

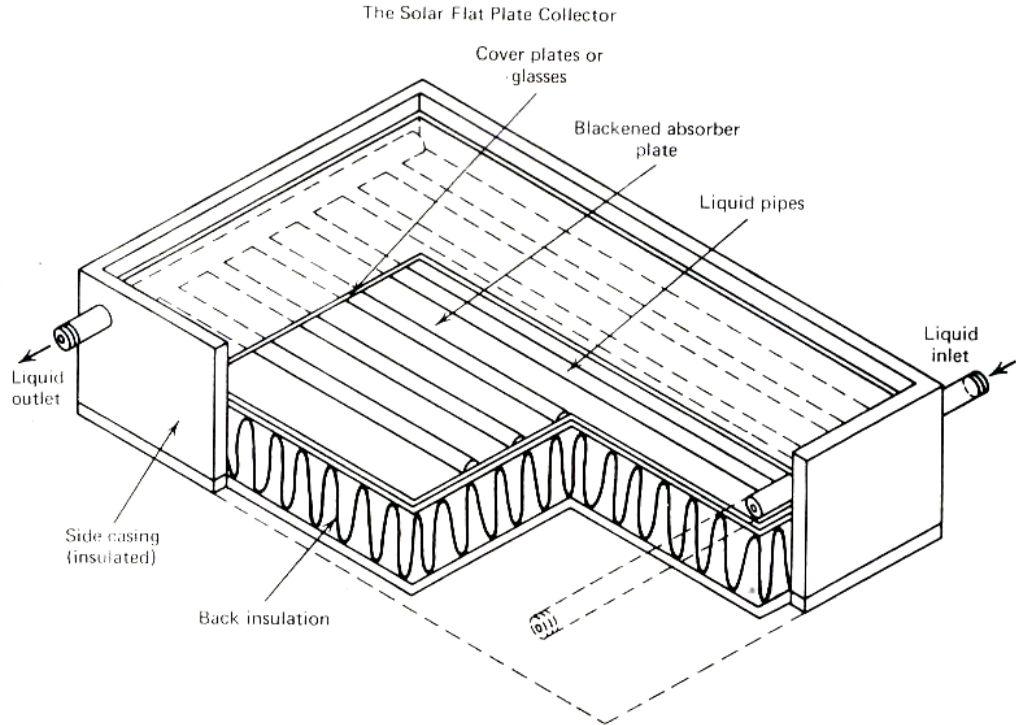
## الفصل الثاني

### 2-1 المجمعات الشمسية Solar Collectors

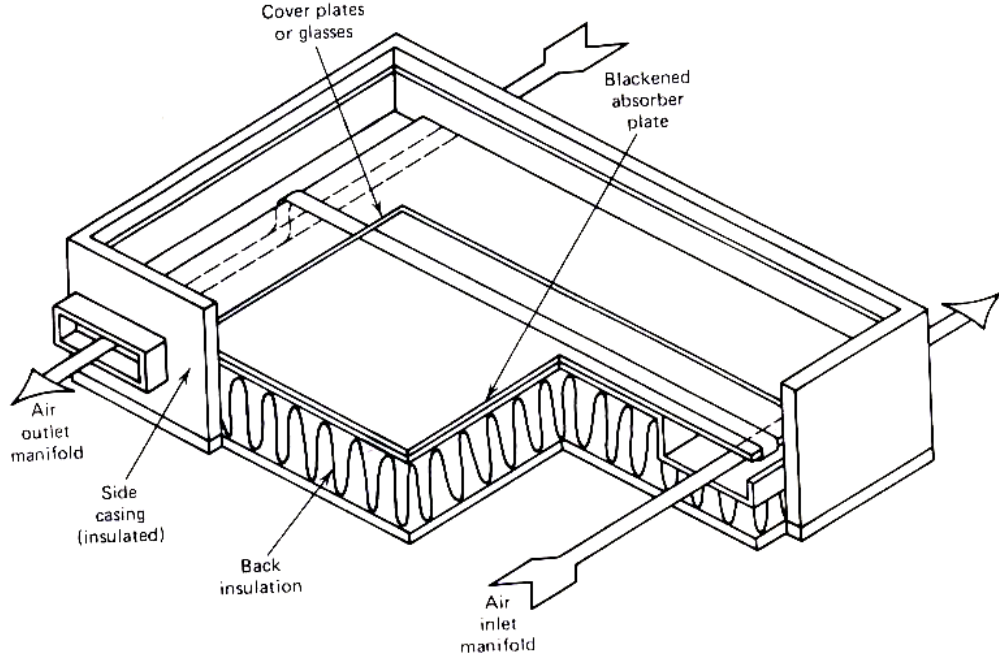
وهي عبارة عن تقنية الاستفادة من طاقة الاشعاع الشمسي وتحويلها الى طاقة حرارية تنتقل الى المائع . والهدف منها هو لتجميع اقصى كمية من الطاقة الشمسية بكلفة قليلة وتكون على ثلاثة انواع رئيسية:

#### 2-1-1 المجمعات الشمسية المستوية Flat Plate Solar Collector

تصمم هذه المجمعات للحصول على درجات حرارة متوسطة بحدود 100 م° وهي بسيطة وتستخدم بشكل واسع لتحويل الاشعة الشمسية الى طاقة حرارية مفيدة وهي اما ان تستخدم لتسخين الماء او الهواء . ويوضح الشكلان (2-1) و (2-2) مجمعان شمسيان الاول منهما يستخدم لتسخين الماء والآخر لتسخين الهواء .



شكل (2-1): مجمع شمسي يستخدم لتسخين الماء. (Lunde, 1980)



شكل (2-2): مجمع شمسي يستخدم لتسخين الهواء. (Lunde ,1980)

### صفائح الغطاء Cover Plates

كل مادة عندما تتعرض الى الضوء فانها يمكن ان تبعث وتعكس او تمتص الضوء ويمكن كتابتها وفق المعادلة الاتية:

$$\tau + \rho + \alpha = 1 \dots \dots \dots (2-1)$$

حيث ان  $\tau$  تمثل الانفاذية  $transmissivy$  و  $\rho$  الانعكاسية  $reflectivity$  و  $\alpha$  تمثل الامتصاصية  $absorbtivity$ .

هذه المعادلة صحيحة لاي طول موجي من الضوء سواء الأطوال الموجية الناتجة عن الشمس او عن صفيحة الامتصاص. ان المادة يجب ان يكون لها انفاذية عالية لتكون مفيدة في هذا المجال مثل غطاء المجمع الشمسي وان انعكاسيتها وامتصاصيتها يجب ان تكون قليلة .

انعكاسية المواد الشفافة  $transparent$  او الشبه شفافة  $translucent$  تعتمد على معامل الانكسار  $reflective index$  وزاوية السقوط  $incidence angle$  المتكونة

بين الاشعاع القادم والخط العمودي على السطح النفاذ للاشعة . عندما زاوية السقوط تساوي صفر درجة للسطح المفرد فان:

$$\rho = \left( \frac{n-1}{n+1} \right)^2 \dots\dots\dots (2-2)$$

حيث  $n$  يمثل معامل الانكسار وقيمتة بالنسبة للزجاج المستخدم في المجمعات الشمسية هي 1.53 ، لذلك فان الانعكاسية تساوي 0.044 وهذا يعني ان 4.4 % تكون منعكسة عند السطح و 8.8 % تكون منعكسة بمرورها خلال صفيحة الزجاج المفردة وهذا الفقد ذو اهمية بالغة وخصوصا عندما يستخدم عدة اغطية زجاجية. الفقدان الناتج عن الانعكاسية يزداد بصورة بطيئة عندما تزداد زاوية السقوط وتتضاعف الى حوالي 18 % (لكلا السطحين) عندما يسقط الضوء بزاوية 30 درجة على السطح الانفاذي.

هنالك طرق لتقليل الفقدان الناتج عن الانعكاسية من الزجاج والمواد الاخرى وهي عندما يغطي الزجاج بطبقة رقيقة بمادة ثنائية *dielectric* نفاذة للضوء ويطلق بسمك مقداره عدة مايكرونيات او اكثر فان الفقدان الناتج عن الانعكاسية سينخفض وحسب المعادلة الاتية:

$$\rho = 1 - \frac{4n_1n_2}{(n_1^2 + n_1)(n_1 + 1)} \dots\dots\dots (2-3)$$

مع ملاحظة اذا كان  $n_2 = n_1$  فان النتيجة تصبح نفس نتيجة المعادلة (2-1) . بينما اذا كان  $n_2 = \sqrt{n_1}$  فان الانعكاسية ستكون اقل وتصبح 2.2 % . كما يمكن تخديش الزجاج بالحامض *etching* لتقليل نسبة الانعكاس الى حوالي 2 % . او يستخدم البلاستيك الشفاف كغطاء للمجمعات الشمسية.

ان امتصاصية الزجاج للاشعاع الشمسي قليلة وكذلك الهواء والماء وامتصاصية البلاستيك تقع بينهما . تعتمد قابلية الامتصاص على معامل الاضمحلال *extinction coefficient* والاخير يعتمد على كمية اوكسيد الحديد الموجود في الزجاج حيث عند زيادته تزداد امتصاصية الزجاج للاشعة ويكون لون الزجاج مخضر عند الجوانب . والزجاج الاعتيادي يمتص حوالي 5 - 10 % من

الضوء المؤثر . الزجاج نوع *smok – colored* المستخدم بشكل واسع في المباني، وزجاج الامتصاص الحراري *heat absorbing glass* يمتص اشعة اكثر. اذا كان محتوى الزجاج من اوكسيد الحديد قليل بحدود 0.05 % سوف يفقد فقط حوالي 2.5 % من الضوء النافذ حيث يتم امتصاصه من قبل الزجاج . اما في الزجاج نوع *water – white* فان كمية اوكسيد الحديد فيه 0.01 % فان ماينفذ من خلاله 91.4 % من اشعة الشمس. لذا يجب ان يستخدم الزجاج الذي محتواه من اوكسيد الحديد قليل .

يبين جدول (2-1) خصائص الزجاج الذي يمكن استخدامه في المجمعات الشمسية . ان انفاذية الزجاج الابيض *white glass* هي حوالي 91 % ويمكن ايجاد الانفاذية باعادة ترتيب المعادلة (1-1) وكالاتي:

$$\tau = 1 - \rho - \alpha \dots \dots \dots (2 - 4)$$

جدول (2-1) : خصائص الزجاج.

نوع الزجاج			الخاصية
Water white	Sheet lime	Ordinary float	
0.01	0.05	0.12	نسبة محتواه من اوكسيد الحديد
1.5	1.5	1.52	معامل الانكسار
91.6 – 91.2	99 – 88	88 – 79	نفاذ الضوء %
0.21875 – 0.125	0.1875 – 0.125	0.125 – 0.25	سمك الزجاج (انج)
8	8 – 8.1	8 – 8.2	نسبة الفقدان بسبب الانعكاس
تحت 1.0	4 – 3	13 – 8	نسبة الفقدان بسبب الامتصاص

Lunde , (1980)

تقل انفاذية الزجاج عند ازدياد زاوية السقوط وتهبط بحدة عند زيادتها عن 45 درجة ، كما ان تاثير سمك الزجاج او احتوائه على كمية من ايون الحديد يكون مهما

بالنسبة للمجمعات المستوية وذلك لانها تستفيد من بعض الاشعاع في الصباح الباكر او المساء وتجمع ايضا الاشعاع المنتشر في الايام الغائمة. الزجاج يسمح للاشعة ذات الاطوال الموجية القصيرة التي هي اقل من 2.5 مايكرومتر بالمرور خلاله ويمنع مرور الاشعة ذات الاطوال الموجية الطويلة التي هي اكبر من 2.5 مايكرومتر من المرور خلاله. لذلك فانه يمتلك صفة الانتخابية حيث يسمح بانفاذ الاشعة الشمسية ذات الاطوال الموجية القصيرة ويمنع الاشعة الحرارية المنبعثة من صفيحة الامتصاص ذات الاطوال الموجية الطويلة بالمرور خلاله.

هنالك مواد اخرى يمكن استخدامها بدلا من الزجاج مثل البلاستيك الشفاف و البولي كاربونيت *polycarbonate* ويسمى تجاريا *lexan* وكذلك *acrylic* ويسمى تجاريا *lucite* و *plexiglass* الا ان الاخير له نقطة ذوبان قليلة ولهذا لاينصح باستعماله . ويستخدم ايضا ال *tedler* ولكن ليس في داخل المجمع لانه يتمدد بسبب الحرارة العالية. ويستخدم ايضا *polyfluocarbon* . ويعتبر التفلون *Teflon* عملي في استخدامه وخصوصا في الجزء الداخلي والمواجه لصفيحة الامتصاص. كما يمكن استخدام الكريستال الشفاف وهو يشبه الزجاج ويستخدم بسبك 0.25 ملم وكذلك استخدام *fiber glass sheet* .

### صفيحة الامتصاص *Absorber plate*

المواصفات البصرية لصفيحة الامتصاص لها اهمية كبير على الكفاءة عندما يسقط الضوء على المجمع الشمسي وتتجمع كطاقة حرارية . ان السطح يشع اطوال موجية حرارية تحدد فقد الاشعاع المباشر والتي تكون عالية في المجمعات الشمسية حتى بوجود الغطاء الزجاجي المستخدم لتقليل الفقد الحراري العلوي بسبب كبر مساحة السطح.

السطح يعكس مرئيا وبالقرب من الاشعة تحت الحمراء الحرارة الممتصة وبسبب العتمة الكبيرة فان صفيحة الامتصاص لاتبعث ضوءا لذلك فان المعادلة (1-1) تصبح:

$$\rho + \alpha = 1 \dots\dots\dots (2-5)$$

إذا حصل هنالك امتصاص وانعكاس فقط للإشعاع الساقط على صفيحة المجمع الشمسي والامتصاصية تكون منتخبة . هنالك اصطلاح اخر يسمى بالانبعاثية *emissivity* وهي انبعاثية السطح عند الاطوال الموجية للإشعاع الحراري المتكررة والناجمة من امتصاص الإشعاع الشمسي.

يستخدم الكربون الاسود *carbon black* لطلاء صفيحة الامتصاص لانه اسود قاتم ورخيص ومعمر تماما وهو ممتص جيد للإشعاع لكنه ليس انتقائيا حيث الامتصاصية والانبعاثية له 0.95 الى 0.98 . عند الطلاء بطبقة رقيقة جدا يتراوح سمكها 0.05 – 0.1 mil ومن المؤكد الصبغات *pigment* تصبح نفاذة للإشعة الحرارية ذات الموجات الطويلة . ان عملية الطلاء تجعل صفيحة الامتصاص ذات امتصاصية عالية وانبعاثية منخفضة ويكون السطح انتقائي. والافضل هو استخدام مخاليط مختلفة من *calciend oxidase* والكروم والنحاس والحديد والمنغنيز ولهذا فان الخواص البصرية كانت الامتصاصية 0.92 والانبعاثية 0.1 الى 0.13 وهذا له فوائد عملية كبيرة.

تستخدم أسطح الامتصاص الانتقائية لتقليل الفقد الحراري الإشعاعي وهي عبارة عن طلاء المعدن الاساس بطبقة رقيقة من اوكسيده او احد الفلزات الجيدة الامتصاص وقليلة الانبعاثية مثل طلاء الفضة باوكسيد الفضة والصلب المطلي باوكسيد الفضة والنحاس المطلي باوكسيد النحاس.

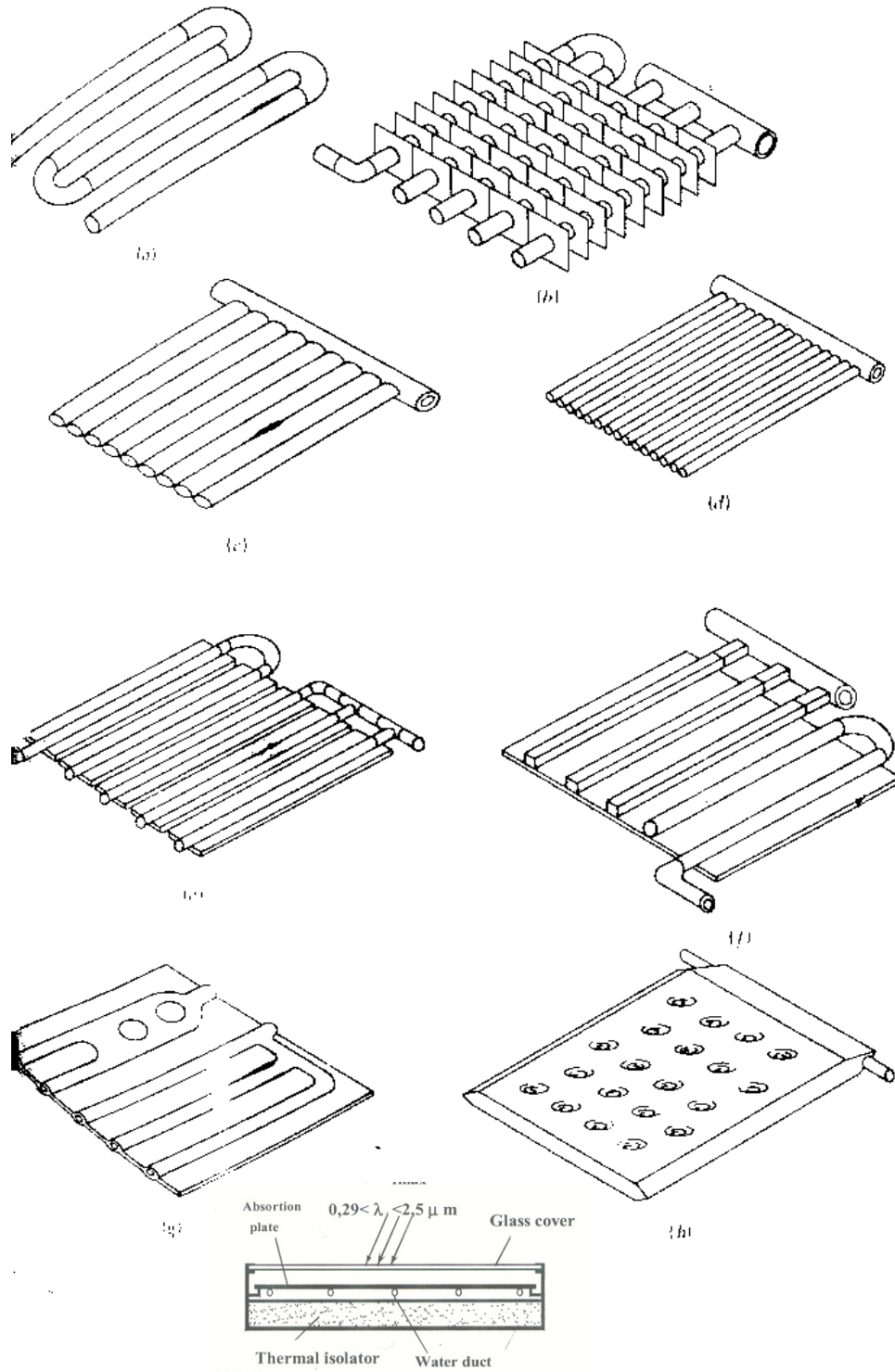
استخدام طبقتين من النيكل الاسود للطلاء الذي يحتوي على الكبريت والزنك ايضا ينتج سطح انتقائي يتميز بان امتصاصيته 0.96 وانبعاثيته 0.07. كذلك استخدام الكروم الاسود *black chrome* للطلاء وينتج صفيحة مطلية بالنيكل *nichel – plated steel* ، او النحاس حيث يعطي سطح انتقائي جيد . وهذا الطلاء مقاوم للرطوبة وهو اسهل عمليا من استخدام طبقتين من النيكل الاسود وامتصاصيته 0.95 وانبعاثيته 0.1. ان صفائح الامتصاص اما ان تكون مسامية *porous absorber* مثل المشبك السلكي *wire mesh* وخلايا النحل *honey comb* والالواح الزجاجية المتداخلة على التوالي لتصنع مساحات متساوية *air*

*overlapped glass plate heater* والنوع الثاني هو ذات سطوح امتصاص غير مسامية مثل استخدام قنوات الهواء بأشكال مختلفة . وكما هو ملاحظ في الشكل 3 الذي يبين مرور المائع المستخدم لازالة الحرارة المتجمعة في جزء الامتصاص . ان التصميم من  $h - a$  تستخدم مع السوائل بينما التصميم  $k - I$  هي اكثر عملية مع الهواء.

هنالك علاقة بين عمق القناة وطولها بالنسبة للمجمعات الشمسية التي تعمل بالحمل الطبيعي حيث ان عمق القناة يتراوح بين  $15/1 - 20/1$  من طول القناة وهذا يعطي حركة دايناميكية للهواء مرغوب بها.

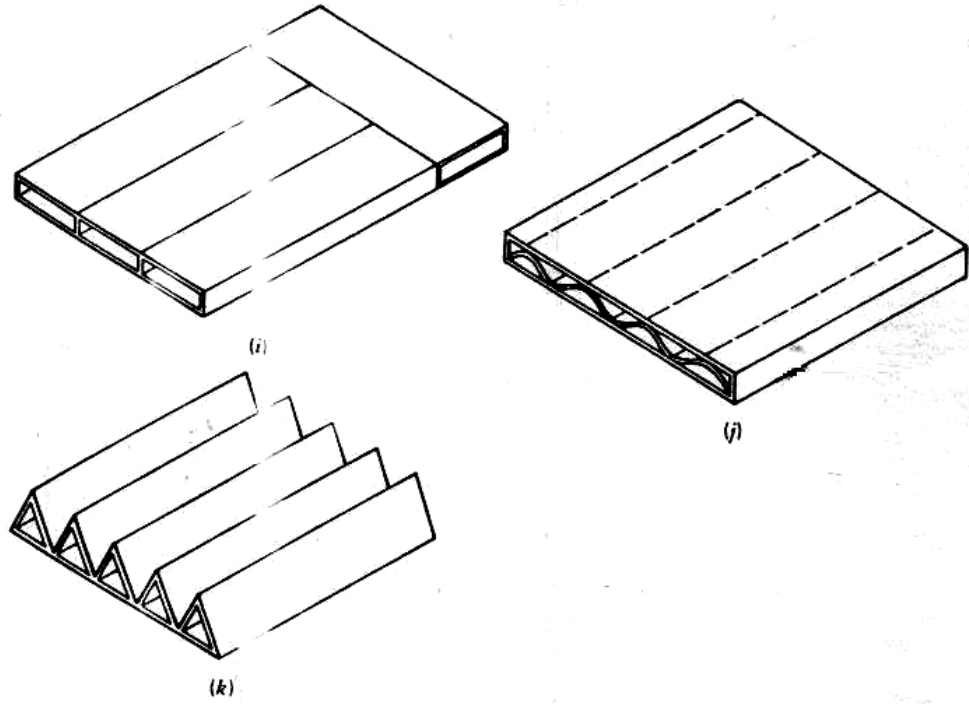
صفحة الامتصاص يجب ان تصنع من مواد موصلة مثل النحاس او الالمنيوم وعادة تكون بسمك قليل وكتلتها ليست كبيرة . يوضح الشكل (3-2) اشكال واوضاع صفحة الامتصاص في المجمع الشمسي وان اضافة الصفحة المثقبة على شكل شبكة اعطت زيادة في درجة الحرارة بمقدار  $3.9^{\circ} \text{C}$  اعلى من التعرض للشمس بصورة كاملة . كما انها تفوقت على صفحة الامتصاص الاعتيادية المستخدمة في المجمعات الشمسية كما هو موضح في شكل (4-2) ولكن هذا الاختلاف قد ينخفض اذا استخدمت الصفحة من الالمنيوم أو النحاس بدلا من الحديد.

وعند تصنيع صفحة الامتصاص من الحديد المغلون واستعمالها في المجمع ادت الى زيادة درجة الحرارة بحدود  $3.6^{\circ} \text{C}$  اعلى من الصفحة الالمنيومية المشبكة ، كما ان زيادة عدد طبقات المشبك المعدني تؤدي الى زيادة قليلة في درجة الحرارة . والافضل هو استخدام المشبكات مع وجود صفحة الامتصاص الاعتيادية لانه يعطي درجة حرارة اعلى مما لو استخدمت المشبكات مفردة . كما ان استخدام صفحة الامتصاص مع المشبك على شكل حرف U لم يفرق معنوياً مع استخدام صفحة مفردة في منتصف المجمع.

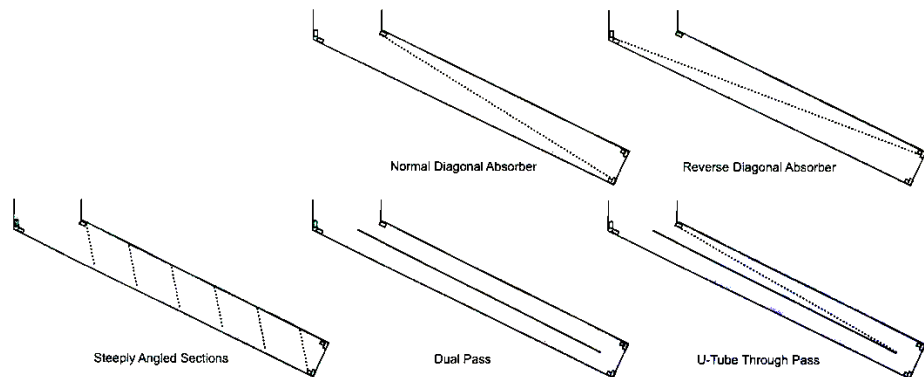


شكل (2-3): أنواع صفائح الامتصاص المستخدمة لتسخين المياه (Lunde, 1980), (Gomes *et al.*, 1995)

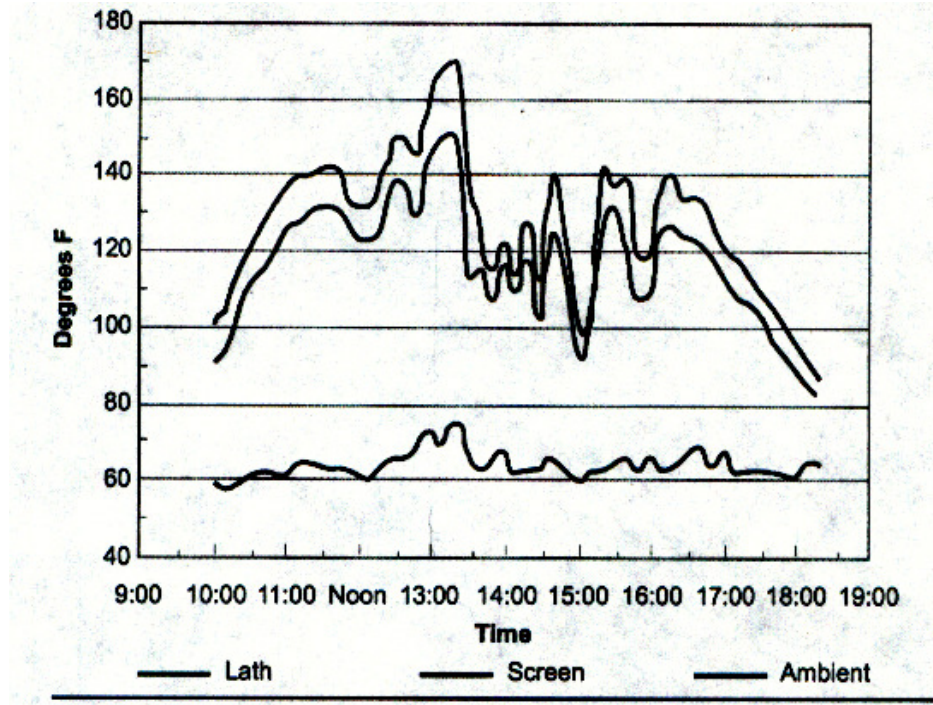




شكل (2-4): أنواع صفائح الامتصاص المستخدمة لتسخين المياه

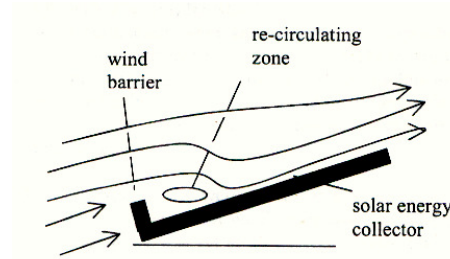


شكل (2-5): أشكال وأوضاع صفيحة الامتصاص في المجمع الشمسي.  
(Scanlin, 1997)



شكل (2-6): درجات الحرارة خلال ساعات النهار لأنواع مختلفة من صفائح الامتصاص (Scanlin, 1997)

استخدم *Fico* و *Goms* طريقة لتقليل فقد الطاقة من المجمع الشمسي من خلال اضافة مصد او حاجز للرياح *wind barrier* يحيط به. كما في شكل (2-7) ويلاحظ من الجدولين (2-2) و (2-3) ان زيادة ارتفاع المصد يؤدي الى زيادة النسبة المئوية لانخفاض الفقد الحراري، وخصوصا عندما يكون الارتفاع 14 سم او اكثر. واستخدم مروحة متغيرة السرعة في التجربة لتمثيل حركة الرياح ودرس سرعة الرياح وارتفاع المصد على نسبة انخفاض فقد الطاقة والاخيرة ازدادت بزيادة سرعة الرياح وارتفاع المصد وهذه النسبة تكون اعلى مما لو استخدم غطاءين زجاجيين. وكما هو موضح بالجدولين (2-2) و (2-3).



شكل (2-7): استخدام المصد في المجمع الشمسي.  
(Gomes et al.,1995)

جدول (2-2): انخفاض الفقد الحراري نتيجة الحمل القسري خلال السطح العلوي من المجمع . سرعة الريح 0.5 م/ثا ، الفرق بين درجة الدخول والخروج 30 م° . (Gomes et al.,1995)

ارتفاع المصد			زوايا ميل المصد (درجة)
(سم)			
30	15	0	
3.4	0.9	2	
3.4	1.8	4	
18.7	18.2	14.3	
27.1	23.6	20.4	
32.2	29.1	26.5	

جدول (2-3): مقارنة لانخفاض الفقد الحراري بواسطة المصد وطبقتين من الزجاج. (Gomes et al.,1995)

النسبة المئوية للفقدان الحراري (%)			سرعة الريح
			(م/ثا)
ارتفاع المصد	ارتفاع المصد	استخدام	
14 سم	22 سم	غطائين	
زجاجيين			
5.7	12.9	3.2	2
5.8	10.2	2.2	4
6	9.9	6	5
7.1	11.5	2.6	6
8.2	11.4	1.9	8

### العازل *Insulator*

يستخدم العازل لمنع تسرب الحرارة من المجمع الشمسي و مقدار العزل يتراوح بين 5 - 15 سم او اكثر تحت صفيحة الامتصاص وعلى الجوانب وبعض الباحثين وجد ان مقدار سمك العزل من الجوانب يساوي نصف سمك العزل من الاسفل . والمواد المستخدمة هي الفايبر كلاس *fiberglass* والصوف الصخري *rock batts* والصوف الزجاجي والبولي ستايرين *polystyren* و *polyurethen foam* وايضا نشارة الخشب.

### نصب المجمع الشمسي *Solar Collector Setup*

يصنع هيكل المجمع الشمسي في الغالب من الخشب وبعض الاحيان من الالمنيوم وفي حالة الاخير تستخدم حشوات من المطاط لتثبيت الزجاج عليه ويوضع في اسفله وفي الجوانب المادة العازلة ثم يغلف العازل بالخشب او الالمنيوم وحسب مامتوفر ثم توضع صفيحة الامتصاص ذات اللون الاسود غير اللامع وحسب التصميم المستخدمة مسبقا وحسب الغاية من المجمع أي انه يستخدم لتسخين الماء او الهواء . ثم تترك فجوة هوائية بين صفيحة الامتصاص والزجاج وكما مر ذكره وقد تستخدم طبقة واحدة او اكثر من الزجاج ويزود المجمع بفتحة لدخول الهواء البارد واخرى لخروجه واذا كان الهدف منه تسخين الهواء اما اذا كان الهدف منه تسخين الماء فيوجد انبوب لدخول الماء البارد واخر لخروج الماء الساخن.

عند نصب المجمع الشمسي فانه يجب ان يكون باتجاه الجنوب ويميل بزاوية مقدارها 15 درجة مضافا اليها قيمة خط عرض المنطقة المنصوب بها شتاءً . اما صيفا فيطرح من قيمة خط العرض 15 درجة. لكي تكون الاشعة الشمسية عمودية على سطح المجمع الشمسي.

### طريقة عمل المجمع الشمسي

عندما تسقط اشعة الشمس على سطح المجمع الشمسي فان قسم قليل منها سينعكس واخر يمتص والقسم الاكبر منها ينفذ عبر الزجاج الى صفيحة الامتصاص فتقوم

الاخيرة بامتصاص الطاقة الشمسية التي بدورها تبعث اشعاعات بموجات طويلة حسب درجة حرارتها . وان وجود الغطاء الزجاجي يمنع الاشعاعات بالموجات الطويلة من المرور خلاله مما يؤدي الى حصر الطاقة في المجمع الشمسي وبالتالي تسخين صفيحة الامتصاص بشكل اكبر وتنتقل الحرارة منها الى المائع الموجود فيها (هواء او ماء) وبالتالي يمتص هذا المائع الحرارة منها ويتمدد ويزداد حجمه ويرتفع نحو الاعلى بسبب انخفاض كثافته هذا بالنسبة للمجمعات التي تعمل بالحمل الطبيعي اما التي تعمل بقوة قسرية أي تحريك الماء او الهواء بفعل مضخة او مروحة فان الحركة للمائع تكون اسرع وانتزاع الحرارة يكون افضل مما ينعكس ايجابا على الكفاءة وبالتالي يمكن الاستفادة من الهواء في عمليات التجفيف والتدفئة وغيرها ومن الماء في عملية التسخين والبسترة والتعقيم وغيرها.

## 2-1-2 حساب الطاقة الممتصة *Absorbed Energy*

تحسب الطاقة الممتصة بتتبع الخطوات الآتية المبينة من قبل Duffie & Bekman (1980)

### حساب الانعكاسية: *Reflectance*

أشار Whillier (1976) الى ان كمية الطاقة الممتصة لوحدة المساحة تعتمد على كمية الإشعاع الساقط على سطح المجمع الشمسي وعلى زاوية السقوط لذلك الإشعاع وكذلك على امتصاصية سطح الامتصاص للإشعاع الشمسي الذي يعتمد بدوره على نوعية غطاء صفيحة الامتصاص . كذلك تعتمد أيضا على خصائص الغطاء الشفاف وكذلك الفقدان الذي يحصل نتيجة للغبار المتراكم على السطح الخارجي للغطاء الشفاف ، الفقدان الذي قد يغطي جزءا من سطح الامتصاص . تكون الأشعة الشمسية الساقطة على الغطاء الزجاجي غير مستقطبة ، أي تتكون من مركبتين احدهما عمودية على مستوى سقوطهما والثانية موازية له ، لذا فان انعكاسية المركبة العمودية  $r_1$  والمركبة الموازية  $r_2$  هي:

$$r_1 = \frac{\sin^2(\theta_2 - \theta_1)}{\sin^2(\theta_2 + \theta_1)} \dots \dots \dots (2-6)$$

$$r_2 = \frac{\tan^2(\theta_2 - \theta_1)}{\tan^2(\theta_2 + \theta_1)} \dots\dots\dots (2-7)$$

$$r = \frac{(r_1 + r_2)}{2} \dots\dots\dots (2-8)$$

حيث:

$r_1$ : انعكاسية المركبة العمودية

$r_2$ : انعكاسية المركبة الأفقية

$r$ : معدل المركبتين  $r_1$  و  $r_2$

$\theta_2$ : زاوية الانكسار للإشعاع النافذ خلال الغطاء الزجاجي عبر الزجاج

ومن قانون Snells (Duffie & Bekman , 1980) :

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} \dots\dots\dots (2-9)$$

وبافتراض ان  $(n_1)$  للهواء تساوي (1) وللزجاج تساوي (1.525).

حيث:

$n_1$ : معامل الانكسار للهواء

$n_2$ : معامل الانكسار للزجاج

### 2-4-3 حساب امتصاصية الإشعاع :

ان امتصاصية الإشعاع لوسط انفاذي تعرف بقانون بوجر والذي يعتمد على

افتراض ان الإشعاع الممتص يتناسب مع كثافة الوسط والمسافة التي يقطعها الشعاع

لذا فان الانفاذية نسبة الى الامتصاصية فقط هي (Whillier , 1976) :

$$\tau_a = e^{\frac{-k_g \times L_g}{\cos \theta_2}} \dots\dots\dots (2-10)$$

حيث:

$\tau_a$ : الانفاذية نسبة الى الامتصاصية

$k_g$ : معامل الاضمحلال للزجاج

$L_g$ : سمك الزجاج (ملم)

### 3-4-3 حساب المواصفات البصرية للغطاء الزجاجي :

يمكن تعيين الانفاذية والانعكاسية والامتصاصية للغطاء الزجاجي المفرد مع ادخال تأثير فقدان الانعكاس والامتصاص معا . فالمركبة الموازية تحسب مواصفاتها كالآتي (Duffie & Bekman , 1980) :

$$\tau_2 = \tau_a \left( \frac{1-r_2}{1+r_2} \right) \left( \frac{1-r_2^2}{1-(r_2 \tau_a)^2} \right) \dots\dots\dots(2-11)$$

$$p_2 = r_2 (1 + \tau_a \tau_2) \dots\dots\dots(2-12)$$

$$\alpha_2 = (1 - \tau_a) \left( \frac{1-r_2}{1-r_2 \tau_a} \right) \dots\dots\dots(2-13)$$

حيث:

$\tau_2$  : المركبة الافقية للانفاذية

$p_2$ : المركبة الافقية للانعكاسية

$\alpha_2$  : المركبة الافقية للامتصاصية

وتحسب مواصفات المركبة العمودية كالآتي :

$$\tau_1 = \tau_a \left( \frac{1-r_1}{1+r_1} \right) \left( \frac{1-r_1^2}{1+(r_1 \tau_a)^2} \right) \dots\dots\dots(2-14)$$

$$\alpha_1 = (1 - \tau_a) \left( \frac{1-r_1}{1-r_1 \tau_a} \right) \dots\dots\dots(2-15)$$

$$p_1 = r_1 (1 + \tau_a \tau_1) \dots\dots\dots(2-16)$$

حيث:

$\tau_1$  : المركبة العمودية للانفاذية

$\alpha_1$  : المركبة العمودية للامتصاصية

$p_1$  : المركبة العمودية للانعكاسية

لذا تحسب المواصفات البصرية للأشعة غير المستقطبة من معدل المركبتين وكالآتي :

$$p = \frac{p_1 + p_2}{2} \text{-----}(2-17)$$

$$\tau = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2} \text{-----}(2-18)$$

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \text{-----}(2-19)$$

حيث:

p: معدل المركبتين العمودية والافقية للانعكاسية .

$\tau$ : معدل المركبتين العمودية والافقية للانفاذية .

$\alpha$ : معدل المركبتين العمودية والافقية للامتصاصية.

وبالطريقة نفسها يمكن حساب قيم

نتيجة سقوط الإشعاع المنبعث من صفيحة الامتصاص على سطح الغطاء الزجاجي

$$(\alpha_d, \alpha_{11}, \alpha_{22}, p_d, p_{11}, p_{22}, \tau_{11}, \tau_{22}, \tau_d, \tau_{aa}, r_{11}, r_{22})$$

الداخلي بزاوية ( $\theta_3$ ) .

### حساب حاصل الامتصاصية الانفاذية Transmittance – Absorptance Product

ان جزء من الأشعة الشمسية النافذة خلال الغطاء الزجاجي والساقطة على صفيحة الامتصاص ينعكس راجعا الى الغطاء الزجاجي ، ولكن معظم هذه الأشعة لايفقد حيث ان جزءا منها سينعكس الى صفيحة الامتصاص . وان الانعكاس المتكرر يؤدي الى زيادة الامتصاصية .ويحسب حاصل الامتصاصية الانفاذية *Transmittance-Absorptance Product* من العلاقة الآتية (Duffie & Bekman , 1980)

$$(\tau\alpha) = \frac{\tau\alpha}{1 - (1 - \alpha)p_d} \text{-----}(2-20)$$

حيث:

( $\tau\alpha$ ):حاصل الامتصاصية – الانفاذية

$p_d$ : انعكاسية الغطاء الزجاجي للأشعة المنتشرة الساقطة من صفيحة الامتصاص



اسعد رحمان الحلفي..... المجمعة الشمسية.

ويحسب حاصل الامتصاصية - الانفاذية المؤثر من العلاقة الآتية: (Duffie & Bekman ,1980)

$$(\tau\alpha)_e = (\tau\alpha) + (1 - \tau_a)\bar{a} \dots\dots\dots(2-21)$$

حيث:

$(\tau\alpha)_e$ : حاصل الامتصاصية الانفاذية المؤثر

$\bar{a}$ : نسبة معامل الفقدان الحراري العلوي الى معامل الفقدان الحراري من الغطاء

الزجاجي وقيمته تساوي (0.27) (Duffie & Bekman , 1980)

ولهذا فان الطاقة الممتصة في صفيحة الامتصاص هي:

$$S = s.d(\tau\alpha)_e I_T \dots\dots\dots(2-22)$$

حيث:

S: الطاقة الممتصة (واط/م<sup>2</sup>)

s: معامل التظليل

d: معامل الاتساخ

### 2-1-3 حساب مساحة المجمع الشمسي: Solar Collector Area

وتعتمد على الغرض من استخدام المجمع الشمسي، فاذا كان الغرض منه لتصميم

مجفف شمسي فيجب حساب الطاقة اللازمة للتجفيف أولاً وكالاتي:

من معادلة موازنة الطاقة (Vlachos et al. , 2002):

الطاقة المنتزعة = الطاقة اللازمة للتجفيف

$$Q_u = Q_d$$

حيث:

$Q_u$ : الطاقة المنتزعة (واط)

من معادلة Hottel\_Whillier\_Bliss يمكن حساب الطاقة المفيدة الحقيقية :

$$Q_u = A_c F_R [I_T (\tau\alpha)_e - U_L (T_i - T_a)] \dots\dots\dots(2-23)$$

حيث:

$F_R$ : معامل الانتزاع الحراري

$U_L$ : معامل فقدان الحرارة الكلي (واط/م<sup>2</sup>.م<sup>0</sup>)

$T_i$ : درجة حرارة الهواء الداخل الى المجمع الشمسي (م<sup>0</sup>)

$T_a$ : درجة حرارة الجو (م<sup>0</sup>)

$A_c$ : مساحة المجمع الشمسي (م<sup>2</sup>)

وبتعويض المعادلة (2-23) والطاقة اللازمة للتجفيف في معادلة موازنة الطاقة

ينتج :

$$F_R [I_T (\tau \alpha)_e - U_L (T_i - T_a)] A_c = W [4.18 [(0.008R) + 0.2] (T_d - T_f) + 225176 (x_1 - x_2)] / t \dots (2-24)$$

$$A_c = \frac{W [(0.008R) + 0.2] \times 4.18 (T_d - T_f) + 225176 (x_1 - x_2)}{t [F_R [I_T (\tau \alpha)_e - U_L (T_i - T_a)]]} \dots (2-25)$$

ولاجل تسهيل حساب المساحة للمجمعات الشمسية افترض Vlachose *et al.* (2002) ان:

$$T_i \approx T_a$$

ووجد (1987) Garg و (2002) Vlachos ان قيمة  $F_R$  للمجمعات الشمسية هي حوالي 0.7.

#### 4-1-2 حساب كفاءة المجمع الشمسي : Collector Efficiency

ان احتساب كفاءة كل من المجمع الشمسي والمجفف مهم جدا في تقدير

الاستفادة من استخدامهما في تصنيع اغذية معينة مثل التجفيف وبسترة الاغذية السائلة .

تحدث عملية فقدان الحرارة من جوانب المجمع الشمسي جميعها والقسم الاكبر

من فقدان يحدث من صفيحة الامتصاص ويمكن حساب معامل فقدان الحرارة

العلوي من معادلة Klien *et al.* (1974)

$$U_t = \left[ \frac{N}{\left( \frac{C_1}{T_p} \right) \left( \frac{T_p - T_a}{N + f} \right)^e} + \frac{1}{h^o} \right]^{-1} + \frac{\sigma (T_p^2 + T_a^2) (T_p + T_a)}{(\epsilon_p + 0.00591 N h^o) + \left[ \frac{(2N + f - 1 + 0.133 \epsilon_p)}{\epsilon_g} \right] - N} \dots\dots\dots(2-26)$$

$$f = (1 + 0.089 h^o - 0.116 h^o \epsilon_p) (1 + 0.07866 N) \dots\dots\dots(2-27)$$

$$h^o = 5.7 + 3.8 V \dots\dots\dots(2-28)$$

$$C_1 = 520 (1 - 0.000051 \beta^2) \dots\dots\dots(2-29)$$

$$e = 0.43 \left( 1 - \frac{100}{T_p} \right) \dots\dots\dots(2-30)$$

تتسرب الحرارة من اسفل المجمع الشمسي حيث يحسب مقدارها باستخدام معامل انتقال الحرارة من السطح السفلي بموجب المعادلة الآتية :

$$U_b = \left[ \frac{y_i}{k_i} + \frac{y_w}{k_w} + \frac{1}{h_{b-a} + h_{r,b-a}} \right]^{-1} \dots\dots\dots(2-31)$$

حيث:

N : عدد الاغطية الزجاجية

T<sub>p</sub> : درجة حرارة صفيحة الامتصاص (كلفن)

h<sup>o</sup> : معامل انتقال الحرارة بالحمل للهواء الخارجي (واط/م<sup>2</sup>.°م)

ε<sub>p</sub> : انبعاثية صفيحة الامتصاص

σ : ثابت ستيفان بولتزمان والذي قيمته 5.6697 \* 10<sup>-8</sup> (واط/م<sup>2</sup>.كلفن<sup>4</sup>)

ε<sub>g</sub> : انبعاثية الزجاج

U<sub>b</sub> : الفقدان الحراري السفلي (واط/م<sup>2</sup>.°م)

$y_i$ : سمك العازل (م)

$k_i$ : معامل التوصيل الحراري للعازل (واط/م<sup>2</sup>.°م)

$y_w$ : سمك الخشب (م)

$k_w$ : معامل التوصيل الحراري للخشب (واط/م<sup>2</sup>.°م)

$h_{b-a}$ : معامل انتقال الحرارة بالحمل بين الخشب والهواء (واط/م<sup>2</sup>.°م)

$h_{r,b-a}$ : معامل انتقال الحرارة بالإشعاع بين الخشب والهواء (واط/م<sup>2</sup>.كلفن<sup>4</sup>)

$T_a$ : درجة حرارة الجو (كلفن)

$V$ : سرعة الرياح (م/ثا)

ان فقدان من الجوانب يعتمد على مساحة المجمع الشمسي (Duffie & 1980) Bekman ,

$$(UA)_e = \frac{p \cdot y}{\frac{y_i}{k_i} + \frac{y_w}{k_w}} \dots\dots\dots(2-32)$$

$$U_e = \frac{(UA)_e}{Ac} \dots\dots\dots(2-33)$$

حيث:

$(UA)_e$ : معامل الفقدان الحراري للمساحة الجانبية (واط/م<sup>2</sup>.°م)

$p$ : محيط المجمع (م)

$y$ : سمك المجمع (م)

$U_e$ : الفقدان الحراري من الجوانب (واط/م<sup>2</sup>.°م)

إذا معامل الفقدان الحراري الكلي هو:

$$U_L = U_t + U_e + U_b \dots\dots\dots(2-34)$$

من معادلة Hottel\_Whillier\_Bliss يمكن حساب الطاقة المفيدة

الحقيقية (Lunde , 1980):

$$q_u = F_R [I_T (\tau \alpha)_e - U_L (T_i - T_a)] \dots\dots\dots(2-35)$$

حيث:

$q_u$ : الطاقة المفيدة (واط/م<sup>2</sup>)

$F_R$ : معامل الانتزاع الحراري ويحسب من المعادلة الآتية

: (Vaxman & Sokolov , 1985)

$$F_R = \frac{Gc_p}{U_L} \left[ 1 - \exp\left(\frac{-\bar{f}U_L}{Gc_p}\right) \right] \dots\dots\dots(2-36)$$

$$\bar{f} = \left[ 1 + \frac{U_L}{h \left( \frac{1}{\sin \frac{\theta_3}{2}} + \frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_r} \right)} \right]^{-1} \dots\dots\dots(2-37)$$

حيث:

$G$ : التدفق الكتلي للهواء (كغم/ م<sup>2</sup> ثا)

$\bar{f}$ :معامل الكفاءة للمجمع الشمسي.

$\theta_3$ : زاوية التضليع (درجة)

$h_r$ : معامل انتقال الحرارة بالإشعاع (واط/م<sup>2</sup> كلفن<sup>4</sup>)

يحسب معامل انتقال الحرارة بالإشعاع من العلاقة الآتية والمذكورة في

(ماضي، 1985)

$$h_r = \frac{\sigma(T_p + T_c)(T_p^2 + T_c^2)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_g} - 1} \dots\dots\dots(2-38)$$

حيث:

$T_c$ : درجة حرارة الزجاج (كلفن)

بالنسبة اذا كان المجمع يعمل بالحمل الطبيعي فيتم حساب رقم كريشوف وكالاتي :

$$T_{ar} = \frac{T_i - T_o}{2} \dots\dots\dots((2-39)$$

ومن جداول *Holman* لمواصفات الهواء يمكن حساب لزوجة الهواء والموصلية الحرارية له والحرارة النوعية ورقم برانتل والاخير يمكن حسابه ايضا من المعادلة الاتية:

$$P_r = \frac{C_p \mu}{k} \dots \dots \dots (2-40)$$

$$Gr = \frac{2 g \langle T_p - T_a \rangle L_1^3 \rho^2}{(T_p + T_a) \mu^2} \dots \dots \dots (2-41)$$

$$N_u = 0.59 (prGr)^{\frac{1}{4}} \dots \dots \dots (2-42)$$

بينما عندما يكون الحمل قسري فمن خلال معرفة معدل تدفق الهواء وعدد القنوات وشكلها . اذا كانت القنوات دائرية يحسب معدل التدفق الكتلي  $\dot{m}$  لكل قناة وكالاتي.

$$R_e = \frac{4 \dot{m}}{\mu \pi D} \dots \dots \dots (2-52)$$

D : قطر الانبوب (م)

اما اذا كانت القنوات ليست دائرية في مقطعها العرضي لذا فانه يجب ان يحسب القطر المكافئ ( $D_e$ ) وكالاتي:

$$D_e = \frac{4 A_x}{P} \dots \dots \dots (2-53)$$

$$R_e = \frac{4 \dot{m}}{\mu P} \dots \dots \dots (2-55)$$

$$h = N_u \left( \frac{k}{L_1} \right) \dots \dots \dots (2-56)$$

حيث:

P : المحيط المبلل (م)

$A_x$  : مساحة المقطع العرضية للقناة (م<sup>2</sup>)

$T_p$  : درجة حرارة صفيحة الامتصاص (كلفن)

$L_1$ : نصف القطر الهيدروليكي لقناة المجمع الشمسي (م)

يحسب رقم نسلنت في هذه الحالة اذا كان سطح القناة ساخنين والقاعدة الثالثة

لمقطع القناة معزولة تستخدم معادلة *Altmani* و *Sarrow* التالية:

$$N_u = 0.019 R_e^{0.781} \dots (2-57)$$

اما اذا كان التسخين منتظم أي تساوي درجة حرارة جميع اسطح القناة فتستخدم معادلة *Petukhov* و *Popov* الاتية:

$$N_u = \frac{(f/8) R_e P_r}{1.07 + 12.7 \sqrt{f/8} (P_r^{2/3})} \dots (2-58)$$

اذ يحسب معامل الاحتكاك  $f$  من المعادلة الاتية:

$$f = (0.70 \ln R_e - 1.64)^{-2} \dots (2-59)$$

اما اذا كانت صفيحتين متوازيتين ، العلوية ساخنة والسفلية مستوية ومعزولة فتستخدم المعادلة الاتية:

$$N_u = 0.0158 R_e^{0.8} \dots (2-60)$$

مع الاخذ بنظر الاعتبار ان قيمة القطر الهيدروليكي يساوي ضعف المسافة بين الصفيحتين .

ولهذا فان الكفاءة يمكن حسابها من خلال قسمة الطاقة المفيدة على شدة الإشعاع

الشمسي (Vaxman & Sokolov , 1985) :

$$\eta = \frac{q_u}{I_T} \dots (2-61)$$

حيث:

$\eta$ : الكفاءة (%)

وبتعويض المعادلة (73) بالمعادلة (80) ينتج :

$$\eta = F_R \left[ (\tau \alpha)_e - \frac{U_L (T_i - T_a)}{I_T} \right] \dots (2-62)$$

$T_i$ : درجة حرارة الهواء الداخل الى المجمع الشمسي (م°)

### الكفاءة الاجمالية Overall Efficiency

وتمثل الكفاءة لفترة زمنية معينة وتحسب من نسبة الطاقة المنتزعة  $q_T$  خلال تلك الفترة الى الاشعاع الشمسي الكلي خلال تلك الفترة مضروباً في مساحة صفيحة الامتصاص المعرضة لذلك الاشعاع.

$$\eta = \int_0^t q_T dt / A_c \int_0^t I_T dt \dots\dots\dots (2-63)$$

تحسب  $q_T$  من المعادلة الاتية :

$$q_T = mC_p(T_f - T_i)/t \dots\dots\dots (2-64)$$

$m$  : كتلة المائع المستخدم (كغم)

$T_f$  : درجة حرارة المائع النهائية (م°)

$t$  : زمن التشغيل (ثانية)

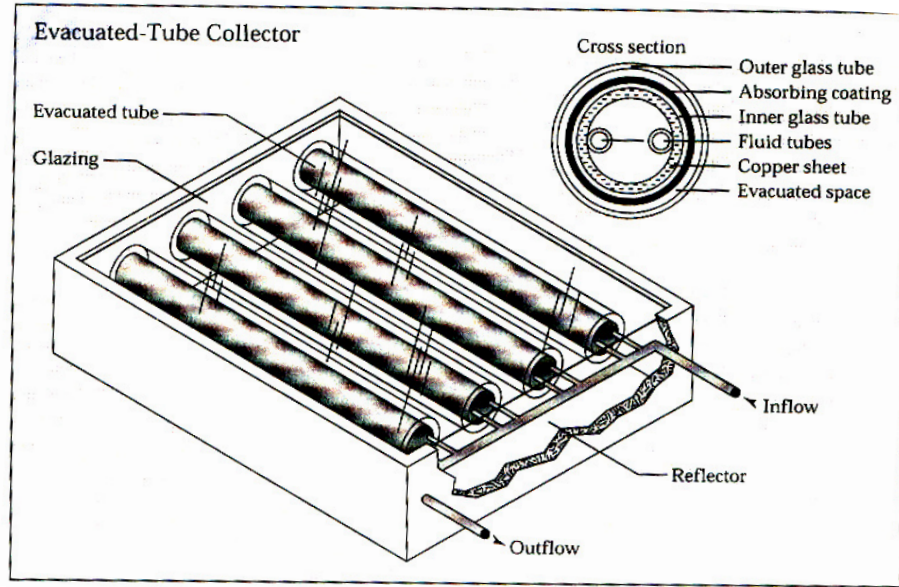
### المجمع الانبوبي المفرغ Evacuated tube collector

يتكون هذا المجمع من انبوين او ثلاثة انابيب متمركزة ، يكون الحيز بينهم مفرغاً من الهواء ويطلّى السطح الخارجي للانبوب الداخلي بطلاء ماص للحرارة من سطح الامتصاص بواسطة انبوب يجري فيه مائعا معيناً محاذاً للسطح الداخلي للانبوب الداخلي .شكل (10-2) ، وهنا يعمل الحيز المفرغ من الهواء كعازل حراري . ويكون الفقد بالطاقة نتيجة التوصيل والحمل معدوم بسبب عدم وجود هواء يوصل الحرارة او يتحرك هنالك ، بينما يحصل فقد نتيجة الاشعاع حيث تنتقل من السطح الساخن الى السطح البارد والى المحيط الخارجي حتى بوجود التخلخل بالضغط ، وهذا الفقد يكون قليل جداً مقارنة مع الطاقة المنقولة الى الماء عبر انبوب الامتصاص.

يستفاد من الاشعاع الشمسي المباشر بكفاءة عالية للحصول على درجات حرارة عالية كتلك التي تحتاجها التطبيقات الصناعية. بينما تكون كفاءته منخفضة في التطبيقات ذات درجات الحرارة الواطئة كتسخين الماء او الهواء مقارنة مع المجمعات المستوية. ويمكن ان توضع الانابيب المفرغة في صندوق ويكون على شكل مجمع



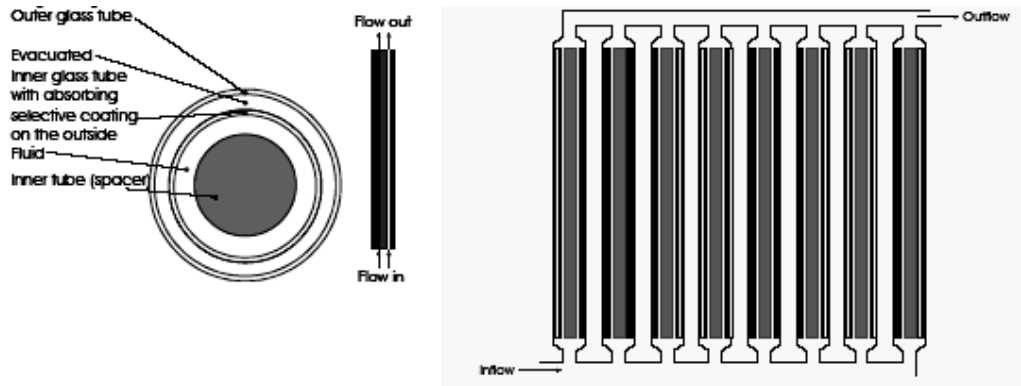
شمسي انبوبي مفرغ وكما في الشكل (2-10) الذي طاقته الاستيعابية 5 كالون (19) لتر من الماء لكل انبوب وهو لا يحتاج الى خزان اضافي لخزن الماء الحار . كما يمكن وضع عاكسات خلف الأنابيب المفرغة تعمل كمركزات للأشعة التي تعكسها الى الأنابيب . وهذا النوع من المجمعات تكون كفاءته أعلى من المجمعات المستوية لسببين هما ، أولاً أدائه جيداً في كلاً من الاشعاع الشمسي المباشر والمنتشر وهذه الميزة ترتبط مع حقيقة وهي ان المفقودات الحرارية من الأنابيب المفرغة الى المحيط الخارجي قليلة جداً. وهذه الميزة تجعلها تستخدم في الأماكن الباردة وفي ايام الشتاء الغائمة . اما السبب الثاني وهو بما ان الأنابيب شكلها دائري لذلك تكون أشعة الشمس عمودية عليها باستمرار مما يجعل عملية امتصاص الطاقة مستمرة خلال اغلب ساعات النهار المشمسة. وهذه الميزة غير موجودة في المجمعات المستوية حيث ان الشمس تكون عمودية عليها فقط عند منتصف النهار.



شكل (2-10):المجمع الأنبوبي المفرغ.(EERE,1996)

يوضح الشكل (2-11) مجمع انبوبي مفرغ يتعرض للاشعاع الشمسي من جميع الجهات مصنع من قبل شركة *Sun Gain*. وهو يحتوي على أنابيب زجاجية مزدوجة مفتوحة من نهايتها ، الأنبوب الزجاجي الداخلي مطلي بطلاء انتقائي

والمائع يتحرك من الاسفل الى الاعلى وهو يتحرك في الفجوة الموجودة في الانبوب الداخلي وانبوب الامتصاص وهذا النوع يتطلب كمية قليلة من المائع وان معامل الانتقال الحراري من انبوب الزجاج الداخلي الى المائع الموجود في المجمع كبير. هذا المجمع يتكون من 14 انبوب مفرغ موضوع ببعد مركزي مقداره 0.067 م ، هذه الانابيب متصلة مع انبوبين متشعبين وموضوعة في انبوب معزول . طول الانابيب 1.6 م وجزء منها مقداره  $0.067 \times 2$  م موجود داخل صندوق الانبوبين المتشعبين وان الطول الفعلي للانابيب المعرضة لاشعة الشمس هو 1.47 م . القطر الخارجي للانبوب الخارجي هو 0.047 م والقطر الخارجي للانبوب الداخلي هو 0.037 م والمجمع باكملة يميل بزاوية 45 درجة باتجاه الجنوب.



شكل (2-11):المجمع الشمسي الأنبوبي المفرغ.(Shah,et al.,2004)

المجمعات الشمسية الأنبوبية (ETC)

وتصنف الى مجموعتين هما :

اولاً: مجمعات ذات أنابيب الجريان المباشرة: هذا المجمع يتكون من مجموعة من الانابيب الزجاجية ، بداخل كل منها صفيحة المنيومية مستوية أو منحنية وتكون ملحقة بانبوب زجاجي او معدني (عادة يستخدم النحاس) . هذه الصفيحة تطلّى باصباغ منتخبة مثل *Tinox* والماء يتحرك في انبوب لدخول المائع والآخر لخروجه. هنالك أنواع عديدة من المجمعات تصنف حسب توزيع الأنابيب بداخلها:

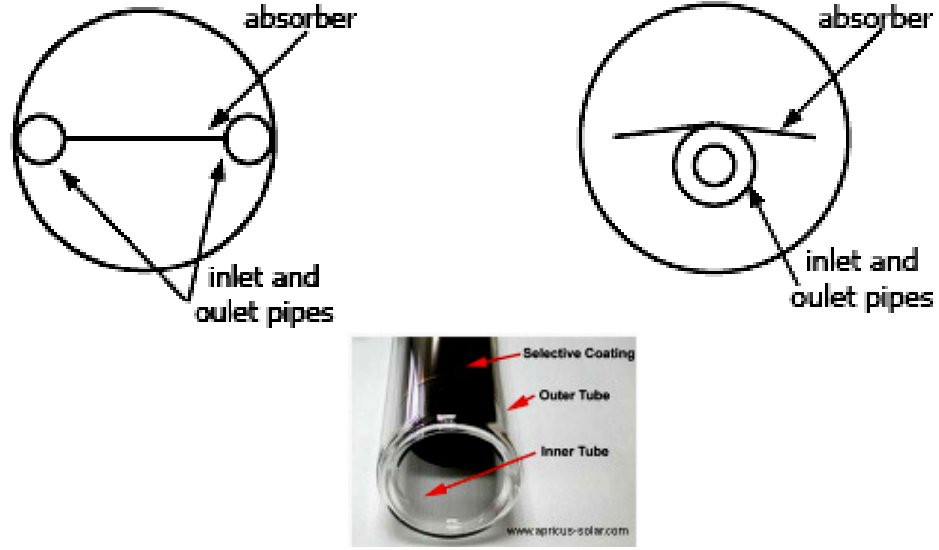
1-مجمعات ذات مركز لدخول المائع وخروجه (زجاج - معدن). كما في شكل (2-11).

2-مجمعات ذات انابيب منفصلة لدخول وخروج المائع (زجاج - معدن). كما في شكل (2-11) . يعتبر هذا النوع من الانواع التقليدية من المجمعات الانبوبية المفرغة وجزء الامتصاص اما ان يكون مستو او منحني .

3-مجمع نوع Sydney (زجاج - زجاج) ويتكون من انبوبان زجاجيان ملتحمان سوية عند نهايتهما ، الانبوب الداخلي مطلي بطلاء معدني منتخب ويمثل الممتص . كما في شكل (2-11).

ان النوعين (الاول والثاني) كفوعين جدا عند التطبيقات التي تتطلب درجات حرارية واطئة مثل التسخين وإنتاج الماء الحار. ولكن المشكلة التي تتعلق بهذه التصميم هي فقد التخلخل بالضغط داخل الانابيب مع الزمن نتيجة حدوث تسرب فيها.

هنالك تصميم اخر للمجمعات الانبوبية المفرغة تحتوي على انبوب مركزي مثبت تحت صفيحة معدنية سوداء ومقدار التخلخل بالضغط بين الانبوبين هو  $10^{-4}$  ملم زئبق . كما في شكل (2-12) .



شكل (2-12): مجمع أنبوبي ذي أنابيب متعددة

توجد تصاميم أخرى أيضا وتعطي درجات حرارة متوسطة تتراوح بين 100 - 150 م° ومقدار الضغط فيها اقل من 1 كيلو باسكال وكما هو موضح في الشكل (2-13) . وتحسب كمية الحرارة المتحصل عليها بواسطة المجمعات الانبوعية المفرغة كالآتي:

$$Q_{abs-cov} = A_{abs} \varepsilon_{eff} \sigma (T_{abs}^4 - T_{cov}^4) = A_{cov} h_a (T_{cov} - T_a) \quad \dots\dots\dots (2-65)$$

حيث :

$A_{abs}$  : مساحة سطح الامتصاص.

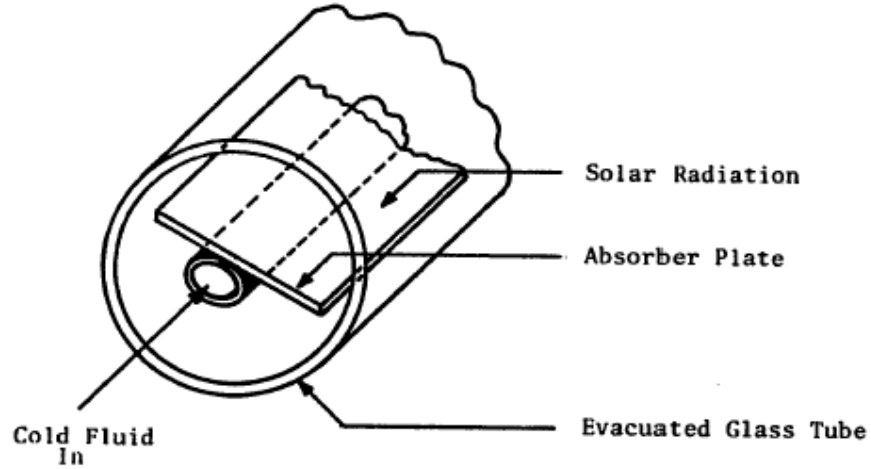
$A_{cov}$  : مساحة سطح الغطاء.

الانبعاثية المؤثرة تحسب من المعادلة الآتية:

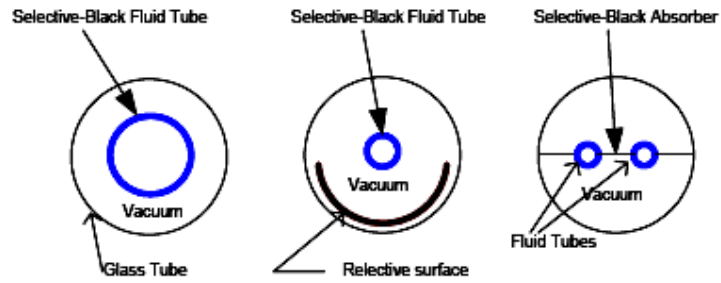
$$\varepsilon_{eff} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad \dots\dots\dots (2-66)$$

$\varepsilon_1$  و  $\varepsilon_2$  تمثل الانبعاثية لسطح الامتصاص و سطح الغطاء.

$$\epsilon_{\text{eff}} \approx \epsilon_{\text{abs}} \text{ for } \epsilon_{\text{cov}} \approx 0.9 \text{ and } \epsilon_{\text{abs}} \leq 0.2$$



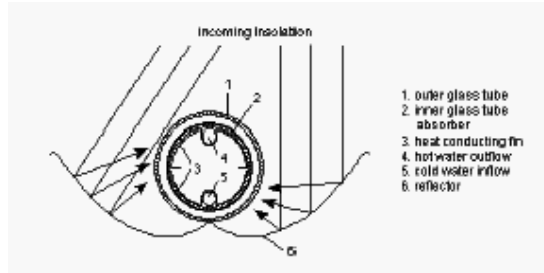
شكل (2-13): مجمع أنبوبي ذي صفيحة سوداء. (Rahman, 1981)



شكل (2-14): مجمعات أنبوبية مركزة تجهز درجات حرارة متوسطة.

(Pridasawas, 2006)

بعض المجمعات الشمسية الأنبوبية المفرغة تتضمن عاكسات خلف الانابيب او بجانب الانبوب الزجاجي ، وهذا يزيد من كمية الاشعاع الساقطة على الانابيب . كما موضح في شكل (2-14).



شكل (15-2): مجمع انبوبي مركز مزود بعاكسات.

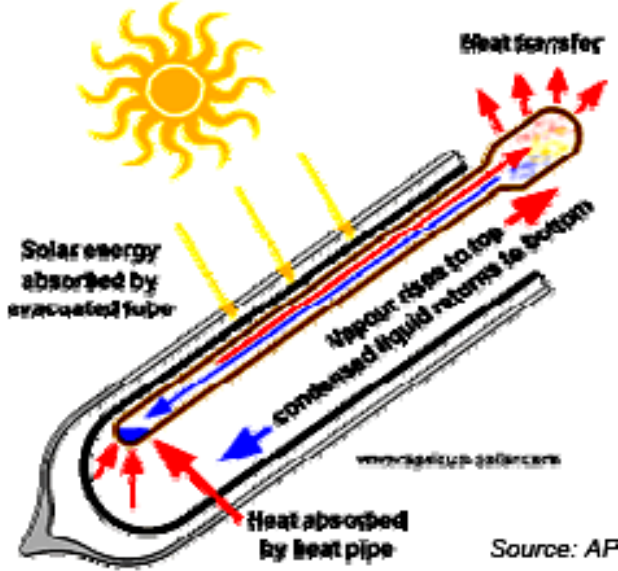
### ثانيا: المجمعات الشمسية ذات الأنابيب الحرارية

في هذا النوع يكون الأنبوب الحراري مجوف وموضوع بداخل حيز مفرغ من الهواء والهدف من ذلك ليس العزل الحراري ولكن من اجل حدوث تغير حالة السائل الداخلي حيث يوجد بداخل الأنبوب الحراري كمية قليلة من الماء النقي وبعض الإضافات الخاصة . نتيجة للتدخل بالانبوب فان الماء يغلي بدرجة حرارة منخفضة وهي 30 درجة مئوية وعندما يسخن الأنبوب الحراري اكثر من 30 م° فان الماء يتبخر ويرتفع البخار بسرعة الى اعلى الأنبوب الحراري وينقل الحرارة الى المكثف حيث تفقد هنالك ويتكثف البخار ويتحول الى سائل ويعود الى اسفل الأنبوب الحراري وتستمر العملية هكذا . كما في شكل (16-2).

نوعية المعدن والنظافة مهمة بدرجة كبيرة لتصنيع انبوب حراري ذو نوعية جيدة هنا نقاوة النحاس يجب ان تكون عالية جدا ويحتوي على كمية من عنصر الاوكسجين وعناصر اخرى . اذا كان محتواه من الاوكسجين والعناصر الاخرى كبير فانه سوف يحدث ترشيح للخارج من الهواء في اعلى الأنبوب وهذا يمنع انتقال الحرارة الى اعلى الأنبوب الحراري ويوقف عمل المكثف .

غالبا الانابيب الحرارية تستخدم فتيلة او نظام شعري ليساعد على جريان السائل وهذا ليس ضروري اذا كان السطح الداخلي للنحاس ناعم جدا ويسمح بجريان السائل بكفاءة وبسهولة.

الانبوب الحراري له مكونين من النحاس هما العمود والمكثف والآخر له قطر أكبر بكثير من العمود وذلك لتكوين مساحة سطحية كبيرة لغرض زيادة انتقال الحرارة وهنا الاتصال بين الممتص والسخان يكون جافاً وهذا يجعل عملية العزل سهلة.



شكل (2-16): مجمع أنبوبي حراري مفرغ.

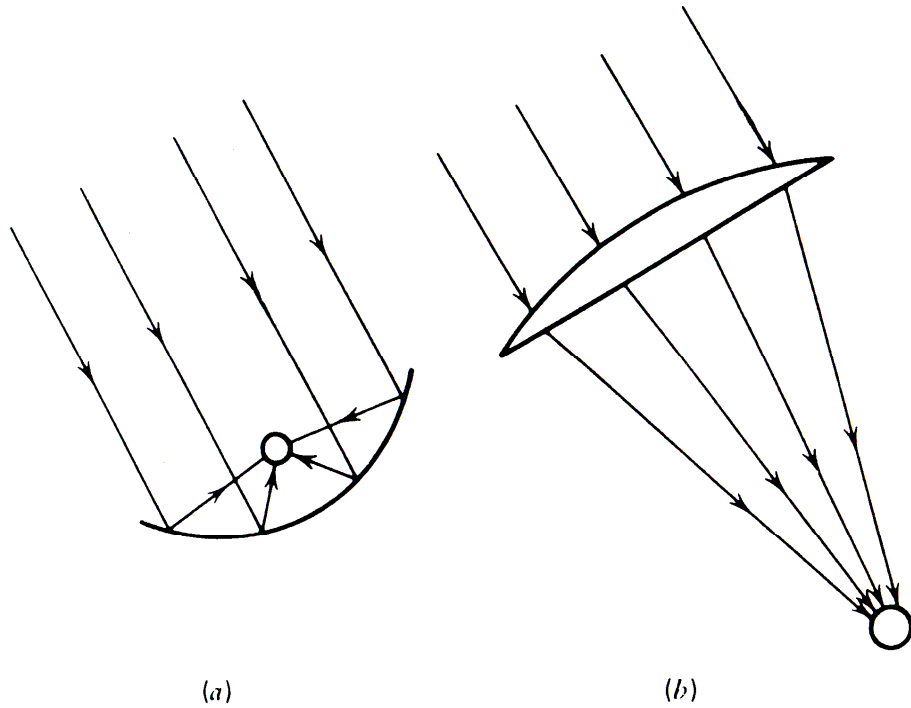
### المجمعات الشمسية المركزة *Concentrated Solar Collectors*

وتعمل على أساس تركيز الأشعة الشمسية باستخدام مرايا عاكسة وهذه المجمعات تجهز درجات حرارة مرتفعة أكثر من بقية المجمعات الأخرى كما أنها تحتاج إلى أجهزة تعقيب الشمس لضمان تركيز الأشعة على سطح الامتصاص التي تحتوي على مائع التشغيل .

يتم تركيز الأشعة بصرياً قبل تحويلها إلى طاقة حرارية وكذلك مقدار الفقدان الحراري في هذه المجمعات يكون قليل بسبب صغر المساحة السطحية لسطح الامتصاص.

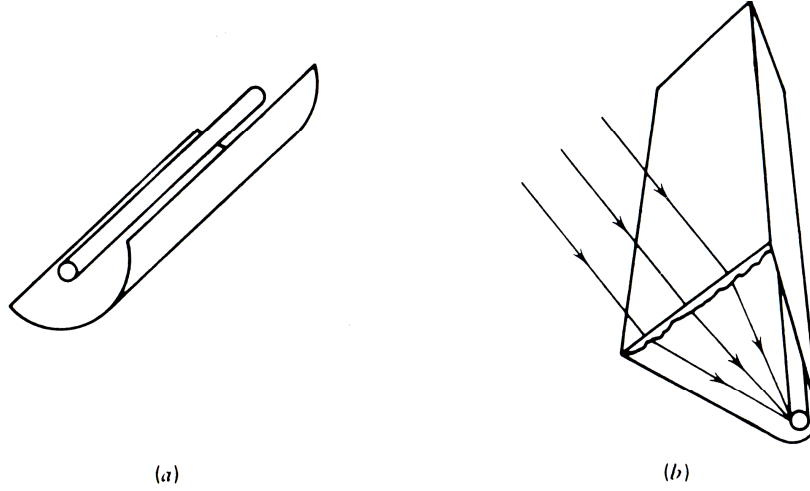
### المركبات ذات القطع المكافئ *Parabolic Concentrators*

تستخدم عدسات شفافة تسمى بالعاكسات او المراة وايضا تستخدم الواح زجاجية شفافة تقوم بحماية المنظومة من الاتربة ، وتعزل اسطح الامتصاص عن المحيط . القطع المكافئ يقوم بعكس الاشعة الشمسية وتركيزها على اسطح الامتصاص والاشعة المركزة اما ان تنتج عن انكسار الاشعة بعد مرورها بالعدسة وانعكاسها على سطح الامتصاص. نتيجة سقوطها على القطع المكافئ العاكس وكما هو موضح في شكل (2-17) و (2-18). ينقل الاشعاع بزوايا مختلفة وبالنتيجة ينعكس كله على جزء الامتصاص وهذا النوع من المجمعات لا يحتاج الى عملية تعقيب للشمس



شكل (2-17): الاشعاع الشمسي الساقط على المجمعات الشمسية a: انعكاس الاشعة b: انكسار الاشعة.





شكل (1-18): a:المركزات الشمسية ثنائية البعد b:انكسار الاشعة  
(Lunde,1980)

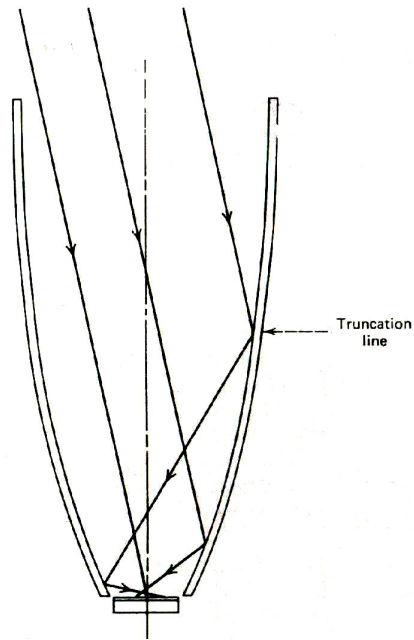
تعرف نسبة التركيز على انها نسبة مساحة الفتحة التي يمر من خلالها الاشعاع الى مساحة سطح الامتصاص .

هنالك نوع من المركزات يسمى المركز ذو القطع المكافئ المركب *Compound Parabolic Concentrator (CPC)* شكل (2-18) ..

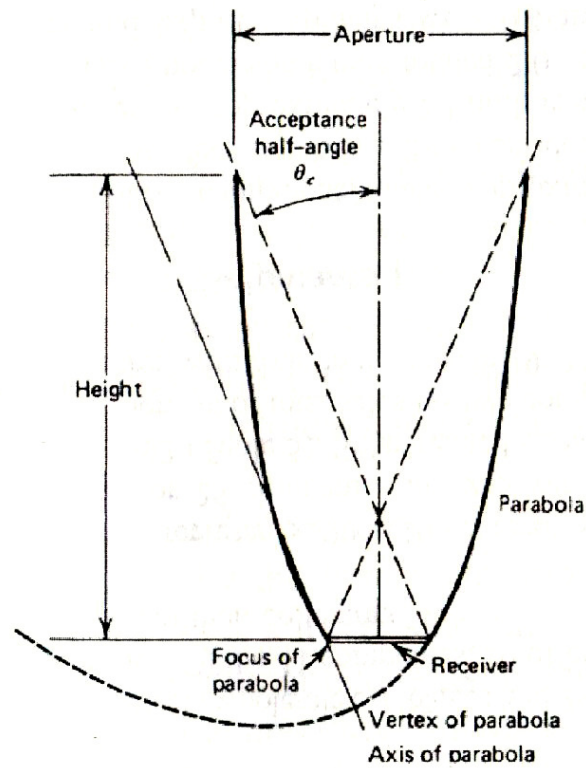
يوضح الشكل (2-19). مجمع شمسي مركب متماثل وفيه ينقل كل الاشعاع الشمسي الداخل الى المجمع الشمسي الى المستلم ويحسب الـ  $C_i$  كالآتي:

$$C_i = 1/\sin\theta_c \quad \dots\dots\dots(2-56)$$

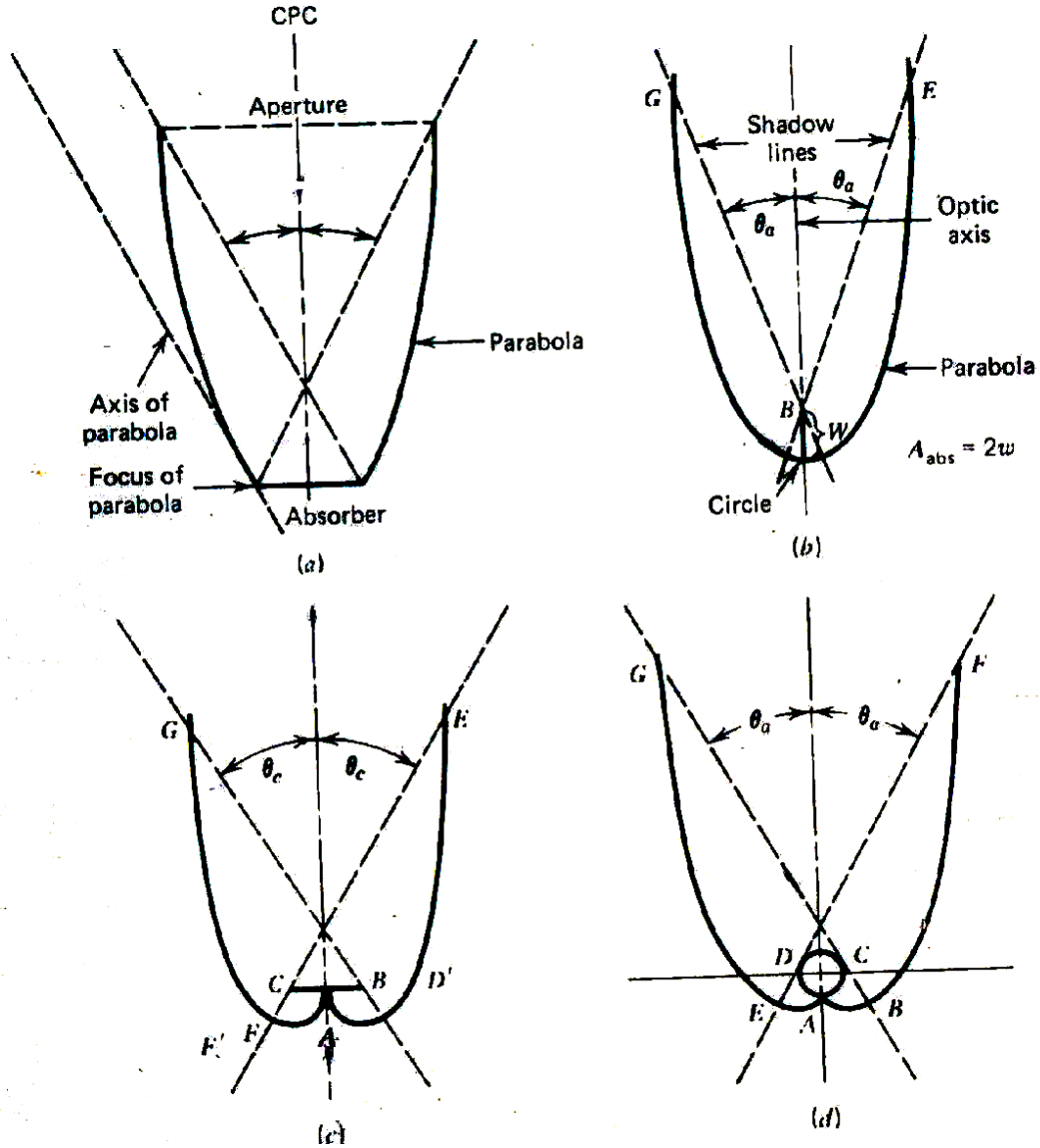
يوضح الشكل (2-21) مجمعات شمسية مركبة متنوعة فالشكل (2-21) a يوضح ان جزء امتصاص الاشعة يكون مستوي ومن جانب واحد ، اما الشكل (2-21) b يكون جزء الامتصاص ذو زعنفة عمودية ومن جانبيين ، والشكل (2-21) c يكون جزء الامتصاص فيه افقي ، والشكل (2-21) d يبين ان جزء الامتصاص هو عبارة عن انبوب



شكل (2-19): المجمع الشمسي المركز المركب.  
(Lunde, 1980)

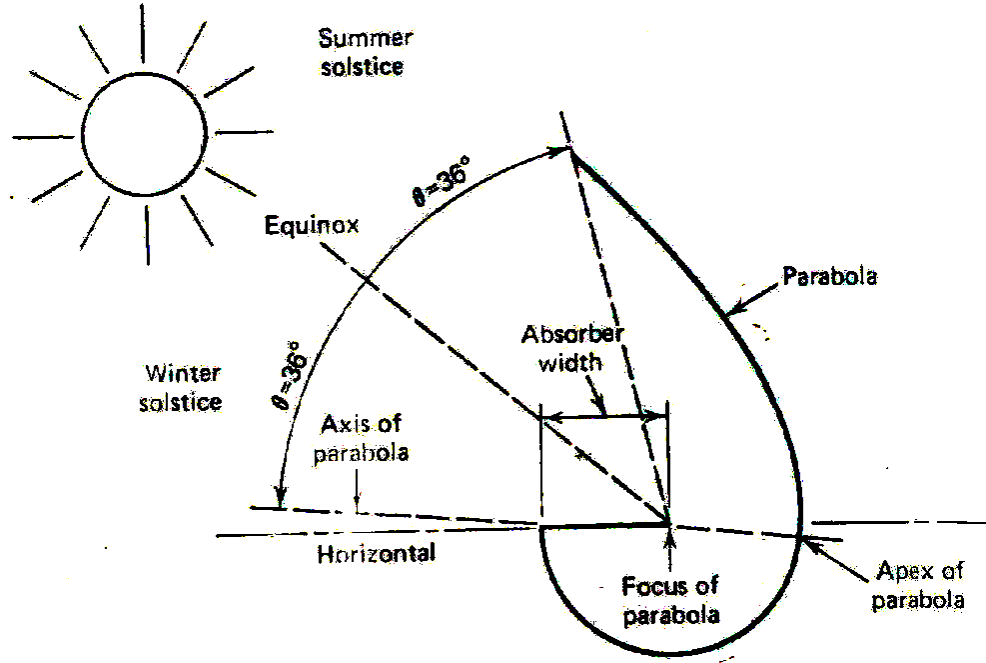


شكل (2-20): المجمع الشمسي المتناظر. (Adsten, 2002).



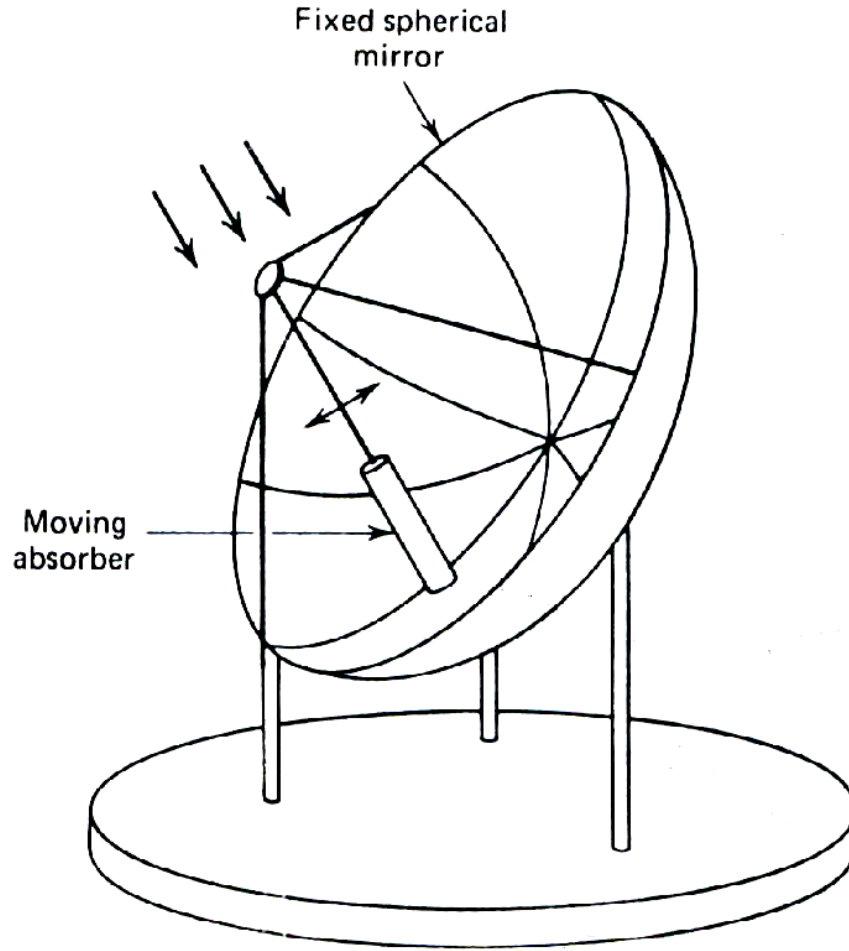
شكل (2-21): مجمعات شمسية مركزة ذات قطع مكافئ مركبة لإشكال مختلفة من الممتص. (Lunde, 1980)

هناك مركبات ذات قطع مكافئ مركبة وغير متماثلة *Non Symmetrical* C.P.C. وكما هي موضحة في شكل (2-22)

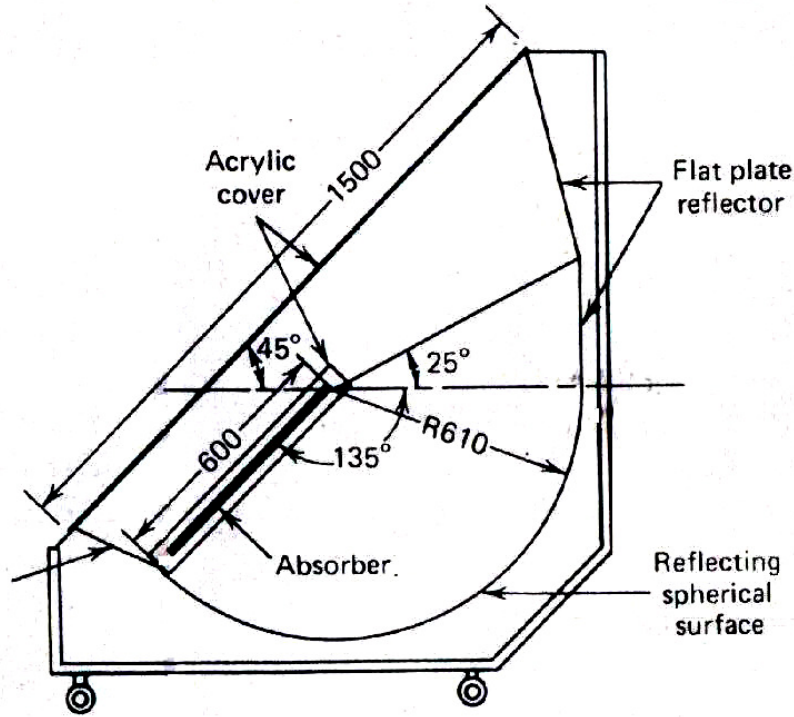
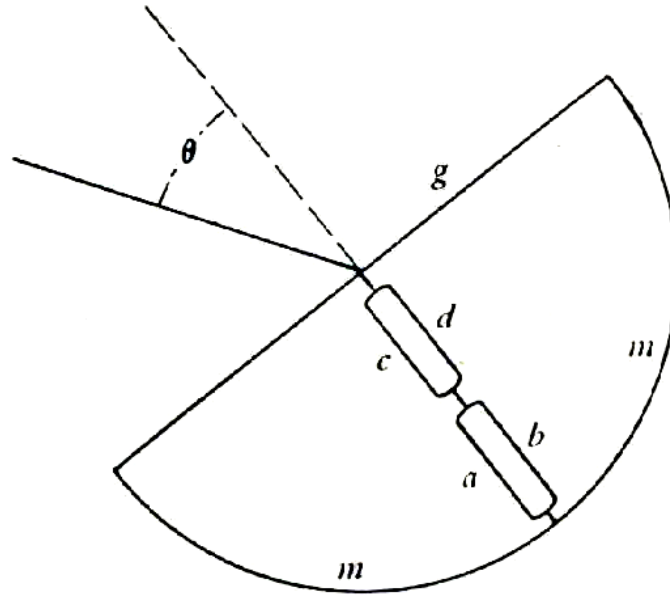


شكل (2-22): مركز شمسي ذي مقطع مكافئ مركب وغير متماثل.

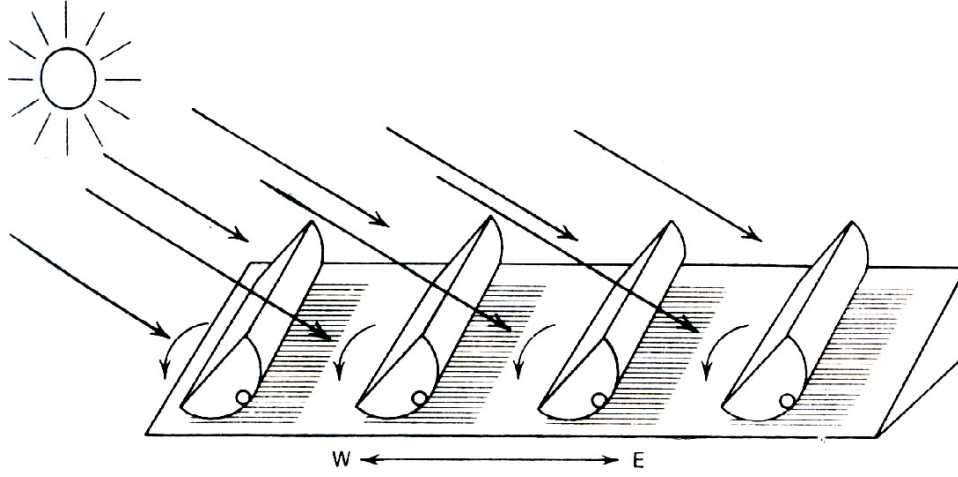
تحتاج المجمعات الشمسية المركزة ثلاثية الابعاد الى منظومة تعقيب لغرض تتبع اشعة الشمس وكما هو موضح في شكل (2-23) .  
وهناك تصاميم اخرى للمجمعات الشمسية المركزة وكما هو موضح في الاشكال (2-24) و (2-25) و (2-26) و (2-27).



شكل: (2-23): مجمع شمسي مركز ثلاثي الابعاد ذو منظومة تعقيب.  
(Lunde, 1980)

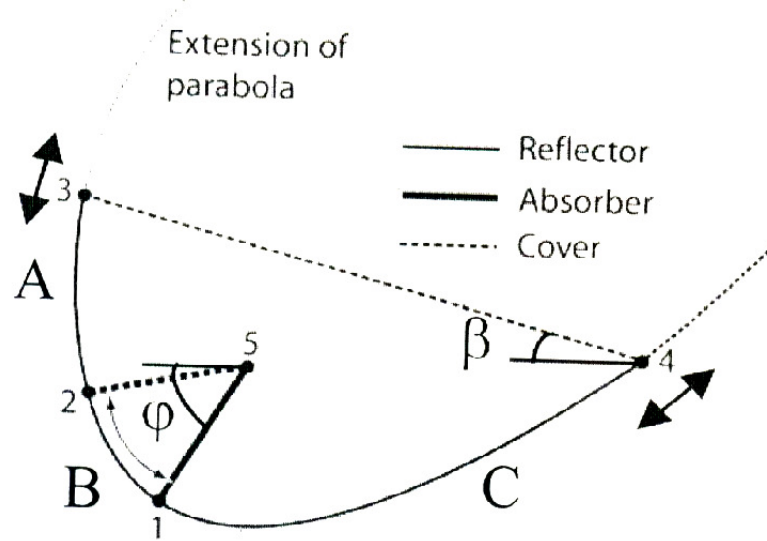


شكل (2-25): مجمع شمسي مركز ذو عاكسات متعددة للأشعة على الجزء الممتص.



شكل (2-26): مجموعة من المركبات الشمسية ذات القطع المكافئ.

هناك مركبات تشبه الحوض وهي من نوع CPC وكما هي موضحة في شكل (2-27). الجزء A العاكس ذي القطع المكافئ العلوي من النقطة 2-3 . الجزء B يمثل العاكس الدائري المركز ويمتد من النقطة 1-2 . الجزء C العاكس ذي القطع المكافئ السفلي ويمتد من النقطة 1-4 . يوضع الزجاج بين النقطتين 3-4.



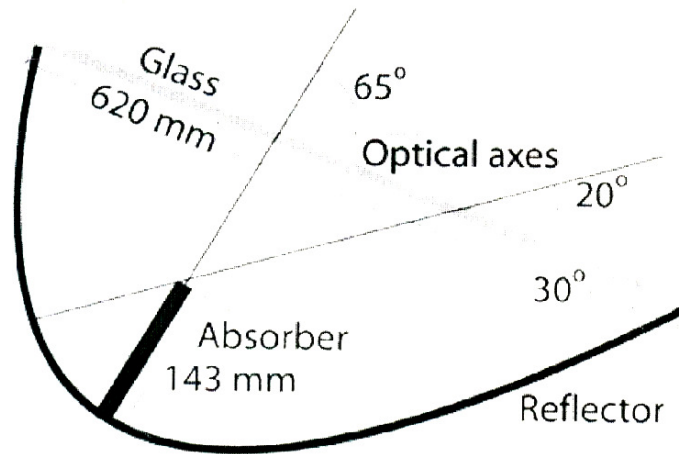
شكل (2-27): مركز شمسي يشبه الحوض CPC. (Adsten,2002).

حيث ان:

$\beta$ : زاوية ميل السطح المعرض للاشعة *Aperture Tilt*

$\varphi$ : زاوية ميل الممتص *Absorber Inclination Angle*

ويوضح الشكل (2-28) ابعاد هذا المجمع الشمسي المركز.



شكل (2-28): ابعاد المجمع الشمسي المركز من نوع CPC. (Adsten, 2002).

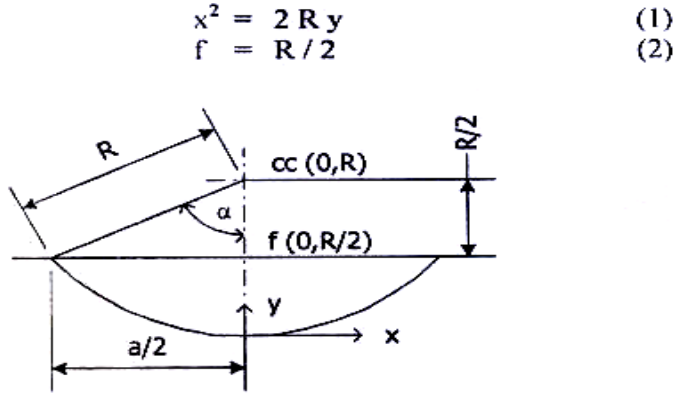
لتصميم مجمع شمسي ذو قطع مكافئ بحسب الطريقة التي بينها Pidhuwan *et al.* (2004) واكد على ان المجمع الشمسي المركز ذو القطع الناقص (PCC) يتكون من ثلاثة اجزاء هي الممتص والمجمع حيث استخدمت صفيحة من الحديد المقاوم للصدأ *Stainless steel 304* في تصنيع المجمع  $12 \times 24$  سم<sup>2</sup> وسمكها 3 ملم ، وضعت اسفل القطع الناقص لغرض عكس الاشعة الشمسية المباشرة الى الممتص ونصف قطرها 57.3 سم وعرضها 99.2 سم .

اما المواد الداخلة في تصنيع الممتص فهي انبوب من الحديد الخالي من الكربون *less carbon steel pipe* قطره الداخلي 4 سم والخارجي 4.8 سم وطوله 292 سم اما الجزء الثاني من المنظومة هي منظومة التجميع الحراري *heating collection system* وتتكون من هيكل ومبادل حراري انبوبي يحتوي على زيت حراري كمائع تشغيل لغرض نقل الحرارة من الممتص الى الماء.

الجزء الثالث هو المضخة الترسية وتستخدم لنقل الزيت الحراري .



زاوية الحافة *rim angle* هي 180 درجة ويمثل  $x$  المحور الذي يوضع عليه المنحنى و  $y$  تمثل خط المركز من البؤرة و  $R$  هي نصف قطر منحنى القطع المكافئ و  $f$  تمثل الخط البؤري وكما هو موضح في شكل (2-29).



شكل (2-29): ابعاد المجمع الشمسي المركز ذو القطع المكافئ.

$$X^2 = 2Ry \dots \dots \dots (2-57).$$

$$F = R/2 \dots \dots \dots (258)$$

$$R/2 = R \cos \alpha \dots \dots \dots (2-59)$$

$$\cos \alpha = (R/2)(1/R) \dots \dots \dots (2-60)$$

بما ان طول المنحنى 1200 ملم و  $\alpha$  تساوي 60 درجة لذلك يمكن ايجاد  $R$  بدلالة الطول وكالاتي:

$$b_{2\pi} = 2\pi r \dots \dots \dots (2-61).$$

$$R = [b(1800)]/[2\pi\alpha] \dots \dots \dots (2-62)$$

لايجاد نسبة التركيز  $c$  تستخدم النسبة بين مساحة التجميع  $A_a$  ومساحة الامتصاص  $A_r$

$$C = A_a / A_r \dots \dots \dots (2-63)$$

$$a/2 = R \sin \alpha \dots \dots \dots (2-64)$$

$$a = 2R \sin \alpha \dots \dots \dots (2-65)$$

عندما  $a$  تمثل عرض المجمع الشمسي وهي تمثل عرض الممتص.

### الممتص Absorber

لغرض تصميم الممتص يجب معرفة الانابيب الموصلة لمائع التشغيل وسرعته والفقد الحراري. استخدم انبوب من الحديد الخالي من الكربون قطره الداخلي 40 ملم

وقطره الخارجي 48 ملم وطوله 2920 ملم والوقت المستخدم هو الساعة 10:30 الى 14:00. ويوضح الشكل (2-30) عرض الخط البؤري حيث D تمثل عرض الممتص

$$D=2r_r \sin 0.267.....(2-66)$$

المجمع في هذه الحالة يكون ثابت لذلك فان زاوية الارتفاع *altitude angle* سوف تكون مؤثرة على التناظر لجميع الاوقات وانها تتحرك 10 درجة باليوم والانبوب طويل جدا وتم الحاق شريطين به مصنعان من الحديد المحتوي على الكربون *carbon steel* لغرض زيادة مقاومة الممتص وعرض الشريط 25 ملم لذلك يكون عرض الممتص الكلي 98 ملم  $[(25 \times 2) + 48]$  وكما هو موضح في شكل (2-30).

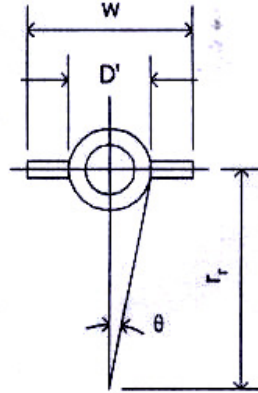
$$D_{develop} = r_r \sin \theta.....(2-67)$$

لذلك فان نسبة التركيز تحور الى

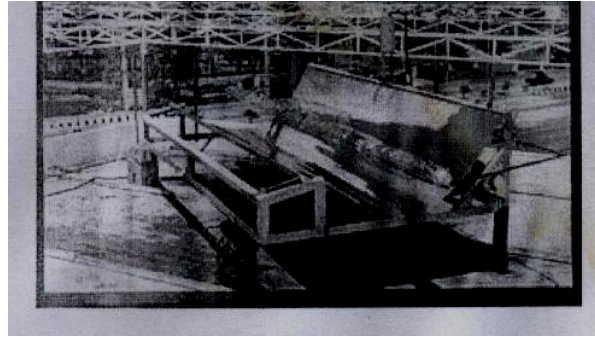
$$C=[(a-w)L]/[wL].....(2-68)$$

حيث L تمثل الطول للمجمع وانبوب الممتص معامل *refection coefficient*

للمجمع يتراوح من 0.8 – 0.85 بحسب ما اكده Aginhotri&Gupta(1981) .  
يطلق انبوب الممتص بطلاء اسود ويعزل بواسطة الليف الزجاجي *fiber glass* على جزءه العلوي. ويوضح الشكل (2-30) ابعاد المجمع . ويوضح الشكل (2-31) صورة فوتوغرافية للمجمع الشمسي ذي القطع المكافيء.



شكل (2-30): الانبوب الممتص في المجمع الشمسي المركز.



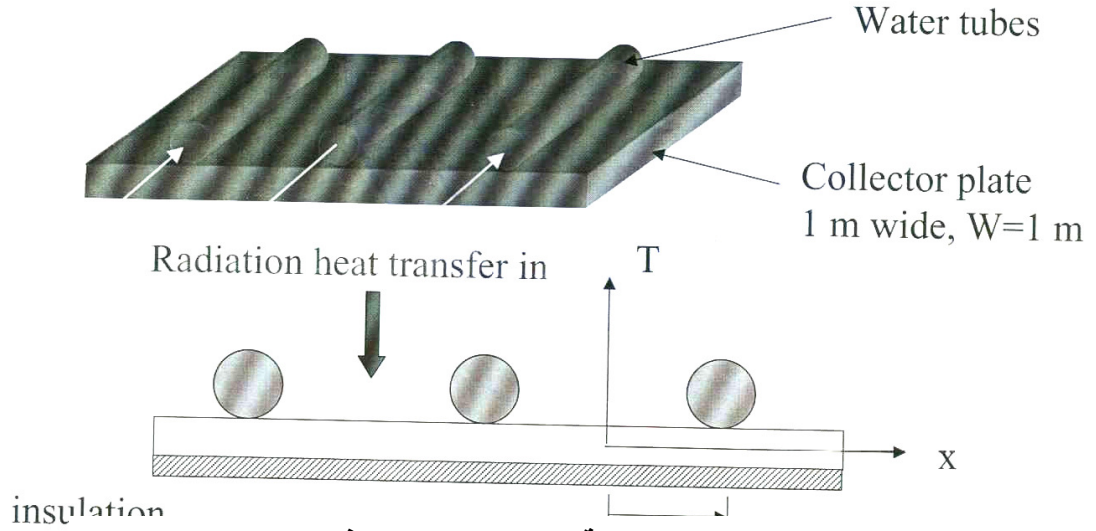
شكل (2-31): صورة فوتوغرافية للمجمع الشمسي المركز.

دراسة توزيع درجة الحرارة في صفيحة الامتصاص للمجمع الشمسي المستخدم لتسخين الماء

عند افتراض ان طاقة الاشعاع الشمسي القادم الى صفيحة الامتصاص ثابتة ويرمز لها  $q$  وذلك لغرض التبسيط وافترض ان درجة الحرارة تحت انبوب الماء ثابتة ايضا، حيث:

$$T(x=L)=T_o$$

ان الفيض الحراري الناتج من الطاقة الشمسية توليده مستمر في الصفيحة ومقداره



شكل (2-32): صفيحة امتصاص يجري فيها الماء

$\dot{q}$  ويساوي 700 واطام<sup>2</sup> . وافترض ان توزيع الحرارة متجانس في الصفيحة التي سمكها  $\delta$  وتساوي 1 ملم

$$\dot{q} = q'' / \delta = 700000 \text{ W} / \text{m}^3$$

$q'$ : الفيض الحراري (واطام<sup>2</sup>)

$$2L = 2 \text{ cm}, L = 10 \text{ cm}$$

$$\nabla^2 T + \frac{\dot{q}}{k} = 0, k = 240 \text{ W} / \text{m K}$$

المساحة الفاصلة بين الانابيب هي

معادلة الانتشار الحراري هي:

ان قيمة الموصلية الحرارية للالمنيوم هي 240 (واطام.كلفن) .

عند الظروف الحدية:

$$\frac{dT}{dx}(x=0) = 0, T(x=L) = T_0 = 40^\circ \text{C}$$

$$\frac{d^2 T}{dx^2} = -\frac{\dot{q}}{k}$$

عند تكامل المعادلة مرتين نحصل على:

$$T(x) = -\frac{\dot{q}}{2k}x^2 + Ax + B$$

عند تطبيق الظروف الحدية:

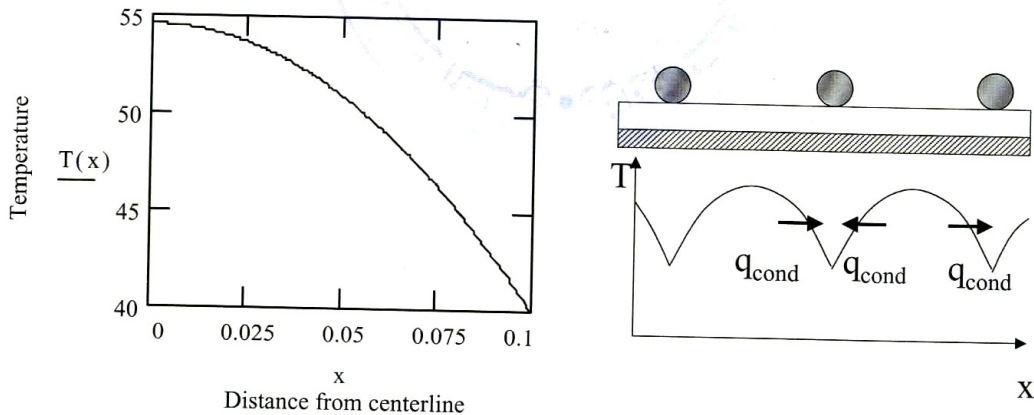
$$A = 0, B = 40 + \frac{\dot{q}}{2k}L^2$$

$$T(x) = 40 + \frac{\dot{q}}{2k}(L^2 - x^2) = 40 + 1458.3(0.01 - x^2)$$

حيث  $x$  تمثل المسافة من خط المركز.

تمثل المعادلة 5 توزيع درجة الحرارة على صحيفة الامتصاص وتطبيقها

نحصل على العلاقة بين درجة الحرارة والمسافة من خط المركز وهي تتناقص مع زيادة المسافة. وكما هو موضح في الشكل (2-9).



شكل (2-33): تغير درجة الحرارة مع زيادة المسافة من مركز

$$q''_{cond} = -k \frac{dT}{dx} = \dot{q}x$$

انتقال الحرارة الى الانابيب

$$q(x) = q''_{cond} A = q''_{cond} (W)(\delta) = \dot{q}(W)(\delta)(x)$$

عند وسط المسافة بين انبوبين لايحصل انتقال للحرارة حيث:

$$q(x = 0) = 0$$

$$q(x = L) = \dot{q}(W)(\delta)(L) = 700000(1)(0.001)(0.1) = 70(W)$$

انتقال الحرارة الكلي الى الانبوب يجب ان

$$q_{tube} = 2q(x = L) = 140(W)$$

يكون ضعف تلك الكمية:

عندما نصف قطر الانبوب يساوي 2 سم والماء الداخل اليه درجة حرارته 20 درجة مئوية:

$$\begin{aligned} q_{tube} &= hA_s(T - T_{\infty}) \\ A_s &= \pi RW \\ h &= 140 / [(\pi RW)(T - T_{\infty})] \\ &= 111.5 (W/m^2K) \end{aligned}$$