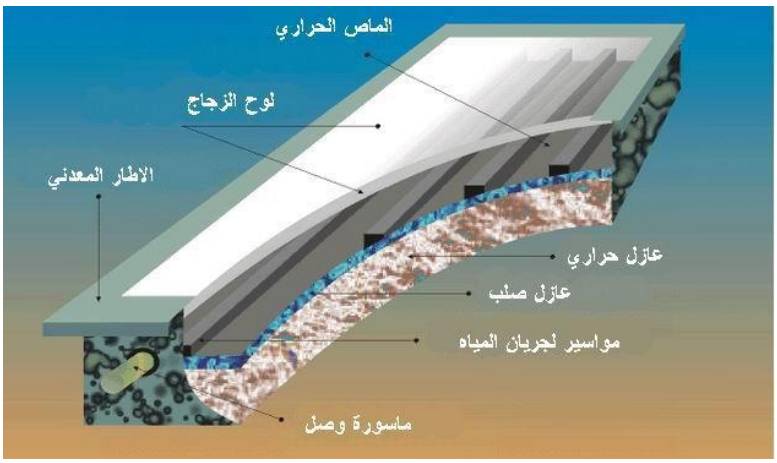
الفصل الاول

المجمعات الشمسية

أولاً: المجمعات الشمسية المسطحة .

١- اللاقط الشمسي المسطح:

اللاقط الشمسي المسطح في الشكل (١) والشكل (٢) هو عبارة عن جهاز يحول الطاقة الشمسية (الإشعاع الشمسي) إلى طاقة حرارية يمكن استغلالها عن طريق تسخين السائل المتواجد داخل اللاقط الشمسي.



الشكل (١): لاقط شمسي نموذجي.

١-١ أجزاء اللاقط الشمسي المسطح:

يصنع اللاقط الشمسي المسطح من أجزاء مختلفة تجمع في وحدة واحدة مكونة اللاقط الشمسي المسطح، وهذه الأجزاء كما في الشكل رقم (٢) هي :

١-١-١ الصندوق الخارجي Collector case:

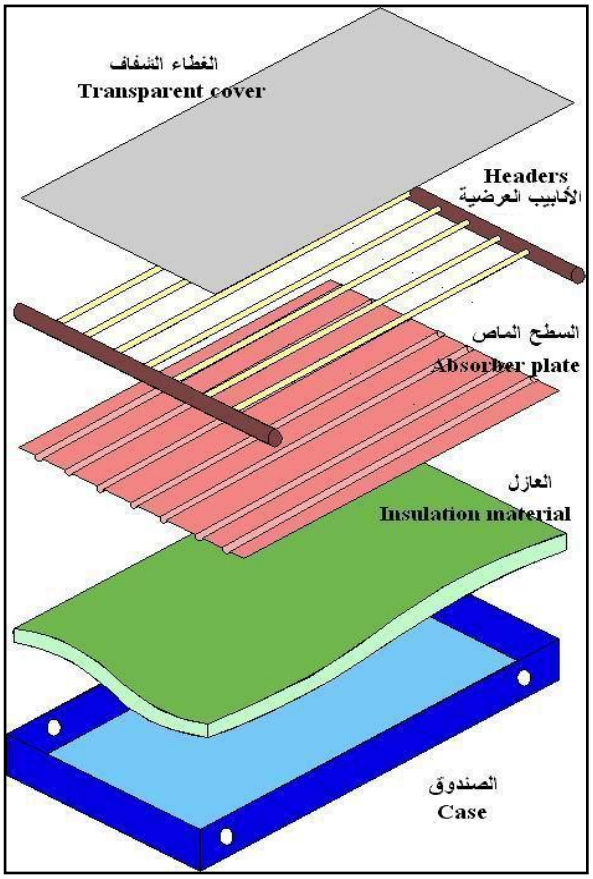
يمكن تصنيع الصندوق الخارجي من صفائح الفولاذ المغلفن أو الألمنيوم المعالج أو أي مواد أخرى تتحمل تأثيرات العوامل الجوية مثل الأشعة فوق البنفسجية، والمطر الحامضي والرطوبة والرياح.

١-١-٢ 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.

١-١-٣ 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.



الشكل (٢): أجزاء اللاقط الشمس

١-١-٤ شبكة الأنابيب :

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

١-١-٥ العوازل Insulation:

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

٢- كيفية عمل اللاقط الشمسي:

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

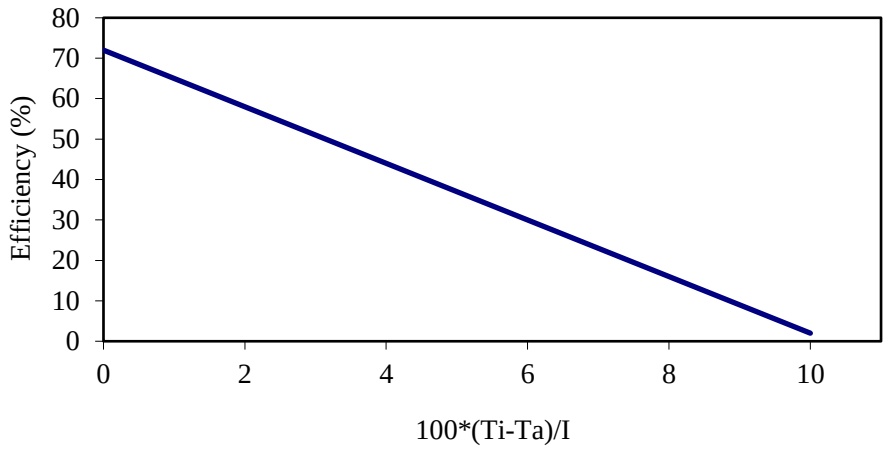
إن الشمس تشع أمواجا كهرومغناطيسية، ٩٨% من هذه الأمواج يتراوح طولها بين ٠,٣ إلى ٣ ميكرومتر وهي النوع النشط التي تصل سطح الأرض وهذه الأشعة تصل إلى السطح الماص

للاقط الشمسي والذي يحولها بدوره إلى طاقة حرارية ينتقل جزء منها إلى السائل الناقل أما الباقي فانه يفقد.

٣- 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: كفاءة اللاقط الشمسي= الطاقة المستخلصة من اللاقط الشمسي على الطاقة الشمسية الساقطة على اللاقط الشمسي

ويبين الرسم البياني في الشكل (٣) كفاءة اللاقط الشمسي:



الشكل (٣): 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 وميل المستقيم يمثل الفقدان الحراري للاقط.

يمكن كتابة كفاءة اللاقط الشمسي بالعلاقة الرياضية التالية:

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

حيث:

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

F_R : معامل ازالة الحرارة

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

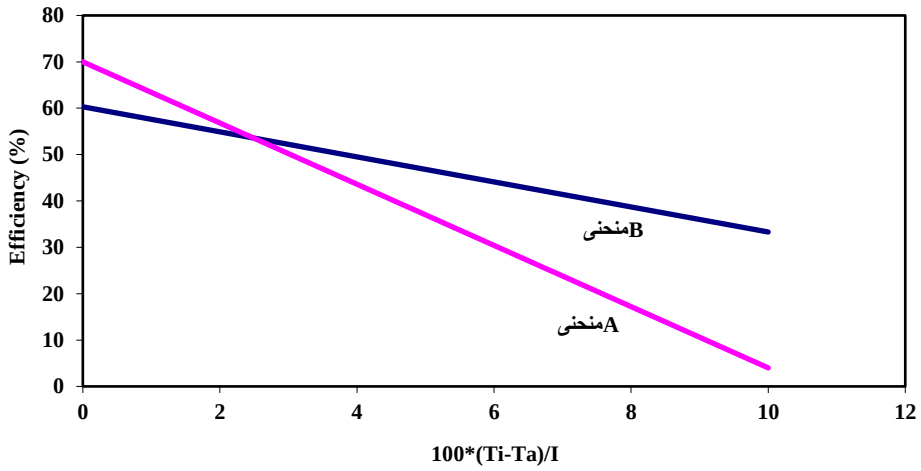
FR UL : ثابت يمثل ميل المنحنى.

Ti : درجة حرارة المائع (الماء مثلا) الداخل إلى اللاقط (درجة مئوية).

Ta : درجة حرارة الهواء الخارجي (درجة مئوية).

I : شدة الإشعاع الشمسي (وات / م٢).

و يمكن المقارنة بين لاقطين كفاءتهما مختلفة كما هو موضح في الشكل (٤).



الشكل (٤): مقارنة بين منحنين مختلفي الكفاءة.

يبين لنا الشكل أن المنحنى A يظهر كفاءة عالية في أول المنحنى إلا أن ميلانه اكبر من المنحنى B وبذلك فان اللاقط الشمسي B هو افضل 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).

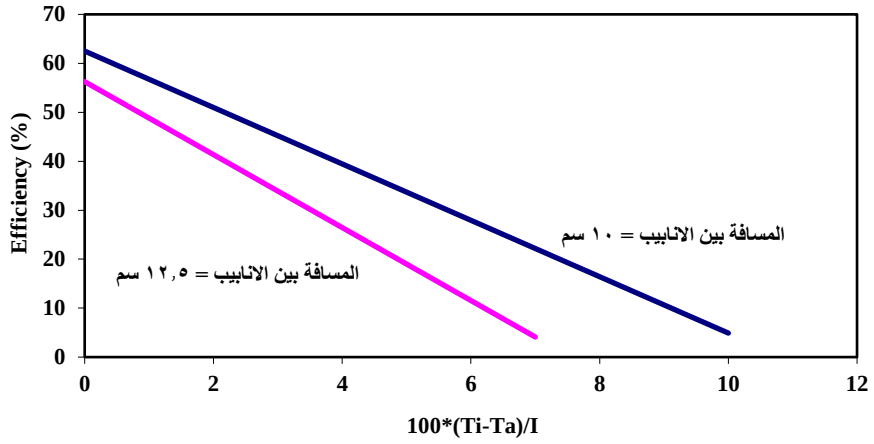
٤ – تأثير أجزاء اللاقط على الأداء والكفاءة:

يبين الجدول (١) تأثير التصاميم المختلفة على فعالية الماص الحراري (Fin Efficiency) ويفضل أن تكون فعالية الماص الحراري أعلى من ٠,٨٦ وفيما يلي شرح عن تأثير كل جزء من أجزاء اللاقط على كفاءته.

٤ – ١ 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 الفقدان الحراري مما يؤدي إلى التقليل من كفاءة اللاقط ويبين الشكل (٥) التأثير على كفاءة اللاقط عند تغير

المسافة بين ١٠ سم إلى ١٢,٥ سم ويمكن الاستعانة بالجدول (١) لتحديد المسافة المثلى بين الأنابيب، أو استخدام برنامج الكمبيوتر المرفق والذي يعطي نتائج مفصلة وأكثر دقة.



الشكل (٥): تأثير المسافة بين الأنابيب على الكفاءة.

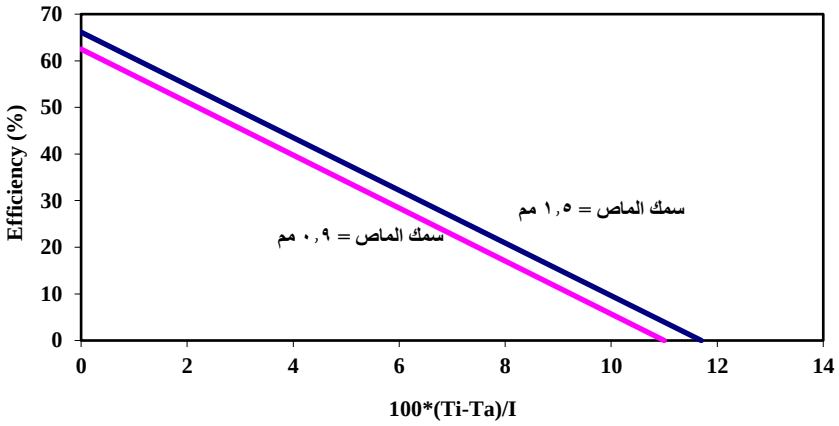
الجدول (١) : فعالية الماص الحراري.

نـــــوع الصفيحة	السمك ملم	المسافة بين الأنابيب / ملم							
		٦٠	٨٠	١٠٠	١٢٠	١٤٠	١٦٠	١٨٠	٢٠٠	٢٢٠
صاج	٠,٦	٠,٩٦	٠,٩١	٠,٨٦	٠,٧٨					
	٠,٧	٠,٩٦	٠,٩٣	٠,٨٨	٠,٨٢					
	٠,٨	٠,٩٧	٠,٩٣	٠,٨٩	٠,٨٤					
	٠,٩	٠,٩٧	٠,٩٤	٠,٩٠	٠,٨٦	٠,٨٠				
	١,٠	٠,٩٧	٠,٩٥	٠,٩١	٠,٨٧	٠,٨٢				
	١,٢٥	٠,٩٨	٠,٩٥	٠,٩٣	٠,٨٩	٠,٨٥	٠,٨١			
نحاس	٠,٢٥	٠,٩٩	٠,٩٧	٠,٩٥	٠,٩٣	٠,٩٠	٠,٨٧	٠,٨٤	٠,٨١	
	٠,٥	٠,٩٩	٠,٩٩	٠,٩٧	٠,٩٦	٠,٩٥	٠,٩٣	٠,٩١	٠,٨٩	٠,٨٧
ألمنيوم	٠,٢٥	٠,٩٩	٠,٩٥	٠,٩٢	٠,٨٨	٠,٨٤				
	٠,٥	٠,٩٩	٠,٩٨	٠,٩٦	٠,٩٣	٠,٩١	٠,٨٨	٠,٨٥	٠,٨٢	

	٠,٨٧	٠,٩٠	٠,٩٢	٠,٩٤	٠,٩٥	٠,٩٧	٠,٩٨	٠,٩٩	٠,٧٥

٤-٢ سمك الماص الحراري:

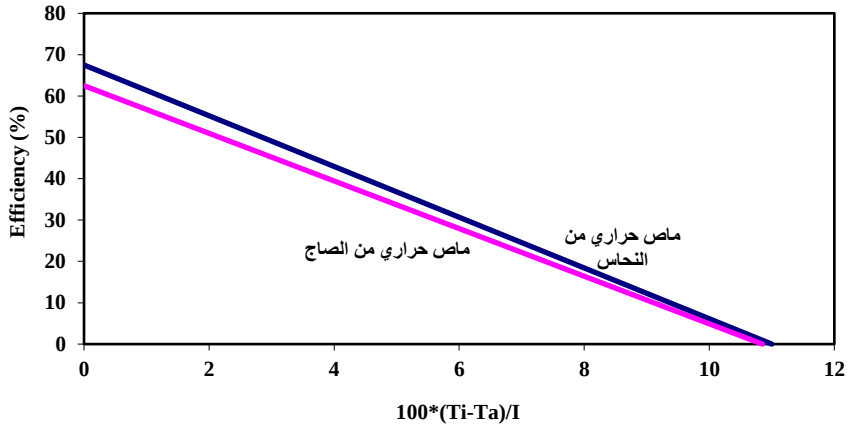
إن سمك الماص الحراري له تأثير على انتقال الطاقة من الماص الحراري إلى الأنابيب وكلما قل سمك الماص كلما صعب انتقال الطاقة عبر الماص إلى الأنابيب ومن ثم إلى السائل وبذلك يزداد الفقدان الحراري مما يقلل من كفاءة اللاقط ويمكن الاستعانة بالجدول (١) لاختيار سمك الماص المناسب، ويبين الشكل (٦) تأثير سمك الماص على كفاءة اللاقط حيث أن الكفاءة تقل عندما يتغير سمك الماص، على سبيل المثال، من ١,٥ ملم إلى ٠,٩ ملم.



الشكل (٦): تأثير سمك الماص الحراري على كفاءة اللاقط الشمسي.

٤-٣ نوع الماص الحراري:

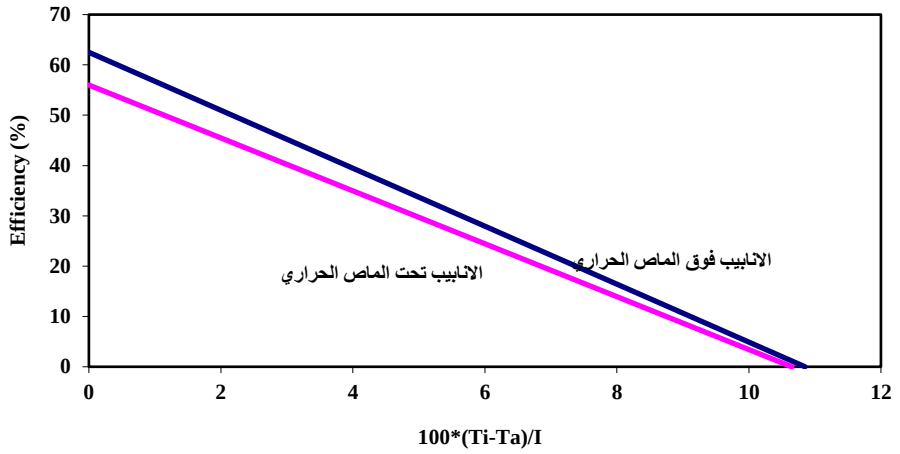
تستعمل عدة مواد لصناعة الماص الحراري وتتأثر عملية انتقال الطاقة من الماص إلى الأنابيب بنوعية المواد ذات التوصيل الحراري المختلفة، وكلما زادت خاصية التوصيل الحراري ساعد ذلك على انتقال كمية اكبر من الطاقة إلى الأنابيب ويوضح الشكل (٧) أن كفاءة اللاقط تزداد عند استعمال مواد ذات توصيل عال مثل النحاس.



الشكل (٧): تأثير نوع المادة المصنعة منها الماص

٤-٤ وصل الأنابيب مع الماص الحراري:

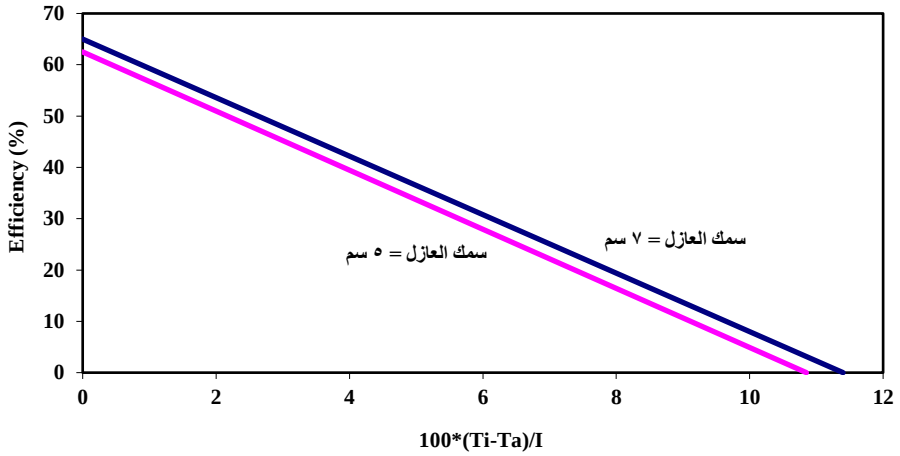
يعتمد انتقال الحرارة بين الماص الحراري والأنابيب ثم إلى السائل الناقل على كيفية وصل الأنابيب مع الماص الحراري وكلما كانا أكثر التصاقا والتحاما كلما كان التوصيل الحراري أفضل، وإذا كانت الأنابيب جزء لا يتجزأ من الماص الحراري فهي أفضل ولكن هذه الطريقة مكلفة صناعيا، لذلك يجب العمل على توصيل الأنابيب بالماص 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 (٨) تأثير وضع الأنابيب على كفاءة اللاقط.



الشكل (٨): تأثير وضع أنابيب اللاقط الشمسي على الكفاءة.

٤-٥ المواد العازلة ونوعيتها:

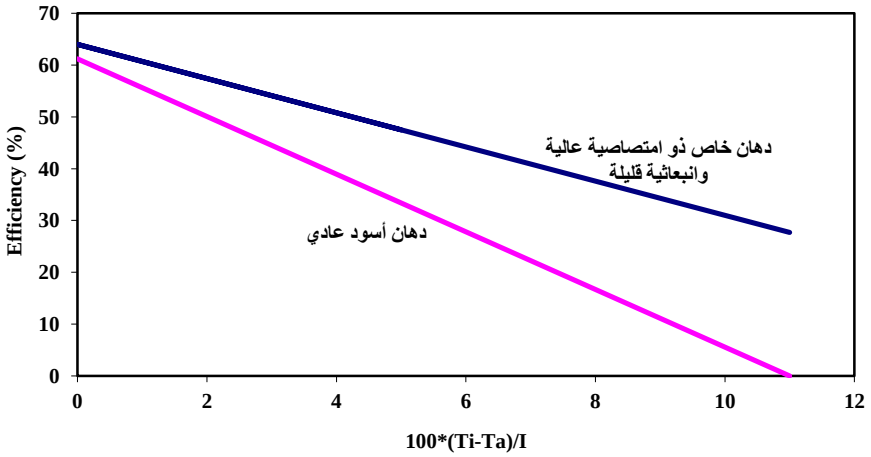
تستعمل عدة مواد عازلة في صناعة اللواقط الشمسية وهي جزء أساسي من أجزاء اللاقط حيث أنها تقلل من الفقدان الحراري للاقط وكلما زاد سمك العزل كلما قل الفقدان الحراري وزادت كفاءة اللاقط وكذلك كلما قل التوصيل الحراري لمادة العازل كلما قل الفقدان الحراري وزادت الكفاءة ويبين الشكل (٩) انه عندما يزداد سمك المواد العازلة يؤثر ذلك إيجابيا على كفاءة اللاقط الشمسي.



الشكل (٩): تأثير سمك العازل الحراري على كفاءة اللاقط

٤-٦ 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 (١٠) تأثير استعمال الدهان المناسب للاقط ويجب أن يكون الدهان من النوع المطفأ وليس من النوع اللامع.



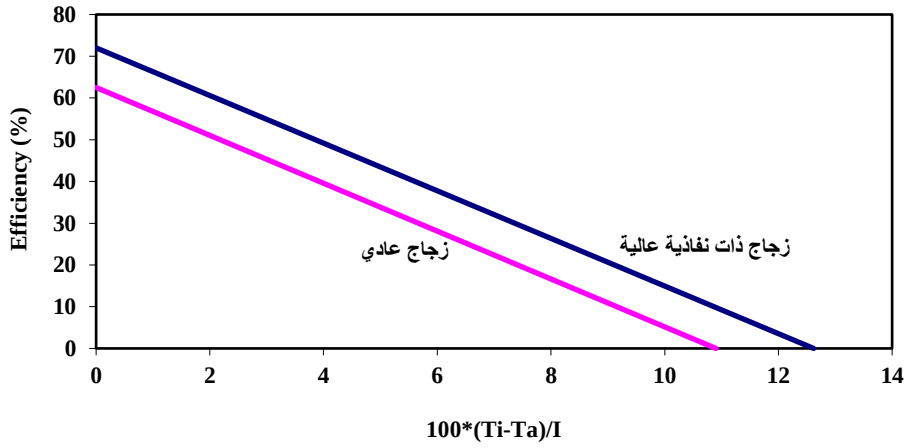
الشكل (١٠): تأثير نوع دهان الماص الحراري على كفاءة اللاقط الشمسي.

٤-٧ 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 (١١) تأثير نوع الزجاج على كفاءة اللاقط الشمسي فنرى أن كفاءته تزداد إذا استعمل زجاج ذو نفاذية عالية.

٤-٨ 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.

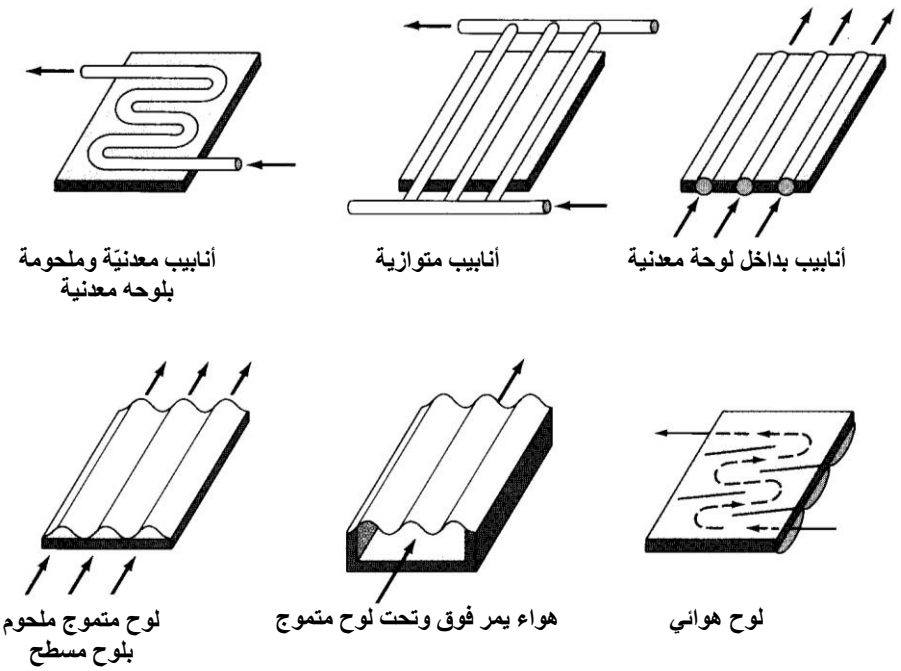


الشكل (١١): تأثير نفاذية الزجاج على كفاءة اللاقط الشمسي.

٥- أنواع المجمعات الشمسية المسطحة :

تتكون المجمعات الشمسية من لوح ماص على شكل صفيحة خفيفة سوداء اللون ذات قابلية امتصاص عالية وتقوم بامتصاص الأشعة الشمسية. فالمائع الذي يكون عادة ماء أو هواء يكون بحالة تماس مع الصفيحة، ويتم تدويره إما بطريقة الدوران الطبيعي أو بواسطة مضخة أو دافعة هواء لاستخراج الحرارة. يتم تغطية اللوح الماص بطبقة أو طبقتين من الزجاج لتقليل الخسائر الحرارية بواسطة الحمل والإشعاع. ويقوم الزجاج بعملين في المجمع هما منع خروج الإشعاع المنعكس من

اللوح الماص ومنع حدوث الخسائر الحرارية بواسطة الحمل. ويسمح الزجاج لحوالي 90% من الأشعة الشمسية ذات الموجات القصيرة بالدخول إلى اللوح الماص بينما يمنع خروج الإشعاع ذي الموجة الطويلة (الأشعة الحرارية المسئولة عن تسخين الماء) المنعكس من اللوح الماص. ويوضح الشكل (12) بعض هذه التصاميم . بالنسبة للمجمعات الشمسية المائية يجب أن يتم لحم الأنابيب التي يمر فيها الماء باللوح الماص أو تكون جزءاً من اللوح الماص. ومن المهم جداً أن تكون الأنابيب ملتصقة تماماً باللوح الماص . إن نوع مادة اللوح الماص لها تأثير على التبادل الحراري مع الماء . والمعادن المستخدمة في هذا المجال هي النحاس والألمنيوم والحديد . ويوضح الشكل أيضاً بعض المجمعات الشمسية الهوائية. ولكون الهواء ذا قابلية تبادل حراري أقل من الماء فإنه يجب أن تكون مساحة تماسه مع اللوح الماص أكبر للحصول على كمية حرارة مناسبة .



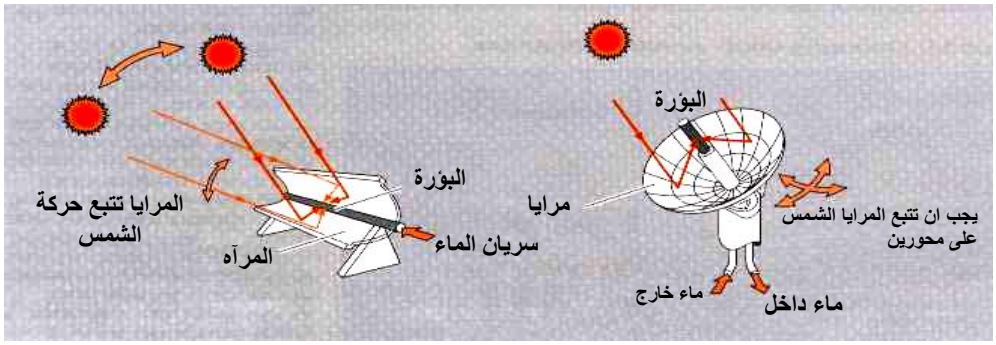
شكل (12): أنواع مختلفة من المجمعات الشمسية.

تجدر الإشارة إلى أن المجمعات الشمسية يجب أن توجه نحو الجنوب دائماً. وللحصول على أعلى حرارة مكتسبة يجب أن تكون الأشعة الشمسية عمودية على سطح المجمع الشمسي قدر الإمكان . ونظراً إلى أنّ الشمس على ارتفاع منخفض في السماء في فصل الشتاء فإن المجمعات الشمسية يجب أن تكون بدرجة ميل كبيرة للحصول على أعلى إشعاع شمسي ساقط عليها. وبصورة عامة يجب أن تكون زاوية ميل المجمعات الشمسية في فصل الشتاء تعادل مقدار زاوية خط العرض

مضافاً إليها 10 درجات (خط العرض + 10). أما في فصل الصيف فيجب أن تكون زاوية الميل مساوية لمقدار زاوية خط العرض مطروحاً منها 10 درجات (خط العرض −10).

وللحصول على درجات حرارية عالية يجب استخدام المجمعات الشمسية المركزة إذ يتم تجميع الأشعة الشمسية في نقطة معينة بواسطة مرايا أو عدسات الشكل (13). وفي هذه الحالة يجب أن تكون المنظومة متعقبة لحركة الشمس (Tracking The Sun)، ويتم عادة وضع اللوح الماص في هذه المنظومات داخل منطقة مفرغة من الهواء لتقليل الخسائر بواسطة التوصيل والحمل. والمركزات الشمسية مكلفة وتستخدم في أغراض التدفئة أو تستخدم في معظم الأحيان في توليد البخار لأغراض إنتاج الطاقة الكهربائية

إذ يقوم البخار بتدوير عنفة (توربين) ومولد كهربائي .



شكل (13): مجمعات شمسيه مركزه تتعقب حركة الشمس.

٦-٢- تحديد الأبعاد والسمك الأمثل للمجمع الشمسي

لقد تم وضع الأبعاد والسمك الأمثل للاقط الشمسي المسطح المصنع من الحديد وذلك باستخدام برنامج الكمبيوتر الذي تم ذكره أعلاه، حيث تم استعمال لوح من الصاج المغلفن للصندوق طول ٢ م وعرض ١ م مما حدد أبعاد اللاقط الشمسي لتكون ١٧٥ سم x ٧٥ سم تقريباً، وهو يتكون مما يلي:

- زجاج عادي سمك ٤ ملم.
- لوح ماص من الحديد غير المغلفن سمك ٠,٩ ملم ذو تجويف. السطح معالج بدهان اسود مطفأ عادي.
- سبع مواسير مغلفنة عمودية (قطر نصف بوصة) وماسورتين أفقيتين (قطر ١ بوصة) ملحومة معاً وملحومة مع اللوح الماص لحام نقطة في عدة أماكن.
- عزل من الصوف الزجاجي سمك ٥ سم.

- صندوق من الصاج المغلفن سمك ٠,٧ ملم، حيث يتم قص الزوايا ومن ثم عمل ٤ ثقوب في الزوايا بواسطة مكبس هيدروليكي ومن ثم يتم ثني الحواف.

٦-٤- زيادة مساحة اللاقط الشمسي:

بغرض خفض التكلفة وزيادة كفاءة اللاقط الشمسي يتم تصنيع مجمع شمسي بطول ٢ متر وعرض ١ متر حيت من الممكن استعمال لوح صاج سمك ٠,٧ ملم بعرض ١,٢٥ متر وبطول ٢,٥ متر لتصنيع صندوق اللاقط المقترح. سيتم استخدام تصاميم اللوح الماص المختلفة المذكورة سابقا بمساحة ٢ متر مربع.

من حساب تكلفة المواد والطاقة البشرية اللازمة لتصنيع اللاقط الشمسي المذكور أعلاه تبين أن توفيراً قد تحقق مقداره ١٠% 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.**

٦-٥- تطوير صندوق اللاقط الشمسي:

من الممكن تصنيع الصندوق من بروفيلات profiles الألمنيوم حيث تم تصميم صندوق للاقط شمسي مساحته (٢ م X ١م). ويتم وصل بروفيلات الألمنيوم المصنعة بالبثق بواسطة براغي، ومن ثم يتم تبشيم لوح من الصاج المجلفن سماكة٠,٧ ملم، طول (٢ م X ١م) 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 انه يتمتع بالميزات التالية:

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

٧- حساب مساحة اللواقط الشمسية والخازن الحراري:

عند تصميم أي جهاز شمسي فانه 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.

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

$$L = m.\ c_P.\ (T_H - T_C)\ N$$

حيث أن:

L	=	الطاقة اللازمة لتسخين كمية معينة من الماء (جول/شهر)
m	=	كمية الماء الساخن المستهلك يومياً (لتر/يوم)
c_P	=	الحرارة النوعية للماء = ٤١٨٦ (جول /كغ درجة مئوية)]
T_H	=	درجة حرارة الماء الساخن (درجة مئوية)
T_C	=	درجة حرارة الماء البارد المزود للخازن الحراري (درجة مئوية)
N	=	عدد أيام الشهر

٨-مقترحات لتصميم السخان الشمسي:

أ – زاوية ميلان اللاقط = زاوية خط العرض + ١٥ درجة (لفصل الشتاء).

ب – كمية تدفق السائل للاقط الشمسي في الأنظمة القسرية forced systems = ٠,٠٢٠ لتر / ثانية لكل متر مربع.

ج – حجم الخازن الحراري ٥٥ لتر لكل متر مربع من اللواقط الشمسية.

٩- حجم الخازن الحراري:

ينصح بأن يكون حجم الخازن الحراري ما بين ٤٠-٧٠ لتر لكل متر مربع من اللواقط الشمسية فإذا كانت مساحة اللواقط الشمسية = ٣ متر مربع وأخذنا الحد الوسط وهو ٥٥ لتر لكل متر مربع فان حجم الخازن الحراري يكون: ٣ X ٥٥ = ١٦٥ لتراً.

مثال :

ما هي مساحة المجمعات الشمسية اللازمة لتزويد منزل بالماء الحار لمدة يوم كامل إذا كانت كمية الحرارة المطلوبة 6000 واط بالساعة بافتراض أن كمية الإشعاع الشمسي الساقط كان 4960 واط في اليوم الواحد/م^2 وأن كفاءة المجمعات الشمسية كانت 50 %؟

الحــلّ :

كمية الحرارة = كمية الإشعاع X كفاءة المجمعاتX المساحة

$$\text{المساحة} \times 0.5 \times \frac{\text{واط } 4960}{\text{م}^2 \cdot \text{يوم}} = \frac{\text{ساعة } 24}{\text{يوم}} \times \frac{\text{واط } 6000}{\text{ساعة}}$$

$$\therefore \text{المساحة} = \frac{24 \times 6000}{0.5 \times 4960} = 58 \text{ م}^2$$

مثال :

احسب مساحة المجمعات الشمسية اللازمة لتسخين 80 غالون من الماء يومياً (1 غالون = 4.5كغ) من درجة 20 مئوية إلى 90 مئوية في شهر تشرين، بافتراض أن متوسط الإشعاع الشمسي اليومي في هذا الشهر يصل إلى 500 واط/م^2 ، وأن كفاءة المجمعات تصل إلى 50% ، وأن عدد ساعات سطوع الشمس هي 12 ساعة/يوم ، والحرارة النوعية للماء = 4186 جول/كغ.درجة .

الحــلّ :

الطاقة اللازمة لتسخين الماء = كتلة الماء X الحرارة النوعية X الفرق بين درجات الحرارة

$$= 80 \times 4.5 \times 4186 \times (90-20) = 105487200 \frac{J}{day} \approx 106 MJ/day$$

لذا فإن الطاقة التي تستطيع المجمعات الشمسية توفيرها لتسخين الماء =

كمية الإشعاع X كفاءة المجمع X المساحة

$$105487200 \frac{J}{day} = 500 \frac{W}{m^2} \times 12 \frac{h}{day} \times \frac{J}{W \cdot s} \times \frac{3600 \times s}{h} \times 0.5 \times Am^2$$

$$A = 9.7 m^2$$

الفصل الثاني

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

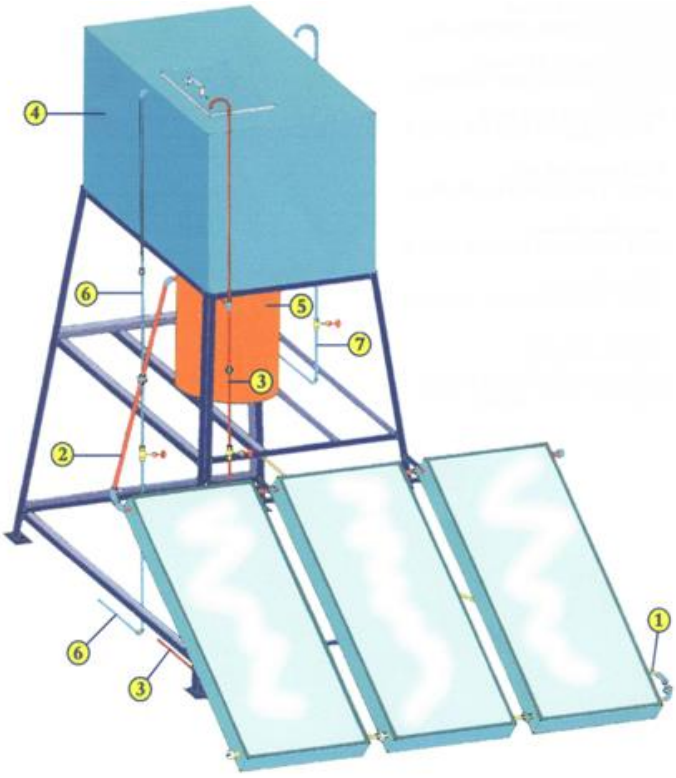
١- تعريف السخان الشمسي:

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

٢- أجزاء السخان الشمسي Solar water heater parts :

يمكن تقسيم السخان الشمسي إلى الأجزاء الرئيسية التالية(شكل (1)):

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



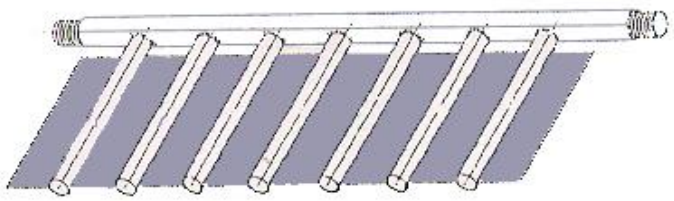
الشكل (١): السخان الشمسي.

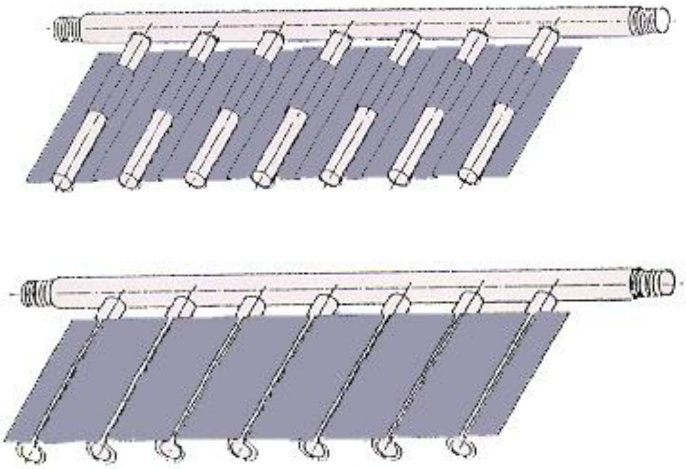
١. خط تزويد اللواقط الشمسية Collector inlet line.
٢. الخط الخارج من اللواقط الشمسية Collector outlet line.
٣. خط الماء الساخن المزود للمنزل Hot water outlet line.
٤. خزان تزويد الماء البارد Cold water supply tank .
٥. خزان الماء الساخن Hot water storage tank.
٦. خط تزويد الماء البارد Cold water supply line.
٧. خط تزويد الماء البارد لخزان الماء الساخن Cold water feed line to hot water storage tank

٢-١ 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 (2).





الشكل (2) : أشكال اللواقط الشمسية العديدة.

٢ – ٢ 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 ١).

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.

٢–٣ 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 ١).

يجب أن تحاط هذه الأنابيب بمواد عازلة لتحافظ على درجة حرارة الماء وإلا فقدت جزءاً من الحرارة إلى الهواء.

٢–٤ خزان الماء البارد Water tank :

وهو خزان لتجميع الماء البارد القادم من المصدر المغذي الرئيسي وذلك لضمان تغذية السخان الشمسي بالماء في حالات انقطاع المياه من المصدر الرئيسي. ويكون حجم هذا الخزان عادة متراً مكعباً خاصة في المباني الصغيرة. (الشكل ١).

٣- أنواع السخانات الشمسية:

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

٣-١ 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 ٧٥ مم و ١٥٠مم ، و تصف جنبا إلى جنب حسب الحاجة وتغطى بزجاج أو

بلاستيك شفاف من الأعلى وتعزل من الجوانب ومن الأسفل. انظر الشكل رقم (٣). و يمكن وضعه بشكل مائل بحيث يتلاءم مع خط العرض للمنطقة كما أنه يحفظ الحرارة لبضع ساعات ولكن ليس طيلة الليل.

الشكل (٣): السخان الشمسي المتكامل

٣-٢-السخان الشمسي التقليدي Conventional solar heater (اللاقط الشمسي والخزان وحدات منفصلة):

إن هذا النوع هو أكثر السخانات انتشارا في أنحاء العالم وإن تعددت مواده 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:

٣-٢-١- طريقة السيفون الحراري Thermosyphon methodأو الدفع الذاتي:

تعمل على مبدأ اختلاف كثافة الماء البارد والساخن وهو أكثر الأنواع انتشارا. في هذه العملية يصعد الماء الساخن إلى الأعلى ويحل محله الماء البارد كما يشترط أن يكون الخزان أعلى بقليل من اللواقط الشمسية. انظر الشكل (1) السابق.

٣-٢-٢- 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 ساخنا أكثر من المتوقع.

٤- الأسس العلمية المتعلقة بالسخان الشمسي التقليدي

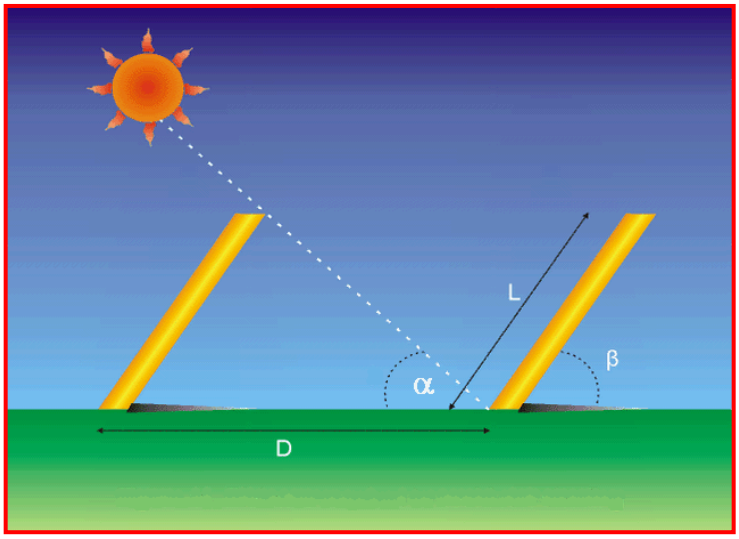
٤-١ الأنظمة الحرة (الهامدة) Thermosyphon:

الشكل رقم (1) السابق يبين لنا نظام السيفون الحراري العادي والذي هو الأكثر استعمالاً، وفي حالة تركيب هذا النظام يجب مراعاة التعليمات التالية:

٤-١-١- 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 لتفادي التظليل كما هو موضح بالشكل (٤) ، نستخدم المعادلة التالية:



الشكل (٤): المسافة بين اللواقط لتفادي التظليل

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

حيث :

L : طول اللاقط الشمسي collector length.

β : زاوية ميل اللاقط collector slope angle.

γs : زاوية السمت للشمس azimuth angle of the sun.

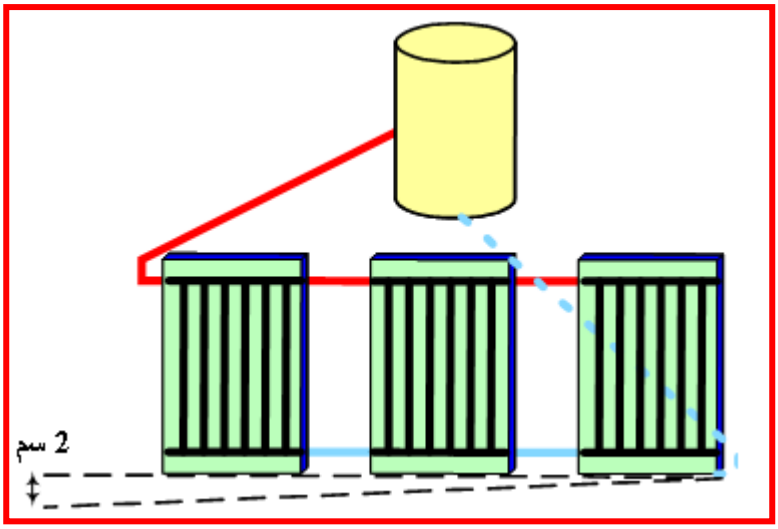
α : زاوية ارتفاع الشمس altitude angle.

٤-١-٢- 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 ١٠ إلى ١٥درجة واذا كانت الرغبة للاستفادة من السخان الشمسي في فصل الصيف فتكون زاوية الميلان تساوي خط عرض تلك المنطقة مطروحاً منها ١٠ إلى ١٥ درجة.

عند تركيب اللواقط الشمسية يجب مراعاة ما يلي:

- **أن تكون مرتفعة قليلاً ١سم إلى ٢ سم نحو جريان الماء فيها وذلك لخروج الهواء منها عند تعبئة النظام كما هو موضح في الشكل (٥).**



الشكل (٥): اللواقط الشمسية مركبة بحيث تكون مرتفعة ٢ سم عن الأرض.

- أن ترتكز حافتها السفلى على قاعدة ارتفاعها ١٠ سم على الأقل لحمايتها من العوامل الجوية كالأمطار والتي تساهم في تسريع تآكل السخان الشمسي.

٤-١-٣- خزان الماء الساخن (الخازن الحراري):

٤-١-٣-١ قاعدة الخازن الحراري:

يجب أن تكون قاعدته السفلى أعلى من أعلى نقطة في اللواقط الشمسية ما بين ١٠ – ٦٠ سم في حالة السيفون الحراري وان يكون قريباً إلى المكان الأكثر استعمالاً للماء الساخن ويجب أن يكون هناك جهاز لطرد الهواء (هوّاية) لخط الماء الساخن.

٤-١-٣-٢ حجم خزان الماء الساخن ومواصفاته:

إن اختيار حجم الخازن الحراري يختلف من مكان إلى آخر ويخضع لعدة عوامل منها كمية الإشعاع في المنطقة، كيفية وكمية الماء المستهلكة ...الخ، ولكن ينصح بأن يكون حجم الخزان ١,٥ مرة من متطلبات الاستهلاك اليومي ليكفي لسد حاجة المستفيدين منه في الأيام التي تكثر بها الغيوم. كما توجد بعض النقاط المهمة لاختيار وتركيب الخزان:

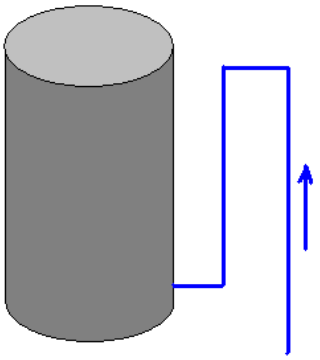
- أن تكون سعة الخزان متناسبة مع مساحة اللاقط الشمسي وأن تكون بمعدل ٤٠ – ٧٥ لتر لكل متر مربع من اللواقط في المنطقة العربية.
- يفضل أن يكون الخزان الداخلي مصنوعا من نفس المواد المستعملة في التمديدات ليمنع عملية التحليل الكهربائي والصدأ.
- أن يكون الخزان معزولا بمواد عازلة بسمك ٨ – ١٠ سم وذلك حسب نوعية المواد العازلة.
- أن يكون موضع المقاومة الحرارية Electric Heater داخل الخزان في منطقة من أعلى الخزان (ثلث ارتفاع الخازن 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 عاليا 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 منخفضا فإنه يمكن إيصال الماء الساخن بإحدى طريقتين:

١) تركيب صمام ذو اتجاه واحد أي انه يسمح بمرور الماء للخزان ولا يسمح بالعكس.

٢) توصيل المواسير كما هو موضح في الشكل التالي:



٤-١-٤- الأنابيب وقطع التوصيل:

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

يجب أن تغطى هذه الأنابيب بمواد عازلة لا يقل سمكها عن ٢,٥ سم لتحافظ على الطاقة الحرارية المكتسبة ولكي يكون النقصان في درجات الحرارة اقل ما يمكن ويجب أن يكون العازل مغطى بمواد تقاوم الأحوال الجوية. والأنابيب التي يجب عزلها هي:

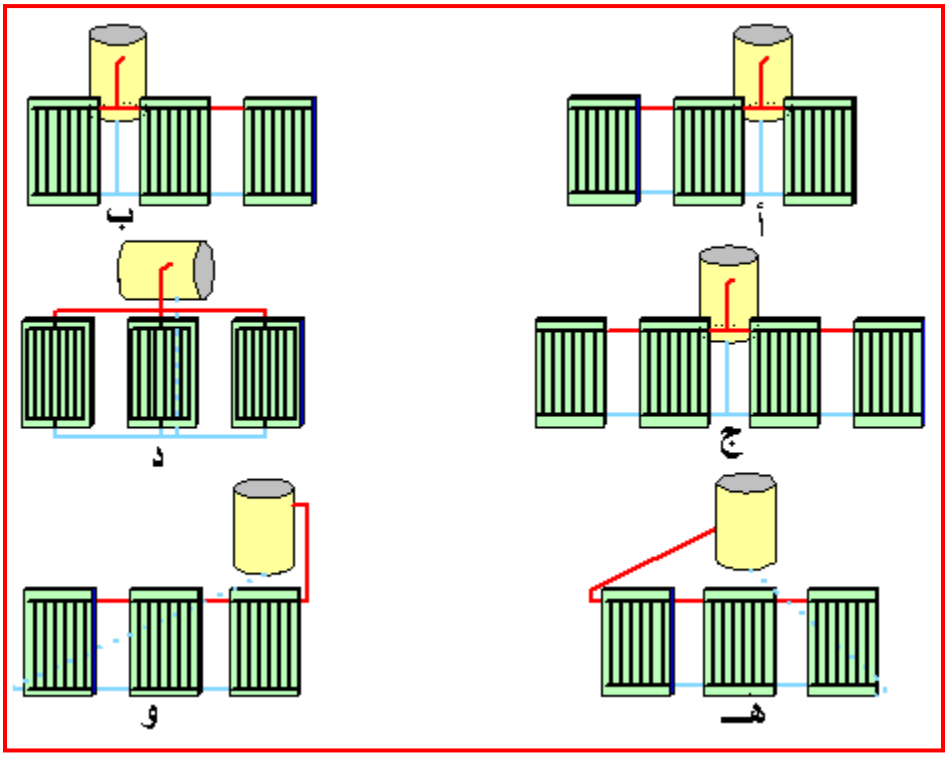
- الوصلات بين اللواقط الشمسية.
- الخط ما بين اللواقط الشمسية وخزان الماء الساخن.
- الخط ما بين الماء الساخن واللواقط الشمسية – الخط الراجع.
- خط التهوية ولمسافة تزيد عن ١م.
- خط تغذية خزان الماء الساخن ولمسافة تزيد عن ١م.
- الخط الواصل بين خزان الماء الساخن ونقاط الاستهلاك.

٤-١-٥ طرق توصيل اللواقط الشمسية (للأنظمة الهامدة):

توصل اللواقط الشمسية بطرق مختلفة كما هو مبين في الشكل (٦). إن الطريقتين (أ) و(ب) المتوسطة للاقط الأول تختلف عن تلك في اللاقطين الثاني والثالث لان سرعة جريان الماء في اللواقط مختلفة وهذا يؤدي إلى التقليل من كفاءة السخان الشمسي كوحدة متكاملة.

في حالتي 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 حالتي 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 افضل للسخان الشمسي كوحدة متكاملة.



الشكل (٦): طرق توصيل اللواقط الشمسية

٤-١-٦ طرق توصيل اللواقط الشمسية مع خزان الماء الساخن

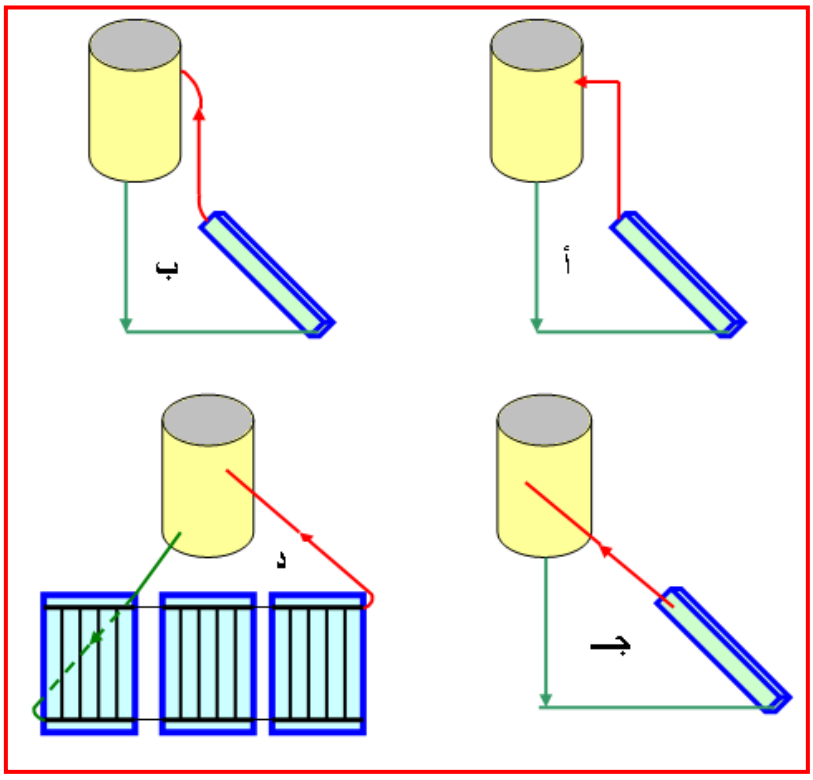
تنفذ طرق التوصيل بأشكال مختلفة ويبين الشكل رقم (7) هذه الطرق:

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.

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



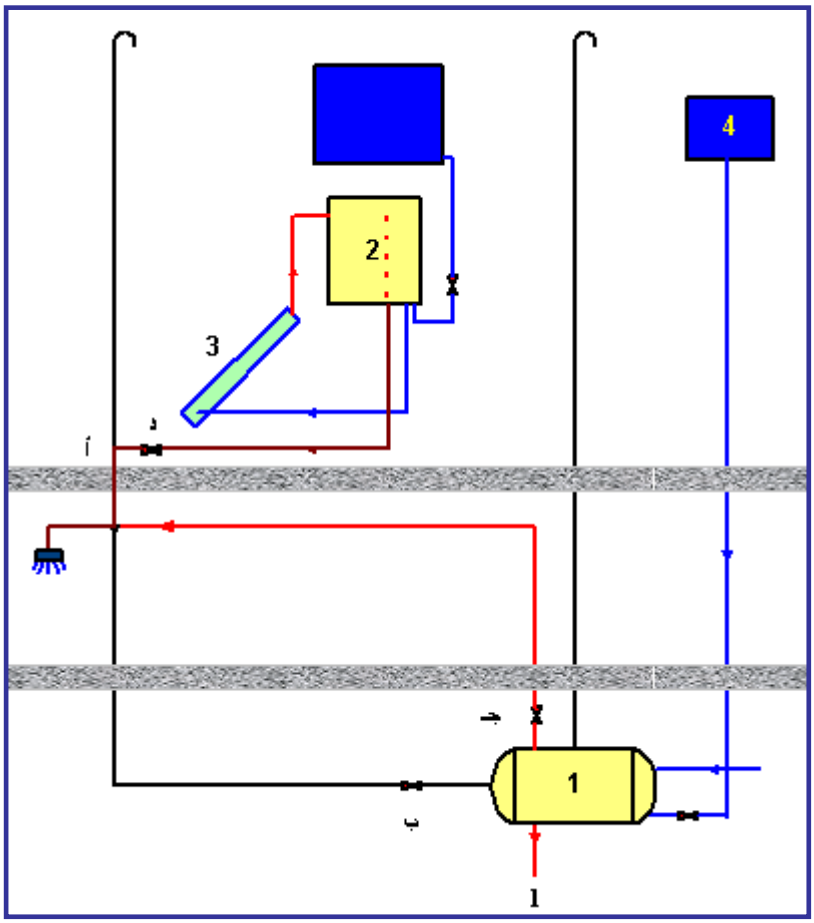
الشكل (٧): طرق توصيل اللواقط الشمسية مع الخازن الحراري.

٤-١-٧ - 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 الهواية.

أما في حالة وجود نظام تسخين للماء عن طريق مرجل التدفئة فتركب معظم الشركات السخان الشمسي كما يظهر في الشكل رقم (٨) 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.

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



الشكل (٨): تركيب نظام السيفون الحراري مع شبكة الماء الساخن للبيت.

١- اسطوانة (سلندر) ماء ساخن hot water cylinder، ٢- خزان ماء ساخن hot wate storage

٣- لواقط شمسية collectors، ٤- خزان ماء بارد cold water tank.

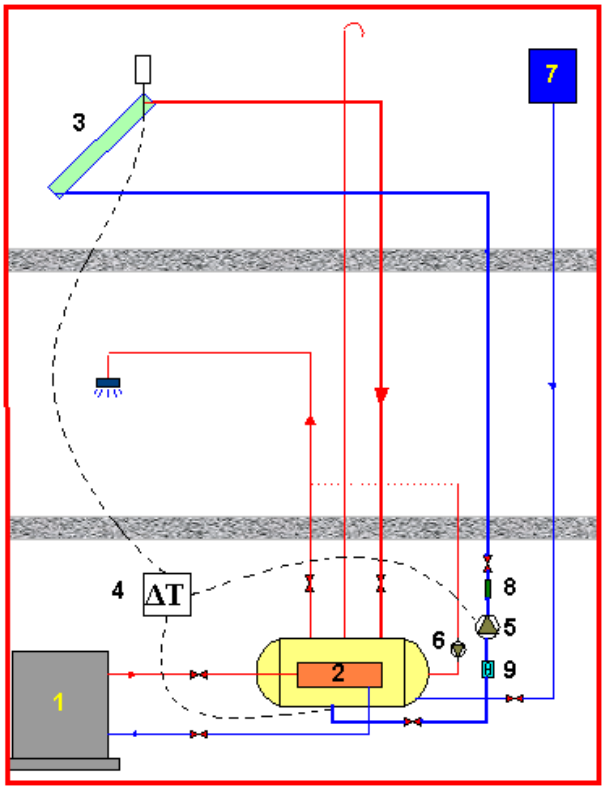
٤-٢- الأنظمة القسرية:

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 (٩) نظام شمسي قسري لإحدى المباني.

الشكل (٩): نظام شمسي قسري لإحدى المباني

٤-٢-١ تركيب الأنظمة القسرية

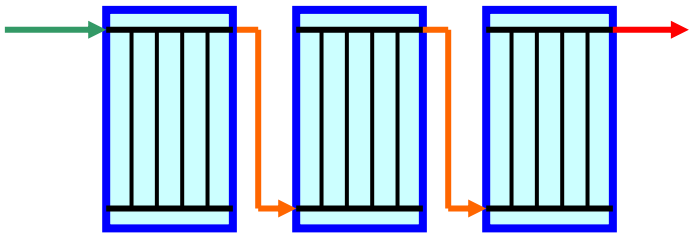
يبين الشكل رقم (١٠) كيفية توصيل هذا النظام بنظام الماء الساخن عن طريق مرجل التدفئة. تركب مضخة لتدوير الماء بين اللواقط الشمسية واسطوانة (سلندر) الماء الساخن، ينظم عمل هذه المضخة جهاز تحكم ΔT ذو مجسات حرارية يركب أحدها في إحدى اللواقط ويركب الآخر من اسفل خزان الماء الساخن. إذا كانت درجة حرارة الماء في 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 اقل 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 ايعازاً 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.



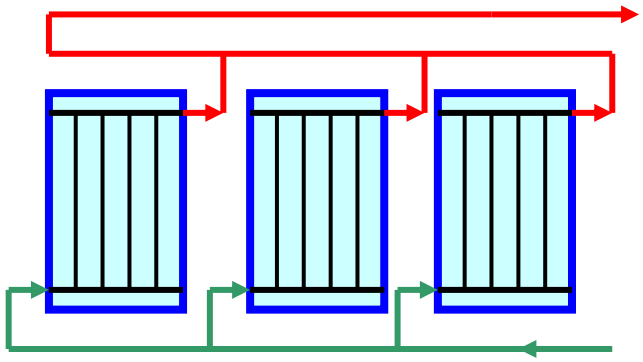
الشكل (١٠): طريقة تركيب النظام القسري مع نظام تسخين الماء عن طريق المرجل.

١) مرجل تدفئة boiler ٢) سلندر ماء ساخن hot water cylinder ٣) لواقط شمسية collectors
٤) جهاز تحكم controller ٥) مضخة نظام السخان الشمسي SWHS pump ٦) مضخة تدوير المياه الساخنة re-circulating pump ٧) خزان ماء البارد cold water tank ٨) الرداد check valve ٩) فلتر ماء water strainer

إن هذا النظام هو الأمثل للاستفادة من السخان الشمسي ان وجد نظام تسخين للماء عن طريق مرجل التدفئة وهو يعمل معظم أيام 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 الهامدة (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 و متساوي أي يجب أن تكون المضخة قادرة على تدوير الماء أو السائل الناقل للحرارة ما بين اللواقط الشمسية وخزان الماء الساخن، انظر للشكلين (١١ و ١٢).



الشكل (١١): توصيل اللواقط على التوالي



الشكل (١٢): توصيل اللواقط على التوازي

كما يجب أن يكون نوع المضخة من الفولاذ الذي لا يصدأ أو أية مواد أخرى لا تصدأ وان تحدد قدرتها حسب القواعد الهندسية للمضخات كما يجب أن توضع قبلها مصفاة (سترينر) وبعدها رداد Check Valve. يركب هنا خزان الماء البارد المغذي لسلندر 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 وسلندر الماء الساخن سواء كانت تمديدات داخلية أو خارجية عزلاً جيداً.

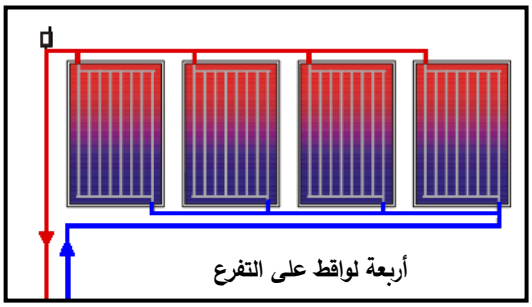
٥- صيانة الأنظمة الشمسية

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

١. تنظيف زجاج اللواقط الشمسية كلما دعت الحاجة لذلك.
٢. تفقد اللواقط الشمسية من حيث الإحكام مثلاً أن يكون الشبر المطاطي للزجاج محكماً وصالحاً لعدم دخول المطر والغبار وإذا كسر الزجاج وجب تغييره فوراً.
٣. إذا لوحظ أن سطح الماص الأسود أصبح باهتاً أو حدث هناك صدأ فيجب تنظيفه وإعادة طلاءه.
٤. تفقد العازل وإعادة العزل كلما تلف.
٥. تفقد مصفاة المضخة وتنظيفها عند اللزوم.

٦. التأكد من أن المجسات الحرارية في مكانها ليقوم جهاز Δ T بعمله بالشكل الصحيح.

٦- طريقة توصيل اللواقط



- **الربط على التفرع .**

١. درجات حرارة أقل.

٢. تدفقات كبيرة .

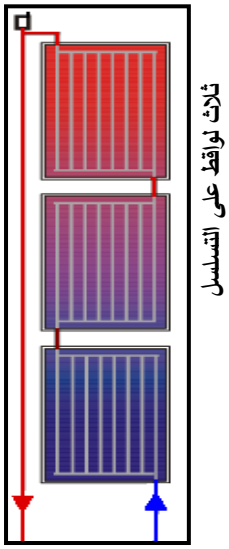
٣. ضياع قليل في الضغط .

٤. استطاعة المضخة صغيرة .

٥. تستخدم للتدفقات الكبيرة .

٦. يجب تحقيق فروق ضغط متساوية لكل اللواقط .

٧. تستخدم في الأنظمة الكبيرة و المتوسطة .



- **الربط على التسلسل .**

١. درجات حرارة أعلى .

٢. تدفقات صغيرة .

٣. ضياع كبير في الضغط .

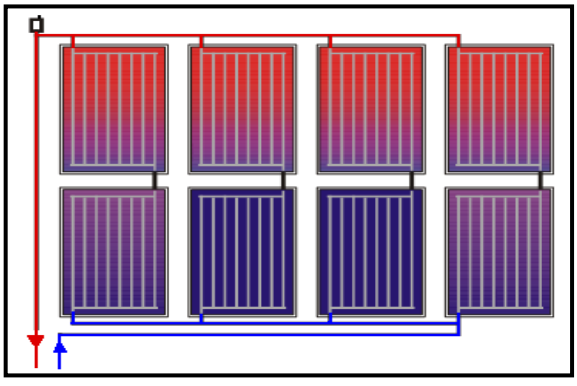
٤. استطاعة المضخة أكبر و يجب اختياره بشكل صح.

٥. تستخدم في الأنظمة الصغيرة (١٠ مترمربع : ٢الى ٣ لواقط) .

٦. يستخدم الحجم نفسه من الماء لكل لاقط .

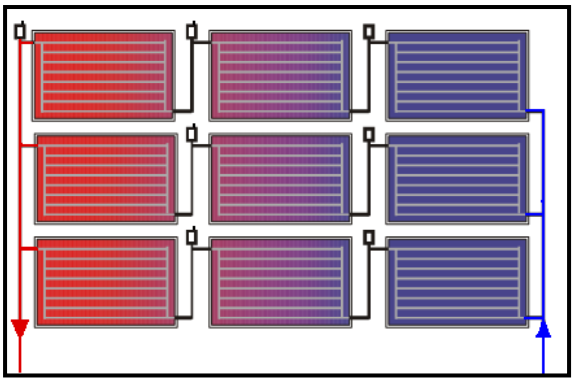
لا توجد توصيات محددة لتوصيل اللواقط مع بعضها البعض ، تعتمد على حالة النظام قيد التصميم حسب كل نظام) .

- **يحتاج كل لاقط في حالة التوصيل على التسلسل إلى صمام تنفيس.**
- **بينما على التفرع نحتاج إلى صمام واحد لكل حالة .**



تسع لواقط على التسلسل و التفرع

(الربط المختلط)



ثمان لواقط على التسلسل و التفرع (الربط المختلط)

مثال :

لدينا ٢٠ لاقط ، كل لاقط مساحته ٢,٥ متر مربع ، يحدد الصانع مقدار التدفق الأمثل بـ ١٠٠ ليتر في الساعة لكل لاقط .

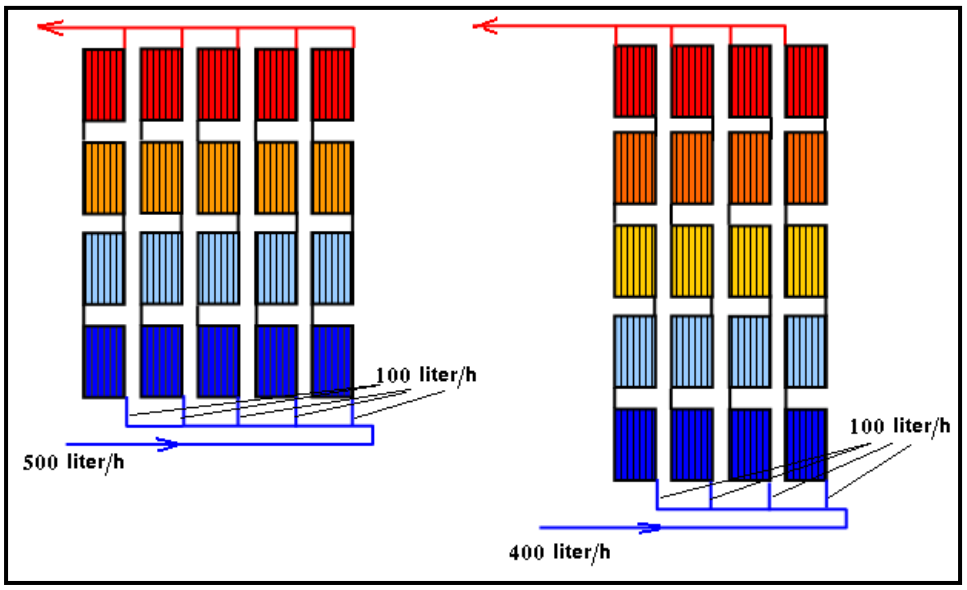
الحل :

مساحة حقل اللواقط ٢٠ × ٢,٥ = ٥٠ متر مربع .

في حال التدفقات البطيئة يختار التدفق اللازم للنظام ما بين (١٠ إلى ٢٠ ليتر في الساعة لكل متر مربع)

الآن نغير في التوصيلات حتى نحصل على التدفق المناسب فيكون لدينا الفرضيات التالية

(شرط تحقيق تدفق ١٠٠ ليتر في الساعة للاقط الواحد)



$$\frac{400}{50} = 8\frac{liter}{h.m^2}$$
$$\frac{500}{50} = 10\frac{liter}{h.m^2}$$

في حال التدفقات الكبيرة High-Flow:

- **تستخدم للأنظمة الصغيرة .**
- **التدفقات المثالية للأنظمة الصغيرة**

$$25-40(70)\frac{l}{h\cdot m^2}(10m^2 = 0.25-0.4\frac{m^3}{h})$$

- **مردود أعلى .**
- **درجات حرارة منخفضة .**
- **استطاعة مضخة أكبر و تحمل أنابيب أعلى .**

في حال التدفقات الصغيرة Low-Flow:

- **للأنظمة الكبيرة و الكبيرة جداً.**

$$12-20(15)\frac{l}{h\cdot m^2}(180m^2 = 2.1-3.6\frac{m^3}{h})$$

- **مردود أقل .**
- **درجات حرارة عالية ، مسموح حدوث فرق درجات حرارة كبيرة حتى** $\Delta T = 60C^\circ$
- **اقتصادي أكثر من حيث الأنابيب .**

الفصل الثالث :

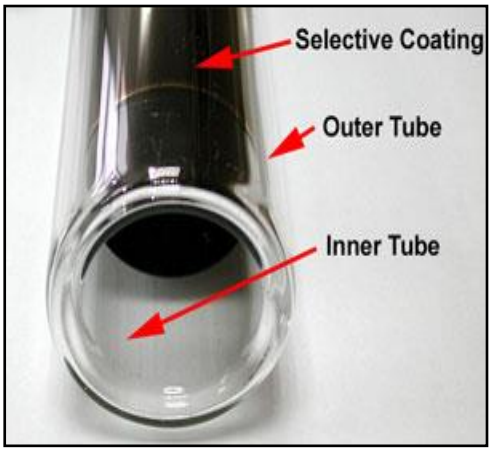
السخانات الشمسية المنزلية ذات الأنابيب المفرغة

.

يعتبر الجيل الجديد من اللواقط الشمسية (الأنابيب الزجاجية المفرغة) ذات المردود العالي حل لمشكلاتنا الاقتصادية و البيئية ، تتمتع تكنولوجيا الأنابيب الزجاجية المفرغة بمزايا كثيرة و فعالية عالية من حيث المادة المستخدمة كسطح لاقط و تصميم يحدد مجال عازل بين السطح و حرارة الجو بحيث لا يسمح بأي ضياع للطاقة، و كنتيجة لذلك تتم الاستفادة العظمى من الطاقة الشمسية.

لقد أثبتت تكنولوجيا الأنابيب المفرغة فعاليتها ضمن ظروف مناخية باردة (شتاءاً) ، لذالك في السنوات الأخيرة بنيت عشرات المصانع في الدول الأوربية و الآسيوية لصناعة هذه التكنولوجيا المتطورة من اللواقط الشمسية ، كما و طبقت مئات الأنظمة الشمسية في المباني العامة و الصناعية و ملايين الأنظمة الشمسية في المباني السكنية لأنها أعطت وفرا و مردوداً للطاقة وصلت إلى ٩٠% من الوقود المستخدم .

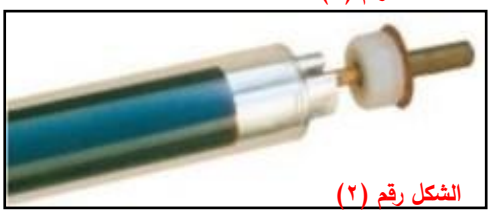
١ – فما هي الأنابيب الزجاجية الشمسية المفرغة



تمتص الأنابيب الزجاجية الشمسية الأشعة المباشرة و المبددة منها و تحولها إلى حرارة لاستخدامها في تسخين المياه، إما بشكل مباشر (السيفون الحراري، الشكل رقم ١) و بضغط منخفض أو عالي ، أو بشكل غير مباشر (الأنابيب الحرارية ، الشكل رقم ٢) .

اكتشفت هذه الأنابيب في ألمانيا أولا ثم انتشرت إلى كندا و استراليا و المملكة المتحدة و الصين و بقية دول العالم تباعا و حالياً تتصدر الصين دول العالم في إنتاج الأنابيب الشمسية المفرغة(٦٠ %) من الإنتاج العالمي لدرجة تستورد كل دول العالم منها لتصنيع اللواقط و السخانات الشمسية .

الشكل رقم (١)



الشكل رقم (٢)

توجد عدة نماذج من الأنابيب المفرغة تستخدم في مجالات عدة لتسخين المياه، الأكثر شيوعا و استعمالا هي الأنابيب الزجاجية

المزدوجة، هذا النموذج يختار عادة لسهولة استخدامه و كلفته المنخفضة (جهاز عملي سهل الاستخدام) و المردود العالي انظر الشكل رقم (١،٢).

يتألف كل أنبوب زجاجي شمسي من أنبوبين مصنوعين من الزجاج النقي الصافي جدا مع البورون ، خلائط شبه معدنية تكسبه قوة كبيرة (قادر على تحمل برد بقطر ٢٥ ملم) Borosilicate glass tube، الأنبوب لزجاجي الخارجي شفاف يسمح لأشعة الشمس و الضوء باختراقه بسهولة بنسبة انعكاس منخفضة جدا و ذلك لكونه اسطوانية الشكل و بالتالي فإن أشعة الشمس تسقط عمودية في جميع الأوقات ، و تتمتع الأنابيب الزجاجية المفرغة بإمكانية امتصاص الأشعة المبددة .

الطبقة الداخلية في بعض الأنابيب مطلية الكتروستاتيكيا بثلاث طبقات متتالية :

الطبقة الأولى طبقة معدنية عملها منع انعكاس الأشعة تحت الحمراء .

الطبقة الثانية : طبقة بورسلانية تمنع انعكاس الأشعة ضمن المجال الطيفي للأشعة .

الطبقة الثالثة: طبقة من فلم كربوني عملها امتصاص أشعة الشمس

تتوفر حاليا في الأسواق المحلية الأنابيب الزجاجية المفرغة بالقياسات المبينة أدناه في الجدول رقم (١) :

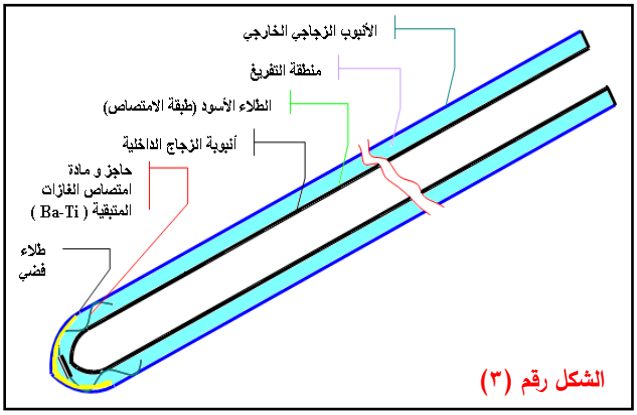
الجدول رقم (١) :

موديل الأنبوب	طول الأنبوب mm	قطره الخارجي mm	قطره الداخلي mm	سمك الزجاج mm
1200/47	١٢٠٠	٤٧	٣٧	١,٦
1500/47	١٥٠٠	٤٧	٣٧	١,٦
1500/58	١٥٠٠	٥٨	٤٧	١,٦
1800/58	١٨٠٠	٥٨	٤٧	١,٦

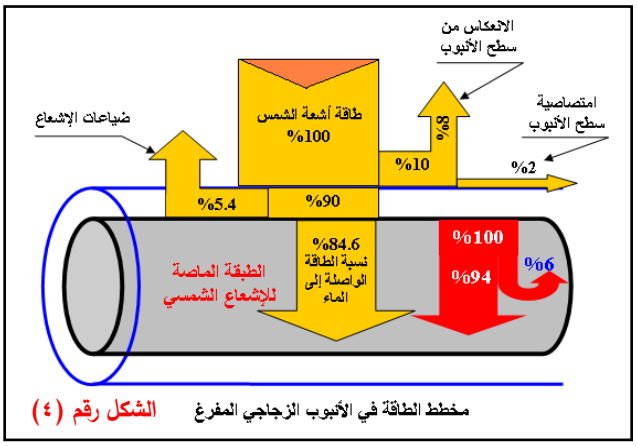
تتغلب الأنابيب الزجاجية المفرغة على مشكلة إلغاء الوسط المادي و الذي يقوم بنقل الحرارة (الهواء) إلى الوسط المحيط و يتم ذلك بتثبيت الأنبوب الحامل للسائل داخل أسطوانة زجاجة مقفلة و مفرغة من الهواء فتنتقل الأشعة الشمسية إلى السطح الماص داخل الاسطوانة بينما تصان الحرارة من الانتقال إلى الوسط المحيط بالحمل و التوصيل الحراري .

إن التفريغ الحاصل بين الأنبوبين الداخلي و الخارجي سمحت لدرجات الحرارة في الأنبوب الداخلي أن تصل إلى ١٥٠ درجة مئوية و بينما الأنبوب الخارجي بارد عند لمسه ، هذا يعني أن الأنابيب المفرغة يمكن أن تعمل بأداء عالي حتى في درجات الحرارة المنخفضة جدا بينما اللواقط التقليدية المسطحة لا يمكن أن تعمل في هذه الأجواء .

و للمحافظة على الفراغ ضمن الأنبوب يضاف حلقة مصنوعة من الباريوم خلال تصنيع الأنابيب ، هذه الطبقة فعليا تمتص أي من الغازات CO - CO2 – N2 – O2 – H2O – H2 التي قد تنشئ ضمن الأنبوب خلال التخزين و الاستعمال كضمان للفراغ ضمن الأنبوب ، وفي حال حدوث أي خلل في الضغط فإنها تعمل كدليل حسي لحدوث هذا الخلال ، حيث لون الباريوم سوف يتحول إلى أبيض في حال اختلال الضغط و فقدان الفراغ انظر الشكل رقم (٣) :



يجب الانتباه لدى اختيار الأنبوب الزجاجي الشمسي المتطور إلى خواص و مميزات مادة الطلاء المستخدمة في الأنبوب الداخلي كسطح ماص للأشعة ذو التركيب المتطور و القادر على امتصاص الأشعة بشكل كبير و حتى الأشعة المبددة (94%>) و يتمتع بنسبة انعكاس منخفضة (6%>) بحدود استقرار حراري ٢٠٠ – ٣٣٠ درجة مئوية و ذلك حسب الأنبوب، الشكل رقم (٤) .



إن الأنابيب الحرارية المفرغة تؤمن طاقة حرارية عند درجات حرارة أعلى بكثير مما يمكن الوصول إليها بالمجمعات المسطحة ، و بالتالي فهي كما ذكرنا سابقاً ملائمة للمناخيات الباردة و للأجواء الملبدة بالغيوم أو ذات سرعات الريح العالية ، حيث تؤمن الأنابيب الزجاجية المفرغة شتاءا

درجات الحرارة من ٤٠ إلى ٥٥ درجة مئوية بينما تصل درجات الحرارة في بقية الفصول إلى درجات أعلى .

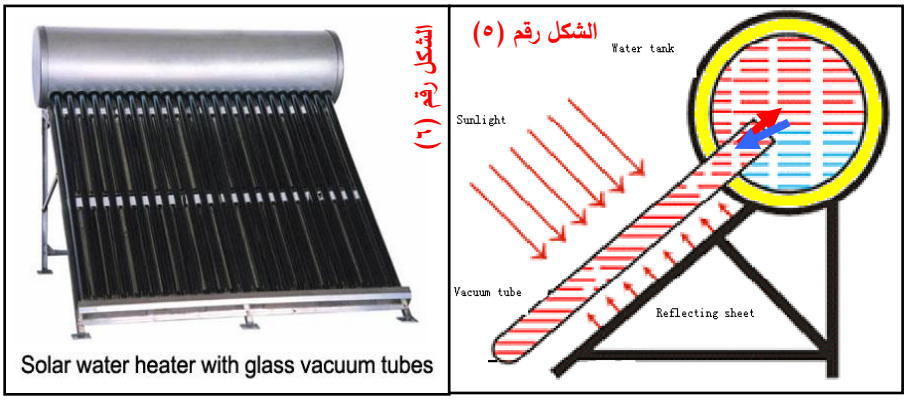
٢-ما هو السخان الشمسي المنزلي ذات الأنابيب المفرغة:

تصنف السخانات الشمسية المنزلية ذات الأنابيب المفرغة إلى :

٢-١- أجهزة منزلية ضغط منخفضNon-Pressure Series :

وهي أجهزة بسيطة ذات أداء عالي يتم التحكم بها بواسطة مايكرو كمبيوتر مرافق. سهلة التركيب و الاستخدام ولا تحتاج إلى صيانة و لاتتأثر بالمياه الكلسية مهما كانت قساوتها و ذات حجم صغير نسبيا و يمكن تركيبها على جميع أنواع الأسقف المستوية منها و المائلة. ومتوفرة بعدة قياسات:

تعتمد هذه الأجهزة على الأنبوب الزجاجي الشمسي المفرغ لتسخين الماء داخل اسطوانة (الخزان الحراري) يكون متصل مباشرة معه ، يتحرك الماء داخل الأنبوب الزجاجي بفعل فرق الكثافة بين الماء البارد و الساخن و الناجم عن فرق درجات الحرارة ،حيث يسخن الماء البارد داخل الأنبوب و يرتفع بشكل آلي إلى الأعلى بمبدأ الحمل الحراري (نظام الثيرموسيفون) كما هو موضح بالشكل رقم (٥) ، تثبت الأنابيب المفرغة بالخزان الحراري عن طريق جوانات من السليكون الحراري الصحي الخاص على قاعدة تؤمن الميل اللازم للأنابيب ،ليكون شكل السخان و الذي يسمى بالسخان المنزلي ، كما هو موضح بالشكل رقم (٦) .



و من مزايا هذا النوع من السخانات :

رخص الثمن لعدم الحاجة إلى الأنابيب النحاسية الحرارية و المجمعات الشمسية الخاصة .

الحجم الصغير و عدم الحاجة للمضخات و السخانات الحرارية المنفصلة .

يمتزج ماء التعويض البارد باستمرار مع ماء التسخين ، مما يعطي درجة حرارة متجانسة تقريبا على كامل الخزان، و هذه تعتبر ميزة ايجابية صيفاً تمنع ارتفاع درجة الحرارة في الخزان إلى درجات حرارة

عالية و ذلك لمنع التكلس في شبكة التمديدات الصحية للماء داخل المنازل ، انظر بروفيل درجة الحرارة و خارطة السرعة في الشكل رقم (٧)، من الشكل نشاهد أن العلاقة المتبادلة بين السائل داخل الأنبوب والخزان تشير إلى أن الدوران الطبيعي للماء في الأنابيب الزجاجية المفرغة الماصة عالي جداً و يجبر الماء في الخزان إلى أن يكون بحالة مزج كلية.

الشكل رقم (٧)

إمكانية تزويد السخان بجهاز تحكم صغير (قارئ ، أو ماكرو كمبيوتر) لمعرفة سوية و درجة الحرارة في الخزان بشكل مستمر ، كما يمكنه التحكم بكمية الماء في الخزان حسب حالة الطقس و الحاجة إلى الماء الساخن و بذلك يمكن توفير الماء الساخن على مدار العام ، و الأشكال التالية تبين نماذج من هذه السخانات ذات الضغط المنخفض و توصيلاته .

٢-١-١- باستخدام صمام التعبئة الآلي:

التحكم بكمية الماء مباشرة داخل خزان السخان الشمسي، تعبئة الخزان ٢٥% أو ٥٠% أو ٧٥% أو ١٠٠% و بعض الأجهزة ٢٠% أو ٥٠% أو٨٠% أو ١٠٠%.

يمكن التحكم بكمية الطاقة و درجة الحرارة اللازمة من السخان الشمسي .

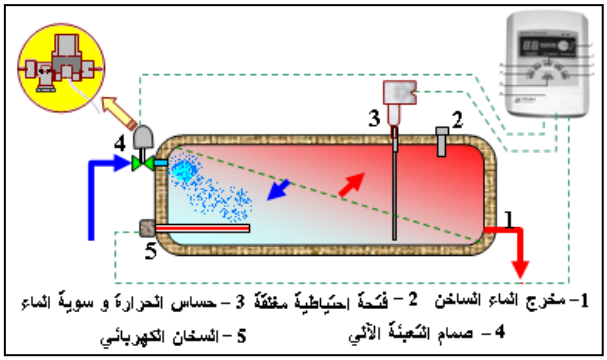
نستطيع ضمان الحصول على ماء ساخن دائماً و خاصة في الشتاء مهما كانت الظروف الخارجية (إشعاع شمسي و درجة الحرارة الخارجية).

تزويد الخزان بالماء البارد حين وصول درجة الحرارة داخل الخزان الشمسي إلى ٦٠ درجة مئوية لمنع التكلس و ذلك لحماية شبكة الأنابيب في المنزل من التكلس.

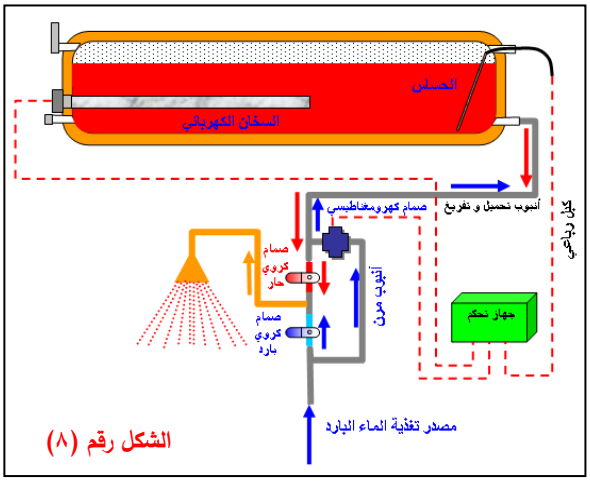
ضمان عدم تزويد السخان الشمسي بالماء البارد أثناء عملية سحب الماء الساخن و بالتالي تجنب سحب الماء البارد بدلاً من الماء الساخن.

التفريغ من الجهة المعاكس لعملية التزويد بالماء البارد.

الشكل التالي يبين حالة التوصيل .



Two pipes inlet – outlet



الشكل رقم (٨)

One Pipe inlet – outlet

٢-١-٢- خزان التعبئة الآلي:

١- يضمن خزان التعبئة الآلي أن يكون خزان السخان الشمسي مملوء ١٠٠% دائماً.

٢- إن فتحة التزويد للخزان الآلي أصغر من فتحة السحب للماء الساخن في خزان السخان و بالتالي يضمن هذا الفرق في الأقطار ، عدم سحب الماء البارد بدلاً من الماء الساخن أثناء الاستجرار للماء الساخن .

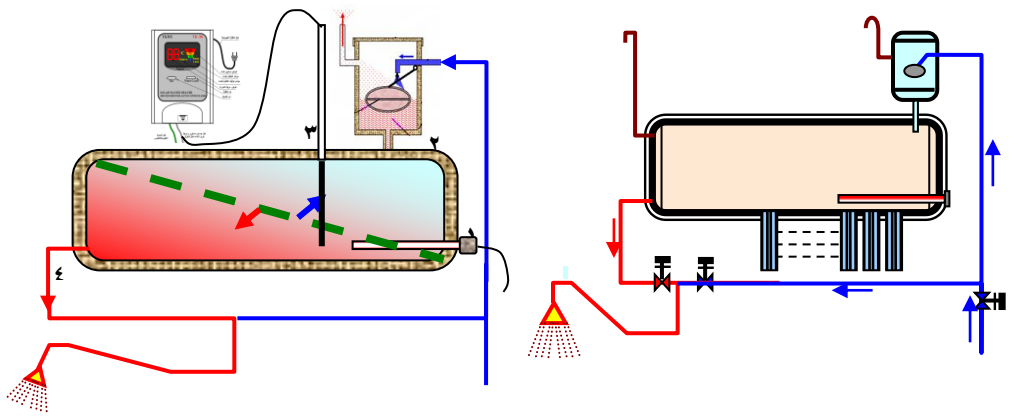
٣- يقوم خزان التعبئة الآلي بوظيفة كاسر للضغط و خزان تمدد للماء الساخن في السخان الشمسي، بالإضافة إلى كونه نفاس للهواء و البخار أيضاً.

٤- يساعد خزان التعبئة الآلي بضمان عدم ارتفاع درجة الحرارة في خزان السخان أكثر من ٦٠ درجة مئوية في فصل الصيف من خلال الاستخدام المتعقب أو المتقطع و ذلك لضمان منع التكلس .

٥- يجب الانتباه في فصل الشتاء بعدم استخدام الماء من السخان الشمسي إلا إذا كانت درجة الحرارة مناسبة و معقولة لتجنب حالة المزج و بالتالي انخفاض في درجة الحرارة داخل السخان الشمسي.

٦- التفريغ من الجهة المعاكس لعملية التزويد بالماء البارد .

٧- لا يحتاج السخان إلى ماكرو كمبيوتر من أجل التعبئة الآلي بل يمكن تركيب حساس مع جهاز قارئ لدرجات الحرارة عند الحاجة.



الشكل رقم (٩)

١- السخان الكهربائي. ٢- خزان التعبئة الآلي.٣- حساس و قارئ درجات الحرارة.
٤-مخرج الماء الساخن

٢-١-٣- التزويد المباشر للماء البارد:

ضرورة أن يكون التفريغ من الجهة المعاكس لعملية التزويد بالماء.

خزان السخان الشمسي مملوء ١٠٠% دائماً.

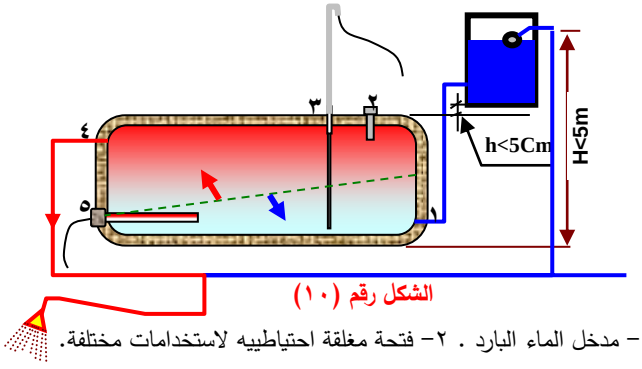
يجب الانتباه في فصل الشتاء بعدم استخدام الماء من السخان الشمسي إلا إذا كانت درجة الحرارة مناسبة و معقولة لتجنب حالة المزج و بالتالي انخفاض مفاجئ في درجة الحرارة داخل السخان الشمسي بسبب المزج .

الحساس يعمل كقارئ لدرجات الحرارة فقط .

النفاث يحتاج إلى تثبيت في حال كان طوله كبيراً.

يجب أن يكون : H<5m .

يفضل أن يكون : h<5Cm لضمان ثبات النفاس حراً .



الشكل رقم (١٠)

١- مدخل الماء البارد . ٢- فتحة مغلقة احتياطيه لاستخدامات مختلفة.
٣- نفاس وحساس قارئ لدرجات الحرارة .٤- مخرج الماء الساخن . ٥- السخان الكهربائي.

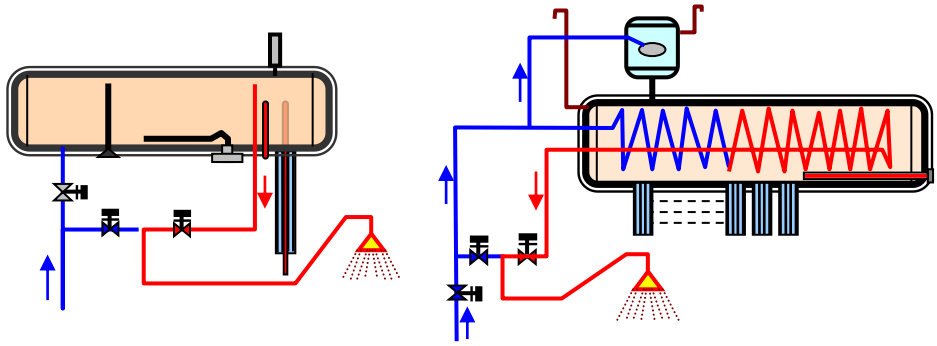
ملاحظة : يمكن أن تختلف أولوية و أفضلية أسلوب التزويد بالماء البارد وذلك حسب طبيعة و ظروف عملية استثمار الماء الساخن (عملية تفريغ السخان الشمسي).

٢-٢- أجهزة منزلية ضغط عالي:Pressure Series :

٢-٢-١- أجهزة منزلية ضغط عالي بمبادل حراريPre - heated solar water heater :

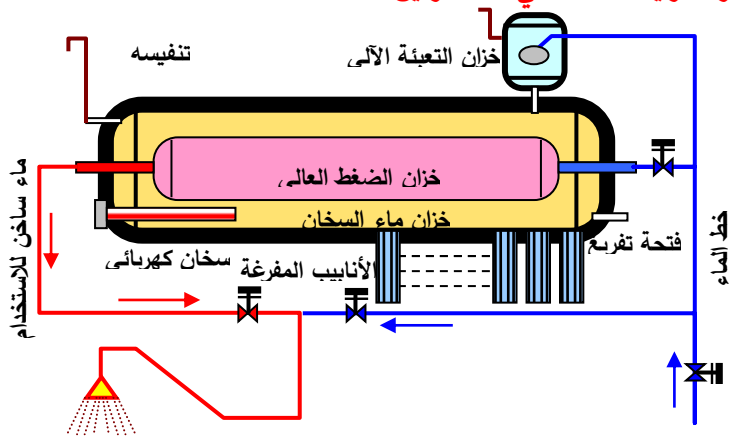
هذه الأجهزة عبارة عن الجهاز المنزلي السابق لكن مضاف إلى الخزان الداخلي مبال حراري نحاسي ذو جودة عالية، يستخدم هذا النوع من الأجهزة في حالات خاصة (الحاجة إلى ضغط أكثر من ٢ بار، وجود دارة مياه مغلقة circulation ، مزج الماء الساخن مع البارد بخط وحيد....الخ)

أجهزة منزلية ضغط عالي ذات الأنابيب الحرارية



الشكل رقم (١١)

٢-٢-٢- أجهزة منزلية ضغط عالي ذات خزانين Pressure Series: Double – tank :



الشكل رقم (١٢)

٣- جهاز التحكم الرقمي للسخانات الشمسية ذات الأنابيب الزجاجية المفرغة الدارة المفتوحة (السخان المنزلي):

يبين الشكل رقم ( ) صورة و مبدأ عمل أحد أنواع أجهزة التحكم بالسخانات المنزلية ذات النظام المذكور (سخانات الأنابيب الزجاجية الشمسية المفرغة المنزلية) ، و يتوفر في الأسواق المحلية العديد من الموديلات المتنوعة من هذه الأجهزة ، و تختلف بعضها عن بعض بالمهام و الوظائف التي تؤديها .

ملاحظات:

١- كل الخطوط الفرعية للخزانات يجب أن يكون لها نفس الطول

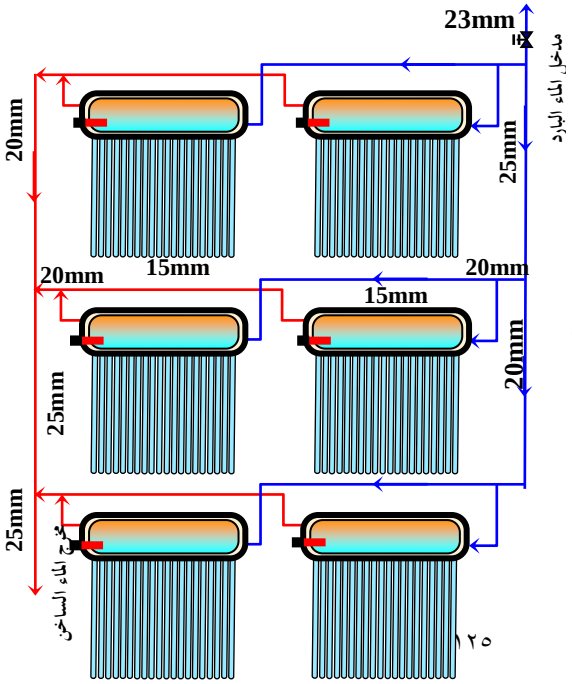
و الشكل الهندسي (الأقطار، الأكواع .....) .

٢- يجب أن يكون هبوط الضغط (ΔP) هو نفسه تقريباً لخط الماء البارد وخط الماء الساخن في الدارة .

٣-إذا كان هناك حاجة لتركيب المزيد من اللواقط ، يجب زيادة قطر الأنابيب إلى القياس التالي .

٤ - ٤-التوصيل النموذجي للنظام المتعدد الوحدات:

- الربط على التفرع.



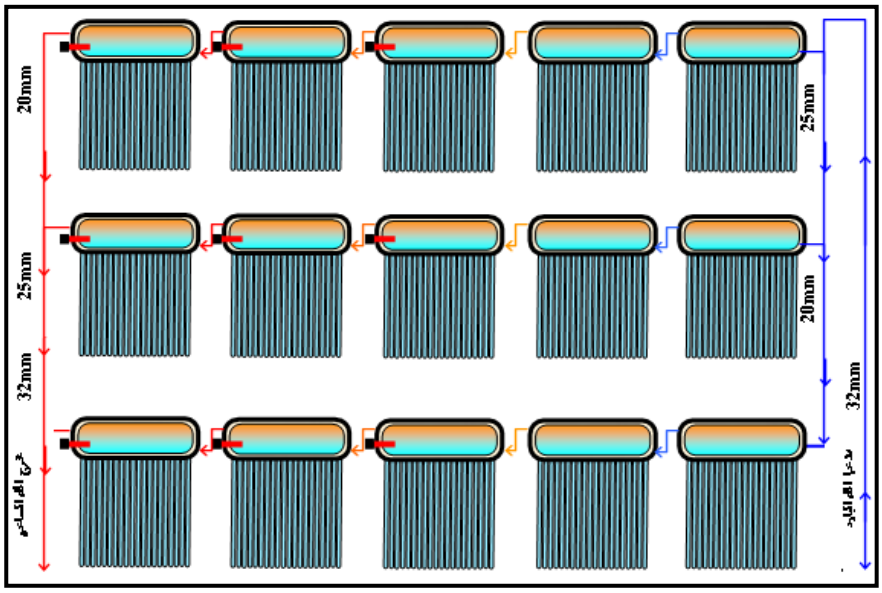
ملاحظات:

١- كل الخطوط الفرعية للخزانات يجب أن يكون لها نفس الطول و الشكل الهندسي (الأقطار، الأكواع .....) .

٢- يجب أن يكون هبوط الضغط (ΔP)
هو نفسه تقريباً لخط الماء البارد وخط
الماء الساخن في الدارة .

الشكل رقم (١٨)

٤-٥- توصيل نظام مختلط (تسلسل- تفرع):



الشكل رقم (١٩)

ملاحظات:

كل الأنابيب بقطر 20mm .

في هذا النوع من الربط أو (عند وصل ثلاثة لواقط أو أكثر على التسلسل) يجب أن تكون أقطار الدخول و الخروج للخزانات 3/4″≈20 mm

لا ينصح بتركيب أكثر من خمسة لواقط (20 أنبوب)كحد أقصى معاً على التسلسل

٥- للحصول على أعلى مردود من أنظمة الأنابيب الشمسية المفرغة :

يرجى إتباع القواعد التالية في كيفية التركيب :

١. يجب توجيه المجمعات الشمسية بحيث تستقبل الأنابيب أكبر مقدار من الأشعة الشمسية الساقطة خلال اليوم و بدون أي ظل عليها .

٢. الأنابيب الشمسية (السطح الماص) المطلية بالمادة الانتقائية يجب أن يكون موجها دوما للأعلى و موجها للجنوب قدر الإمكان .

٣. يمكن تركيب النظام الشمسي المذكور أعلاه وفق أي زاوية مناسبة بين ٢٥° و الوضع الشاقولي و ينصح بأن تكون زاوية الميل مساوية للعرض الجغرافي للمنطقة .

٤. عندما يكون الماء ذو نوعية قاسية ينصح باستخدام مبادل حراري و استخدام مواد خاصة تضاف للماء لملائمة خواصها للنظام .و إلا يجب تنظيف النظام بشكل منتظم .

٥. في المناطق التي يكون فيها محتوى الماء من أملاح الكلوريد أكثر من 40ppm يجب استخدام مبادل حراري في خزان الماء الساخن ، والنظام الشمسي يجب أن يزود بماء مقطر أو ماء خالي من الكلوريدات .

٦- ملاحظات تحذيرية في تركيب النظام:

١. كن متأكدا من وجود فراغ كافي بين المجمع و قمة السطح و ذلك لسهولة العمل عند تركيب الأنابيب .

٢. البس قفازات و نظارات عند العمل مع أنابيب الزجاج .

٣. لا تستعمل أي أداة حادة عند فتح الأغطية أو الصناديق لأن ذلك يمكن أن يخدش الزجاج مما يؤدي إلى إضعافه

٤. لا تخرج الأنابيب من علبها حتى تصبح جاهزا لتركيبها .

٥. يجب تركيب المجمع وأنابيب التوصيل و المضخة و كافة الإكسسوارات أولا قبل تركيب الأنابيب الزجاجية المفرغة .

٦. يجب تركيب الأجزاء الأفقية من الشبكة بشكل مائل قليلا و ذلك لتجنب تشكل الجيوب الهوائية .

٧. من الضروري عند تركيب المجمعات الشمسية و الأنابيب و خطوط الشبكة الأخذ بعين الاعتبار كل معايير الأمن و السلامة و إتباع توجيهات الجهات الوصائية المحلية .

و من أهم سلبيات تكنولوجيا الأنابيب الزجاجية المفرغة تحتاج إلى مهارة عالية في التركيب و التوصيلات و دقة في اختيار نوع النظام و الاستثمار (الدارة المفتوحة أو الدارة المغلقة ، و نوع ضغط التشغيل .) .

٧- مقارنة بين اللواقط المسطحة و الأنابيب الزجاجية المفرغة :

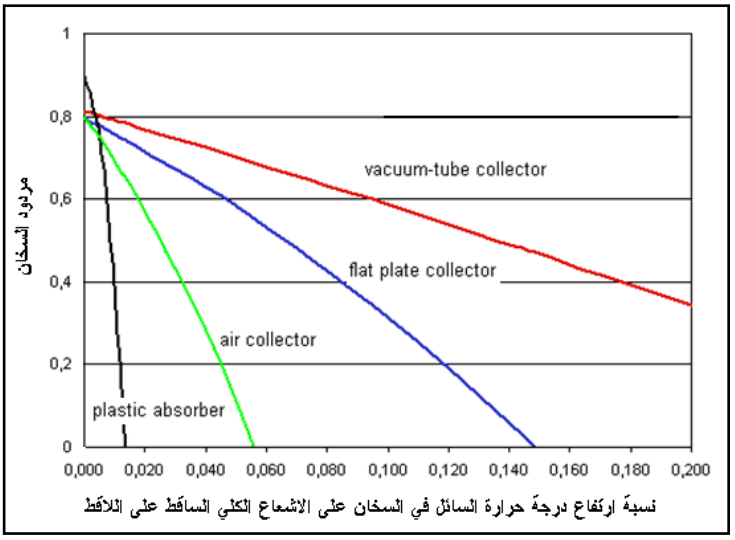
يبين الجدول رقم ( ) مقارنة بين اللواقط الشمسية التقليدية ذات الأسطح المنبسطة و اللواقط ذات الأنابيب الزجاجية المفرغة:

الجدول رقم ( )

اللواقط الشمسية ذات الأنابيب المفرغة	اللواقط الشمسية المسطحة (التقليدية)
فعالية عالية صيفا و متوسطة شتاءاً	فعالية متوسطة صيفا و متدنية شتاء

رد فعل سريع حين تعرضه للشمس	رد فعل بطيء جدا حين تعرضها للشمس
لا تتأثر بدرجات الحرارة الباردة و الرياح الشديدة	تنخفض كفاءتها مع وجود رياح و درجات الحرارة الباردة
تعمل في درجات حرارة تصل إلى سبع درجات تحت الصفر	تعاني من مشاكل التجمد حين تصل الحرارة إلى الصفر
لا تعاني من مشاكل التكلس	تعاني من مشاكل التكلس
لا يوجد هواء بين الزجاج و السطح الماص للإشعاع و بالتالي لا يوجد تكثف لبخار الماء	يمكن لبخار الماء أن يتكاثف على الأسطح الداخلية للزجاج مما يحجب أشعة الشمس
لا تتجمع الغبار على أسطحها بسبب الشكل الأسطواني لها	من السهل تجمع الغبار عليها لان أسطحها منبسطة
تصل درجة حرارتها إلى ١٥٠ درجة مئوية	لا تزيد درجة حرارة الماء فيها عن ٧٠ درجة مئوية .
تستخدم في التدفئة المنزلية و تدفئة البرك شتاء	ليست فعالة بشكل يمكن استخدامه في التدفئة
تصنيعها صعب و يجب إنتاجه بكميات كبيرة لتقليل الكلفة	تصنيعها سهل و غير مكلف و إن تم بكميات قليلة
دائما تكون الشمس عمودية على أجزاء من المقطع الدائري	الشمس عمودية فقط عند الظهيرة

يظهر الشكل رقم (١٨) مخطط المردود كتابع لمقدار الزيادة في درجة الحرارة للسائل المار في اللاقط على الأشعة الشمسية الساقطة على السخان الشمسي لعدة أنواع من اللواقط .



مثال :سكن طلابي في مدينة تدمر مع مطعم ،عدد الطلاب ٢٦٥ ، حاجة كل طالب من الماء الساخن ٣٠ ليتر ماء ساخن في اليوم في مبنى السكن ، وحاجة كل طالب إلى ٤ ليتر ماء ساخن في المطعم

الحاجة الكلية في مبنى السكن يساوي إلى : $265\times30=7950lit$

الحاجة الكلية للماء الساخن في المطعم = حاجة كل طالب للغسيل + مقدار الاستهلاك للجلي

$$265\times4+2400=3460lit$$

تقدر استهلاك كل صنبور ماء للجلي من الماء الساخن بـ ١٢٠٠ ليتر

تقدر درجات الحرارة التصميمية : للبارد بـ ١٤ درجة مئوية و للساخن بـ ٦٠ درجة مئوية .

كمية الحرارة اللازمة للتسخين في مبنى السكن:

$$Q = M \times C_P \times \Delta t$$
$$Q = 7950 \times 4.18 \times (60-14)$$
$$Q = 1528626kJ = 365700kcal$$

كمية الحرارة اللازمة للتسخين في المطعم:

$$Q = M \times C_P \times \Delta t$$
$$Q = 3460 \times 4.18 \times (60-14)$$
$$Q = 665288kJ/day = 159160kcal/day$$

شدة الاشعاع الشمسي الوسطي السنوي في تدمر ١٩٩٥ كيلواط لكل متر مربع

وبالتالي تقدر القيمة الوسطية للإشعاع الشمسي في اليوم الواحد بـ :

$$1995.4 \div 365 = 5.466kW/m^2$$

ناخذ عامل تصحيح من الاشعاع الافقي إلى الاشعاع المائل

الاشعاع المائل = الاشعاع الافقي × ١,٢٢٢

$$5.466\times1.222=6.679\frac{kW}{m^2.day}$$

مردود السخان الشمسي الوسطي =٦٥ %

كمية الطاقة الشمسية الوسطية المستفادة من الطاقة الشمسية = ٠,٦٥ × ٦,٦٧٩ =٤,٣٤١ كيلو واط لكل متر مربع في اليوم

مساحة اللواقط = الطاقة اللازمة للتسخين على الطاقة المستفادة من الإشعاع الشمسي من واحد متر مربع في اليوم :

$$A = \frac{1528626}{6.679}$$

الطاقة التي توفرها المجمعات الشمسية لتسخين الماء = كمية الاشعاع × الكفاءة السخان × مساحة حقل اللواقط

$$(6679\frac{W-h}{m^2.day} \times \frac{J}{W.S} \times \frac{3600.S}{h}) \times 0.65 \times A_1(m^{2)} = 1528626000\frac{J}{day} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A_1 = 97.8m^2$$

$$(6679\frac{W-h}{m^2.day} \times \frac{J}{W.S} \times \frac{3600.S}{h}) \times 0.65 \times A_2(m^{2)} = 665288000\frac{J}{day} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A_2 = 42.56m^2$$

حساب حمل التسخين الشهري للماء من خلال الطاقة الشمسية :

$$Q_W = N.N_p.V_p.\rho.C_p.(T_W - T_{in})$$

QW – حمل التسخين الشهري .

Np – عدد الأشخاص .

N – عدد الأيام في الشهر .

Vp – حجم الماء الساخن الذي يحتاجه كل شخص في اليوم (40-60lit/day) .

ρ– كثافة الماء kg/liter .

Cp – الحرارة النوعية للماء 4.187(kJ/kg.K)

Tw – أدنى درجة حرارة مقبولة للماء الساخن 60C .

Tin – درجة حرارة ماء التغذية (11-17C)