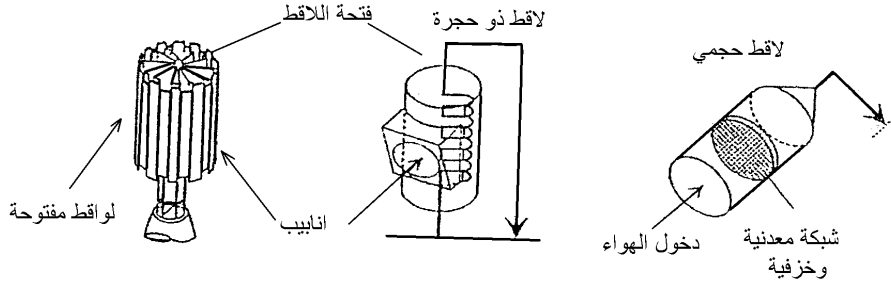


### 3-6 الأنظمة البرجية الكهروضوئية:

#### 1-3-6 البرج واللاقط وحقل المرايا:

يبين الشكل (6-12) أنواع اللواقط المستخدمة في الأنظمة البرجية وهي ثلاث أنواع:

لواقط مفتوحة - لواقط ذات الحجرة - اللواقط الحجمية



شكل (6-12) أنواع اللواقط المستخدمة في الأنظمة البرجية

تتميز اللواقط المفتوحة بكلفتها المنخفضة نسبياً إلا أنها تعتبر غير محمية من ناحية الضياعات الحرارية. بواسطة هكذا

لواقط يمكن الحصول على مردود جيد فقط عند تراكيز عالية للأشعة الشمسية وبالتالي حمل نوعي كبير لللاقط.

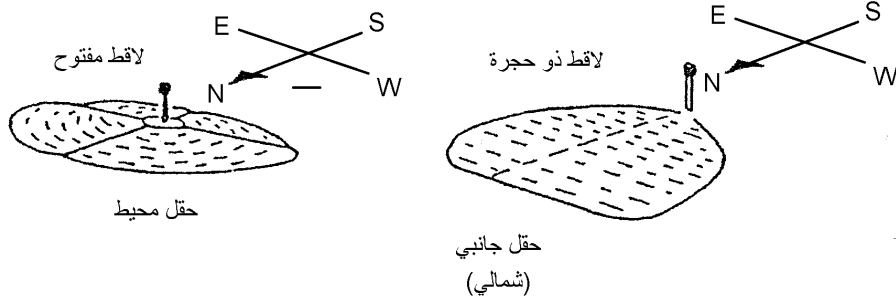
يتألف سطح اللواقط من مجموعة متلاصقة من الأنابيب كمبادلات حرارية مغطاة بطبقة ماصة مناسبة أما اللواقط ذات الحجرة فهي مؤلفة من حجرة كبيرة نسبياً معزولة جيداً بنافذة أو فتحة مناسبة لدخول الأشعة الشمسية المركزة وعبر هذه الفتحة تحصل فواید بالإشعاع.

تتوضع أنابيب المبادل الحراري على الجدران الداخلية ونظراً لكبر المساحة وقلة الفواید تحقق هذه اللواقط مردوداً جيداً أعلى من مردود اللواقط المفتوحة.

اللواقط الحجمية هي لواقط شبه مغلقة ويكون سطح تبادل الحراري عبارة عن شبكة معدنية أو خزفية تمتص الإشعاع المركز ويتم تبريدها بتيار هوائي قسري.

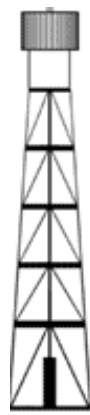
يتم بناء الأبراج من المعدن أو من البيتون المسلح وتكون الأبراج المعدنية أرخص في حال اللواقط الخفيفة وارتفاعات أقل من 100[m] أما الأبراج البيتونية المسلحة فتكون أكثر اقتصادية في حال اللواقط الثقيلة وارتفاعات تتجاوز 100[m] وحتى 250[m] انظر الشكل (6-4).

تتوضع المرايا الموجهة (Heliostats) على شكل حقول من المرايا حول برج فتميز حالتين: حقول محيطة وحقول جانبية.

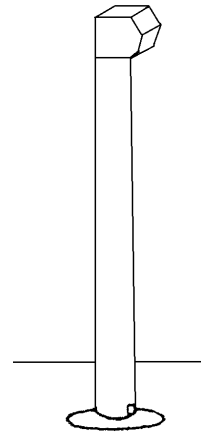


شكل (6-13) مبدأ توزيع حقل المرايا حول البرج في الأنظمة البرجية الكهروضوئية في نصف الكرة الشمالي

تستخدم الحقول المحيطة فقط في حالة اللواقط المفتوحة وعند خطوط عرض دون 40 شمالاً في المناطق الشمالية فتكون الفائدة من المرايا المتوضعة جنوب البرج قليلة جداً. كي تؤدي المرايا وظيفتها في عكس الأشعة الواردة إليها إلى اللاقط في أعلى البرج يتم توجيهها بشكل مائل أو من حرف عن الأشعة الشمسية بحيث تعكس الأشعة الواردة إلى اللاقط. إن هذا الوضع المنحرف عن الإشعاع الشمسي للمرايا يتسبب في التقاط وعكس كمية أقل من الإشعاع الشمسي حيث تتعلق شدة الإشعاع الشمسي الماطلة على سطح المرآة بتجيب زاوية الورود أي الزاوية بين الناظم على سطح المرآة والإشعاع الشمسي الوارد.



برج معدني مع لاقط مفتوح



برج من البتون المسلح مع لاقط ذو حجرة

الشكل (6-14) أنواع الأبراج للمحطات البرجية الكهروضوئية

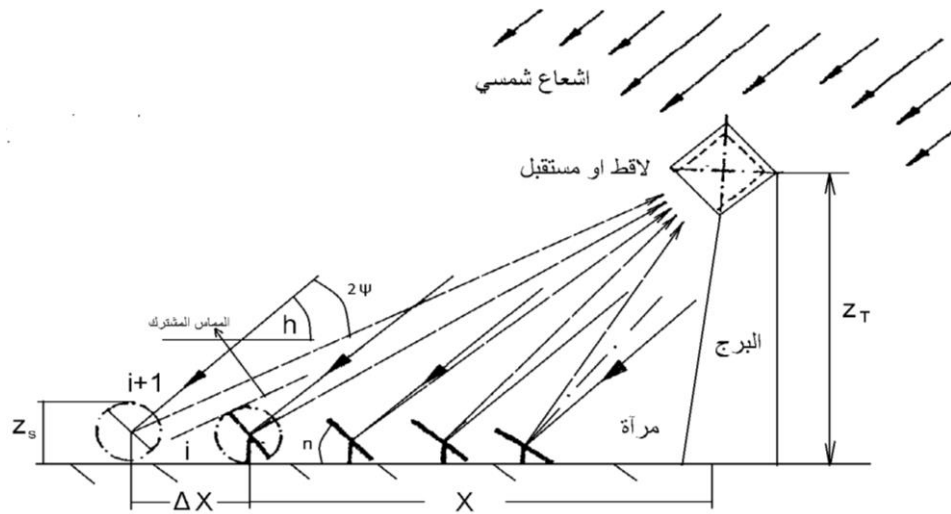
في حالة اللواقط ذات الحجرة تتوضع المرايا في حقل واحد يقع شمال البرج في نصف الكرة الشمالية وجنوب البرج في جنوب الكرة الجنوبي. وبهذه الطريقة يتم تخفيض الفواقد الناتجة عن زوايا إلى حد كبير. الجدول (6-1) يبين المساحات

اللازمة لتوليد استطاعة كهربائية معينة، إن التوضع البعيد عن البرج يتطلب دقة عالية جدا في توجيه المرايا لأن أي انحراف زاوي مهما صغر يؤدي إلى انحراف لسقوط الأشعة المنعكسة يتعلق بهذه المسافة.

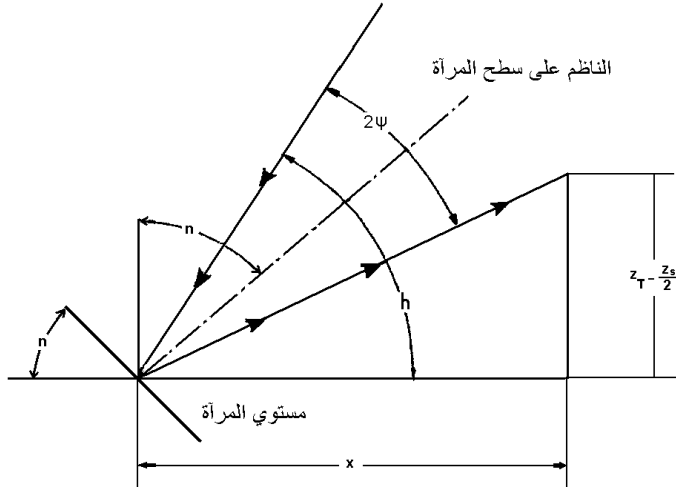
الجدول (1-6)

مساحة المرايا [m <sup>2</sup> ]	بعد المرآة الأخيرة عن البرج [m]	مساحة الحقل [m <sup>2</sup> ]	الاستطاعة الكهربائية [MW]
6.10 <sup>3</sup>	200	24.10 <sup>3</sup>	1
120.10 <sup>3</sup>	500	500.10 <sup>3</sup>	20
880.10 <sup>3</sup>	1300	3300.10 <sup>3</sup>	100

2-3-6 أسس تصميم الحقل:



الشكل (15-6) مقطع في حقل برج لاقط ومرايا عاكسة باتجاه شمال - جنوب الساعة 12 في نصف الكرة الشمالي يبين الشكل (15-6) مقطعا باتجاه شمال جنوب الساعة الثانية عشر (توقيت شمسي) في حقل نظام برج كهر شمسي. يكون الناظم على سطح المرآة منصفًا للزاوية بين شعاع الورد والشعاع المنعكس. لكل مرآة زاوية ميل خاصة بها حسب بعدها عن البرج. يبين الشكل (16-6) علاقات هذه الزوايا.



الشكل (6-16) الزوايا في حقل المرايا الميئين في  
الشكل (6-15)

تحسب زاوية الورود من العلاقة:

$$(6-22) \quad 90 - n = h - \psi$$

$$(6-23) \quad 90 - n = \arctg((Z_T - Z_S/2)/x) + \psi$$

بجمع العلاقتين (6-22) و (6-23) طرفا لطرف ثم الإصحاح ينتج لدينا قيمة زاوية الميل اللازمة للمرايا  $n$ :

$$(6-24) \quad n = \frac{180 - h - \arctg\left(\frac{Z_T - Z_S/2}{x}\right)}{2} \quad [c^0]$$

حيث:

$Z_T$  : ارتفاع البرج [m]

$Z_S/2$  : ارتفاع مركز المرآة [m]

$x$  : بعد المرآة عن البرج [m]

عند اقتراب الظهيرة ومع ارتفاع الشمس (الارتفاع  $h$ ) تصغر زاوية الميل  $n$ . تكبر أيضا زاوية الميل  $n$  كلما ازداد  $x$  أو كلما بعدت المرآة عن البرج، بينما تصغر زاوية الميل مع زيادة ارتفاع البرج  $Z_T$  وبهذا يكون لكل مرآة زاوية ميل خاصة بها.

نظرا للعوامل الكثيرة التي تحدد ميل المرآة اللازم حيث يتأثر بالإضافة إلى العوامل السابقة بالساعة الشمسية والتوضع الجغرافي والتاريخ السنوي فان تصميم الحقل بشكل دقيق يحتاج إلى برامج حاسوبية دقيقة ومناسبة.

### 3-3-6 الفواقد الحرارية في حقل المرايا:

في حقل المرايا تحدث فواقد متنوعة تؤثر إلى حد كبير على المردود الكلي للنظام البرجي الكهروضوئي وتنشأ هذه الفواقد عن الحجب أو التضليل أو الفواقد الجيبية أو عيوب المرايا أو فواقد الانعكاس وكذلك خطأ التوجيه وتأثير الشمس والرياح على البرج والمرايا من حيث الانحراف.

### 3-3-3-1 فواقد الحجب:

المقصود بالحجب إمكانية أن تحجب المرايا في الصفوف المتقدمة الأشعة المنعكسة إلى اللواقط من المرايا في الصفوف التي تليها.

يتم تفادي الحجب بتحقيق مسافة كافية  $\Delta X$  بين صفين أو بين مرآتين متتاليتين. يتم التحقق من ذلك بان يستطيع المماس المشترك على دائرتي الدوران لمرآتين متتاليتين  $i + 1$  و  $i$  باتجاه الشعاع المنعكس التقاطع مع سطح اللاقط. وفق الشكل (6-15) يمكن كتابة العلاقة التالية للحالة واللحظة المبينة في المخطط.

$$\langle 6 - 25 \rangle \quad \frac{\Delta X}{Z_S} \approx \frac{X}{Z_T}$$

ومنه ينتج:

$$\langle 6 - 26 \rangle \quad \Delta X \geq X \frac{Z_S}{Z_T}$$

حيث:

$Z_T$ : ارتفاع البرج [m]

$Z_S$ : ارتفاع مركز المرآة [m]

$X$ : بعد المرآة عن البرج [m]

من العلاقة السابقة يتبين أن المسافة بين مرآتين متتاليتين تكبر كلما بعدت المرايا عن البرج وكلما ازدادت النسبة  $Z_S/Z_T$  لكن  $\Delta X$  يجب أيضا ألا تكون أكبر مما يلزم لأن المساحة المشغولة تصبح أكبر بكثير والتوجيه يصبح أكثر كلفة وأقل دقة.

### 6-3-3-2 فواقد التظليل:

يقصد بالتظليل وقوع إحدى المرايا في ظل مرآة مجاورة في لحظة ما بسبب تغير وضع الشمس ودوران المرايا. يحدث التظليل عادة عندما تكون الشمس قريبة من الأفق أو ارتفاعها قليل بالإضافة إلى أن البرج يحدث تظليلاً محدوداً لقسم من الحقل.

### 6-3-3-3 الفواقد الجيبية:

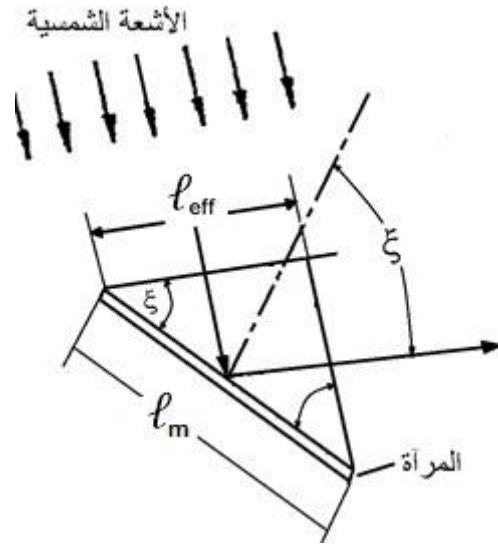
إن الأشعة الشمسية تشكل دائماً زاوية ورود مع الناظم على سطح المرآة ولا يمكن ان تكون هذه الزاوية صفراً لأن ذلك يعني أن الشعاع الوارد والشعاع المنعكس على استقامة واحدة وبالتالي يجب أن يقع اللاقط على هذا الخط وعندها سيحجب الأشعة الشمسية عن المرآة. بسبب ميل الأشعة عن المرآة يكون السطح الفعال للمرآة أصغر من الفعلي. من الشكل (6-17) يمكن إيجاد العلاقة بين المساحة الفعلية والمساحة الفعالة للمرآة أو:

$$\langle 6 - 27 \rangle \quad \frac{A_{\text{eff}}}{A_m} = \frac{\ell_{\text{eff}}}{\ell_m} = \cos \xi$$

$A_{\text{eff}}$ : المساحة الفعالة للمرآة.

$A_m$ : المساحة الفعلية للمرآة.

$\xi$  : زاوية الورود للأشعة الشمسية.



الشكل (6-17) الفوائد الجيبية للمرايا

#### 6-3-3-4 فوائد عيوب سطح المرآة:

إن انحراف شكل المرآة عن الشكل المستوي الهندسي يؤدي إلى تبديد (نثر) الأشعة الشمسية وبالتالي حصول فوائد لا تصل إلى اللاقط.

#### 6-3-3-5 فوائد أخطاء التوجيه:

يبلغ الانحراف الأعظمي المسموح به في توجيه المرايا للمحطات البرجية الكهروضوئية باستطاعات تتراوح بين 20 MW و 1 حوالي 3.5 mrad (انحراف زاوي) أو بمعنى آخر ما يقابل 12 دقيقة من محيط الدائرة ، والتي نصف قطرها بعد المرآة عن اللاقط.

فإذا كان البعد 100[m] يجب ألا يتجاوز انحراف الأشعة المنعكسة عن المكان الحسابي لسقوطها مسافة 350[mm] كحد أقصى وهذا يتطلب تقنية عالية.

#### 6-3-3-6 فوائد بتأثير الرياح والتسخين:

تحت تأثير قوة الرياح تحصل اهتزازات للمرايا والبرج تؤثر على انعكاس الأشعة وتؤدي إلى انحرافها عن موقعها المرغوب على اللاقط. انزياح للأشعة مشابه قد يسببه التسخين الشمسي لهيكل البرج أو قواعد المرايا مما يتسبب في فوائد أيضا.

#### 6-3-3-7 فوائد الانعكاس:

يؤثر على معامل الانعكاس للمرآة ثلاث عوامل رئيسية هي نوع وجودة الزجاج - نوع الطبقة الخلفية للمرآة - زاوية الانعكاس حيث يتناقص معامل الانعكاس مع ازدياد زاوية الورود وبالتالي زاوية الانعكاس.

### 6-3-4 مردود حقل المجمعات والاستطاعة المفيدة الواصلة إلى اللاقط:

ينتج المردود الإجمالي لحقل المجمعات كقيمة مكتملة وسطية لمردود المرايا الذي ينتج بدوره من جداء المراديد المختلفة لكل مرآة. يبين الجدول (6-2) قيم المراديد المختلفة للمرآة كعنصر من عناصر الحقل.

الجدول (6-2)

رمز المردود	قيمة المردود	نوع الفواقد
$\eta_{B,A}$	0.98÷0.99	الحجب والتظليل
$\eta_C$	0.70÷0.95	الفواقد الجيبية
$\eta_F$	0.90÷0.99	فواقد التوجيه وعميوب المرآة
$\eta_{W,T}$	0.93÷0.97	تأثير الرياح وحركة البرج
$P = \eta_R$	0.8÷0.95	فواقد الانعكاس
$\eta_{OI}$	0.98 ÷ 1.00	تقادم المرآة

ينتج من ذلك المردود الإجمالي للمرآة  $i$  :

$$\langle 6 - 28 \rangle \quad \eta = \eta_{B,A} \cdot \eta_C \cdot \eta_F \cdot \eta_{W,T} \cdot \eta_R \cdot \eta_{OI}$$

$$\eta_{sfi} = (0.45 \div 0.85)$$

أما المردود الكلي للحقل فنحصل عليه من العلاقة:

$$\langle 6 - 29 \rangle \quad \eta_{sf} = \frac{\sum_{i=1}^n \eta_{sfi} A_{cfi}}{A_{cf}}$$

$n$  : عدد المرايا .

$A_{cfi}$  : مساحة المرآة رقم  $i$  [ $m^2$ ]

$A_{cf}$  : مساحة الحقل الكلية [ $m^2$ ]

$$\eta_{sf} = (0.55 \div 0.80)$$

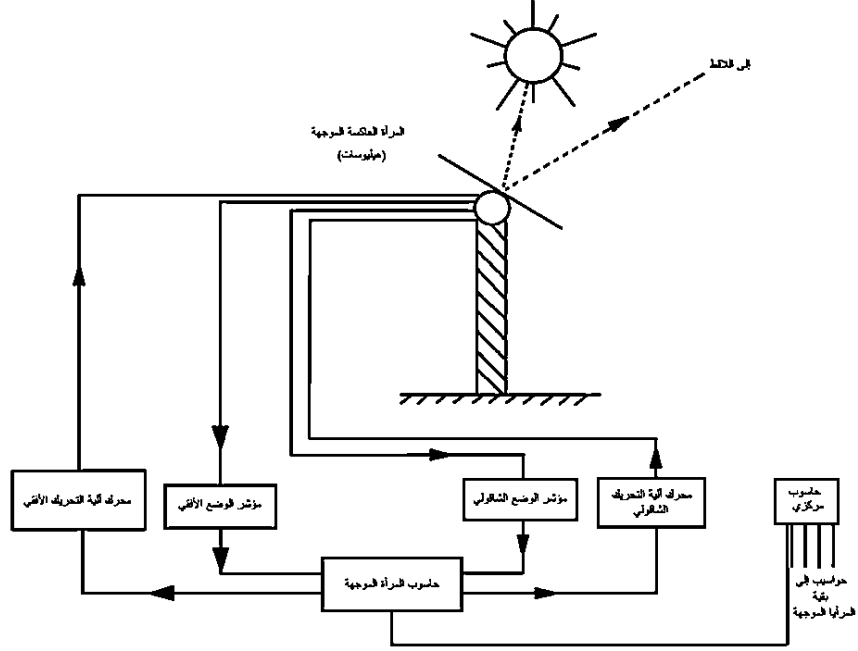
الاستطاعة الواصلة إلى اللاقط:

$$\langle 6 - 30 \rangle \quad \dot{Q}_{N.H} = A_{sf} \cdot \eta_{sf} \cdot J_{ev}$$

$J_{ev}$  : شدة الإشعاع الشمسي على السطح الموجه عموديا على الأشعة الشمسية.

### 5-3-6 توجيه المرايا:

يبين الشكل (6-18) مخططا مبسطا لتوجيه حقل المرايا لنظام برجى كهر شمسي.



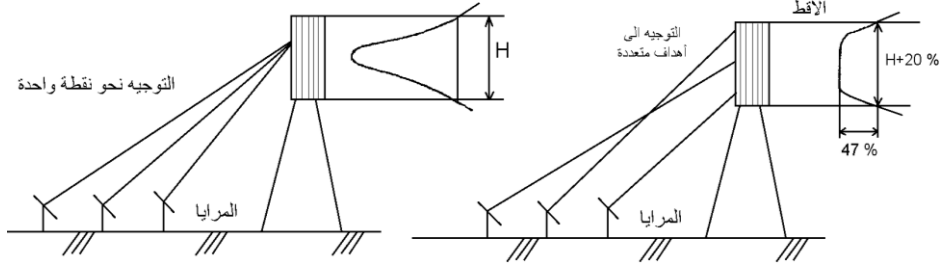
الشكل (6-18) مخطط مبسط لدارة توجيه حقل المرايا لنظام برجى كهر شمسي

يمكن تلخيص وظيفة التوجيه في النقاط التالية:

- التوجيه بما يعادل الانحراف الناتج عن حركة الأرض حول محورها وحول الشمس وهذا يتطلب دقة عالية يؤمنها حاسوب المرأة الموجهة.
  - تحريك مرآة ما وتدورها لحاجات الصيانة ويؤمنها الحاسب المركزي.
  - قلب المرايا جميعها في حال الطقس السي وفي الليل ويتم ذلك بمساعدة الحاسب المركزي.
  - تدوير المرأة في أحوال الطوارئ بمساعدة الحاسب المركزي.
- لكل مرآة حاسوب خاص بها يتم برمجته وضع الشمس وتخزينه في ذاكرته بواسطة حساسات خاصة يتم التقاط الوضع والشاقولي والأفقي وعبر مؤشر الوضع تنقل إشارة مناسبة إلى الحاسب يتم مقارنتها مع الوضع المبرمج وتصدر الأوامر لتعديل الوضع إلى محركات لآلية الوضع والشاقولي والأفقي فتقوم بالتنفيذ وفق الإشارة التي تتلقاها.
- يتم توجيهه عادة نحو نقطة واحدة أو نحو عدة نقاط من السطح الماص. ويتغير الجهد الحراري على امتداد السطح الماص تبعا لذلك، حيث يمكن تخفيض الإجهاد الحراري على السطح الماص إلى 50% من القيمة العظمى مما يساهم في عمر أطول للطبقة الماصة.



يبين الشكل (6-19) نموذجين لتوجيه المرايا نحو نقطة واحدة ونحو عدة نقاط، في حالة التوجيه إلى عدة نقاط، وبسبب الانزياح المحتمل في سقوط الأشعة نتيجة الأخطاء الواردة في الفقرة السابقة، يجب أن تكون أبعاد اللاقط (أو فتحة اللاقط) أكبر بحوالي 20% لتلافي فقدان بعض الأشعة المنعكسة.

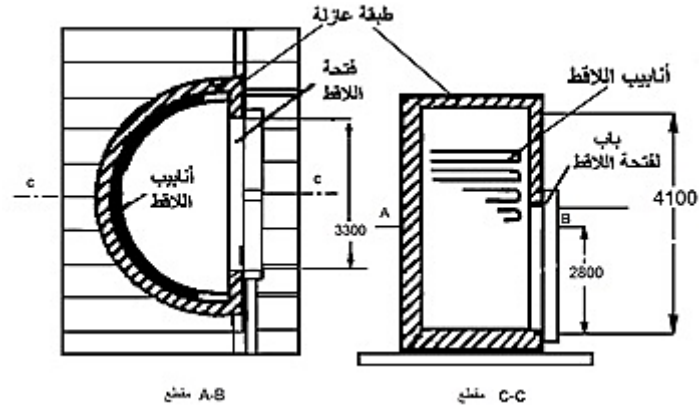


الشكل (6-19) توجيه المرايا نحو هدف أو عدة أهداف

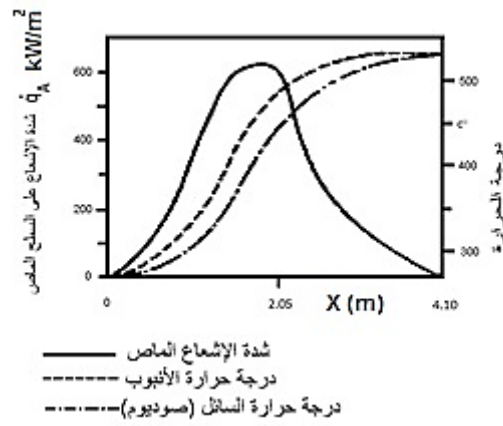
### 6-3-6 اللاقط ذو الحجرة:

#### 6-3-6-1 بنية اللاقط وآلية عمله:

يبين كل من الشكلين (6-20) و (6-21) نموذج للاقط محطة برجية كهروضوئية بدارة سائل من الصوديوم المصهر. التجويف (حجرة الامتصاص) عبارة عن نصف اسطوانة مكسوة بوشيعية من الأنابيب المقوسة وفق جدار الحجرة. تتوضع خاف الأنابيب طبقة تخزين حراري من السيراميك وخلف هذه الطبقة يتوضع العازل الحراري. فتحة اللاقط مزودة بباب يمكن إغلاقه لمنع الفقد الحراري وبالتالي التبريد عند حجب الشمس (مرور الغيوم) أو أثناء الليل تتوزع كثافة الإشعاع على السطح الماص على امتداد ارتفاع اللاقط ومن المنحني في الشكل وبسبب اشتراك جميع المرايا العاكسة باستهداف نقطة الوسط فإن كثافة الإشعاع هنا أعظمية وتبلغ حوالي  $620[kw/m^2]$  والسبب في تحمل السطح الماص لهذه الشدة هو القدرة العالية للصوديوم كناقيل حراري و ترتفع درجة حرارة الصوديوم دائما من  $270 \div 530[^\circ c]$  حيث تكون درجة حرارة الأنابيب أعلى قليلا من درجة حرارة السائل. في نهاية اللاقط العلوية والسفلية تتساوى درجات حرارة الأنابيب والسائل حيث لا يوجد تبادل حراري وحيث كثافة الإشعاع معدومة. من المهم عمد تصميم اللاقط تحقيق مقدرة عالية على امتصاص طاقة إشعاعية بأعلى كثافة ممكنة بالإضافة إلى مقدرة اللاقط على تحمل شروط عمل استثنائية كالتسخين الشديد المفاجئ أو التبريد السريع المفاجئ أيضاً.



الشكل (6-20) لاقط محطة برجية كهروضوئية باستطاعة  $500[kW_{el}]$

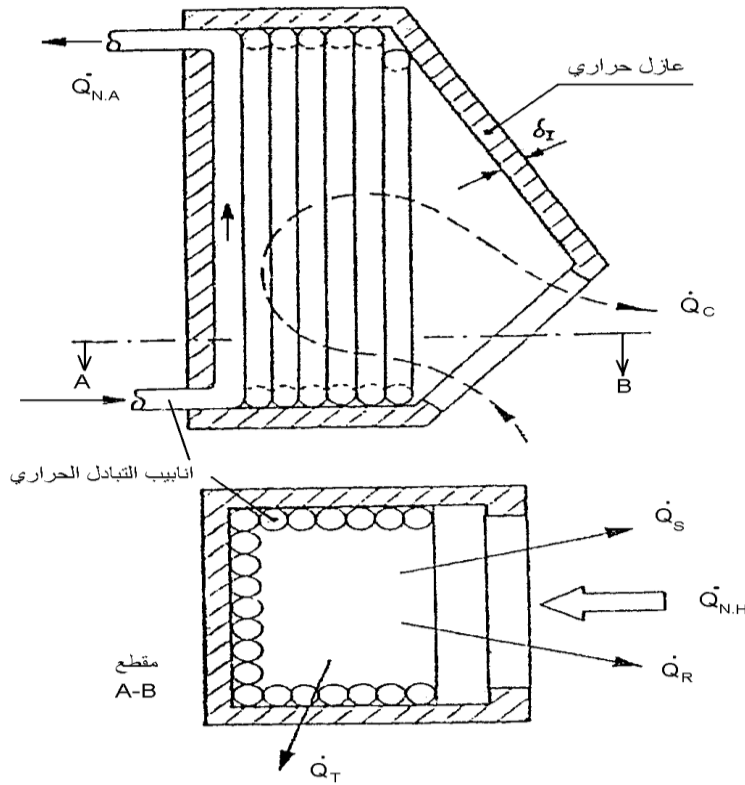


الشكل (6-21) شدة الإشعاع على السطح الماص وتوزيع درجات الحرارة على امتداد ارتفاع اللاقط لمحطة برجية

كهروضوئية باستطاعة  $500[kW_{el}]$

### 2-6-3-6 الحسابات الحرارية للاقط:

يبين الشكل (22-6) مخطط لمقطعين أفقي وشاقولي في لاقط ذو حجرة مع تيارات التبادل الحراري.



الشكل (22-6) تيارات التبادل الحراري في لاقط ذو حجرة

### 1-2-6-3-6 الموازنة الحرارية للاقط:

عند إجراء الموازنة الحرارية للاقط نحصل على:

$$\langle 6 - 31 \rangle \quad \dot{Q}_{NA} = \dot{Q}_{NH} - \dot{Q}_C - \dot{Q}_R - \dot{Q}_S - \dot{Q}_T$$

$\dot{Q}_{NA}$  : الاستطاعة المفيدة للاقط [w]

$\dot{Q}_{NH}$  : الاستطاعة المفيدة المعكوسة من حقل المرايا [w]

$\dot{Q}_C$  : فواقد الحمل [w]

$\dot{Q}_R$  : فواقد الانعكاس [w]

$\dot{Q}_S$  : فواقد الإشباع [w]

$\dot{Q}_T$  : فواقد الانتقال عبر الجدران [w]

$$\langle 6 - 32 \rangle \quad \eta = \frac{\dot{Q}_{NA}}{\dot{Q}_{NH}} \quad \text{أما المردود:}$$

$$\langle 6 - 33 \rangle \quad \eta = 1 - \frac{\dot{Q}_C}{\dot{Q}_{NH}} - \frac{\dot{Q}_R + \dot{Q}_S}{\dot{Q}_{NH}} - \frac{\dot{Q}_T}{\dot{Q}_{NH}}$$

وذلك عند افتراض أن كافة الأشعة المنعكسة من الحقل تسقط في فتحة اللاقط.

### 6-3-6-2-2 الفواقد الحرارية للاقط:

- فواقد الحمل:

يتسبب ارتفاع الحرارة داخل حجرة اللاقط نشوء تيارات هوائية عبر فتحة اللاقط كما هو مبين في الشكل (6-22). وهذه التيارات تتسبب في فواقد حرارية عن طريق الحمل، وتحسب هذه الفواقد من العلاقة:

$$\langle 6 - 34 \rangle \quad \dot{Q}_C = \alpha_C (T_A - T_a) A_{RA}$$

$\alpha_C$  : معامل التبادل الحراري السطحي  $[W/m^2 \cdot K]$

$T_A$  : درجة الحرارة داخل حجرة اللاقط  $[K]$

$T_a$  : درجة حرارة الوسط المحيط  $[K]$

$A_{RA}$  : مساحة فتحة اللاقط  $[m^2]$

تتراوح قيم  $\alpha_C$  : للواقط باستطاعة  $38 [MW] \div 1$  في المجال  $5.9 [w/m^2K] \div 7.8$

- فواقد الانتقال الحراري عبر السطوح المحيطة:

نظرا لأن اللاقط يتم عزله بشكل كاف فإن الفواقد بالانتقال عبر السطوح المحيطة تكون عادة صغيرة نسبيا ويمكن حسابها بالعلاقة:

$$\langle 6 - 35 \rangle \quad \dot{Q}_T = U (T_A - T_a) (A_A - A_{RA}) \quad [w]$$

ويمكن حساب معامل الانتقال الحراري الكلي بالعلاقة:

$$\langle 6 - 36 \rangle \quad U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} \frac{\delta_i}{\lambda_i} \frac{1}{\alpha_a}} \quad [w/m^2K]$$

$A_A$  : المساحة الكلية لسطح اللاقط  $[m^2]$

$\alpha_i$  : معامل التبادل الحراري السطحي الداخلي  $[w/m^2 \cdot K]$

$\alpha_a$  : معامل التبادل الحراري السطحي الخارجي  $[w/m^2 \cdot K]$

$\delta_i$  : سماكة العازل  $[m^2]$

$\lambda_i$  : معامل التوصيل للعازل  $[w/m \cdot K]$

ونظرا لتأثر الانتقال الحراري بشكل رئيس بسماكة وناقلية العازل  $\lambda_i$  ،  $\delta_i$  يمكن إهمال  $\alpha_a$  ،  $\alpha_i$  بتقريب أولي وتصبح العلاقة على الشكل:

$$\langle 6 - 37 \rangle \quad \dot{Q}_T = \frac{\lambda_i}{\delta_i} (T_A - T_a) (A_A - A_{RA}) \quad [w]$$

- فواقد الإشعاع والانعكاس:

يتلقى اللاقط من حقل المرايا استطاعة إشعاعية  $\dot{Q}_{N,H}$  يمكن حسابها بالعلاقات:

$$\langle 6 - 38 \rangle \quad \dot{Q}_{N,H} = \dot{q}_{RA} A_{RA} \quad [w]$$

$$\langle 6 - 39 \rangle \quad \dot{Q}_{N,H} = \dot{q}_A A_A \quad [w]$$

$\dot{q}_{RA}$  : الاستطاعة الوسطية عبر واحدة سطح فتحة اللاقط  $[w/m^2]$

$A_{RA}$  : مساحة فتحة اللاقط  $[m^2]$

$\dot{q}_A$  : الاستطاعة الوسطية على واحدة سطح اللاقط  $[w/m^2]$

$A_A$  : مساحة اللاقط الكلية  $[m^2]$

لتسهيل الحسابات يتم إدخال نسب المساحات التالية:

$$\langle 6 - 40 \rangle \quad f_1 = \frac{A_A - A_{RA}}{A_A}$$

$$\langle 6 - 41 \rangle \quad f_2 = \frac{A_A}{A_{RA}}$$

إن الأشعة الداخلة إلى حجرة اللاقط تنعكس عدة مرات باتجاهات مختلفة وعند كل انعكاس يضيع جزء من الأشعة عبر فتحة اللاقط وتتعلق كمية الأشعة ذات الأمواج القصيرة المنعكسة في كل مرة بمعامل الانعكاس  $\rho$ . ونظرا لتسخين سطح اللاقط فإن هذا السطح الساخن يقوم أيضا بإشعاع طاقة ذات أمواج طويلة تتعلق بمعامل الإشعاع لمادة السطح  $\epsilon_1$ . هذه الإشعاع يسقط أيضا على السطح الداخلي للاقط وينعكس مرات عديدة وفي كل مرة يضيع جزء منه عبر فتحة اللاقط.

لانعكاس الأمواج الطويلة هناك معامل انعكاس آخر:

$$\langle 6 - 42 \rangle \quad \rho_1 = 1 - \epsilon_1$$

إن الإشعاع الكلي المفقود عبر فتحة اللاقط إلى الخارج يتألف من مركبات عديدة من الأشعة القصيرة والطويلة التي تضعف بعد كل انعكاس.

عندما تسقط الأشعة الواردة من الحقل لأول مرة على سطح اللاقط بشدة  $\dot{q}_A$  ينعكس إشعاع شدته  $\rho \dot{q}_A$  وينعكس منه في عملية الانعكاس التالية إشعاع شدته  $\rho(\rho \dot{q}_A) f_1$  وعند الانعكاس الثالث تكون شدة الإشعاع المنعكس  $(\rho^3 \dot{q}_A) f_1^2$  وهكذا.

أما الأشعة ذات الأمواج الطويلة المنبعثة من السطح الساخن للاقط فتحسب شدتها بالعلاقة:

$$\langle 6 - 43 \rangle \quad \dot{q}_S = \epsilon_1 \sigma (T_A^4 - T_a^4)$$

$\epsilon_1$  : معامل الإشعاع لسطح اللاقط.

$\sigma$  : ثابت ستيفان بولستمان  $[5,67 \cdot 10^{-8} w/m^2 \cdot K^4]$

$T_A$  : درجة حرارة السطح الداخلي للاقط [K]

$T_a$  : درجة حرارة الوسط المحيط [K]

وتكون الضياعات بالانعكاس والإشعاع:

$$(6-44) \quad \dot{Q}_R + \dot{Q}_S = A_{RA} \left( \rho \dot{q}_A + \rho^2 \dot{q}_A f_1 + \rho^3 \dot{q}_A f_1^2 + \dots + \rho^{n+1} \dot{q}_A f_1^n \right) + A_{RA} (\dot{q}_S + \rho_1 \dot{q}_S f_1 + \rho_1^2 \dot{q}_S f_1^2 + \dots + \rho_1^n \dot{q}_S f_1^n)$$

$$(6-45) \quad \dot{Q}_R + \dot{Q}_S = A_{RA} \rho \dot{q}_A \left( 1 + \rho f_1 + \rho^2 f_1^2 + \dots + \rho^n f_1^n \right) + A_{RA} \dot{q}_S (1 + \rho_1 f_1 + \rho_1^2 f_1^2 + \dots + \rho_1^n f_1^n)$$

ونظراً لأن  $\rho f_1 \ll 1$  وكذلك  $\rho_1 f_1 \ll 1$  فإن قيم الصفوف داخل الأقواس يمكن تعويضها بالقيمتين  $\frac{1}{1-\rho f_1}$  و

$\frac{1}{1-\rho_1 f_1}$  على التوالي ويكون:

$$(6-46) \quad \dot{Q}_R + \dot{Q}_S = A_{RA} \rho \dot{q}_A \left( \frac{1}{1-\rho f_1} \right) + A_{RA} \dot{q}_S \left( \frac{1}{1-\rho_1 f_1} \right)$$

بإصلاح العلاقة السابقة تصبح:

$$(6-47) \quad \dot{Q}_R + \dot{Q}_S = \frac{A_{RA} \rho \dot{q}_A}{1 - \rho \frac{A_A - A_{RA}}{A_A}} + \frac{A_{RA} \varepsilon_1 \sigma (T_A^4 - T_a^4)}{1 - (1 - \varepsilon_1) \frac{A_A - A_{RA}}{A_A}}$$

$$= \frac{A_{RA} A_A \rho \dot{q}_A}{A_A - \rho (A_A - A_{RA})} + \frac{A_{RA} A_A \varepsilon_1 \sigma (T_A^4 - T_a^4)}{A_A - (1 - \varepsilon_1) (A_A - A_{RA})}$$

3-2-6-3-6 مردود اللاقط:

لحساب مردود اللاقط نعوض في العلاقة:

$$\eta = 1 - \frac{\dot{Q}_C}{\dot{Q}_{NH}} - \frac{\dot{Q}_R + \dot{Q}_S}{\dot{Q}_{NH}} - \frac{\dot{Q}_T}{\dot{Q}_{NH}}$$

من العلاقات (34-6) و (37-6) و (38-6) و (39-6) و (40-6) و (41-6) و (47-6):

$$(6-48) \quad \eta = 1 - \frac{\alpha_c (T_A - T_a) A_{RA}}{\dot{q}_{RA} A_{RA}} - \frac{A_{RA} A_A \rho \dot{q}_A}{[A_A - \rho (A_A - A_{RA})] \dot{q}_A \cdot A_A} - \frac{A_{RA} A_A \varepsilon_1 \sigma (T_A^4 - T_a^4)}{[A_A - (1 - \varepsilon_1) (A_A - A_{RA})] \dot{q}_{RA} \cdot A_{RA}} - \frac{\lambda_i (T_A - T_a) (A_A - A_{RA})}{\delta_i \dot{q}_{RA} A_{RA}}$$

بإصلاح العلاقة السابقة نحصل على مردود اللاقط ذو الحجرة:

$$\langle 6-49 \rangle \eta = 1 - \frac{\alpha_c(T_A - T_a)}{\dot{q}_{RA}} - \frac{\rho}{f_2 - \rho(f_2 - 1)} - \frac{f_2 \varepsilon_1 \sigma(T_A^4 - T_a^4)}{[f_2 - (1 - \varepsilon_1)(f_2 - 1)]\dot{q}_{RA}} - \frac{\lambda_1(T_A - T_a)(f_2 - 1)}{\delta_1 \dot{q}_{RA}}$$

إذا كان اللاقط مفتوحاً يكون  $f_2 = \frac{A_A}{A_{RA}} = 1$  ومنه:

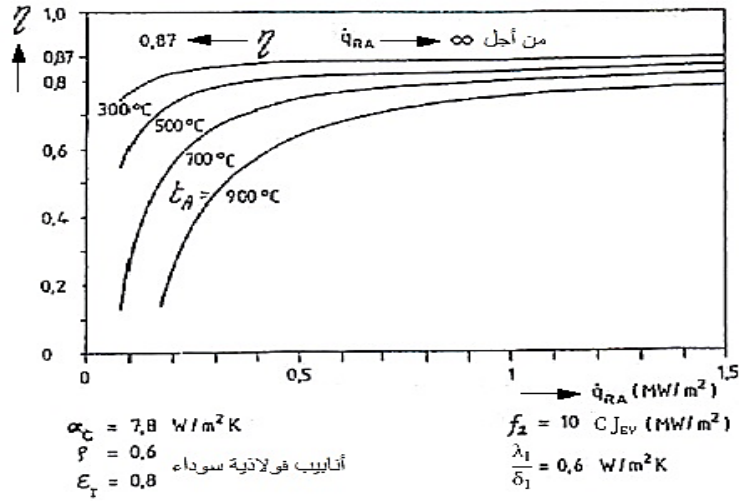
$$\eta_{OR} = 1 - \frac{\alpha_c(T_A - T_a)}{\dot{q}_A} - \rho - \frac{\varepsilon_1 \sigma(T_A^4 - T_a^4)}{\dot{q}_A}$$

$$\langle 6-50 \rangle \eta_{OR} = 1 - \rho - \frac{\alpha_c(T_A - T_a) + \varepsilon_1 \sigma(T_A^4 - T_a^4)}{\dot{q}_A}$$

بالعودة إلى العلاقة  $\langle 6-49 \rangle$ ، علاقة مردود اللاقط ذو الحجرة، ومع الأخذ بالاعتبار أن:

$$\dot{q}_{RA} = \frac{\eta_{SF} A_{CF} J_{EV}}{A_{RA}} = C J_{EV} \quad [w/m^2]$$

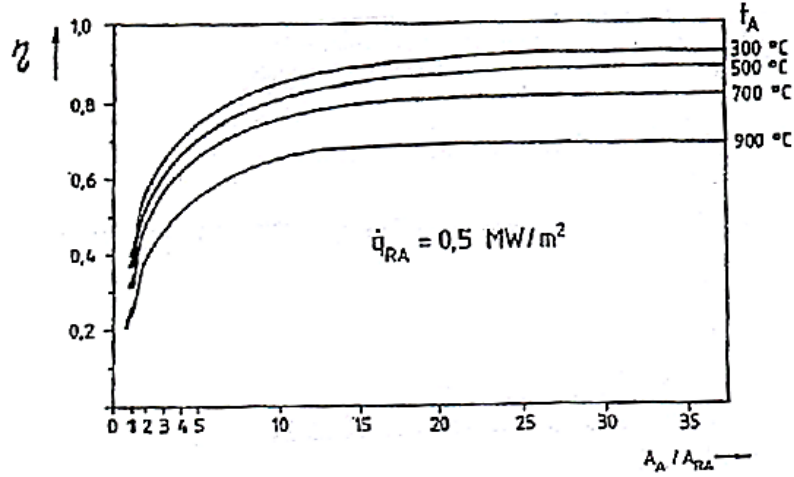
يمكن الحصول على علاقة مردود اللاقط بكثافة الإشعاع عبر فتحة اللاقط بيانياً شكل (6-23) علماً بأن شكل منحنى تابع المردود لدرجة التركيز يبقى نفسه إذا كانت شدة الإشعاع الشمسي ثابتة.



شكل (6-23) تأثير درجة حرارة السطح الماص وكثافة الإشعاع على مردود اللاقط

كلما ارتفعت درجة حرارة السطح الماص ازدادت الفواقد ونقص المردود، بينما تقل الفواقد ويزداد المردود مع ازدياد كثافة الإشعاع (أي زيادة التركيز عند قيم معينة لشدة الإشعاع).

يبين الشكل (6-24) تأثير مساحة فتحة اللاقط ذو الحجرة ودرجة حرارة السطح الماص على مردود اللاقط من أجل نفس المعطيات في الشكل (6-23).



شكل (24-6) مردود الاقظ ذو الحجره وعلاقته بالنسبه بين مساحه الاقظ ومساحه فتحة الاقظ، وذلك

من أجل درجات حرارة مختلفة للسطح الماص وعند كثافة إشعاع  $\dot{q}_{RA}=0.5[Mw/m^2]$

عندما تكون  $\frac{A_A}{A_{RA}} = 1$  فإن الاقظ من النوع المفتوح ويكون عنده المردود أصغري.

يتحسن مردود الاقظ كلما كبرت النسبة  $\frac{A_A}{A_{RA}}$  حتى حد معين، فعند نسبة  $\frac{A_A}{A_{RA}} > 15$  يقل تأثير ازدياد النسبة على المردود وتنعدم الحاجة إلى تصغير فتحة الاقظ.

لا يعني الشكل (24-6) أن مردود الاقظ المفتوح هو دائماً منخفض بل يمكن الحصول على مردود عالٍ للواقظ المفتوحة عند استخدام سطوح ماصة انتقائية وتبريد فعال وزيادة التركيز.

الجدول (3-6) يبين قيم مقاسه لمراديد بعض اللواقظ في محطات برجية كهترشمسية عاملة في بعض الدول.

الجدول (3-6)

مكان العمل	مجال المردود [%]	السائل الناقل للحرارة	نوع الاقظ
اسبانيا	81 ÷ 91	صوديوم	مغلق
اسبانيا	63 ÷ 76	صوديوم	مفتوح
الولايات المتحدة	65 ÷ 81	بخار ماء	مفتوح
اسبانيا	75 ÷ 91	بخار ماء	مغلق
فرنسا	78 ÷ 92	أملاح مصهورة	مغلق