأسباب التالية:

- انخفاض نسبة مساحة الجوانب للمتر المربع الواحد من اللاقط الشمسي عند زيادة مساحة اللاقط مما يؤدي إلى انخفاض في فقدان الحرارة من جوانب اللاقط الشمسي.
- زيادة نسبة المساحة المستفاد منها إلى المساحة الكلية للمجمع الشمسي مع زيادة مساحته.

## 5- تطوير صندوق اللاقط الشمسي

من الممكن تصنيع الصندوق من بروفيلات profiles الألمنيوم حيث تم تصميم صندوق للاقط شمسي مساحته (2 م X 1م). ويتم وصل بروفيلات الألمنيوم المصنعة بالبنق بواسطة براغي، ومن ثم يتم تبشيم لوح من الصاج المجلفن سماكة 0.7 ملم، طول (2 م X 1م) إلى الصندوق. وبعد ذلك يتم وضع لوح الزجاج في المكان المخصص لذلك.

رغم أن كلفة الصندوق المصنع من بروفيلات profiles الألمنيوم أعلى من كلفة الصندوق المصنع من الصاج المجلفن إلا أنه يتمتع بالمميزات التالية:

- تماسك عالي للمجمع الشمسي خاصة ذو المساحة الكبيرة.
- العمر المتوقع أطول.
- حماية افضل من تسريب الماء والهواء إلى داخل اللاقط.
- مظهر جمالي افضل.

## الفصل السادس

### تصميم أنظمة تسخين المياه SWHS

#### 1- السخانات الشمسية

تهدف مبادئ التصميم إلى زيادة فعالية السخان الشمسي وتقليل تكاليفه، ويمكننا تقسيم السخان الشمسي إلى ثلاث أقسام رئيسية:

- أ - اللاقط الشمسي المسطح
- ب - دوران السائل
- ج- الخازن الحراري (خزان الماء الساخن)

#### 1-1 اللاقط الشمسي المسطح Flat plate collector

اللاقط الشمسي هو عبارة عن مبادل حراري بسيط يقوم بامتصاص الأشعة الشمسية الساقطة عليه ومن ثم ينقلها إلى السائل الجاري داخله. وبما أن درجة حرارة اللاقط تصل إلى درجة حرارة عالية وبذلك تكون أعلى من درجة حرارة المحيط الموجود به اللاقط الشمسي، ولهذا يتولد فقدان حراري في اللاقط أو السطح الماص في اللاقط إلى الخارج، ولقد صممت معظم أجزاء اللاقط الحراري بحيث تحد من هذا الفقدان.

إن المعادلة التي يعمل بها اللاقط الشمسي هي كما يلي:

$$\text{كمية الطاقة الساقطة على اللاقط الشمسي} = \text{كمية الطاقة المستفاد منها} + \text{الطاقة المفقودة}$$

وتعرف كفاءة اللاقط بأنها نسبة الطاقة المستفاد منها إلى الطاقة الساقطة على اللاقط الشمسي.

عند تصميم اللاقط الشمسي فإن هناك عدة أمور يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار بحيث تكون الطاقة المفقودة أقل ما يمكن وتبقى كمية الطاقة الساقطة على الماص الحراري أعلى ما يمكن، أي زيادة كفاءة اللاقط الشمسي مع الأخذ بعين الاعتبار أن هذه الزيادة في الفعالية ذات تكاليف معقولة.

عند زيادة كمية الطاقة الواصلة إلى اللاقط الشمسي ومن ثم إلى السائل الساري في داخله مع عمل الاحتياطات اللازمة لتقليل الفقدان الحراري. فإنه بالإمكان أن يصل السائل إلى درجات حرارة عالية تصل إلى درجة حرارة غليان الماء.

في التصاميم التقليدية يتألف اللاقط الشمسي من أنابيب ملحومة على صفيحة من المعدن مغطاة بطبقة أو أكثر من الأغشية الشفافة في الأعلى كالزجاج ويعزل من الأسفل والجوانب بمادة عازلة مثل الصوف الزجاجي وذلك لتقليل الفقدان الحراري.

إن الغطاء الشفاف يسمح للأشعة الشمسية بالوصول إلى الماص الحراري وفي نفس الوقت يقلل الفقدان الحراري بواسطة الحمل والإشعاع من الماص الحراري، وعند وضع طبقة أخرى من الغطاء الشفاف (أي يصبح هنالك طبقتين) فإن كمية الحرارة المفقودة تقل ولكن في الوقت نفسه تقل كمية الأشعة الشمسية الواصلة إلى الماص الحراري. إن وجود العازل من الأسفل وعلى الجوانب يقلل من كمية الحرارة المفقودة بواسطة التوصيل وهذا العازل ذو تكلفة قليلة مقارنة مع كمية الطاقة الإضافية المستفاد منها في حالة وضع العازل.

يحتوي صندوق اللاقط على الماص الحراري والعازل والغطاء ووظيفته الأساسية هي احتواء هذه الأقسام ومنع وصول الماء إليها وخاصة إلى العازل حيث أن صفة العازل الفيزيائية في تقليل انتقال الحرارة تسوء في حالة وجود الماء عليه.

لجعل الماص الحراري يمتص أكبر كمية من الأشعة الشمسية الساقطة عليه فإنه يجب معاملة سطح الماص الحراري بطبقة سوداء من الدهان، ويمتاز الدهان الأسود بأنه ذو امتصاصية عالية للأشعة الشمسية ولكنه في نفس الوقت مشع جيد للحرارة ولتقليل إشعاعية الماص الحراري والتي تزيد من كفاءته فإنه يمكن استعمال اظليه خاصة بحيث يكون الماص الحراري ذو امتصاصية عالية وإشعاعية منخفضة في نفس الوقت وهذه الاظلية تسمى بالسطوح الانتقائية (Selective surfaces).

يستعمل النحاس بكثرة في تصميم المجمعات الشمسية لأنه موصل جيد للحرارة ويمكن استعمال الألمنيوم أو أي معدن آخر وفي الأردن تستعمل صفائح الصاج الأسود والأنابيب المجلفنة نظراً لقلّة تكاليفها وتوفرها في الأسواق الأردنية المحلية.

## 2-1 دوران السائل:

يمكننا في استخدامات سخانات المياه الشمسية استعمال الدورة الطبيعية أو الدورة القسرية لنقل الماء بين اللواقط الشمسية والخازن الحراري، وتفضل الدورة الطبيعية في الاستعمالات المنزلية وذلك لبساطتها ولسهولة صيانتها وفي الدورة الطبيعية يجب أن يكون الخازن الحراري أعلى من اللواقط الشمسية، في حين تستعمل الدورة القسرية في الأجهزة الشمسية الكبيرة وهذه الطريقة تستعمل المضخات وأجهزة التحكم الإلكترونية.

### 3-1 الخازن الحراري:

تتطلب تطبيقات الطاقة الشمسية عامة والسخانات الشمسية خاصة أن يكون هنالك خزاناً حرارياً لآزن الطاقة اللازمة للاستعمال في الأوقات التي لا تتوفر فيها الطاقة الشمسية مثل الليل والأيام الغائمة. ويعتمد حجم الخازن الحراري على عدة عوامل أهمها كمية استهلاك الماء الساخن، الموقع الجغرافي وحالات الجو. بما انه يجب تخزين لمدة طويلة قد تكون يومين أو أكثر فإنه يجب أن يعزل الخازن الحراري عزلاً جيداً ليققل الفقدان الحراري للخازن، وإذا وضع الخازن الحراري في الخارج فيجب أن يغطى الخازن بحافظ ليمنع تسرب ماء المطر إلى العازل ويمنع عنه تأثيرات الجو الخارجية.

### 2- حساب مساحة اللواقط الشمسية والخازن الحراري:

عند تصميم أي جهاز شمسي فإنه من المتطلب معرفة مساحة اللواقط الشمسية اللازمة لتسخين كمية معينة من الماء وكذلك حساب حجم الخازن الحراري اللازم لهذه اللواقط.

تصمم مساحة اللاقط الشمسي على أساس معلومات مناخية شهرية وسنوية وكفاءة اللاقط الشمسي وكمية الاستهلاك الشهري من الماء الساخن.

تأسب كمية الطاقة اللازمة لتسخين كمية الماء المستهلكة بواسطة المعادلة التالية:

$$L = m \cdot c_p \cdot (T_H - T_C) N$$

حيث أن:

الطاقة اللازمة لتسخين كمية معينة من الماء (جول/شهر)	=	L
كمية الماء الساخن المستهلك يومياً (لتر/يوم)	=	m
الحرارة النوعية (جول /كجم درجة مئوية) [ للماء = 4186 ]	=	c <sub>p</sub>
درجة حرارة الماء الساخن (درجة مئوية)	=	T <sub>H</sub>
درجة حرارة الماء البارد المزود للخازن الحراري (درجة مئوية)	=	T <sub>C</sub>
عدد أيام الشهر	=	N

تعرف نسبة الطاقة التي تؤمن بواسطة الطاقة الشمسية إلى الطاقة الكلية المستهلكة بمعامل f .

وهناك علاقة بين المعامل f والمعاملان X و Y وهي كالآتي:

$$f = 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^3$$

$$X = [F_R U_L * (F_R / F_R) * (T_{ref} - T_a) * \Delta t * A_c / L] * [(11.6 + 1.18T_w + 3.86 T_m - 2.32T_a) / (100 - T_a)]$$

$$Y = F_R (ta)_n * (F_R / F_R) * (ta)_{av} / (ta)_n * H_T * N * A_c / L$$

Where;

$$F_R / F_R = 1 + [(A_c * F_R * U_L) / (m * c_p) * 1 / \eta_{HX}]^{-1}$$

$$(ta)_{av} / (ta)_n = (0.94 \text{ to } 0.96)$$

حيث أن:

معدل درجة حرارة الهواء المحيطة (مئوية)	=	$T_a$
درجة حرارة مرجعية مشتقة مخبريا (100 °م)	=	$T_{ref}$
مساحة اللواقط الشمسية (م <sup>2</sup> )	=	$A_c$
كمية الطاقة الإشعاعية الساقطة على اللواقط الشمسية للمتر المربع الواحد (جول/م <sup>2</sup> )	=	$H_T$
معامل ميل منحني كفاءة اللاقط الشمسي (معامل الفقدان في الطاقة)	=	$F_R U_L$
معامل تقاطع منحني كفاءة اللاقط الشمسي مع المحور الصادي (معامل الطاقة المكتسبة)	=	$F_R (\tau\alpha)_n$

إن قيمة f تتراوح ما بين الصفر (عندما يغطي الحمل الحراري بالطاقة التقليدية كالكهرباء أو بالوقود الاحفوري) والواحد (عندما تغطي الطاقة الشمسية الحمل الحراري بالكامل). العلاقات الرياضية السابقة تم استنباطها عن طريق التحليلات الإحصائية ولمدخلات محدودة لذلك فهي صحيحة فقط للواقط الموجهة نحو الجنوب الشمسي ولزاوية ميلان اللاقط بين 30 و 90 درجة وبحيث يكون حجم الخازن الحراري (خزان الماء الساخن) أقل من 300 لتر وأكبر من 37.5 لتر لكل متر مربع من اللاقط الشمسي.

### 3- مقترحات لتصميم السخان الشمسي:

- أ - زاوية ميلان اللاقط = زاوية خط العرض + 15 درجة (لفصل الشتاء)
- ب - كمية تدفق السائل للاقط الشمسي في الأنظمة القسرية forced systems = 0.020 لتر / ثانية لكل متر مربع
- ج - حجم الخازن الحراري 55 لتر لكل متر مربع من اللواقط الشمسية

### مثال :

احسب باستخدام برنامج F-CHART نسبة الطاقة التي يمكن تأمينها بواسطة الطاقة الشمسية عند استعمال لواقط شمسية مساحتها 4 متر مربع معدة لتسخين 200 لتر ماء يومياً بدرجة حرارة 60 درجة مئوية.

يقع هذا السخان الشمسي في منطقة عمان (الأردن) ويتصل بالخازن الحراري بواسطة مبادل حراري كفاءته 90% علماً أن مواصفات اللواقط هي الآتي:

$$5.4 = F_R U_L$$

$$0.63 = F_R (\tau\alpha)_n$$

### الحل :

يوضح الشكل رقم (37) عملية حساب المعامل f لكل شهر وللسنة كلها وذلك باستخدام برنامج F-Chart الذي تم تحويله إلى برنامج كمبيوتر في المركز الوطني لبحوث الطاقة:

MONTH	Total Load GJ/month	Energy Supplied by Collector GJ/month	AUX.ENERGY GJ/month	F
JAN	1.3	0.83	0.47	0.64
FEB	1.17	0.72	0.46	0.61
MAR	1.29	0.94	0.35	0.73
APR	1.23	0.9	0.34	0.73
MAY	1.26	0.96	0.3	0.76
JUN	1.2	0.97	0.23	0.81
JUL	1.24	1.01	0.23	0.81
AUG	1.2	0.97	0.22	0.81
SEP	1.24	0.92	0.33	0.74
OCT	1.22	0.82	0.39	0.68
NOV	1.28	0.84	0.43	0.66
DEC	1.25	0.72	0.54	0.57
Annual	14.88	10.58	4.3	0.71

الشكل (37): مقدار الطاقة الشمسية المفيدة/الحمل الحراري ( f )

في حال زيادة مساحة اللواقط إلى 6 متر مربع يصبح التغير في ما يزوده السخان الشمسي من 70% إلى 79% من ما نحتاجه من الماء الساخن كما هو موضح في الشكل رقم (38). كذلك نجد أن زاوية ميلان اللواقط واتجاه اللواقط الشمسية يؤثر على مدى الاستفادة من السخان الشمسي.

MONTH	Total Load GJ/month	Energy Supplied by Collector GJ/month	AUX.ENERGY GJ/month	F
JAN	1.3	0.91	0.39	0.7
FEB	1.17	0.79	0.39	0.67
MAR	1.29	1.02	0.27	0.79
APR	1.23	0.98	0.25	0.8
MAY	1.26	1.06	0.2	0.84
JUN	1.2	1.07	0.13	0.89
JUL	1.24	1.11	0.12	0.9
AUG	1.2	1.08	0.12	0.9
SEP	1.24	1.02	0.22	0.82
OCT	1.22	0.92	0.3	0.75
NOV	1.28	0.93	0.34	0.73
DEC	1.25	0.79	0.46	0.63
Annual	14.88	11.68	3.2	0.79

الشكل (38): تأثير تغيير مساحة اللاقط من 4 إلى 6 م<sup>2</sup> على قيمة ( f ) .

#### 4- حجم الخازن الحراري:

ينصح بأن يكون حجم الخازن الحراري ما بين 40-70 لتر لكل متر مربع من اللواقط الشمسية فإذا كانت مساحة اللواقط الشمسية = 3 متر مربع وأخذنا الحد الوسط وهو 55 لتر لكل متر مربع فإن حجم الخازن الحراري يكون:  $165 = 55 \times 3$  لتراً.

#### 5- تصميم المضخة والمواسير للدورة القسرية:

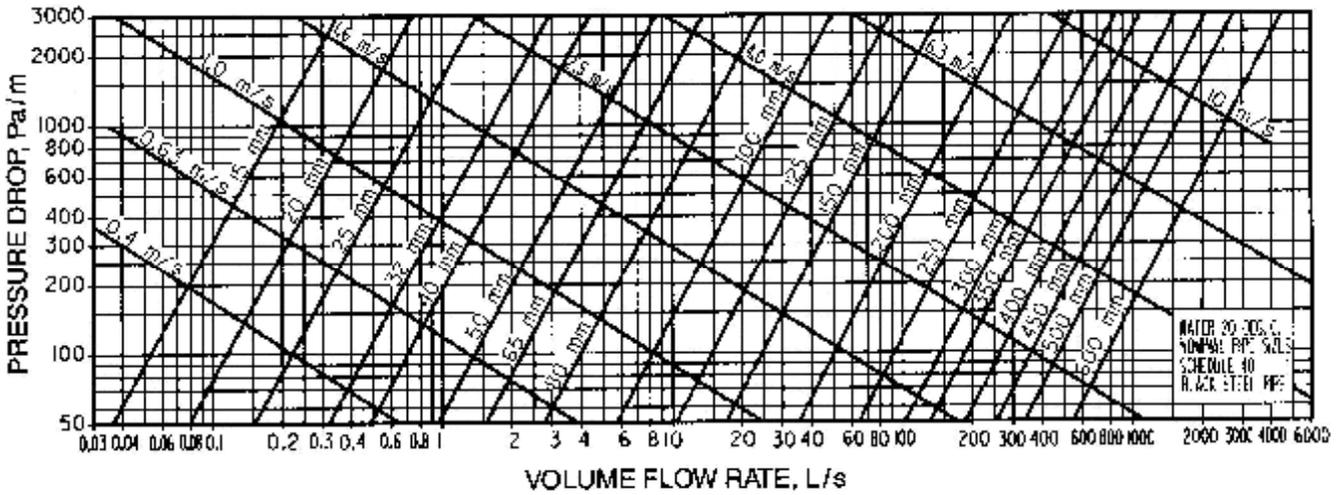
في حال استعمال الدورة القسرية فإنه سيكون بحاجة إلى مضخة لضخ الماء من الخازن الحراري إلى اللواقط وجهاز تحكم خاص يعطي الإشارة للمضخة بالعمل عندما تكون درجة حرارة الماء في اللواقط أعلى من درجة حرارة الماء في الخازن الحراري .

أ - تصميم المواسير الواصلة بين اللواقط والخازن الحراري: تحسب كمية التدفق للسائل (الماء) اللازمة للواقط وهي عادة 0.02 لتر لكل متر مربع في الثانية، وإذا كان لدينا 10 لواقط بمساحة متر مربع للواحد فان كمية التدفق تكون:

$$0.2 = 10 \times 0.02 \text{ لتر/ثانية}$$

$$720 \text{ لتر /ساعة} = 3600 \times 0.2 \text{ ثانية}$$

ومن الشكل (39) يتم حساب قطر الماسورة وذلك عند الفقدان في الضغط يساوي 196 باسكال/متر (20 ملم/متر) نجد قيمة قياس الماسورة المناسبة هي 25 ملم أو 1 انش.



Friction Loss for Water in Commercial Steel Pipe

الشكل (39) : منحنيات لحساب قطر الماسورة.

تصميم المضخة المناسبة:

كما ذكرنا في الفقرة السابقة فان ما نحتاج من كمية التدفق هي 0.2 لتر/ثانية وهي تساوي 720 لتر/ساعة.

تحسب أطوال المواسير المغذية للواقط والراجعة من اللواقط ومن ثم تضرب بـ 2 فإذا كانت أطوال المواسير هي 35 متر. فان ذلك يضرب بـ 2 ويصبح الطول التطبيقي هو:  $2 \times 35 = 70$  متر.

ويستعمل الطول التطبيقي ليعوض من الخسارة في الضغط بسبب القطع الموجودة على خط المواسير من أنواع وصمامات وغيرها. والان يحسب الضغط اللازم للتغلب عليه خلال ضخ

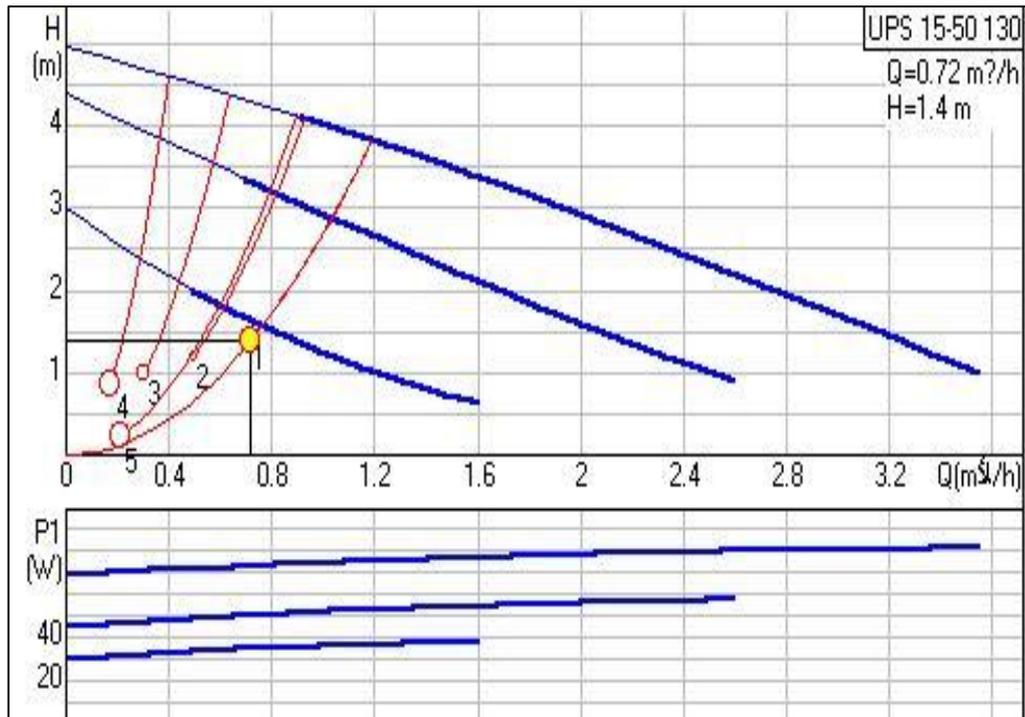
السائل في المواسير واللواقط الشمسية وذلك بضرب الطول التطبيقي بالفقدان في الضغط الذي حسب عليه خط المواسير وهو :

$$70 \text{ متر} \times 20 \text{ ملم} / \text{متر} = 1400 \text{ ملم اي } 1.4 \text{ متر}$$

ومن الشكل رقم (40) يمكن اختيار المضخة المناسبة.

التدفق = 720 لتر / ساعة والفقدان في الضغط = 1.4 متر فنجد ان المضخة المناسبة هي  
.UPS-15-50-130

ويجب استعمال مضخة ستنلس ستيل (Stainless steel) أو مضخة برونز (Bronze) ولا يسمح باستعمال المضخة السكب حيث أنها تسبب التسمم وتتعطل في فترة قصيرة جداً بسبب الصدأ.



الشكل (40): اختيار المضخة المناسبة

## الفصل السابع

### تدفئة برك السباحة

يعد تسخين برك السباحة باستخدام الطاقة الشمسية واحداً من أكثر المشاريع الشمسية المجدية اقتصادياً، وذلك لانخفاض درجة حرارة البرك والتي لا تتجاوز 30 درجة مئوية والتي تؤثر إيجابياً على كفاءة اللاقط ، ولكبر حجم الماء المراد تسخينه والذي يكون بمثابة الخزان الحراري حيث يحافظ على حرارة البركة طوال فترة الليل خاصة إذا كانت مغطاة بعازل حراري خاص .

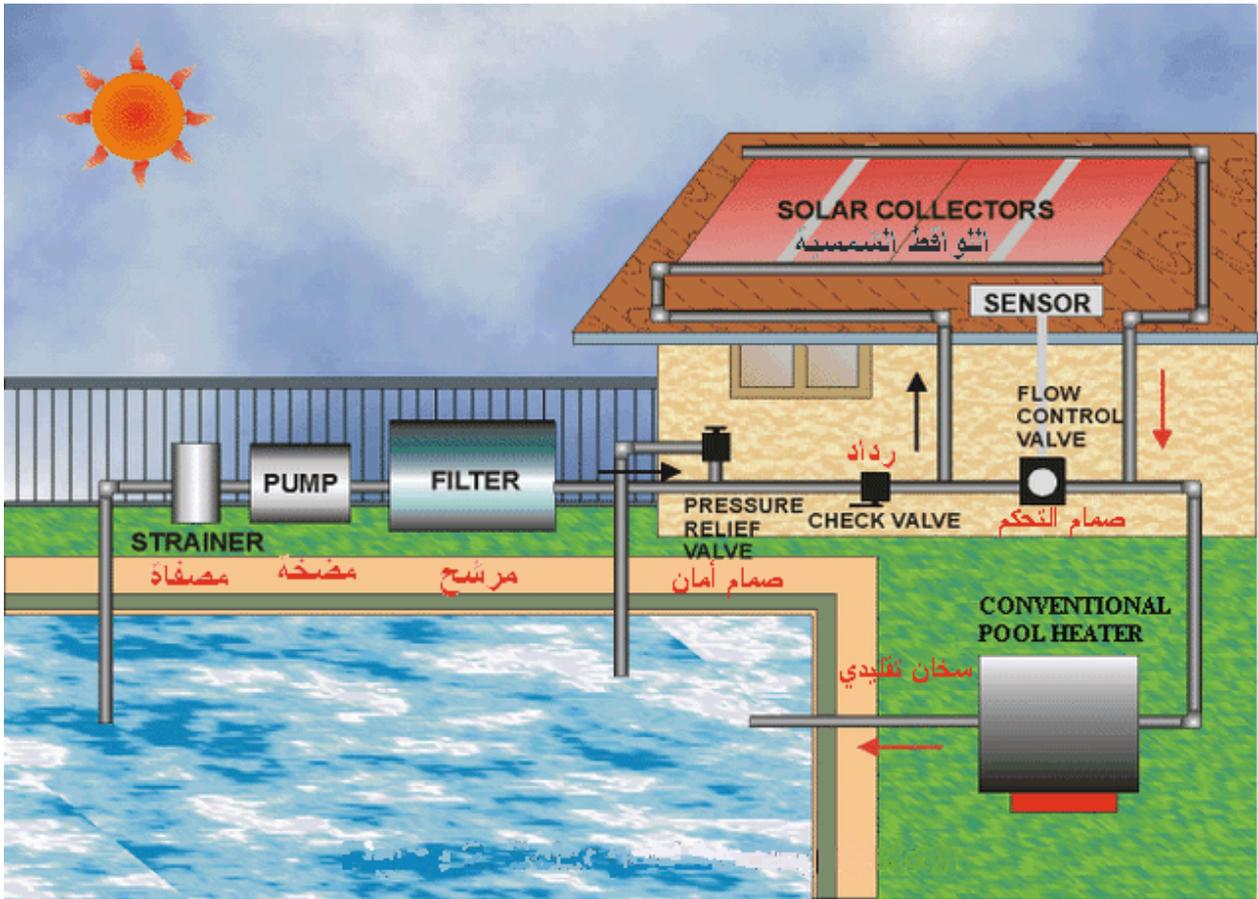
#### 1) أنواع برك السباحة

تتقسم برك السباحة إلى نوعان:

- 1-1 البرك الداخلية Indoor : هي البرك التي تكون في داخل مبنى مخصص تعزلها عن الظروف الجوية الخارجية. وتستخدم هذه البرك عادة طوال العام، لذلك فهي مدفئة شتاء ويتم عزل جدرانها حرارية بشكل جيد لتقليل الفقدان الحراري إلى المحيط الخارجي.
- 2-1 البرك الخارجية Outdoor : وهي البرك التي تكون معرضة لظروف الطقس الخارجية، وهي في العادة تستعمل خلال الأيام الدافئة والتي تختلف من بلد لآخر، وهي في الأغلب تبدأ من شهر نيسان وتمتد لغاية شهر تشرين الثاني.

وتتراوح درجة حرارة برك السباحة بين 22° و 25° م في البرك الخارجية وبين 25° و 30° م للبرك الداخلية.

تستخدم الأنظمة الشمسية إلى جوار الأنظمة التقليدية لتسخين برك السباحة في كل من البرك الداخلية والخارجية حيث من الممكن تغطية الجزء الأكبر من الحمل الحراري اللازم لتسخين البرك بواسطة تلك الأنظمة. يوضح الشكل (41) طريقة توصيل سخانات الشمسية مع برك السباحة والذي يبين أن النظام الشمسي يركب عادة بين فلتر الماء والنظام التقليدي.



الشكل (41): طريقة تركيب النظام الشمسي مع بركة السباحة

## 2- حساب الحمل الحراري لبرك السباحة:

يتم تحديد مساحة اللواقط الشمسية اللازمة عند معرفة الحمل الحراري لبرك السباحة. وعند تصميم النظام الشمسي اللازم لتغطية أكبر حمل حراري (شهر كانون الثاني) فإن حجم النظام الشمسي سيكون كبير ومكلف جداً، فضلاً عن القدر الكبير من الطاقة الحرارية التي سيتم هدرها في بقية أشهر السنة خاصة في فصل الصيف. لذلك ليس من المجدي اقتصادياً تصميم النظام الشمسي ليغطي الحمل الحراري كله في أشد الأيام برودة، وإنما يجب أن يكون حجم النظام الشمسي أصغر من ذلك بقدر معين بحيث تتحقق معه الفائدة القصوى من هذا النظام.

ولحساب الحمل الحراري للبركة فإنه يجب معرفة كل من الفواقد الحرارية من البركة ومقدار الطاقة الحرارية المكتسبة مباشرة من الإشعاع الشمسي الساقط عليها (في حالة البرك الخارجية).

## 3) طرق انتقال الحرارة .

تنتقل الحرارة من البركة بواسطة الطرق التالية:

- (1) التبخير: وتشكل الجزء الأكبر من الفواقد حيث يبلغ ما نسبته 50% من مجموع الفواقد، ومن الممكن تقليله بإضافة غطاء بلاستيكي (عازل) فوق البركة طول فترة الليل وخلال الفترات التي لا تكون فيها البركة مشغولة.
- (2) الإشعاع الحراري: ويمثل أيضا جزء كبير من مجمل الفواقد الحرارية إذ يبلغ ما نسبته 27% من مجموع الفواقد. ويمكن تقليله بوضع غطاء بلاستيكي معتم فوق البركة خلال الساعات التي لا تكون فيها البركة مشغولة.
- (3) الحمل الحراري: ويشكل ما نسبته 18% . وكذلك يمكن إضافة العزل البلاستيكي لتقليل هذا الفاقد ليلا.
- (4) التوصيل الحراري: وهو أقل جزء فقدا للحرارة ويشكل ما مقداره 1% من مجموع الفواقد الحرارية، لذلك يمكن إهمال هذا الحد لعدم أهميته في الحسابات.

### 1- انتقال الحرارة بواسطة التبخير:

يمكن حساب مقدار فقدان الحرارة الناتج من التبخير كالاتي:

$$Q_e = 1.41 * (3.1 + 4.1 * V) (P_w - P_a)$$

حيث :

$Q_e$  : الحرارة المفقودة بواسطة التبخير، ميغا جول / م<sup>2</sup> باليوم.

$V$  : سرعة الهواء ، م / ث.

$P_w$  : ضغط بخار الماء عند درجة حرارة معينة للماء ( $T_s$ ) ، kPa.

$P_a$  : ضغط بخار الماء الجزيئي في الهواء ، kPa.

### 2- انتقال الحرارة بواسطة الإشعاع:

ويمكن حسابها كالاتي:

$$Q_r = 0.082 * h_r * (T_w - T_s)$$

$$T_s = T_a - 11 \quad \text{for outdoor pool}$$

$$T_s = T_a \quad \text{for indoor pool}$$

$$h_r = 2.268 * 10^{-7} [0.5 * (T_w - T_a) + 273.15]^3$$

حيث :

$Q_r$  : انتقال الحرارة بالإشعاع ( ميغا جول / م<sup>2</sup> باليوم)

$h_r$  : معامل انتقال الحرارة بالإشعاع ( وات / م<sup>2</sup> كلفن)

$T_s$  : درجة حرارة السماء (درجة مئوية)

### 3- انتقال الحرارة بالحمل الحراري

فقدان الحرارة بالحمل الحراري يكون من بركة السباحة إلى الهواء المحيط ، ويمكن حسابها كالاتي:

$$Q_c = 0.086 * (3.1 + 4.1 * V) * (T_w - T_a)$$

حيث :

$Q_c$  : انتقال الحرارة بالحمل ( ميغا جول / م<sup>2</sup> باليوم)

$V$  : سرعة الهواء (م / ث)

الفواقد الكلية:

هي مجموع كل الفواقد المذكورة أعلاه ويمكن كتابتها كالاتي:

$$Q_t = Q_e + Q_r + Q_c$$



## الفصل الثامن اقتصاديات السخان الشمسي

إن تقنية التسخين بالطاقة الشمسية هي الأكثر استخداماً في مناطق عديدة من العالم وخاصة في منطقة حوض البحر الابيض المتوسط وفي بعض الدول العربية كالاردن ومصر وسوريا وفلسطين ويزداد استخدامها يوماً بعد يوم في المناطق العربية الأخرى.

إذا كان استخدام منظومات التدفئة وتسخين المياه في منطقة ما سيوفر مبالغ للمستهلك فأن النظام سيكون اقتصادي، وهناك عدة طرق تستخدم لمعرفة جدوى استخدام هذه المنظومات وهي :

### 1) طريقة فترة الاسترداد (إعادة المبالغ المصروفة) PayBack Period

عند التفكير باستخدام الطاقة الشمسية في تسخين المياه فان الطريقة العملية الممكن اختيارها لمعرفة الجدوى الاقتصادية هي مقارنة تكلفة المنظومة الشمسية مع مقدار ما توفره تلك المنظومة من كهرباء أو وقود للمنظومات التقليدية (سخان كهربائي، سخان غازي، سخان نفطي). وعلى الرغم من حصولنا على الطاقة الشمسية بدون كلفة إلا أن الكلفة لتلك المنظومات التي تقوم باستقبال الإشعاع الشمسي وتحويله إلى طاقة مفيدة تكون عالية أحياناً. ويقصد بفترة الاسترداد الفترة الزمنية اللازمة لاسترداد التكلفة الاستثمارية الاساسية للمشروع.

ويمكن حساب فترة الاسترداد بالعلاقة التالية:

$$N_p = \frac{\text{Capital Cost}}{\text{Energy Saving}}$$

حيث :

$N_p$  : فترة الاسترداد (سنة)

Capital cost : التكلفة الأولية للسخان الشمسي

Energy saving : التوفير في الطاقة عند استخدام الانظمة الشمسية

تتميز هذه الطريقة بالبساطة وسرعة اتخاذ القرار، كما انها تعتبر دليلا جيدا على مدى السيولة النقدية للمشروع. الا أن هذه الطريقة لا تأخذ بعين الاعتبار بقية العمر الانتاجي للمشروع بعد فترة الاسترداد

## (2) طريقة كلفة طول فترة العمل Life Cycle Cost .

معظم الاقتصاديين لا يستخدمون الطريقة السابقة لأن نتائجها ليست دقيقة بشكل كافي، وتعتبر طريقة "كلفة طول فترة العمل LCC" من أفضل الطرق المستخدمة في حسابات الجدوى الاقتصادية للأنظمة الشمسية بشكل خاص وذلك لاحتوائها على كل من العناصر الاقتصادية والحرارية فضلا عن سهولة التعامل معها رياضياً. ان نسبة الفائدة البنكية والتضخم من أهم العوامل المؤثرة على نجاح استثمارات الطاقة المتجددة أو فشلها، حيث يؤثر التضخم إيجابيا على نجاح المشروع بينما تؤثر الفائدة البنكية عكس ذلك ويمكن كتابة معادلة LCC كآلاتي:

$$LCC = \frac{Q_{aux} p_e}{h_{aux}} \times (PWF) + C_{SYS} \left( 1 + f_{O\&M} \times PWF - \left[ \frac{1+i}{1+r} \right]^N f_{salv} \right)$$

$$PWF = \frac{1+i}{r-i} \left( 1 - \left( \frac{1+i}{1+r} \right)^N \right)$$

Where:

LCC : life cycle cost, JD.

$Q_{base}$  : annual auxiliary energy, GJ.

$p_e$  : energy price, JD.

$\eta_{aux}$  : auxiliary system efficiency

PWF : present worth factor

C<sub>sys</sub> : cost of the solar system to combined with the conventional system, JD.

f<sub>O&M</sub> : operating and maintenance fraction

f<sub>salv</sub> : salvage fraction

r : interest rate (which is equivalent to discount rate ).

i : inflation rate.

N : system life span, year.

مثال :

يراد تركيب 40 لاقط شمسي (52.5 م<sup>2</sup>)، في مدينة عمان/ الأردن، لتسخين بركة سباحة لدرجة حرارة 26 ° ووجد أن الحمل الحراري السنوي للبركة = 232.1 جيجا جول ، وكان مقدار مشاركة السخانات في تغطية الحمل الحراري = 81% . احسب مقدار الاستفادة من استخدام السخانات الشمسية بسبب التوفير في الوقود بافتراض وجود المرجل والذي يعمل (بالديزل) عند اللزوم بفرض ما يلي :

- التكلفة الإجمالية لأنظمة السخانات الشمسية = 100 دولار / م<sup>2</sup>

- تكلفة الوقود = \$ 4.4 / جيجا جول.

- كفاءة المرجل = 80%

- تكلفة صيانة السخان السنوية = 2% من التكلفة الرأسمالية.

- الفائدة البنكية = 8% والتضخم = 6%.

- عمر السخان الشمسي = 15 سنة.

باستخدام المعادلات أعلاه نجد أن:

$$12.96 = \text{PWF}$$

$$189 = \text{Q(solar)} \text{ جيجا جول.}$$

$$12150 = \text{LCC (with solar sys)} \text{ دولار}$$

$$19421 = \text{LCC (without solar sys)} \text{ دولار}$$

توفير طول فترة العمل " Life Cycle Saving " = LCC - LCC (without Solar sys) (with solar sys)

فيكون مقدار التوفير خلال فترة عمر السخان =  $19421 - 12150 = 7272$  دولار

ويمكن حساب فترة الاسترجاع من العلاقة الرياضية أعلاه كآتي:

$$5250 = \Delta C$$

$$189 = \Delta Q \text{ جيجا جول}$$

طريقة فترة الاسترداد  $N_p = 5$  سنوات وثلاثة شهور

## المراجع

- 1) J. Duffie and W. Beckman, Solar Engineering of Thermal processes, 1991.
- 2) Rabl, Active Solar Collectors and Their Applications, 1985.
- 3) Solar Heating for Swimming Pools.
- 4) Proceedings of International Mediterranean Congress on Solar and other new-renewable Energy Resources, TURKEY, 1988.
- 5) دورة تدريبية في مجال تصميم وتصنيع سخانات المياه الشمسية لضمان حسن الأداء ، الجمعية العلمية الملكية ، عمان - الأردن ، 1986.
- 6) الدورة التدريبية لفني الدول العربية في مجال تطبيقات الطاقة الشمسية، عمان-الأردن، 1979.
- 7) وضع تصاميم مختلفة للواقط الشمسية المسطحة (مشروع تطوير السخانات الشمسية للمياه)، الجمعية العلمية الملكية ، عمان - الأردن ، 1987.