



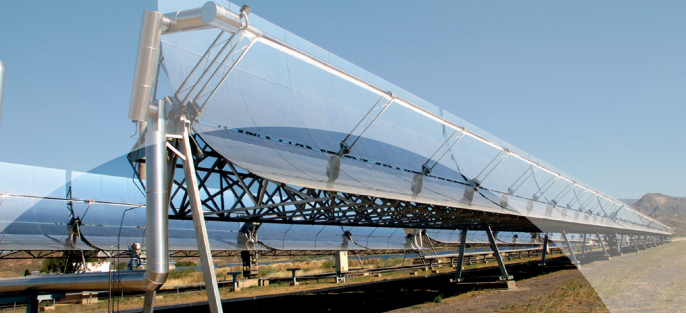
JCEE

Egyptian German Joint Committee
on Renewable Energy, Energy Efficiency
and Environmental Protection

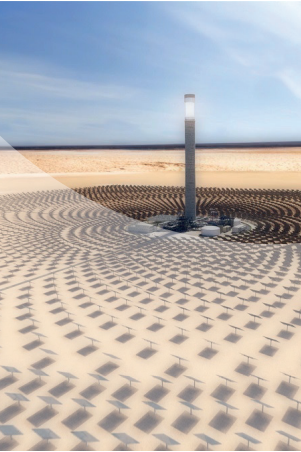
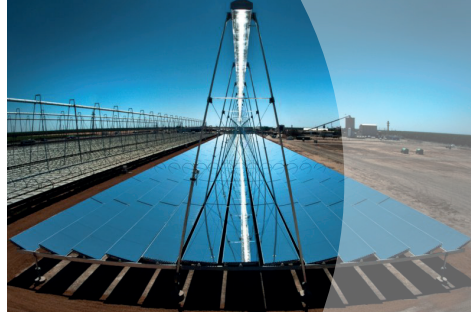


Arab Republic of Egypt
Ministry of Electricity and Renewable Energy

تكنولوجيا محطات المركزات الشمسية



**Concentrating
Solar Plant
Technologies
CSP**



**مراجعة دكتور مهندس
محمد موسى عمران**

**دكتور مهندس
كاميليا يوسف محمد**

العبقرية هي:

1 % من الإلهام

99 % من السعي الجاد

توماس إدسون

مقدمة

كشفت أزمة البترول في عام 1970 عن مدى أهمية الوقود الأحفوري كمصدر للطاقة في العالم، ومنذ ذلك الحين لاقت الأبحاث العلمية في مجال تكنولوجيا الطاقات المتجددة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح إهتماما واسعا.

تتصف الطاقة الشمسية بأنها المستقبل لمصادر الطاقة البديلة نظرا لأنها غير ملوثة للبيئة ولا يصدر عنها غازات الإحتباس الحراري المؤثر على المناخ العالمي والناجمة من استخدام الوقود الأحفوري، أي أن الطاقة الشمسية ليس لها آثار سلبية كما أنها مقبولة بيئيا. ومع تطور الأبحاث العلمية مستقبلا، سوف تتخفض تكاليف الطاقة الكهروشمسية وتزيد كفاءتها وستصبح الطاقة الشمسية عالميا هي المصدر الرئيسي للطاقات المتجددة نظرا لإمكاناتها الهائلة ومزاياها طويلة المدى.

تعتبر جمهورية مصر العربية من أكثر الدول التي تتميز بالسطوع الشمسي طوال العام لذا اتجهت الدولة ممثلة في قطاع الكهرباء والطاقة المتجددة لاستغلال الطاقة الشمسية وخاصة في إنتاج الطاقة الكهربائية مباشرة باستخدام تكنولوجيا الفوتوفلتية، أو إنتاج طاقة كهربائية باستخدام المركبات الحرارية الشمسية (الطريقة غير المباشرة)، باعتبارهما من وسائل استراتيجيات الطاقة لتوفير الاحتياجات المستقبلية من الطاقة الكهربائية.

تهدف استراتيجية الطاقة الجديدة والمتجددة إلى زيادة نسبة الطاقة المولدة من الطاقات المتجددة إلى 20% من إجمالي الطاقة الكهربائية المولدة في مصر عام 2022 والوصول إلى نسبة 42% حتى عام 2035.

وقد تبنى قطاع الكهرباء مشروع إنشاء محطات طاقة شمسية فوتوفلتية أعلى أسطح المباني وذلك بعد اختيار الأماكن المناسبة والمتاحة لتركيب الخلايا الفوتوفولتية.

كما تمت تجربة التشغيل التجاري لمشروع أول محطة شمسية حرارية لإنتاج الكهرباء قدرة 140 م.وات منها 20 م.وات مكون شمسي بمنطقة الكريما والتي

تعمل بنظام مزدوج للتوليد الشمسي / الحراري باستخدام تكنولوجيا المركبات الشمسية بالإرتباط مع الدورة المركبة التي تستخدم الغاز الطبيعي كوقود.

كان افتتاحى فى 2018/2/27 لمحطة طاقة شمسية نموذجية متعددة الأغراض بتكنولوجيا المركبات الشمسية ببرج العرب - اسكندرية ، مبعث سعادة لى لاهميتها التعليمية، كذلك هناك اتفاقيات لبناء محطة طاقة شمسية ضخمة بقدرات تصل الى 1465 ميغا وات فى منطقة تبعد نحو 50 كيلو مترا شمال أسوان وتعد اكبر محطة لإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية.

لقد أعطى قطاع الكهرباء مزيدا من الإهتمام بتدريب وتجهيز ورفع وعى وطاقات الكوادر البشرية من المهندسين والفنيين فى مجالات الطاقة الشمسية الفوتوفلتية والحرارية المركزية، و كان اصدار هذا الكتاب "تكنولوجيا محطات المركبات الشمسية" باللغة العربية تشجيعا على القراءة وتحصيل العلم، وحفاظا على اللغة العربية. وأتمنى من الله أن يستفيد أبناى المهندسين والفنيين من هذا الكتاب والله الموفق لخير مصر

وزير الكهرباء والطاقة المتجددة
دكتور مهندس/ محمد شاكر المرقبى

مقدمة

نتيجة تزايد الاستهلاك العالمي لمصادر الطاقة غير المتجددة مثل البترول والغاز الطبيعي بمعدلات مرتفعة، أصبح لزاما الاهتمام بتشجيع استخدام مصادر الطاقات المتجددة مثل الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح والطاقة الحرارية الأرضية.

تحصل الأرض على 174 بيتا وات من الاشعاع الشمسي في الغلاف الجوي العلوي، وينعكس حوالي 30% إلى الفضاء ويتم امتصاص باقي الكمية من قبل المحيطات والغيوم وكتلة الأرض.

تعتبر مصر إحدى دول منطقة الحزام الشمسي حيث تتمتع بأشعاع شمسي مباشر يصل إلى 3200 ك و.س/م² سنويا، اعتمادا على الموقع والوقت من اليوم والوقت من السنة بالإضافة إلى الظروف الجوية.

يمكن تصنيف تكنولوجيا الطاقة الشمسية إلى نشطة وسالبة، ومن أمثلة التكنولوجيا النشطة كل من الخلايا الفوتوفلتية (والتي تعرف بالطريقة المباشرة لإنتاج الكهرباء) ومركزات الطاقة الحرارية الشمسية (والتي تعرف بالطريقة غير المباشرة لإنتاج الكهرباء)، أما التكنولوجيا السالبة فمن أمثلتها تحسين دوران الهواء وتوجيهه لإستخدام ضوء الشمس بشكل ايجابي في الفراغات.

كما يوجد العديد من الحقائق عن الطاقة الشمسية التي تقيم امكانياتها، واللازمة لتلبية احتياجات الطلب على الطاقة، فإنها لاتنتج أية ملوثات، وصيانتها منخفضة، مع سهولة التشغيل والتركيب. وعلى الرغم من أن كثير من الدول قد بدأت في التوسع في استخدام الطاقة الشمسية على نطاق واسع فإنه يتعين على أغلب هذه الدول أن تقطع شوطا كبيرا لاستغلال هذه الطاقات، حيث أن الاستثمار في الطاقة الشمسية يؤدي الى الوصول إلى تكاليف فعلية وانخفاض تلوث الهواء والمياه والحد من انبعاثات الغازات الدفيئة.

تعتمد النظم الشمسية المركزية الحرارية لإنتاج الكهرباء على استبدال مصادر الوقود المستخدمة بالمحطات الحرارية التقليدية لإنتاج الكهرباء بالطاقة الحرارية المنتجة من تركيز الإشعاع الشمسي، حيث تتميز هذه الأنظمة بإمكانية تكاملها مع النظم التقليدية لإنتاج الكهرباء وكذلك تضمن امدادات منتظمة للكهرباء ولا تسبب مشكلات لتشغيل الشبكة الكهربائية العامة.

من المشروعات المقامة في مصر المحطة الشمسية الحرارية بالكريمتات والتي تعد أكبر مشروع ضمن ثلاثة مشروعات تم تنفيذها على مستوى قارة أفريقيا، في المغرب والجزائر ومصر وجميعها تعتمد على ارتباط الدورة المركبة بالحقل الشمسي.

بين أيدينا كتاب **"تكنولوجيا محطات المركزات الشمسية"** والذي يشتمل على: أنواع تكنولوجيات محطات المركزات الشمسية، فرسنيال الخطية، طبق قطع مكافئ، الأبراج الشمسية، حوض القطع المكافئ، مائع نقل الحرارة، أنظمة تخزين الطاقة الحرارية، اقتصاديات محطات المركزات الشمسية الحرارية، انتاج الطاقة، ثم تطبيقات.

مع تمنياتي من الله أن يستفيد بهذا العمل أبناءنا المهندسين والفنيين وفقنا الله إلى ما فيه خير أمتنا بالعلم والتقدم والرقى.

د.م. / محمد موسى عمران
وكيل أول وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة
للبحوث والتخطيط ومتابعة الهيئات

مقدمة المؤلف

تتمتع مصر بثروة في مصادر الطاقة المتجددة، خاصة الطاقة الشمسية، نظرا للموقع الجغرافي المتميز لمصر بين مداري السرطان والجدي، ولقد اهتم قطاع الكهرباء بالطاقة الشمسية في مجالي انتاج الكهرباء ونشر التوعية بها.

ففي شهر مارس 2018 حدثت عدة أحداث عظيمة لها علاقة بالطاقة الشمسية:

- أصبحت مصر عضوا مؤسسا في التحالف الدولي للطاقة الشمسية حيث وقع د/ محمد شاكر وزير الكهرباء والطاقة المتجددة الاتفاق الاطاري للتحالف وبحضور سفير الهند في القاهرة، يهدف هذا التحالف إلى علاج التحديات المتعلقة بالطاقة الشمسية وتوسيع نطاق استخدامها في الدول الأعضاء بما يتوافق مع احتياجاتها.
- دشّن السيد الدكتور/وزير الكهرباء والطاقة المتجددة أول محطة شمسية لانتاج الكهرباء بمجمع بنبان الشمسي في أسوان، بقدرة 50 م.وات من اجمالي عدد 32 محطة شمسية فرعية تنتج 50 م.وات من كل محطة باجمالي قدرات 1600 م.وات. علما بأن المشروع مقام على مساحة 8843,3 فدان على الطريق الصحراوي "أسوان- القاهرة" بقرية بنبان.
- بعد عدة سنوات من الأبحاث المشتركة مع ايطاليا ودول الاتحاد الأوروبي تم افتتاح محطة مركزات شمسية حرارية (CSP) بقدرة 1 م.وات من الكهرباء وما يقارب من 250 مترا مكعبا من المياه المحلاة، وذلك بمدينة الأبحاث العلمية - برج العرب - الإسكندرية.

بالإضافة إلى ذلك فقد صدر أول أطلس شمسي متجدد لمصر، والذي قام على حسابات الطاقة الشمسية ومناطقها، للاستفادة بعمل محطات المركزات الشمسية والألواح الفوتوفلتية.

ونظرا لإهتمام قطاع الكهرباء بالطاقة الشمسية في انتاج الكهرباء، كان دعم السيد الدكتور/ وزير الكهرباء والطاقة المتجددة لإصدار كتاب: "تكنولوجيا محطات المركزات الشمسية" والذي يحتوي على 12 باب هي: تاريخ محطات المركزات الشمسية، الإشعاع الشمسي، تكنولوجيا محطات المركزات الشمسية،

مائع نقل الحرارة، أنظمة تخزين الطاقة الحرارية، محطات قوى فرسئل الخطية، محطات قوى مجمعات طبق قطع مكافئ، محطات قوى مجمعات الأبراج الشمسية، محطات قوى مجمعات حوض قطع مكافئ، اقتصاديات محطات المركزات الشمسية الحرارية، انتاج الطاقة من محطات المركزات الشمسية الحرارية، تطبيقات لمحطات المركزات الشمسية الحرارية بمصر.

وقد قام بمراجعة الكتاب السيد د.م. / محمد موسى عمران وكيل أول وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة للبحوث والتخطيط ومتابعة الهيئات، والذي أضفى قيمة ثمينة للكتاب وساعد سيادته فى اخراج الكتاب بالصورة التى ظهر بها.

وأقدم للسيد الفاضل دم/ محمد شاكر المرقبي وزير الكهرباء والطاقة المتجددة على تفضل سيادته بكتابة مقدمة الكتاب وعلى دعمه وتشجيعه الدائم للمهندسين والفنيين العاملين على البحث العلمي وتعلم الجديد في المجالات المتعلقة بالطاقة الكهربائية والطاقات المتجددة.

كما نقدم الشكر إلى "اللجنة المصرية الألمانية المشتركة للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة وحماية البيئة" (JCEE) على قيامها بطباعة الكتاب.

أتمنى من الله أن يستفيد من هذا الكتاب المهندسين والفنيين العاملين بمجال الطاقات المتجددة وأن يضعوا أمام أعينهم المقومات الأساسية للتعليم وهي: التدريب – الدراسة – الإطلاع.

والله نسأل أن يتقبل منا هذا العمل خالصا لوجهه الكريم.

أكتوبر 2018

د.م/كاميليا يوسف محمد

محتويات كتاب
تكنولوجيا المراكز الشمسية الحرارية

- مقدمة الوزير
مقدمة د. موسى عمران
مقدمة المؤلفة
المحتويات
المختصرات
1 - الباب الأول
تاريخ محطات المراكز الشمسية
2 - الباب الثاني
الإشعاع الشمسى
3 - الباب الثالث
تكنولوجيا محطات المراكز الشمسية
4 - الباب الرابع
مائع نقل الحرارة
5 - الباب الخامس
أنظمة تخزين الطاقة الحرارية
6 - الباب السادس
محطات قوي فرسنل الخطية
7 - الباب السابع
محطات قوي مجمعات طبق قطع مكافئ
8 - الباب الثامن
محطات قوي مجمعات الابراج الشمسية
9 - الباب التاسع
محطات قوي مجمعات حوض قطع مكافئ
10 - الباب العاشر
اقتصاديات محطات المراكز الشمسية الحرارية
11 - الباب الحادى عشر
انتاج الطاقة من محطات المراكز الشمسية الحرارية
12 - الباب الثانى عشر
تطبيقات - محطات المراكز الشمسية الحرارية
ملحق
مراجع

Abbreviation

CSP	Concentrating solar plant
CST	Concentrating solar thermal plant
CRg	Geometric concentration ratio
DNI	Direct Normal Irradiance
ET	Euro Trough
ENEA	L'Energia e l'Ambiente (Italian National Board for New Technology, Energy and the Environment)
FR	Collector heat removal factor
FRs	Fresnel Reflectors
H	Hydrogen
He	Helium
HRSG	Heat Recovery Steam Generator
HTF	Heat Transfer Fluid
IEA	International Energy Agency
IST	Industrial Solar Technology
LFR	Linear Fresnel reflector
LFC	Linear Fresnel collector
LS	Luz System
MATS	Multipurpose Applications by Thermodynamic Solar
ORC	Organic Rankine Cycle
P	Poise
PB	Power Block
PCU	Power Conversion Unit
PT	Parabolic Trough
PTC	Parabolic trough collector
PV	Photovoltaic
SCA	Solar Collector Assembly
SCA	Solar Collector Array
SM	Solar Multiple
SM	Stretched membrane
SEGS	Solar Electric Generating System
SEGS	Solar Energy Generating System
TES	Thermal energy storage systems

الباب الأول تاريخ محطات المركّزات الشمسية Concentrating Solar Power (CSP) Plants History

من المعلوم وجود صعوبة اقتصادية لتخزين الطاقة الكهربائية المنتجة من الوقود التقليدي والتي يجب استخدامها فور انتاجها، منعا (أو تقليلا) لاهدار وفقد بعض الطاقة الكهربائية المنتجة. بينما في مجال الطاقة الشمسية (solar energy) فإنه يمكن تخزين الطاقة الشمسية في صورة طاقة حرارية مثلا (الحرارة المجمعّة من الشمس)، وقد تمكنت التقنيات الحديثة من خلال تخزين الطاقة الشمسية أن تكون الطاقة الحرارية متوفرة حتي في الفترات التي لا تشع الشمس فيها، مما يساعد علي توفير الوقود الأحفوري.

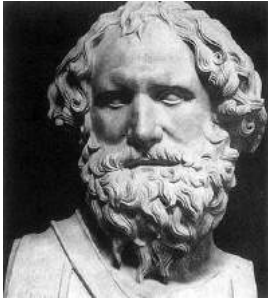
تصنف تكنولوجياات الطاقة الشمسية (solar energy) إلي:

- الطاقة الكهروضوئية (أو الكهروضوئية) (Photovoltaic).
- تسخين شمسي (المياه) (Solar heating (water)).
- الطاقة الحرارية الشمسية (Solar thermal power).

تعتمد الأنظمة الشمسية الحرارية لانتاج الكهرباء، علي استبدال الوقود الأحفوري المستخدم بالمحطات الحرارية التقليدية لانتاج الكهرباء بالطاقة الحرارية الناتجة من تركيز الاشعاع الشمسي عند درجات حرارة عالية (400°C : 1500°C).

من مميزات أنظمة الطاقة الشمسية الحرارية:

- يمكن أن تتكامل مع الأنظمة التقليدية لانتاج الكهرباء.
- تضمن امدادات منتظمة للطاقة الكهربائية.
- انتاج الطاقة الكهربائية النظيفة ليلا أو نهارا.



العالم أرشميدس

تطور تاريخ محطات المركبات الشمسية:

1. منذ سنة 200 قبل الميلاد وصف عالم الرياضيات الفيزيائي المخترع اليوناني المهندس أرشميدس (Archimedes) (المولود بإيطاليا عام 287 قبل الميلاد شكل (1)) فكرة الألواح العاكسة لتركيز الشمس



شكل (1) فريسكو (1599 – 1600) في معرض أوفيزي، فلورنسا، أظهر جوليو باريجي أشعة أرشميدس المدمرة.



2. في القرن الثاني قبل الميلاد (295-375) وصف عالم الرياضيات اليوناني ديوكليس (Diocles) (شكل (2)) الخصائص البصرية لحوض صغير قطع مكافئ (PT) (parabolic trough).

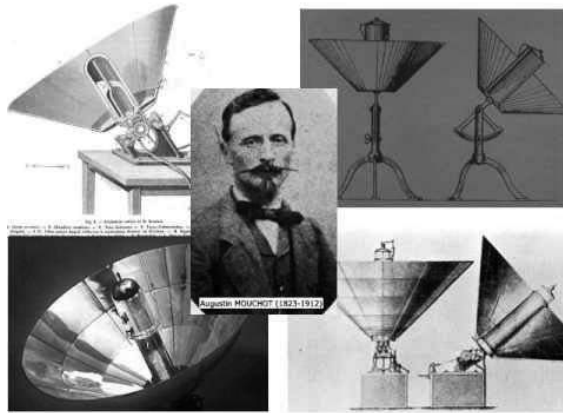
شكل (2) العالم ديوكليس.

3. في عام 1746 وصف العالم الفرنسي الكونت دي بوفون (Conte de Buffon) (عالم الطبيعيات والرياضيات والكُونيات: (1707-1788) (شكل (3)) تطوير تصميمات الهليوستات (heliostat) (هى أداة ذات مرآة تعكس الشمس في اتجاه واحد).



شكل (3) العالم الكونت دي بوفون.

4. في عام 1866 استخدم المخترع الفرنسي أوجستين موشوت (Augustin Mouchot) (عالم الرياضيات والفيزياء 1825-1911) (شكل (4)) حوض قطع مكافئ لانتاج البخار لأول ماكينة بخار بالشمس وفي عام 1878 اخترع نظام محرك بخار مدفوع بطبق (dish) والذي عرض بالمعرض العالمي بباريس.



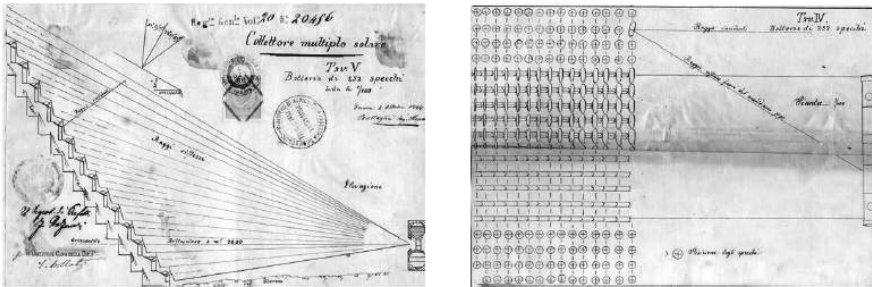
شكل (4) العالم أوجستين موشوت.

5. في عام 1880 أنشأ المهندس الميكانيكي العالم الأمريكي / السويدي جون إركسون John Ericsson (1803-1889) (شكل (5)) أول مجمع حوض قطع مكافئ واستخدمه كمصدر لماكينه هواء ساخن.



شكل (5) العالم جون إركسون.

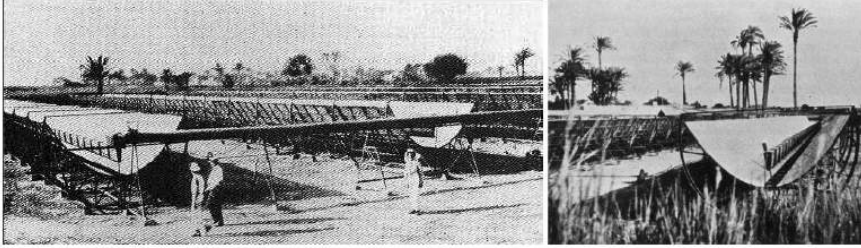
6. في عام 1886 سُجل أول اختراع لمجمع شمسي بمعرفة العالم الايطالي الساندرو باتاجليا (Alessandro Battaglia) (n.a - 1842) شكل (6).



شكل (6) اختراع لمجمع شمسي للعالم الساندرو باتاجليا.

7. في عام 1913 نجح العالم الأمريكي فرانك شومان (Frank Shuman) (-1918) (1862) في بناء حوض قطع مكافئ لادارة نظام ضخ في مصر بمنطقة المعادي، شكل (7) ، وقد استخدم عدد 5 أحواض قطع مكافئ طول كل حوض 60 متر،

لتركيز أشعة الشمس خطيا مع نظام تتبع شمسي، ثم تركيز الأشعة علي غلاية تكفي انتاج بخار لضخ حوالي 23000 لتر مياه في الدقيقة، (قدرة 55 HP).



شكل (7) حوض قطع مكافئ لإدارة نظام ضخ في مصر.

8. خلال القرن العشرين تمت كثير من التجارب والنماذج
9. في عام 1929 تم بناء أول نظام محطة حرارية شمسية بطبق مرايات بواسطة العالم الأميركي دكتور روبرت هوتشنج جودارد (Robert Hutchings Goddard (1882–1945)، شكل (8).



شكل (8) العالم الأميركي دكتور روبرت هوتشنج جودارد.

10. في عام 1968 تم تشغيل أول محطة شمسية مركزية بإيطاليا.
11. في عام 1983 تم التشغيل بنجاح لأول ماكينة حرارية بتمويل خاص في أريزونا، تحتوي على مجمعات حوض قطع مكافئ بمساحة 5580 متر مربع لانتاج تسخين حراري بدرجات حرارة أعلى من 260 °C لشركة أعمال نحاس.

12. في عام 1983 كانت الولادة الحقيقية لمحطات المركزات الشمسية (Concentrating Solar Power) (CSP) كأساس الصناعة في كاليفورنيا، حيث وُضعت سياسة لإنشاء 9 أحواض قطع مكافئ منفصلة بقدرة إجمالية $354 MW_e$ ، لهذه المحطات أكثر من 2000000 متر مربع مساحة مرايات.

ويوضح جدول (1) خصائص هذه المحطات الشمسية المركزة ويوضح شكل(9) المحطتان 7&3 بكاليفورنيا - أمريكا.

13. منذ عام 2006 شهد انتاج الطاقة الشمسية المركزة نموا كبيرا في أسبانيا وأمريكا لتحويل الطاقة الشمسية (أشعة الشمس) إلي طاقة كهربائية مع مراعاة أن تكون السماء صافية والضوء قوي، وتتوافر هذه الظروف الطبيعية في: جنوب غرب أمريكا - المكسيك - شمال افريقيا - الشرق الأوسط - وسط آسيا - جنوب أفريقيا - استراليا - جنوب أوروبا - وأجزاء من الصين والهند.

14. في عام 2014 تم التشغيل التجاري لأكبر محطة في العالم للطاقة الحرارية الشمسية بقدرة $392 MW_e$ كاليفورنيا - أمريكا.

يوضح شكل (10) عملية البخار بشركة a pharmaceutical - مصر بقدرة 1330 Kw ودرجة حرارة التشغيل $173^{\circ} C$ يوضح جدول (2) تطور ساعات محطات المركزات الشمسية (Concentrating solar power) (CSP) في العالم منذ عام 1984 وحتى 2016. ويوضح جدول (3) توزيع ساعات محطات المركزات الشمسية في عام 2016.



شكل (9) المحطتان 3&7 بكاليفورنيا – أمريكا.
source: Sandia National Laboratory



شكل (10) عملية البخار بشركة pharmaceutical – مصر.
Source: SEGS solar plants in California (Sandia National
Laboratory)

جدول (1) خصائص عدد 9 محطات مراكز شمسية

رقم المحطة	سنة بداية التشغيل	اجمالي المخرج (MW _e)	درجة حرارة مخرج الحقل الشمسي (C°)	مساحة الحقل الشمسي (m ²)	كفاءة التربيننة (%)	المخرج السنوي (GWha)	تجهيزات
1	1985	13.8	307	82960	31.5/-	30	تخزين حراري (3hr)
2	1986	30.0	316	190338	29.4/37.3	80	محمصات تعمل بالغاز
³ / ₄	1987	30.0	349	230300	30.6/37.4	93	غلاية غاز
5	1988	30.0	349	250500	30.6/37.4	93	غلاية غاز
6	1989	30.0	390	188000	37.5/39.5	91	غلاية غاز
7	1989	30.0	390	194280	37.5/39.5	93	غلاية غاز
8	1990	80.0	390	464340	37.6/37.6	253	سخان سوائل بالمبادل الحراري يعمل بالغاز
9	1991	80.0	390	483960	37.6/37.6	256	سخان سوائل بالمبادل الحراري يعمل بالغاز

Source: SEGS Solar Plants in California (Sandia National Laboratory)

جدول (2) تطور ساعات CSP في العالم

السنة	السعة المركبة MW_p	السعة التراكمية MW_p
1984	14	14
1985	60	74
1989	200	274
1990	80	354
00	00	354
2006	1	355
2007	74	423
2008	55	484
2009	179	663
2010	307	969
2011	629	1598
2012	803	2553
2013	872	3425
2014	925	4335
2015	420	4705
2016	110	4815

Source:REN21. CSP - World.com, IRENA.

جدول (3-1) توزيع ساعات محطات المركّزات الشمسية CSP في 2016

السعة MW_p	البلد
2300	أسبانيا
1738	الولايات المتحدة
225	الهند
(added)200+100	جنوب أفريقيا
180	المغرب
100	الإمارات العربية المتحدة
25	الجزائر
20	مصر
12	أستراليا
(added)10+10	الصين
5	تايلاند

Source: REN21 Global status Report. June 2017



الباب الثاني الإشعاع الشمسي Solar radiation

تعتبر الطاقة الشمسية هي المصدر الرئيسي والهام الذي يمد الأرض بالطاقة، تقوم الشمس بإمداد الأرض بطاقة تزيد عن إجمالي إحتياجات العالم من الطاقة بنحو 5000 مرة حيث أن الطاقة التي يمكن الحصول عليها من أشعة الشمس لمدة 105 دقيقة تكفي إحتياجات واستهلاكات العالم أجمع لمدة عام
(<http://forum.arab-mms.com/t215307.html>).

الإشعاع الشمسي هو مقدار الأشعة الشمسية الساقطة على مساحة معينة و القادرة على إنتاج طاقة كهربائية . ولا يصيب الأرض إلا حوالي جزء من ألفي مليون جزء من أشعة الشمس التي تقدر بنحو 130 ميغاوات لكل متر مربع من سطح الشمس، وهذا القدر الضئيل هو المسئول عن كل الطاقة الحرارية لسطح الأرض و غلافها الجوي.

ترجع معظم مصادر الطاقة إلى الإشعاعات الشمسية فجميع أنواع الطاقة (البترول – الغاز – الفحم) تكونت بسبب أشعة الشمس .
تتأثر شدة الإشعاع الشمسي قبل الوصول إلى الأرض بعاملين أساسيين:

- الغلاف الجوي
- الزوايا الشمسية

يمكن توقع شدة الإشعاع الشمسي في موقع ما من الأرض اعتمادا على موقعه على الكرة الأرضية والزمن (اليوم – الشهر – السنة) . فيما يلي بعض التعريفات الهامة للإشعاع:

حزمة الإشعاع (Beam radiation)

هو الإشعاع الحادث من اتجاه الشمس. وهذا يعني أنه لا يحتوي على أشعة متناثرة. ويمكن حساب اتجاه حزمة الإشعاع لكل مكان في العالم (كل خط عرض وخط طول)، لأي زمن من السنة، وذلك باستخدام العلاقات الهندسية المتاحة. ويمكن قياس شدة الإشعاع باستخدام المشماس (وهو لقياس طاقة الشمس الإشعاعية) أي مقياس بيرهليوميتر (normal incidence pyrheliometer).

الإشعاع المنتشر أو المتناثر (Diffuse radiation)

هو الإشعاع الذي يتم تلقية من الشمس بعد أن يتناثر من قبل الجو والسحب. يمكن أن يصل الإشعاع المنتشر إلى 100٪ من الإشعاع الوارد في الأيام الغائمة، ويكون أعلى

من 10% في الأيام المشرقة جدا. ويمكن قياس الإشعاع المنتشر بالظل- باستخدام مقياس بيرهليوميتر الذي ينع الإشعاع المباشر.

الإشعاع الكلي (global radiation)

هو مجموع حزمة الإشعاع والإشعاعات المنتشرة. الذي يمكن أيضا قياسه بمقياس بيرهليوميتر.

الإشعاع (Irradiance)

ويعطى بوحدة (W / m^2) ويشير إلى معدل الطاقة الإشعاعية التي تقع على وحدة سطح منطقة. هو أيضا شدة (intensity) الإشعاع الشمسي.

الإشعاع (Irradiation)

هو كمية الطاقة التي يتم استقبالها لكل وحدة مساحة المعطى بوحدة (J / m^2)

$(MJ \approx 0.28 Kwh)$

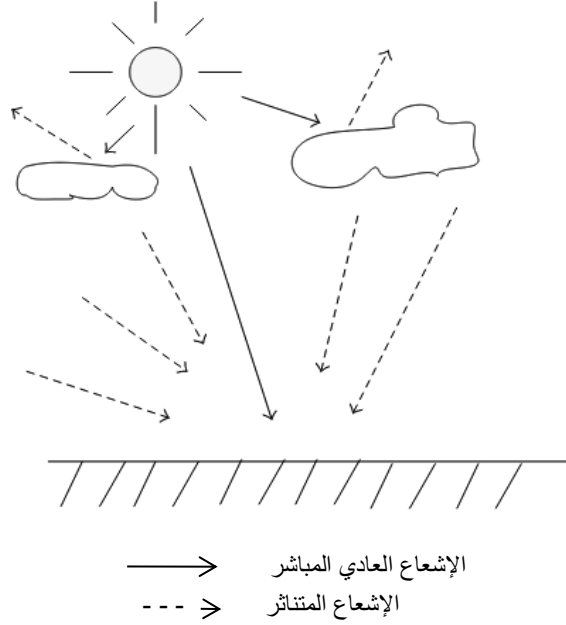
الإشعاع الشمسي (Insolation)

هو اشعاع الطاقة الشمسية.

عموما لا تتساوى شدة الإشعاع الشمسي في جميع الأماكن على كوكب الأرض. يعتمد ذلك على خط عرض المكان. وكلما ارتفع خط العرض (في نصف الكرة الشمالي)، انخفضت شدة الإشعاع الشمسي. وهذا يعتمد أيضا على الرطوبة في المكان. عندما يكون المكان رطبا، يكون الإشعاع الشمسي أكثر تفرقا بسبب الغيوم وبالتالي شدته أقل.

إن الأماكن الأكثر ملاءمة للطاقة الشمسية المركزة في العالم تقع في الشرق الأوسط وشمال أفريقيا وجنوب أفريقيا وأستراليا والولايات المتحدة.

يتكون ضوء الشمس من مكونات مباشرة وأخرى غير مباشرة (متناثرة). يمثل المكون المباشر والمعروف بالإشعاع العادي المباشر (DNI or Direct Normal Irradiance) حوالي 90% من مجموع أشعة الشمس خلال الأيام المشمسة ولكن لا يكاد يذكر في الأيام الغائمة. يتم تركيز أشعة الشمس المباشرة باستخدام المرايا أو الأجهزة البصرية الأخرى (مثل العدسات). يوضح شكل (1) الإشعاع العادي المباشر والإشعاع المتناثر.



شكل (1) الإشعاع العادي المباشر والإشعاع المنتثر

أطلس مصر الشمسي

مصر إحدى دول منطقة الحزام الشمسي الأكثر مناسبة لتطبيقات الطاقة الشمسية تم إصدار أطلس شمس مصر مشتملا علي قراءات تم حصرها على مدى سنوات لجميع مناطق الجمهورية، ومتضمنا أيضا عام نمطي يتم فيه تمثيل البيانات المتوقعة لكل أيام العام مثل الإشعاع الشمسي وساعات سطوع الشمس.

تُظهر نتائج الأطلس تراوح متوسط الإشعاع الشمسي المباشر العمودي ما بين 2000 – 3200 ك.و.س/م²/السنة.

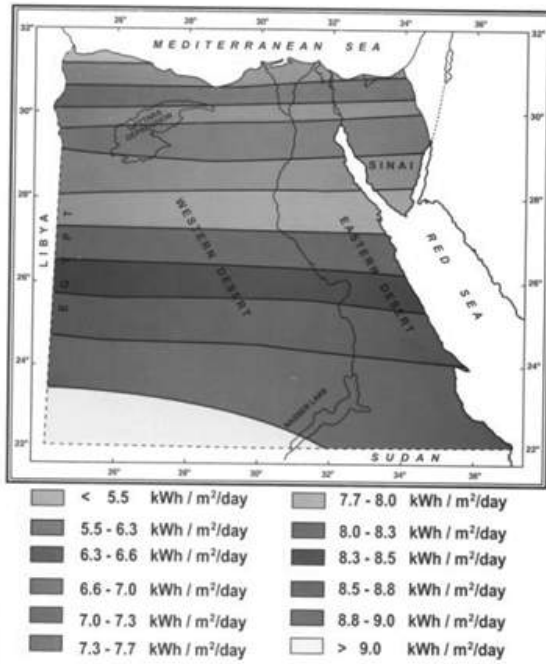
يتراوح معدل سطوع الشمس بين 9 - 11 ساعة/ يوم.

يوضح شكل (2) متوسط الإشعاع الشمسي المباشر السنوي بمصر

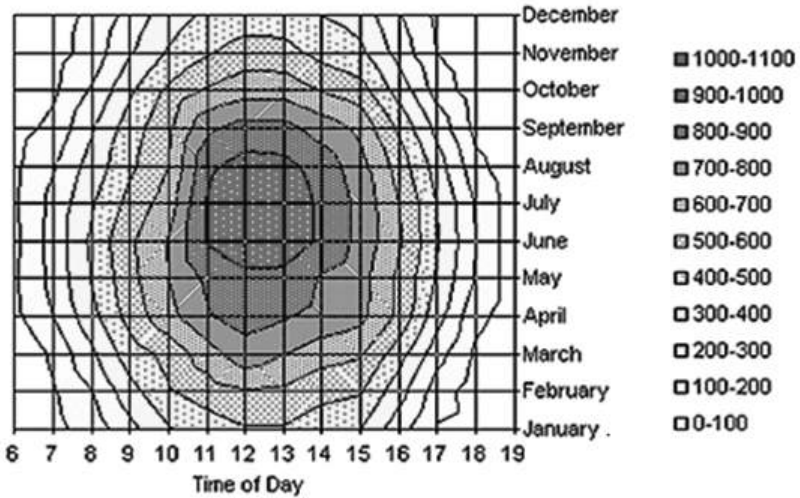
بينما يوضح شكل (3) الإشعاع الشمسي طبقا لليوم والشهر – القاهرة – مصر (بوحددة W/m^2). يوضح شكل (4) الإشعاع العادي المباشر في شمال أفريقيا بوحددة

kWh/m^2 per year يوضح شكل (5) الإشعاع العادي المباشر في العالم

بوحددة kWh/m^2 per year



شكل (2) متوسط الإشعاع الشمسى المباشر السنوى

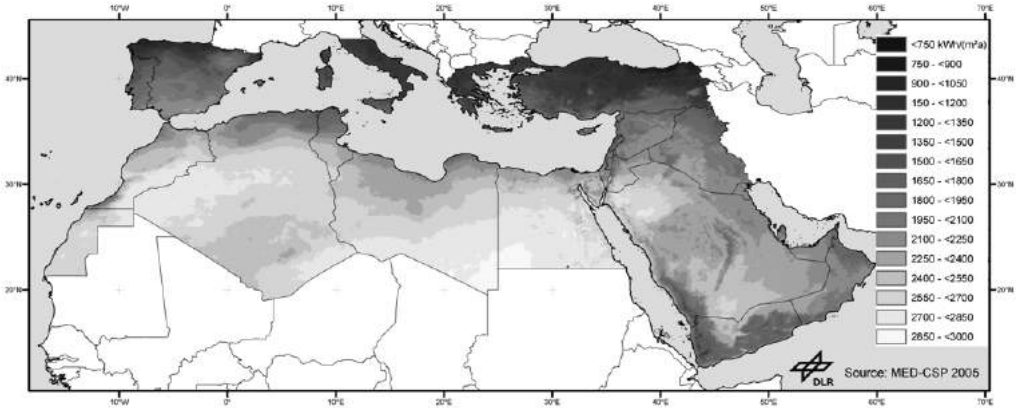


شكل (3) الإشعاع الشمسى طبقا لليوم والشهر - القاهرة - مصر

(بوحدرة W/m^2)

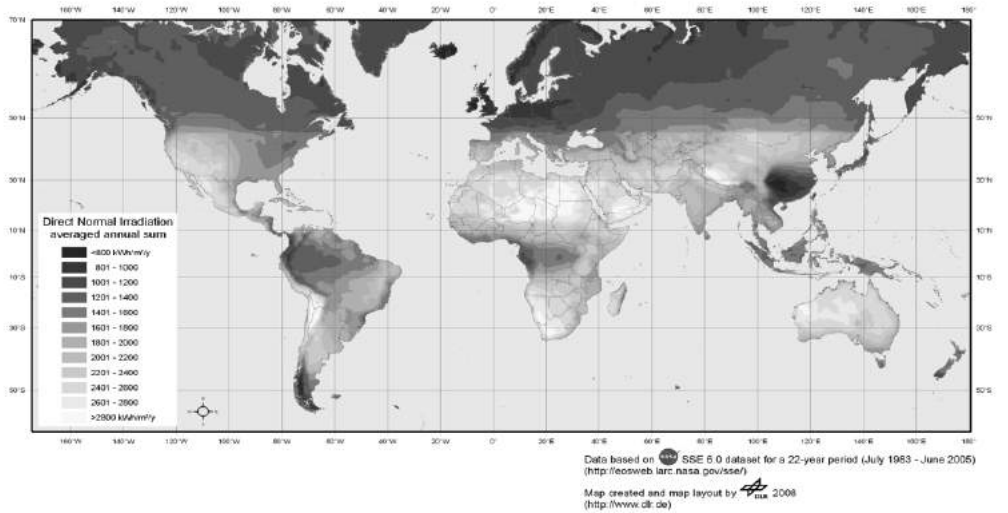
الإشعاع الشمسى

Annual Sum of Direct Normal Irradiation
[kWh/(m²a)] for the year 2002



شكل (4) الإشعاع العادى المباشر فى شمال اقرقيا بوحدـة kWh/m^2 per year
(Trieb 2009)

Direct Normal Irradiation (DNI)



شكل (5) الإشعاع العادى المباشر فى العالم بوحدـة kWh/m^2 per year

الإشعاع الشمسى

يمكن لمحطات المركزات الشمسية أن توفر طاقة فعالة من حيث التكلفة في المناطق التي لديها اشعاع شمسي مباشر أكبر من 2000 كيلووات ساعة / متر مربع في السنة، وذلك بالمناطق الواقعة عند خطوط عرض تتراوح بين 15 ° و 40 ° شمالاً أو جنوب خط الاستواء. في أفضل المناطق ($DNI < 2800$ كيلووات ساعة / m^2 - سنة)، فإن إمكانات توليد الطاقة الشمسية المركزة هي 100-130 جيجاوات ساعة / km^2 وهذا تقريبا يساوي نفس الطاقة الكهربائية المنتجة سنويا من محطة تعمل بالفحم بقدرة 20 ميجاوات ولها عامل سعة (capacity factor) 75%
(عامل السعة = (الحمل المتوسط/ القدرة الاسمية) * 100

الباب الثالث تكنولوجيا محطات المركّزات الشمسية Concentrating solar plant technologies

تستخدم أنظمة محطات المركّزات الشمسية تركيبيّة من المرايات أو العدسات لتكزيّز حزم الأشعة الشمسية المباشرة بغرض إنتاج أشكال من الطاقة المفيدة مثل الحرارة أو الكهرباء أو وذلك باستخدام تكنولوجيات مختلفة غالبا يستخدم التعبير (محطة المركّزات الشمسية) (Concentrating solar plant) كمرادف للتعبير عن " محطة المركّزات الحرارية" (Concentrating solar thermal plant) وكل منها يرمز له بالحروف (CSP) أو (CST).

نصّت وكالة الطاقة العالمية (IEA2010) (International Energy Agency) علي:

"تحتاج أنظمة CSP إلي اشعاع شمسي لكي تعمل، بأكثر دقة تحتاج إلي المركبة المباشرة للاشعاع الشمسي" (direct irradiance). من الضروري استخدام الاشعاع المباشر لأنظمة الطاقة الحرارية ذات درجات الحرارة العالية لأنها يمكن أن تتركز في مساحات صغيرة باستخدام المرايات أو العدسات ، ولذا لا يمكن استخدام المركبة المتناثرة (diffuse component). وعلي ذلك لتكزيّز أشعة الشمس يتطلب سماوات صافية والتي يجب أن تكون مناطق حارة وشبه جافة وبالتالي تكون هذه المناطق مناسبة لإنشاء محطات (CSP).

يتراوح مستوي البداية للاشعاع العادي المباشر (Direct Normal Irradiance (DNI)) المناسب لإنشاء محطات CSP من 1900 Kwh/m²/y إلي 2100 Kwh/m²/y هذا الاشعاع المرتفع يستخدم للمحطات CSP لإنتاج الكهرباء من خلال تكزيّز طيف الطاقة الشمسية للحصول علي درجة حرارة عالية لموائع أو مواد واستخدامها لإدارة ماكينات أو مولدات كهربائية.

يوضح جدول (1) مميزات وعيوب محطات المركّزات الشمسية

جدول (1) مميزات وعيوب محطات المركزات الشمسية

العيوب	المميزات
<ul style="list-style-type: none"> ● تحتاج أنظمة المركزات الشمسية تتبّع (تعقب) الشمس للحفاظ علي تركيز أشعة الشمس علي المجمع ● عدم القدرة علي الحصول علي طاقة في حالات الأشعة المتناثرة ● تكاليف مرتفعة ● تحتاج مساحات شاسعة وأماكن محددة 	<ul style="list-style-type: none"> ● تستخدم مرايات غير مرتفعة التكاليف نسبيا ● كفاءة جيدة ● تصل إلي درجات حرارة عالية جدا ● لا توجد تكاليف للوقود ● القدرة متاحة 24 ساعة / 7 ايام في الأسبوع (في حالة وجود نظام تخزين حراري) ● غير ملوث للبيئة

لماذا التركيز ؟

توجد بعض مجمعات الطاقة الشمسية لا تركز الطاقة المستقبلة من الشمس، والتي تعرف بالمجمعات الثابتة (Stationary collectors) وتستخدم أساسا في تسخين المياه للأغراض المنزلية.

يكون لمجمع عدم التركيز (non-concentrated collector) عامل تركيز يساوي 1 وهذا يعني تساوي مساحة تركيز الاشعاع ومساحة مجمع الحرارة. أغلب هذا النوع يكون من نوع مجمعات الألواح المسطحة (Flat plate). تصل درجة حرارة هذه المجمعات إلي حوالي $120^{\circ}C$ وهي درجة حرارة غير كافية لاستخدامات انتاج الكهرباء.

لعمليات تركيز الاشعاع الشمسي العديد من الفوائد منها:

- عند تركيز الاشعاع علي المستقبل (receiver)، تصل درجة حرارة مائع تحويل الحرارة (heat transfer fluid) (HTF) الموجود داخل المستقبل

- إلى درجة حرارة عالية جدا (تصل إلى $2000^{\circ}C$) وبالتالي فإن كفاءة دورة الديناميكا الحرارية (Thermodynamic) تكون عالية جدا.
 - تكون الأسطح العاكسة (المرايات) أبسط هيكلية وبالتالي أرخص من مجمعات الألواح المسطحة.
 - تتخفض المفقودات الحرارية بوضع المستقبل داخل انشاءات مفرغة. وعلى ذلك فإن أنظمة التركيز تستخدم أساسا الإشعاع المباشر والقليل من الإشعاع المنتشر. للحصول على أقصى طاقة مستقبلة من المجمع، تحتاج المركبات لأن تكون متتبع (Tracking) للشمس طوال اليوم، هذا التتبع (التعقب) يسبب زيادة الاستثمارات. في النهاية يجب الاهتمام بأعمال النظافة لأسطح المركبات.
- كل مجمع يتكون من جزئين:

- المركز (Concentrator) والذي يعكس أشعة الشمس الساقطة على المجمع، هذا يزيد الطاقه المستقبلة.
- المستقبل (Receiver) والذي يمرر المائع، ويستخرج الطاقة الحرارية من الإشعاع.

تصنف تكنولوجيا مجمعات المركبات الشمسية إلى:

- تركيز خطي (Line focusing) والتي تعني أنها تركز الإشعاع على أنبوبة تتبع الشمس بـ محور واحد. هذا النوع هو مجمعات أحواض القطع المكافئ (Parabolic troughs)، ومجمعات فرسنل الخطي (Linear fresnel)، في هذه الأنواع تصل درجة الحرارة بين $120^{\circ}C$ ، $450^{\circ}C$
- تركيز نقطة (Point focusing) والتي تعني أنها تركز أشعة الشمس في نقطة وتحتوي على تتبع للشمس على محورين. هذا النوع هو الأبراج الشمسية (Solar tower) وأطباق القطع المكافئ (Parabolic dishes) في هذه الأنواع تصل درجة الحرارة إلى درجة حرارة عالية حتى $2000^{\circ}C$

يبين شكل (1) تمثيل لأنواع محطات المركبات الشمسية طبقا لنوع التكنولوجيا. يوضح شكل (2) أنواع محطات المركبات الشمسية طبقا لنوع التكنولوجيا.

ويوضح شكل (3) تصنيف تكنولوجيا المركزات الشمسية طبقا لدرجة الحرارة. ينقسم التركيز في محطات CSP إلى نظامين هما:

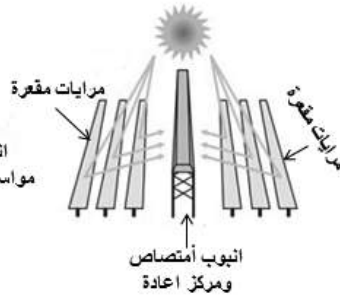
- يتعامل النظام الأول مع كيفية تركيز الاشعاع المباشر علي المستقبل (receiver) (تركيز خط Line focus أو تركيز علي نقطة Point focus).
- يتعامل النظام الثاني مع نوع المستقبل المستخدم (ثابت أو متحرك).

يوضح جدول (2) مصفوفة التكنولوجيات المختلفة لمحطات CSP

(أ) حوض القطع المكافئ



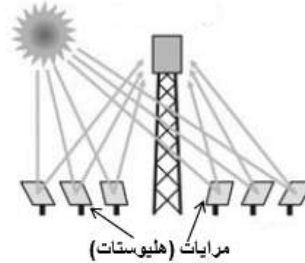
(ب) مجمعات فرسnel الخطي



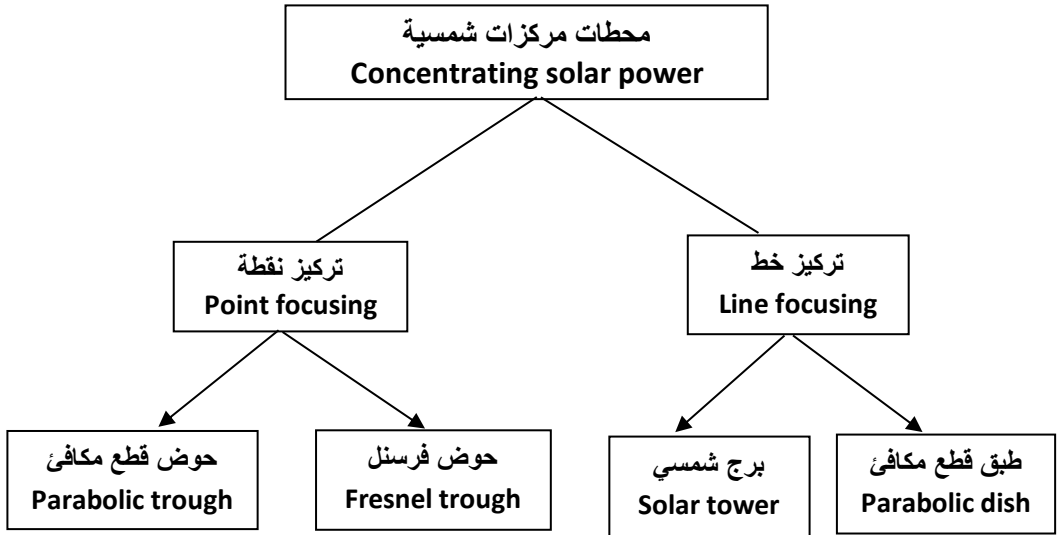
(ج) طبق القطع المكافئ



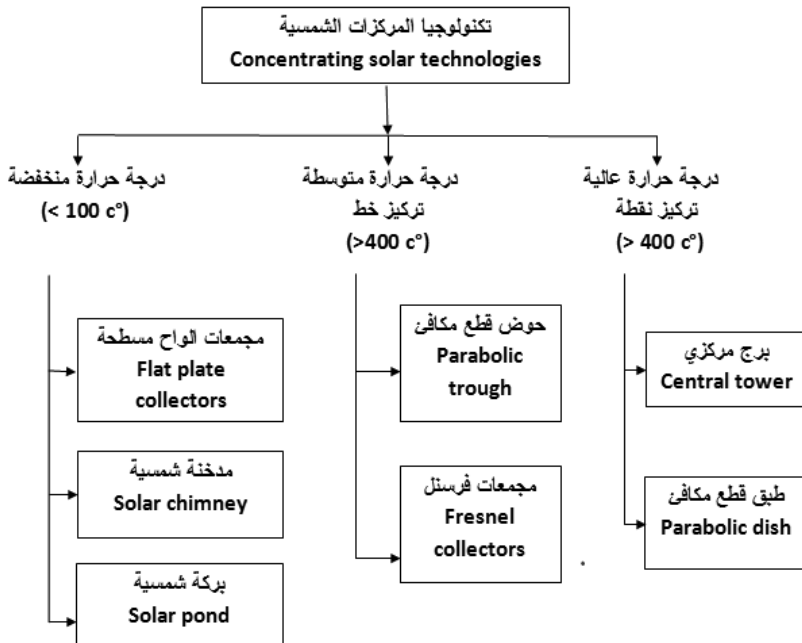
(د) برج شمسي



شكل (1) تمثيل لأنواع محطات المركزات الشمسية طبقا لنوع التكنولوجيا



شكل (2) أنواع محطات المركزات الشمسية طبقاً لنوع التكنولوجيا



شكل (3) تصنيف تكنولوجيا المركزات الشمسية طبقاً لدرجات الحرارة

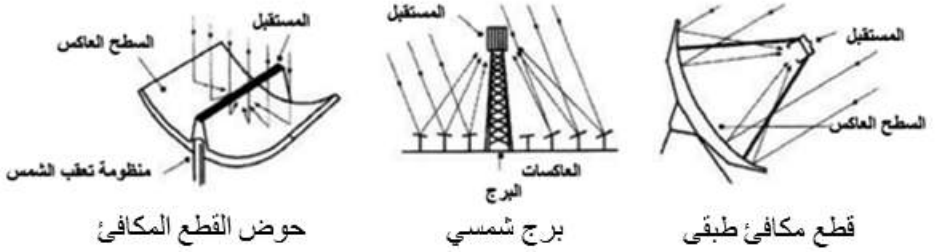
تكنولوجيا محطات المركزات الشمسية

جدول (2) نظام مصفوفة التكنولوجيات المختلفة لأربعة عائلات المركبات الشمسية

تركيز نقطة: تتعقب المجمعات الشمس علي طول محورين ويركز الاشعاع علي مستقبل نقطة أحادية . هذا يسمح بالحصول علي درجة حرارة أعلي	تركيز خطي: تتعقب المجمعات الشمس علي طول محور أحادي ويركز الاشعاع علي مستقبل خطي . هذا يجعل تعقب الشمس أسهل	نوع تركيز الأشعة نوع المستقبل	
الأبراج	عاكسات فرسئل الخطية	المستقبلات الثابتة تكون معدات مستديمة والتي تظل مستقلة عند معدات مركبات المحطة (البؤر). هذا يسهل نقل الحرارة المجمععة إلي مكونات محطة الكهرباء (power block)(PB)	ثابت
أطباق قطع مكافئ	أحواض قطع مكافئ	المستقبلات المتحركة تتحرك مع معدات التركيز (البؤر). في كل من تصميم التركيز الخطي والتركيز النقطة فإن المستقبلات المتحركة تجمع طاقة أكثر	متحرك

تكنولوجيا محطات المركّزات الشمسية

فيما يلي استعراض تكنولوجيا محطات المركّزات الشمسية طبقاً لشكل (4):



شكل (4) تكنولوجيا محطات المركّزات الشمسية

1. التركيز الخطي (Line concentrated)

أ. نظام محطة أحواض القطع المكافئ (Parabolic trough power plant system)

يعتبر هذا النظام هو الأقدم في التاريخ التجاري المتاح لتكنولوجيا المركّزات الشمسية. أول محطة تجارية أنشئت في صحراء موهاتي (Mojava 1980s) في كاليفورنيا - الولايات المتحدة الأمريكية الموضحة في شكل (5)



شكل (5) أول محطة تجارية أنشئت في صحراء موهاتي في كاليفورنيا - الولايات المتحدة الأمريكية

البنية الأساسية لهذا النوع من المحطات الموضحة في شكل (5) عبارة عن صفوف طويلة موضوعة في محور الشمال والجنوب. هذه الصفوف تتعقب الشمس من الشرق إلى الغرب.

وتتكون مجمعات أحواض القطع المكافئ (PTCs) (Parabolic trough collectors) والموضحة في شكل (6) من مجمعات شمسية (مرآيات)، مستقبلات حرارة (receivers) وهيكل معدني للتثبيت. تشكل المرايات ذات القطع المكافئ من ألواح من مادة عاكسة من زجاج شفاف مطلي بالفضة، هذا الزجاج المطلي يعطي العاكسات امكانية تركيز الاشعاع الشمسي إلى 80 ضعف مرة، الغرض من المرايات المصنعة على شكل قطع مكافئ هو تركيز الشمس المستقبلية من ضوء الشمس إلى أنبوب استقبال مركزي عند خط محور المجمع. تكون مصفوفات المرايات حوالي 100 m طول أو أكثر ، بفتحة منحنى من 5m إلى 6m

تستقبل أنابيب الامتصاص الموجودة في النقط المحورية لعاكسات القطع المكافئ، الطاقة الشمسية المركزة وبالتالي تسخينها. تصنع أنابيب الامتصاص من صلب استانليس مطلي، ويختار طلاء طيفي لامتصاص الأشعة الشمسية (الموجات القصيرة) جيدا، ولكن يبعث كمية قليلة جدا من الاشعة تحت الحمراء (الموجات الطويلة). وهذا يساعد في تخفيض المفقودات الحرارية. كما تستخدم الأنابيب الزجاجية المفرغة حول أنبوب الامتصاص لتخفيض المفقودات الحرارية، يدور مائع تحويل الحرارة (heat transfer fluid)(HTF) خلال أنابيب الامتصاص لتجميع الطاقة الشمسية وتحويلها إلى بخار للمولد أو إلى نظام تخزين الحرارة. وأغلب أنواع أحواض القطع المكافئ تستخدم زيوت صناعية كمائع لتحويل الحرارة والتي تكون مستقرة عند أعلى من 400° C

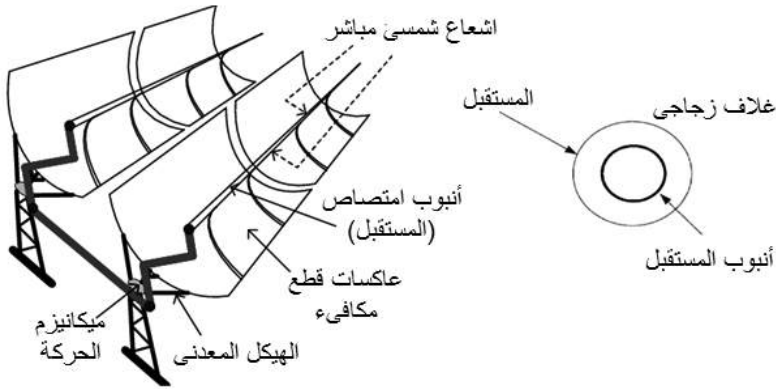
تستخدم المحطات الجديدة الأملاح الذائبة عند درجة حرارة 540°C أما للتحويل إلى حرارة و/أو كوسيط لتخزين الحرارة ... تؤدي درجة الحرارة العالية للأملاح المذابة إلى تحسين أداء التخزين الحراري.

يتم ضخ المائع الساخن بطلمبة إلى مبادل حراري مركزي (heat exchanger) حيث يتم تحويل المياه إلى بخار ساخن تحت ضغط لتحريك التوربينات البخارية. ثم تستخدم التربينات البخارية، مثل أنظمة الطاقة التقليدية، لإنتاج الكهرباء من المولدات.

تكنولوجيا محطات المركبات الشمسية

تكون الكفاءة الكلية لهذه التكنولوجيا حوالي 15 % في المتوسط، بينما تصل إلى 28 % في الحالات المثالية.

تستخدم تركيبة ميكانيكية كمتعقب احادي المحور لتوجيه كل من المجمعات الشمسية ومستقبلات الحرارة في اتجاه الشمس. عادة تكون المجمعات مصفوفة في اتجاه الشمال - الجنوب وتتعقب الشمس عند تحركها من الشرق إلى الغرب لتجميع أقصى طاقة شمسية.



شكل (6) مكونات حوض قطع مكافئ

ب. أنظمة عاكسات (أو مجمعات) فرسnel الخطية (Linear Fresnel reflector(LFR) (or collector (LFC)) systems

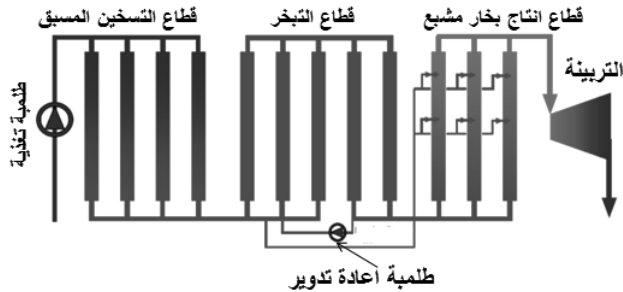
تتصف هذه الأنظمة بأنها تكنولوجيا أبسط كثير من أنظمة أحواض القطع المكافئ . يتكون النظام من مرايات صغيرة طويلة (والتي يمكن أن تكون علي شكل منحنى) توضع على مستوى واحد ويمكنها أن تدور تبعا لمسار الشمس لاعادة توجيه وتركيز مستمر لأشعتها إلى أنبوب المستقبل الخطى الثابت أي تعمل علي عكس الشمس علي مستقبل امتصاص أنبوبي مركب فوق صندوق المرايات. لتحسين اصطياذ ضوء الشمس يتم تركيب عاكس ثاني أعلي أنابيب المستقبل بعدة أمتار والذي يعرف بالعاكس الثانوى. تتراوح متوسط درجة حرارة التشغيل للنظام بين 400°C ، 500°C وهي أعلي من درجة حرارة تشغيل أنظمة أحواض القطع المكافئ. تستخدم

عاكسات فرسنة لانتاج البخار المباشر ولذا يفضل استخدامها في تطبيقات البخار .
يوضح شكل (7) مكونات النظام.



شكل (7) مكونات عاكسات (أو مجمعات) فرسنة الخطية

تسخن المياه من خلال ثلاثة أجزاء، كما في شكل (8)، لانتاج بخار مشبع (supersaturated steam) والذي يمكن استخدامه لانتاج الكهرباء أو البخار وحرارة العمليات، تتمثل أول مرحلة في تغذية طلمبة والتي تدفع مياه بدرجة حرارة حوالي $30^{\circ}C$ إلى الجزء الخاص بالتسخين المسبق (preheating). ثم تدفع المياه مسبقاً للتسخين، ضغط داخلي، إلى الجزء التالي والخاص بالتبخير (evaporation) عندها يتبخر ويعاد تدويرها إلى جزء البخار وذلك لزيادة عامل التبخير (evaporation factor). اعتماداً على عامل التبخير فإن البخار عندئذ يحقن في جزء التحميص (super heating) بينما ينتج البخار المشبع والذي يستخدم في العمليات الصناعية المختلفة أو في إنتاج الكهرباء من خلال التربينات البخارية.



شكل(8) تمثيل لقطاعات إنتاج بخار مشبع

من المميزات الرئيسية لعاكسات فرسنل (LFCs) مقارنة بحوض القطع المكافئ (PTCs):

1. يستخدم LFCs مرايات زجاجية مسطحة رخيصة الثمن والتي تعتبر سلعة قياسية منتجة بكثرة.
2. تحتاج LFCs لصلب وخرسانة أقل، لأن هيكل التثبيت المعدني يكون أخف وزنا، بالإضافة إلى سهولة التجميع.
3. أحمال الرياح علي LFCs تكون أقل، والنتيجة استقرار أفضل للهيكل، وتخفيض المفقودات البصرية (الطيف)، وقلة زجاج المرايات الهالك.
4. مساحة المرايات لكل مستقبل تكون أكبر في حالة LFCs عن PTCs، وهذا هام جدا لأن المستقبل هو أعلى مكون لكل من PTC ، LFCs
5. أسهل في عمليات التنظيف.

تحتاج هذه المميزات إلى توازن لأن الكفاءة البصرية (Optical efficiency) لمجال الشمس للمجمع LFC (بالنسبة إلى اشعاع الشمس المباشر علي فتحات المرايات المترجمة) تكون أقل من المجال الشمسي للمجمع PTC نتيجة الخصائص الهندسية للمجمع LFC.

المشكلة أن المستقبل يكون ثابت بالإضافة إلى أن مفقودات القدرة في الصباح والمساء تكون مرتفعة مقارنة بالمستقبل PTC . علي الرغم من هذه العيوب، فإن البساطة النسبية لنظام LFC يعني أنه أرخص في التصنيع والانشاء عن نظام PTC.

وعلي ذلك تظل التكلفة لكل ك.و.س أقل. بالإضافة إلى ذلك، عموما فإن LFCs يقترح استخدام انتاج بخار مباشر، مع اضافة تخزين الطاقة الحرارية والتي تكون أكثر تكلفة.

2. تركيز نقطة (Point concentrated)

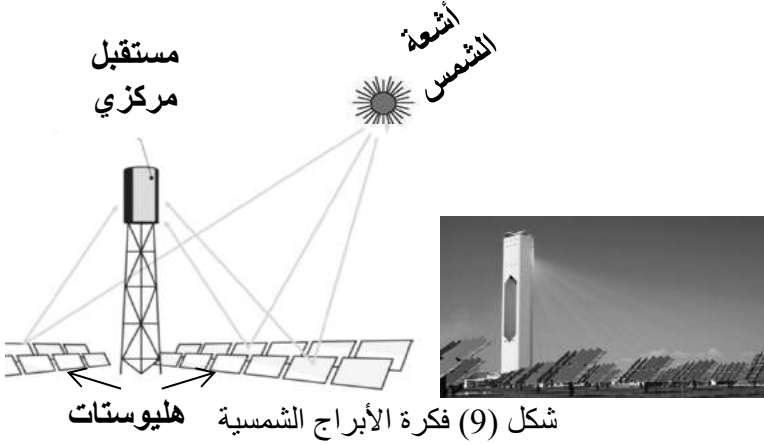
أ. الأبراج الشمسية (Solar towers)

تعتبر الأبراج الشمسية جزء من أنظمة المستقبلات الثابتة ، ولها في هذا المجال أكبر الفوائد لأن لها القدرة علي انتاج بخار مشبع (Supersaturated) بدرجة حرارة أعلى من 700°C وحتى 1000°C ، تعمل درجات الحرارة العالية علي

الحصول علي كفاءات أعلي مع تربيينات البخار وبالتالي كفاءة كلية عالية لمحطة القوي.

للأبراج الشمسية ذات نسبة تركيز 600-fold تكون الكفاءة الاجمالية (Overall efficiency) بين 20% & 35%

تعمل أبراج الحرارة الشمسية بآلاف المرايات، والتي تعرف بالهليوستات (Heliostats) (أدوات ذات مرآة تعكس الشمس في اتجاه واحد). هذه الهليوستات تعمل لحظيا كعاكسات مسطحة والتي تكون مركبة علي نظام محور مزدوج و تعكس الاشعاع الشمسي علي نقطة واحدة في البرج العالي. ويمكن أن تعمل الأبراج الشمسية مع نوع معين من مائع التسخين، وتكون أنظمة الهواء والأملاح المذابة مناسبة أكثر لهذه التقنية، لأن هذا لا يستدعي الاحتياج إلي مبادلات حرارية اضافية والتي تؤدي إلي انخفاض الكفاءة يوضح شكل (9) فكرة الأبراج الشمسية.



ب. طبق ستيرلنج قطع مكافئ (Dish parabolic - stirling power plant)

يستخدم في هذا النظام تكنولوجيا ستيرلنج القطع المكافئ والتي تنتج الكهرباء مباشرة بالتوافق مع ماكينة ستيرلنج (stirling engine). مقارنة بالأنظمة الأخرى، فإن الكفاءة الكلية للنظام تكون كبيرة حوالي من 20% الي 30% (اشعاع

تكنولوجيا محطات المركبات الشمسية

شمسي إلي كهرباء). كذلك يحتاج هذا النظام إلي مساحة أرض أصغر مقارنة بالتكنولوجيات الشمسية الأخرى (البرج وحوض القطع المكافئ).

يكون المجمع علي شكل طبق قطع مكافئ ، وينعكس الاشعاع علي مستقبل موضوع في نقطة مركز (بؤرة) الطبق ، يجهز الطبق بنظام تتبع (تعقب) شمسي علي محورين للتأكد من الحصول علي أفضل اشعاع للمرايات ، دائما يواجه الطبق جهة الشمس . وله نسبة تركيز (concentration ratio) يمكن أن تصل إلي 2000، وعادة يكون عرض الأطباق بين 5m، 15m

لا يحتاج هذا النوع إلي تخزين طاقة حرارية أو احتمال نقل طاقة حرارية، لأن الطاقه تتحول مباشرة إلي كهرباء.

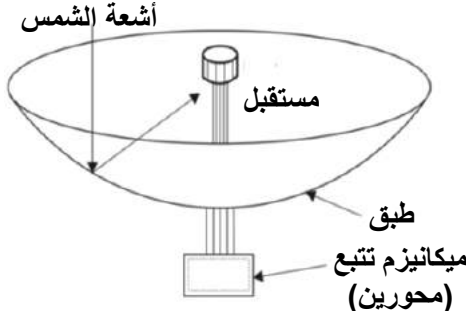
فكرة أساس عمل تكنولوجيا ستيرلنج قطع مكافئ: تعكس مرايات القطع المكافئ أشعة الشمس مباشرة علي مستقبل متحرك (ماكينة ستيرلنج) والقريب من مرايا القطع المكافئ شكل (10) فكرة طبق ستيرلنج قطع مكافئ.

تسخن العاكسات مانع التسخين (إما هيدروجين أو هليم) في ماكينة ستيرلنج حتي درجة حرارة $750^{\circ}C$ بعض الأنواع تصل إلي $1500^{\circ}C$ وضغط 150 Bar. يتم تحويل الحرارة إلي كهرباء عن طريق مولد ستيرلنج أو مولد صغير آخر.

من المميزات الأساسية لتكنولوجيا ستيرلنج قطع مكافئ تحويل الحرارة مباشرة إلي ماكينة ستيرلنج ، والحجم الصغير للنظام له القدرة علي التطبيقات الصغيرة لانتاج الطاقة غير مركزية والبعيدة عن الشبكة.

حدود قدرة محطات ستيرلنج القطع المكافئ بين 10 KWe, 50 KWe، وبالتالي يسمح ذلك بأن تكون تكاليف الانتاج منخفضة.

من العيوب الرئيسية لهذه التكنولوجيا الاحتياج إلى عاكس هندسي (reflector geometry) معقد وبالتالي تكلفة تصنيع مرتفعة ، وكذلك صيانة خاصة بمهارة لأن كل طبق يشمل علي مولد و ماكينة خاصه به.



شكل (10) فكرة طبق ستيرلنج قطع مكافئ

يوضح جدول (3) مقارنة بين تكنولوجيات CSP.

ويوضح جدول (4) خصائص CSP المنتجة تجاريا:

- حوض قطع مكافئ Parabolic trough.
- مجمع فرسnel الخطي Linear Fresnel.
- الأبراج الشمسية Solar Towers.
- طبق قطع مكافئ Parabolic dish.

جدول (3) مقارنة بين تكنولوجيات CSP

البند	الأبراج الشمسية Solar Towers	حوض قطع مكافئ Parabolic trough	طبق قطع مكافئ Parabolic dish	مجمع فرسnel الخطي Linear Fresnel
الاستخدام	المشاريع الكبيرة المتصلة بالشبكة بسعة MW 200-30	المشاريع الكبيرة المتصلة بالشبكة بسعة MW 200-30	التطبيقات الفردية او مجموعات في المزارع	التطبيقات الفردية
التكاليف (دولار/وات)	4.4 – 2.5	4 – 2.7	12.6 – 1.3	غير متوفر
محور التتبع	محور مزدوج	محور أحادي أومزدوج	محور مزدوج	محور مزدوج
مبادل حراري	يحتاج	يحتاج	لا يحتاج	لا يحتاج
نوع التركيز (في حالة الصوف المتوازية)	تركيز نقطة	تركيز خط	تركيز نقطة	تركيز خط
نوع المستقبل	ثابت	متحرك (متنقل)	متحرك	ثابت
المميزات	لأن الأملاح الموجودة المرغوبة أقل فإن درجة حرارة التشغيل تكون أعلى مقارنة ب"حوض القطع المكافئ"	ضوء الشمس مركزي للحصول على كفاءة جيدة للمستقبل	يمكن تركيبها في اي قطعة أرض (تضاريس) باستخدام كميات قليلة من المياه	لا تحتاج ربط دوار بين المستقبلات و مواسير الموقع الرئيسية ، و بالتالي تجهز تصميم اضافي مرن
العيوب	كل مرآة يجب ان تشتمل على تحكم محوري مزدوج	تغلف أنابيب المستقبل بأنابيب زجاج شفاف لتخفيض الفقد الحراري	يحتاج التحويل من الحرارة إلى الكهرباء ، إلى آلة ثقيلة ، و التي تحتاج إلى نظام تعقب	تحتاج إلى مرآة أعلى المستقبل(الثانوي) لاعادة بؤر الأشعة الضائعة أو مستقبل متعدد الأنابيب و الذي يكون كبير كفاية لاللتقاط الأشعة الضائعة بدون مرآة

جدول (4) خصائص CSP المنتجة تجاريا

مجمع فرسnel Collector Fresnel	طبق ستيرلنج Dish stirling	برج مركزي Central tower	حوض قطع مكافئ Parabolic trough
درجة الحرارة: 400°C	درجة الحرارة: 700- 800 °C	درجة الحرارة: 600 - 800 °C	درجة الحرارة: 400°C
تركيز خط	تركيز نقطة	تركيز نقطة	تركيز خط
مستقبل خطي	متتبع محور مزدوج	مستقبل مركزي	أنبوب استقبال خطي
-----	لا يحتاج مياه	يستهلك مياه	تستهلك مياه
- صف مستقبل ثابت مع مرايات - مرايات مركزية مسطحة أو منحنية	تركيز طبق	مرايات تركيز مسطحة	التركيز : مرايات قطع مكافئ
-----	صعوبة تخزين الحرارة	مقدرة تخزين الحرارة	يمكن تخزين الحرارة
تجاريا تحت التطوير	تجاريا تحت التطوير	معتمد تجاريا	الأكثر انتشارا تجاريا
5 MW تشغيل	وحدات 25 KW	أداء جيد للساعات الكبيرة و درجات الحرارة	جيد لاختيارات التهجين (المزج)
إنشاءات أقل	-----	يمكن الانشاء على موقع غير مسطح	يحتاج أرض مسطحة
-----	كفاءة عالية 30%	كفاءة منخفضة للمستقبل و لكن كفاءة عالية للتربينة	كفاءة جيدة للمستقبل و لكن كفاءة منخفضة للتربينة
-----	تبريد جاف	-----	-----
-----	ماكينة ستيرلنج	-----	-----

الباب الرابع مائع نقل الحرارة **(Types of heat transfer fluid (HTF))**

يعرف انتقال الحرارة (heat transfer) أنه طاقة منتقلة نتيجة للفرق في درجات الحرارة. فأينما يظهر فرق في درجات الحرارة في وسط معين أو بين وسطين عندئذ تظهر ظاهرة انتقال للحرارة.

إن انتقال الحرارة هو انتقال الطاقة الحرارية من الكتلة الأسخن إلى الكتلة الأبرد. عندما يكون لجسم ما درجة حرارة مختلفة عما يحيط به من الأجسام، فإن انتقال الطاقة الحرارية (تعرف أيضا بالتدفق الحراري أو التبادل الحراري)، يحدث بحيث تصل الأجسام إلى توازن حراري، وهذا يعني أنها ذات درجة حرارة واحدة. ويحدث الانتقال الحراري دائما من الأجسام الأسخن إلى الأجسام الأبرد، وهذا ما يؤكد القانون الثاني للديناميكا الحرارية: إن انتقال الحرارة بين الأجسام القريبة لا يمكن إيقافه، ولكن يمكن إبطاؤه. تنتقل الحرارة بثلاثة طرق هي: التوصيل، والحمل، والإشعاع.

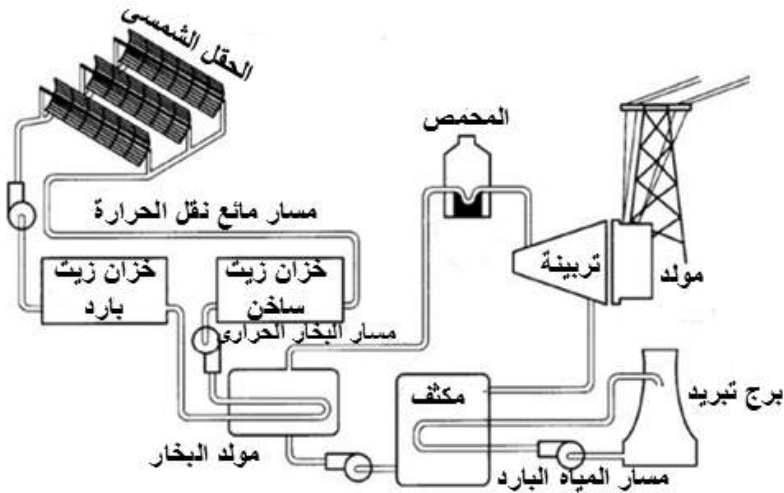
إن انتقال الطاقة بواسطة التوصيل أو الحمل يحتاج إلى وجود وسط مادي بينما الانتقال عن طريق الإشعاع لا يحتاج ذلك وأن الانتقال بالإشعاع يظهر بكفاءة أكبر في الفراغ، فيما يلي تعريف طرق انتقال الحرارة:

- التوصيل (conduction): وتنتقل الحرارة بالتوصيل من جسم إلى آخر بواسطة الإتصال المباشر أو التصادم العشوائي بدون أي حركة لكتلة المادة و انتقال الحرارة وقد يكون توصيلا مستقرا أي بمعدل ثابت أو غير مستقر بمعدل متغير.

- الحمل (convection): يحدث هذا النوع من انتقال الحرارة في الموائع (السوائل والغازات) وذلك أثناء سريانها داخل أو خارج المواسير أو سريانها على الأسطح الساخنة أو الباردة، ويتم انتقال الحرارة بالحمل نتيجة لحركة جزئيات المائع و هي محملة بالحرارة حيث تصطدم مع جزئيات أخرى أقل منها في درجة الحرارة وبالتالي تكسبها جزء من حرارتها، ويلاحظ أن انتقال الحرارة بالتوصيل أسرع من انتقال الحرارة بالحمل، هذا ويكون إما حملا حرا أو حملا جبريا.

- الإشعاع (radiation) : هو انتقال للموجات الكهرومغناطيسية من مصدر مشع إلي آخر خلال الفراغ الذي قد يكون أو لا يكون مشغولا بالمادة.

إن مائع نقل الحرارة، هو أحد المكونات الأساسية لتخزين ونقل الطاقة الحرارية في أنظمة مركبات الطاقة الشمسية. يوجد أنواع مختلفة من موائع نقل الحرارة مثل الهواء والماء / البخار والزيوت الحرارية (thermal oils) والسوائل العضوية (organic fluids) والأملاح المنصهرة (molten-salts) والمعادن السائلة (liquid metals) والتي تختلف خصائصها مثل درجة حرارة الانصهار (melting temperature) الثبات الحراري - (thermal stability) – التآكل (corrosion) . وتكون الأنابيب والمواد الحامية لمائع نقل الحرارة من الفولاذ المقاوم للصدأ و سبائك النيكل. يوضح شكل (1) مسار مائع نقل الحرارة بنظام مركبات الطاقة الشمسية



شكل (1) مسار مائع نقل الحرارة بنظام مركبات الطاقة الشمسية

أنواع مائع نقل الحرارة ((Types of heat transfer fluid (HTF)):

1. زيوت حرارية اصطناعية (Synthetic thermo oil)

وللتبسيط تسمى زيوت حرارية (thermo oil) هذا المائع مستخدم في جميع أنظمة المركبات الشمسية البخارية منذ أكثر من 25 سنة بمحطات حوض القطع المكافئ. هذه الزيوت عبارة عن خليط أصهري (eutectic mixture) (أحيانا يطلق عليه يوتكتي) (هو مخلوط من مادتين أو أكثر له نقطة انصهار اقل من نقطة انصهار أي مخلوط آخر منهما، وقد تسلك اليوتكتيات من بعض الوجوه مسلك المركب الحقيقي) من ثنائي أكسيد الفينيل (biphenyl / biphenyl / oxide). من الأنواع شائعة الإستخدام: (Therminal VP- 1) & (Dowtherm A) يوضح جدول (1) مميزات وعيوب الزيوت الحرارية.

جدول (1) مميزات وعيوب الزيوت الحرارية

العيوب	المميزات
<ul style="list-style-type: none"> درجات حرارة قصوي محدودة (حوالي $400^{\circ}C$) تسبب مشاكل في التحلل الحراري) مشاكل الوميض مشاكل السموم العمل تحت ضغط (حوالي 25 الي 35 بار) لتجنب التبخر عند درجات حرارة التشغيل تكاليف مرتفعة (حوالي 4 الي 7 يورو/كجم) أقل صداقة للبيئة مقارنة بالأوساط الأخرى ، التسريب لا يسبب مشكلة عند تشغيل المحطه ولكن يؤثر بيئيا. 	<ul style="list-style-type: none"> درجة حرارة تجمد منخفضة (حوالي من $12^{\circ}C$ الي $20^{\circ}C$) استقرار حراري عالي في حدود درجات حرارة التشغيل لزوجة منخفضة (تحسين النقل الحراري - انخفاض مشاكل الضخ وبداية التشغيل) عدم التآكل (من غير المرغوب استخدام سبائك خاصة أو ستنلس ستيل)

2. الزيوت المعدنية (Mineral oil)
استخدمت هذه الزيوت عند انشاء أول محطة مركزات شمسية حرارية عام
1985
يوضح جدول (2) مميزات وعيوب الزيوت المعدنية.

جدول (2) مميزات وعيوب الزيوت المعدنية

العيوب	المميزات
<ul style="list-style-type: none"> عند درجة حرارة أعلى من $500^{\circ}C$ يصبح غير مستقر. 	<ul style="list-style-type: none"> في حالة وجود نظام تخزين مباشر ، أي أن نظام التخزين يستخدم HTF مباشر كوسط تخزين، لأن الزيوت المعدنية تمتاز بأنها وسط تخزين حراري جيد.

3. الأملاح الذائبة (Molten salts)
توجد أنواع مختلفة من خليط الأملاح الذائبة مثل:
- خليط ثنائي (primary mixtures).
أملاح شمسية (solar salts):
نترات صوديوم $60\% Na NO_3$: m/m %
نترات بوتاسيوم $40\% K NO_3$
 - خليط ثلاثي (ternary mixture)
ملح غير عضوي (الاسم التجاري Hitec)
نترات صوديوم $7\% Na NO_3$: m/m %
نترات بوتاسيوم $53\% K NO_3$
نترات صوديوم $40\% Na NO_2$
 - ملح خليط النترات الثلاثي (الاسم التجاري Hitec XL)
نترات صوديوم $7\% Na NO_3$: m/m %

مانع نقل الحرارة

نترات بوتاسيوم 45% K NO₃
نترات كالسيوم 48% Ca (NO₃)₂

الكسر الكتلي w_i (mass fraction):

في الكيمياء، هو عبارة عن نسبة كتلة مادة ما m_i إلى كتلة المزيج الكلي m_{tot} أي ان $w_i = m_i / m_{tot}$ ويرمز له بـ % m/m
هذا يعنى أن الكسر الكتلي يستخدم فى تقنية تحليل العناصر للاشارة إلى نسبة كتلة أحد العناصر إلى الكتلة الكلية

يوضح جدول (3) مميزات و عيوب الأملاح الذائبة
ويوضح جدول (4) خصائص أنواع الأملاح الذائبة
جدول (3) مميزات و عيوب الأملاح الذائبة

المميزات	العيوب
<ul style="list-style-type: none">أقصى درجات حرارة (حتى 600° C)عدم وجود مشاكل للوميضلا توجد مشاكل سمومضبط تشغيل منخفض (حوالي 1 الي 10 بار)تكاليف منخفضة (حوالي 0.5 الي 2 يورو/كجم)	<ul style="list-style-type: none">درجة تجمد مرتفعة (صعوبة التحكم ليلا، مثلا التسخين الكهربى للأنايبب، أو دوران المائع الساخن)

جدول (4) خصائص أنواع الأملاح الذائبة

ملح خليط النترات الثلاثي Hitec) (XL	ملح غير عضوي (Hitec)	أملاح شمسية solar) (salt	الخصائص
500	535	600	أقصى درجة حرارة C °
120	142	238	نقطة تجميد C °
1992	1640	1899	الكثافة عند C 300° (kg/m3)
6.37	3.16	3.26	*اللزوجة عند C 300° (cp)
1447	1560	1495	السعة الحرارية عند C 300° (kj/kg)

*اللزوجة هي مقاومة مانع ما للجريان، ومقدار مقاومته لضغط يجبره على التحرك والسيولة. كلما زادت لزوجة مانع ما، قلت قابليته للجريان.
البواز (Poise) (P) عبارة عن وحدة غير نظامية لقياس اللزوجة الحركية، سميت نسبة للفيزيائي الفرنسي جان لويس ماري بوازيه (Jean Louis Marie Poiseuille) جزء واحد من مئة جزء من البواز يسمى سنتيبواز، وذلك بإضافة السابقة سنتي. 1 سنتيبواز يعادل 1 ميلي باسكال. ثانية (cP = 10⁻²P = 10⁻³ Pa·s)

4. البخار / المياه (Steam / Water):

يستخدم كمائع نقل الحرارة ومائع تشغيل في دوره مجموعة القوي

يوضح جدول (5) مميزات وعيوب البخار / المياه

جدول (5) مميزات وعيوب البخار / المياه

العيوب	المميزات
<ul style="list-style-type: none"> ▪ ضغوط مرتفعة داخل انبواب الممتص (حوالي 100 بار) ▪ صعوبة التحكم في درجة الحرارة علي طول الأنبوب 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ عدم وجود مشاكل التجمد ▪ عدم وجود مشاكل الوميض ▪ عدم وجود مشاكل التآكل ▪ لا توجد تكاليف جوهرية

يوضح جدول (6) خصائص أنواع مائع نقل الحرارة الآتية:

- زيت معدني
- زيت اصطناعي
- زيت سيليكون
- أملاح نترات
- أملاح كربونية
- صوديوم (سائل)

جدول (6) خصائص مائع نقل الحرارة

الموصلية الحرارية (K) (w/m.k)	السعة الحرارية (Cp) (J/Kg . k)	أقصى درجة حرارة (° C)	نوع الوسط
0.12	2600	300	زيت معدني (mineral oil)
0.11	2300	400	زيت اصطناعي (synthetic oil)
0.10	2100	400	زيت سيليكون (silicon oil)
0.50	1500	450	أملاح نترات (Nitride salt)
0.50	1600	565	أملاح نترات (Nitride salt)
2.0	1800	850	أملاح كربونية (carbonate salt)
71.0	1300	850	صوديوم (سائل) (sodium)

حيث

C_p = specific heat at constant pressure

K = thermal conductivity (heat conductivity)

- الحرارة النوعية (specific heat) هي كمية الحرارة اللازمة لتغيير حالة 1 كيلوجرام من المادة من حالة إلى أخرى دون تغيير في درجة الحرارة (مثل تحول الماء إلى بخار). ... وعند تحول المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة تفقد المادة حرارة الانصهار وتصبح مادة صلبة.

- الموصلية الحرارية (thermal conductivity)

في الفيزياء والكيمياء هي خاصية المادة التي تشير إلى قابلية المادة لنقل الحرارة. تقاس الموصلية الحرارية لمادة ما بوحدة وات/متر/كلفن. وتختلف الموصلية الحرارية من مادة إلى مادة فالمعادن عموماً تكون جيدة الناقلية الحرارية مثل النحاس والحديد والفضة، أما الأخشاب والبلاستيك مثلاً، فهي ضعيفة التوصيل الحراري.

الباب الخامس أنظمة تخزين الطاقة الحرارية Thermal energy storage systems (TES)

سبق توضيح أن تكنولوجيا تركيز الطاقة الشمسية تستخدم المرايا لتعكس وتركز أشعة الشمس نحو مستقبل يقوم بتجميع هذه الطاقة وتحويلها إلى حرارة و التي يمكن استخدامها لإنتاج الكهرباء عن طريق التوربينات البخارية والمولدات الكهربائية. على الرغم أن الطاقة الشمسية تصنف من بين الطاقات الواعدة، إلا أنها تواجه عدة تحديات منها أن إنتاج الطاقة يكون متقطع عندما تغرب الشمس أو عند وجود الغيوم.

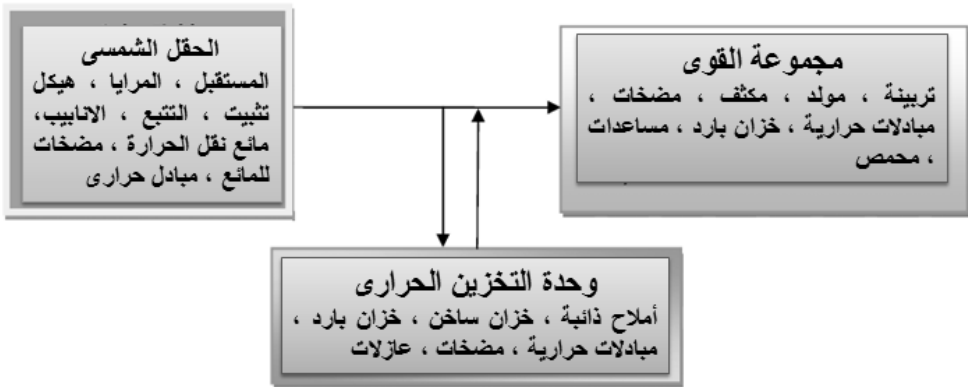
يعتبر التخزين الحراري من أنجح الطرق للتصدي لهذا التحدي حيث يساعد في الاستخدام الفعال للطاقة وتوفيرها كما أن هناك اختلاف بين نسبة الطاقة المولدة والمستهلكة.

من تقنيات التخزين الحراري، تخزين الحرارة الكامنة والتي تستخدم مواد تغير حالتها الفيزيائية بفعل الحرارة. إذ أن هذه المواد لها خاصية تخزين الطاقة في شكل حرارة كامنة، هذه الحرارة يجري تخزينها أو استخدامها أثناء الانتقال من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة أو العاكس. فهي تعتمد على تطبيق مبدأ فيزيائي بسيط، إذ تتميز كل مادة بدرجة حرارة انصهار معينة فتتحول إلى حالتها السائلة عن طريق امتصاص الحرارة من الجو المحيط وتستعيد حالتها الصلبة عند انخفاض درجة الحرارة. وترتبط هذه الخاصية بالطاقة الحجمية الممنوحة عند انصهار المادة، إذ كلما كانت كبيرة كلما كانت خصائص تخزين / استعادة الحرارة مثيرة للاهتمام. يمكن تصنيف هذه المواد وفقا لطبيعتها الكيميائية في ثلاث فئات كبيرة: مواد عضوية ، مواد غير عضوية و مواد سهلة الانصهار.

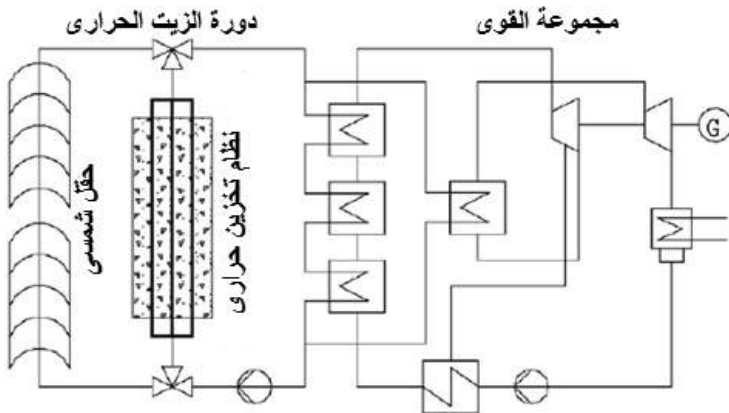
كمثال لمادة غير عضوية تدخل ضمن الأملاح الرطبة: نترات الصوديوم. تعتمد تكنولوجيا المحطات الحرارية بالمركبات الشمسية (CSP) علي الاشعاع الشمسي المركز. من فوائد CSP مقارنة بالمحطات الفوتوفلتية PV ان الاشعاع الشمسي لا يتحول مباشرة الى طاقة كهربائية ولكن يتحول إلي حرارة ثم ينتج بخار من هذه الحرارة. يلي ذلك مرحلة امكانية تخزين الحرارة للحفاظ علي انتاج طاقه ثابتة. يوضح شكل (1) المكونات الرئيسية لمحطة مركبات شمسية، للتخزين الحراري عدة

تطبيقات مختلفة في محطة CSP، من أهم تطبيقات التخزين الحراري أنه يتجاوز حالة وجود سحب، غمام أو ظلام وعمل المحطة لفترات طويلة وقت الغروب. يوضح شكل (2) تمثيل لمكونات محطة شمسية ديناميكا حرارية، وموضع التخزين الحراري بها.

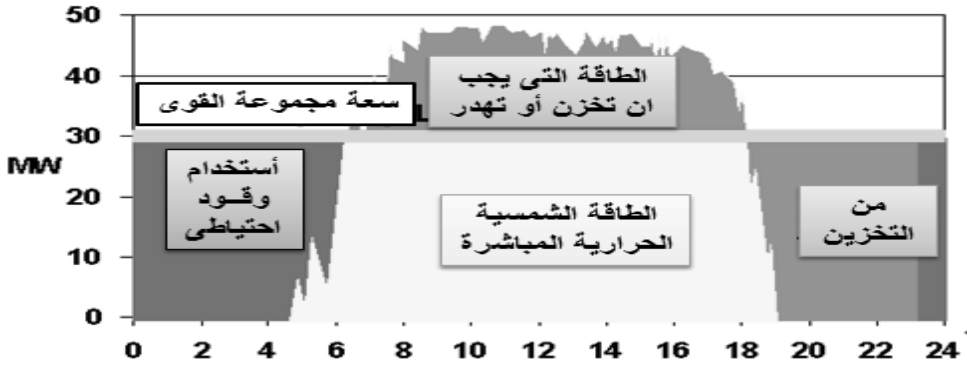
يوضح شكل (3) تمثيل للقدرة المنتجة من المجال الشمسي MWe خلال يوم لمحطة مركبات شمسية، يلاحظ أن أقصى طاقة كهرباء حرارية منتجة من الحقل الشمسي أكبر من المقنن الحراري لمجموعة القوى، هذه الزيادة تخزن في حالة وجود نظام تخزين أو تهدر في حالة عدم وجود نظام تخزين.



شكل (1) المكونات الرئيسية لمحطة مركزات شمسية



شكل (2) تمثيل لمكونات محطة شمسية ديناميكا حرارية



شكل (3) القدرة المنتجة من المجال الشمسي MWe خلال يوم

يوضح جدول (1) أنظمة تخزين الطاقة الحرارية، ونلاحظ التوليفة بين نوع المجمع وضغط التشغيل ، وحدود درجة حرارة التشغيل، والتي تختلف من $260^{\circ}C$ لنظام برج بخار مشبع عند 40 bar ضغط ، إلي $1000^{\circ}C$ في نظام هواء المجمع برج وضغط 1 bar

تصنف تكنولوجيات خزانات الطاقة الحرارية إلي :

- نظام تخزين طاقة حرارية فعال مباشر (direct active) والذي فيه يكون مائع التحويل الحراري (HTF) هو وسط التخزين (شكل (4))
- نظام تخزين طاقه حرارية سلبي (passive)، والذي لا يكون فيه مائع التحويل الحراري (HTF) هو وسط التخزين، حيث تستخدم مادة أخرى في هذا النظام (شكل(5))

عادة يستخدم البخار كمائع تحويل الحرارة في أنظمة مجمعات أحواض القطع المكافئ والأبراج. في أغلب الأنواع يستخدم مرمك البخار (steam accumulator)، تكون الفكرة تخزين كميات قليلة من البخار للحفاظ علي استقرار الشبكة الكهربائي.

جدول (1) أنظمة تخزين الطاقة الحرارية

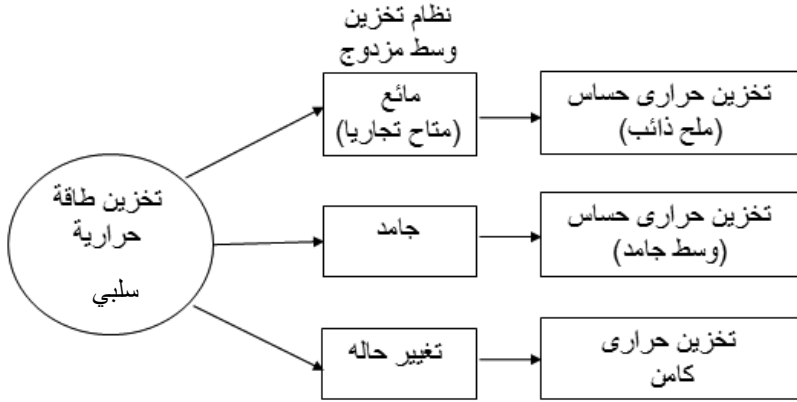
نوع مائع التحويل الحراري	نوع المجمع	ضغط التشغيل (Bar)	درجة حرارة التشغيل (° C)	مجموعة القوى (PB)
زيوت صناعية	حوض قطع مكافئ	15	400	دورة رانكن العضوية (ORC)*
بخار مشبع	برج	40	260	تربينة بخارية
بخار محمص	برج	50-100	400-500	تربينة غازية
ملح ذائب	حوض/برج	1	500-600	دورة مركبة
هواء	برج	1	700-1000	ماكينة ستيرلينج**
هواء	برج	15	800-900	أخري

* دورة رانكن العضوية (Organic Rankine Cycle (ORC))

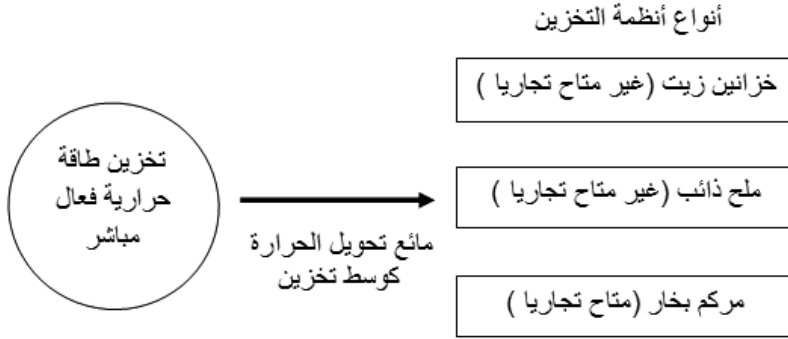
هي دورة وظيفتها تحويل الطاقة الحرارية إلى شغل. تغذى الحرارة من مصدر خارجي إلى حلقة مغلقة، والتي عادة ما تستخدم الماء. تولد هذه الدورة حوالي 80% من الطاقة الكهربائية حول العالم، بما في ذلك جميع منشآت الطاقة الشمسية الحرارية، الطاقة الحيوية، طاقة وقود أحفوري، و الطاقة النووية. يعود اسمها إلى العلامة الاسكوتلاندي، ويليام رانكن. تعد دورة رانكن اللبنة الأساسية في الديناميكا الحرارية المتعلقة بالمحرك البخاري.

** ماكينة ستيرلينج (Stirling engines)

يعرف أيضاً بمُحرك الهواء الساخن، محرك ستيرلينج هو محرك حراري، يعمل بواسطة ضغط وتمدد الهواء أو غاز آخر، عند درجات حرارة مختلفة. وبشكل آخر هو تحويل الطاقة الحرارية لشغل ميكانيكي- بذل جهد، وتعريفه بشكل محدد أكثر هو دائرة مغلقة ذات محرك حراري يعمل بشكل مستمر بواسطة جهد الغازات التي تنضغط وتتمدد بشكل مستمر.. صمم محرك ستيرلينج في عام 1816 بواسطة روبرت ستيرلينج



شكل (4) نظام تخزين طاقه حرارية سلبي



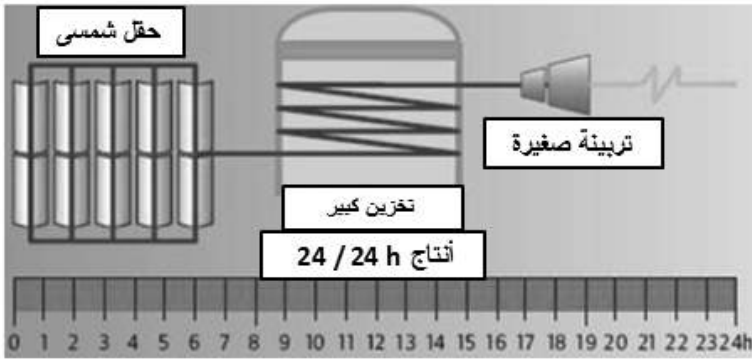
شكل (5) نظام تخزين طاقه حرارية فعال مباشر

تناسق أحمال المحطة (Load plant configuration)

نظرا للتكامل بين التحويل الحراري (Thermal storage) المحتمل والذي يسمح بتخزين الطاقه الكهربائيه عند حالات طلب طاقة مختلفة، ظهرت ثلاثة حالات لمحطات الحمل هي: الأساس، الوسط والذروة. تبعا لكل من: المصدر المختار، سعة تربيئة البخار، مقياس الحقل الشمس وحجم التخزين يتم الربط بينهم طبقا للطريقة المناسبة. سيتم تعريف حالات محطات طلب الحمل مع فرض:

- ثبات مقياس الحقل الشمسي (Solar field) والتي يعني أن الطاقة الكهربائية المنتجة تكون ثابتة.

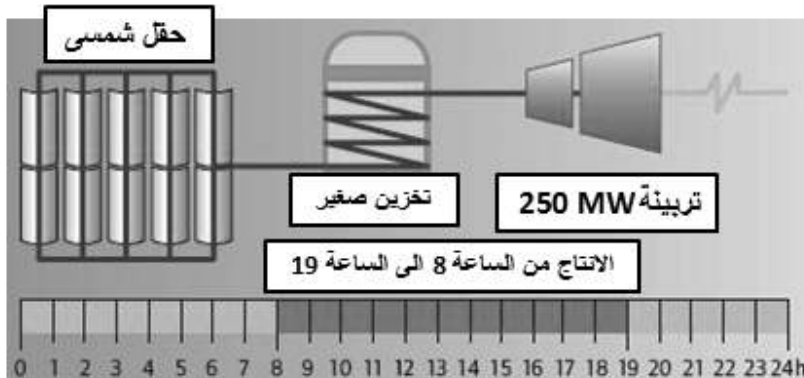
1. **محطة الحمل الاساسي (base load plant)** تحتاج محطة الحمل الاساسي في نظام حوض القطع المكافئ إلي تخزين كبير جدا، والتي تسمح لانتاج كهرباء لفترات طويلة جدا بدون اشعاع شمسي ، ويكون مقياس التربيننة صغير لأن الكهرباء تنتج بصفة مستمرة، أي أن يتوزع الانتاج علي عدد كبير من ساعات التشغيل. ومن أمثلة هذا النوع سعة تربينة 120 MW يوضح شكل (6) هذا النظام



شكل (6) تمثيل لمحطة الحمل الاساسي

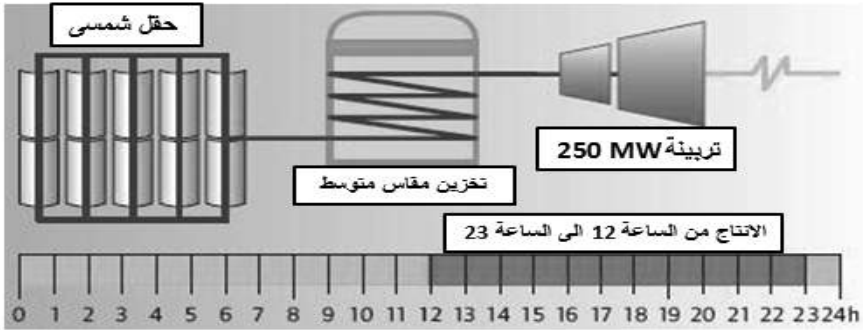
2. **محطة حمل وسط (Intermediate load power plant)** لهذا النوع تكون عدد ساعات التشغيل من الساعة 8 إلي الساعة 19 ، وفيه يستخدم تخزين صغير لأن الطاقة ستخزن لفترة زمنية أقل. وتكون التربيننة أكبر من النوع المستخدم في محطة الحمل الاساسي، لأن الطاقة الكهربائية تكون أقل من الناتج في محطة الحمل الاساسي، وتكون التكاليف الاستثمارية لمحطات حوض حمل وسط أقل من محطات الحمل الاساسي لأن خزان التخزين أصغر والتربينة متوسطة الحجم. من بين محطات حوض القطع المكافئ يكون هذا النوع هو الأقل تكلفة

لانتاج الكهرباء ومن أمثلة هذا النوع سعة تربينة 250 MW، يوضح شكل (7) تمثيل لمحطة حمل وسط



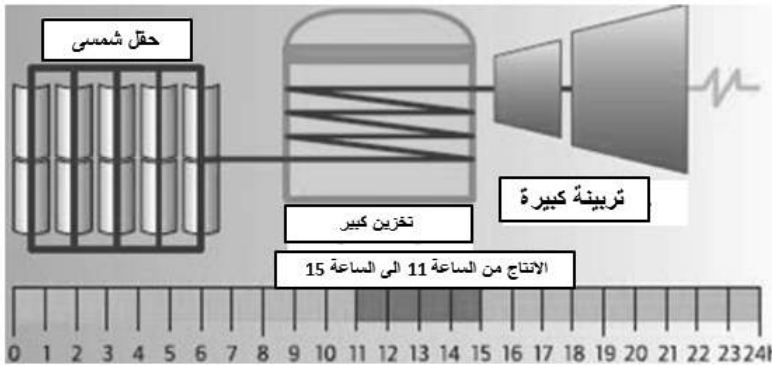
شكل (7) تمثيل لمحطة حمل وسط

3. محطات حوض حمل وسط متأخر (delay intermediate load) في هذا النوع يتم التخزين بخزان أكبر لنفس مدة الفترة الزمنية ولكن من الساعة 12 إلي الساعة 23. يكون حجم التربينه بنفس الحجم في حالة حمل وسط ولكن الخزان يجب أن يكون أكبر ليسمح بانتاج الكهرباء خلال فترات انخفاض الاشعاع الشمسي. يوضح شكل (8) هذا النوع



شكل (8) تمثيل لمحطة حوض حمل وسط متأخر

4. **محطة حمل الذروة (peak load)** تعمل هذه المحطة لعدد قليل من الساعات (من الساعة 11 إلى الساعة 15) ولذا تحتاج إلى تربينة كبيرة. ثم يتم تركيز الطاقة الكهربائية في فترة زمنية قصيرة. بالإضافة إلى أن الخزان الحراري يكون كبير وذلك لأن مدخل الطاقة الشمسية الكبير يجب تخزينه لامكانية تحويله إلى طاقة كهربائية لفترة قصيرة. لهذا النظام أعلى تكلفة إنتاج كهرباء بين الأنظمة السابقة ، كمثال لهذا النوع سعة تربينة 620 MW وتنتج لمدة 4 ساعات هي وقت أعلى استهلاك للكهرباء والتي تكون في فترة الظهر. يوضح شكل (9) تمثيل لمحطة حمل الذروة.



شكل (9) تمثيل لمحطة حمل الذروة

يعتمد المقاس المثالي للخزان على:
 ■ التكاليف الاستثمارية لنظام التخزين

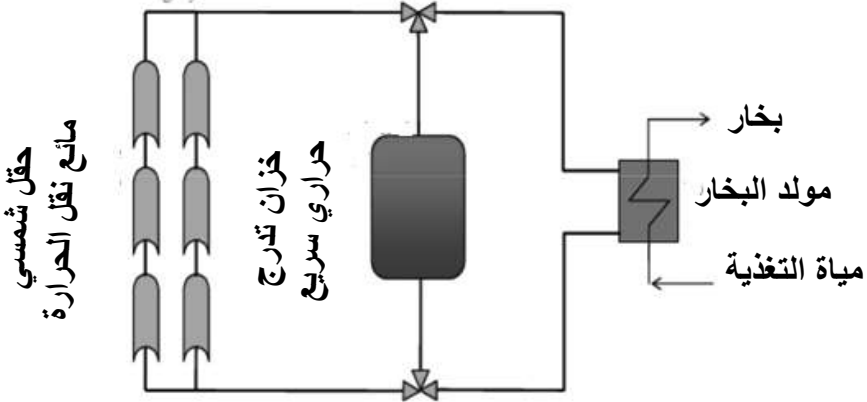
- استراتيجية تشغيل المحطة
- يجب الوصول ألي أقل تكاليف للكهرباء
(levelized Electricity cost)

يمكن أن يحتوى نظام التخزين على خزان واحد أو خزانين

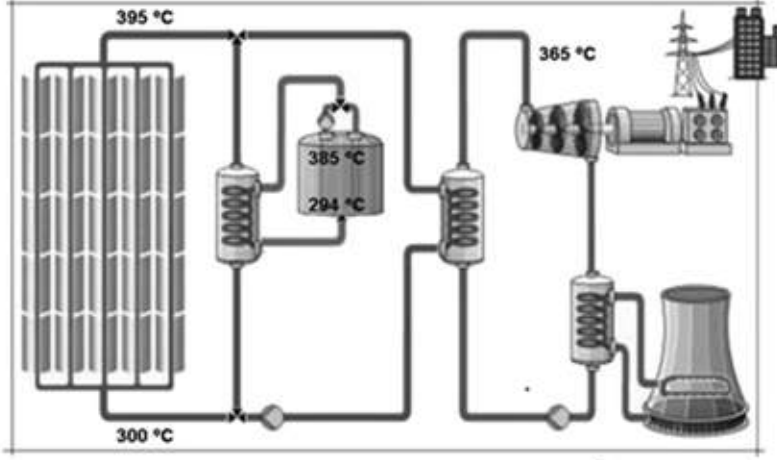
خزان واحد

خزان تدرج حراري سريع (Thermocline tank) عبارة عن خزان واحد يحتوي علي مائع بتدرج رأسي لدرجة الحرارة، حيث يكون المائع الساخن في أعلي الخزان بينما المائع البارد في القاع. يتصف هذا النوع أنه يستخدم مادة حشو منخفضة التكاليف والتي تشكل أعمال أساسية موضحة في شكل (10)

ويوضح شكل (11) تمثيل لموضع التخزين الحراري (خزان واحد) في محطة المركزات الشمسية.



شكل (10) تمثيل خزان تدرج حراري سريع



الحقل الشمسي التخزين الحراري مجموعة القوى

شكل (11) تمثيل لموضع التخزين الحراري (خزان واحد) في محطة
المركزات الشمسية

نظام خزائين

في هذا النظام يستخدم خزان منفصل يعرف بالخزان الساخن وآخر خزان بارد.
تعتمد مستويات درجة الحرارة علي أقصى وأدني درجة حرارة يصل اليها مائع نقل
الحرارة بالمجال الشمسي

من أمثلة درجات حرارة الخزائين ذلك:

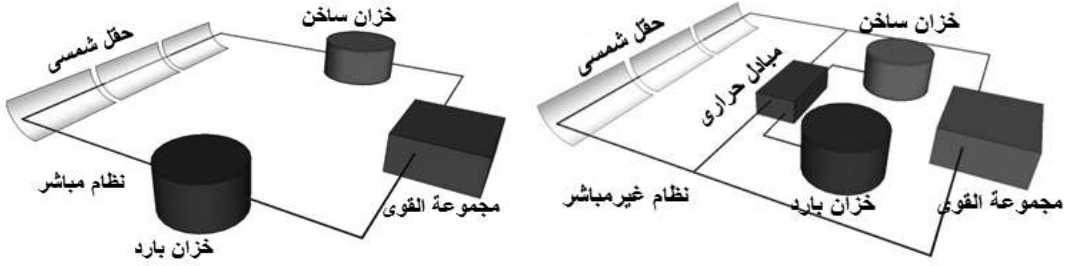
في محطة Archimede (نظام مباشر)

$$T_{hot,tank} = 550^{\circ} C, T_{cold,tank} = 290^{\circ} C$$

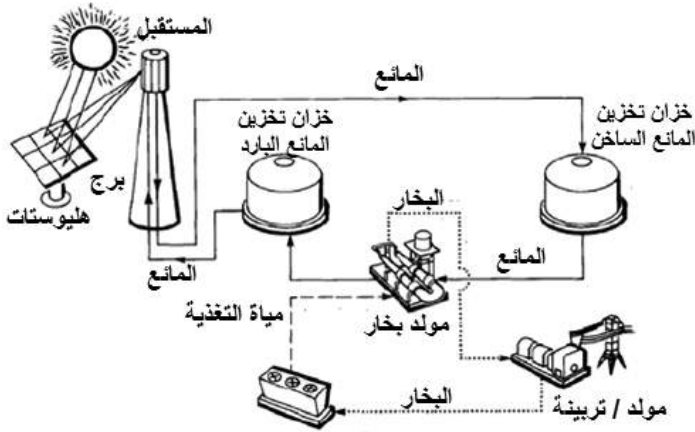
في محطة Andasol (نظام غير مباشر)

$$T_{hot,tank} = 386^{\circ} C, T_{cold,tank} = 292^{\circ} C$$

يوضح شكل (12) تمثيل لنظام تخزين مباشر وآخر غير مباشر
ويوضح شكل (13) رسم تخطيطي لنظام مركزات شمسية – مستقبل مركزي
يحتوي على خزائين ملح منصهر (المائع)



شكل (12) تمثيل لنظام تخزين مباشر وآخر غير مباشر



شكل (13) رسم تخطيطي لنظام مركزات شمسية - مستقبل مركزي يحتوي على خزائين ملح منصهر (المائع)

الباب السادس
محطات قوي فرسنل الخطية
Linear Fresnel Power Plants

ينسب إسم تكنولوجيا مجمعات (عاكسات) فرسنل الخطية إلي عدسات فرسنل (Fresnel lens) والتي أخترعت بواسطة الفيزيائي الفرنسي (أوجستين-جين فرسنل Augustin-Jean Fresnel) لوضعها بالمنارات لهداية الملاحين وذلك في القرن الثامن عشر، الموضحة في شكل (1)



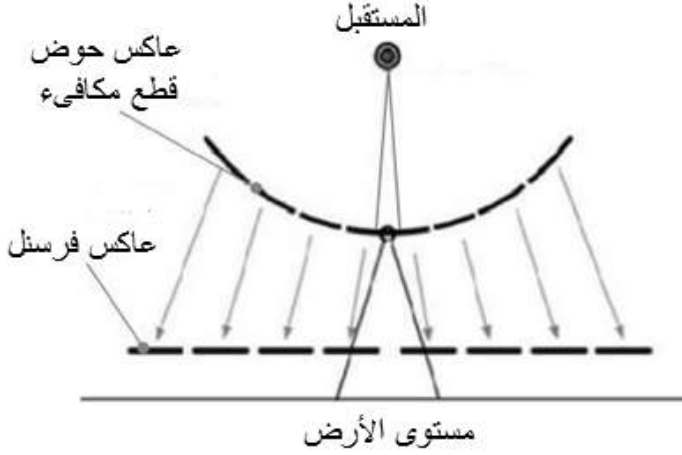
شكل (1) عدسة فرسنل

تتراوح حدود قدرة محطات فرسنل الخطية من عدة مئات من kw إلي عدد من Mw.

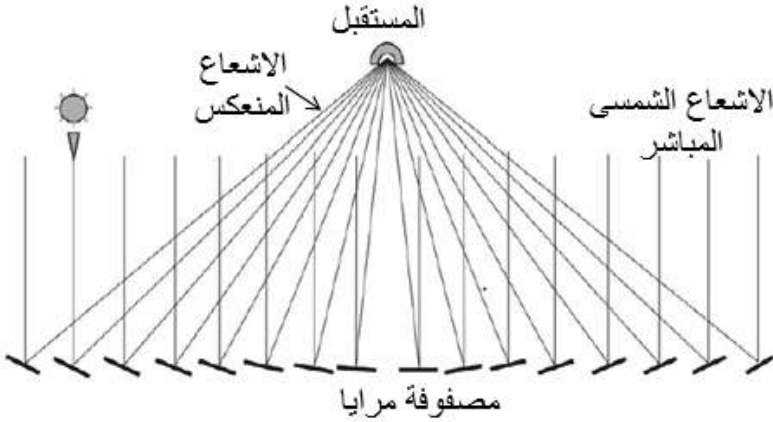
تعتمد فكرة عاكسات فرسنل علي تقسيم مرايا قطع مكافئ إلي شرائح مشكلة مرايات فرسنل كما في شكل (2) والذي يوضح مقارنة بين عاكس حوض قطع مكافئ وعاكس فرسنل.

حيث يوضح شكل (3) أن هذه المرايا تركز أشعة الشمس علي المستقبل المحتوي علي مائع ناقل الحرارة والذي يمكن أن يكون مياه أو زيت أو أملاح مذابة ويختار نوع المائع اعتمادا علي درجة حرارة تشغيل النظام. يوضح شكل (4) مكونات حقل فرسنل.

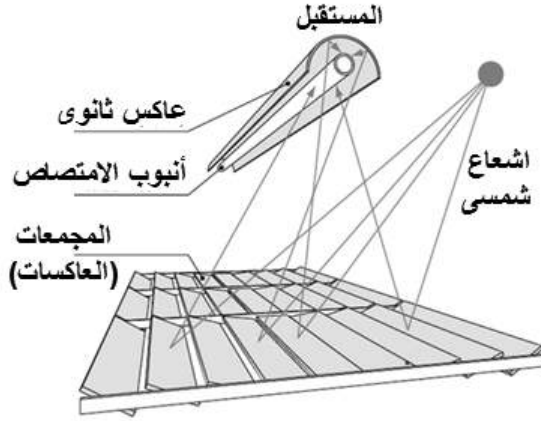
تعتبر محطات فرسnel الخطية من التطبيقات المثالية لاستخدامات الأنشطة الصناعية. حيث يمكن الحصول علي درجة حرارة حتي 400°C وضغط حتي 120 bars



شكل (2) مقارنة بين عاكس حوض قطع مكافئ و عاكس فرسnel



شكل (3) شرائح مرايات فرسnel مشكلة مصفوفة



شكل (4) مكونات حقل فرسnel

فيما يلي توضيح مكونات حقل فرسnel الخطي :

1- مجمع فرسnel (LFC) Linear Fresnel Collector

المجمع عبارة عن عاكسات فرسnel (FRs) (Fresnel Reflectors) والتي تعمل كمعدات تركيز وتتكون من عدد كبير من عناصر أو شرائح من المرايات الصغيرة المسطحة أو ذات انحناء بسيط، وجميعها تستقبل الأشعة المتوازية الساقطة وتعكسها علي نقطة مشتركة.

تشبه عاكسات مجمعات فرسnel (FR) محطات مجمعات حوض القطع المكافئ (PT) مع الاختلاف الآتي:

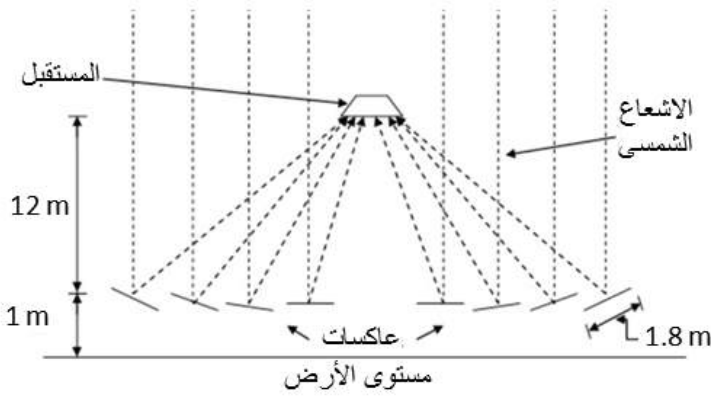
- تستخدم FR مجموعة من المرايات المسطحة أو المنحنية قليلا المركبة علي الأرض كقاعدة، موضوعة عند زوايا مختلفة لتجميع أشعة الشمس علي مُستقبل ثابت موضوع أعلي حقل المرايات بعده أمتار.
- كل خط مرايات مجهز بنظام تتبع أحادي المحور لتجميع وتركيز أشعة الشمس علي المُستقبل الثابت.

تُصنَع المجمعات من شرائح مرايا مسطحة أولها إنحناء ميكانيكي صغير جدا. تكون مادة العاكس من الفضة. في حالة محطة نوفاتك الشمسية (Novatec) استخدمت مرايا زجاجية بسُمك 3mm

عند تصميم مجمعات LFCs تؤخذ هذه المتغيرات في الاعتبار:

- عرض الشرائح

- عرض المجمع الكامل
 - عدد الشرائح الزجاجية المتوازية
 - ارتفاع المُستقبل فوق مستوي المرايات
 - المسافة بين الشرائح الزجاجية
 - إنحناء المرايات
- يوضح شكل (5) نموذج مقاسات المرايا وارتفاع المرايا والمُستقبل عن مستوى الأرض



شكل (5) نموذج مقاسات المرايا وارتفاع المرايا والمُستقبل عن مستوى الأرض

لتحقيق أفضل متغيرات للمجمعات يراعي الآتي:

- ❖ يجب ألا يكون عرض الشرائح المنفصلة للمرايات ضيق جدا، لأن ذلك يعني لنفس مساحة الفتحة يلزم عدد كبير جدا من شرائح المرايات وبالتالي يتطلب ذلك مسافات فراغات أكثر تعقيدا في الهيكل وميكانيزم التتبع.
- إذا كان مقياس الشرائح مناسب تصميميا، عندئذ تعمل المرايات على عكس الإشعاع المباشر الثابت على أنبوب المُستقبل الثابت.
- مثال لمقاسات نموذج تعليمي:

قطر الأنبوب: 7.5 cm

عرض المرايا: 50cm

ارتفاع المُستقبل فوق المرايا: 7.5 m

العرض الكلي للفتحة: 17.5 m

عدد صفوف المرايا: 35 خط (صف)

- ❖ يجب ألا يكون الفراغ بين صفوف المرايا كبير جدا . كذلك ألا يكون الفراغ صغير جدا حتي لا يحدث أي ظلال أو عوائق بين صفوف المرايات
- ❖ عند استخدام شرائح مرايا منحنية يجب ألا يكون نصف القطر صغير جدا ولا كبير جدا، لأن في كلتا الحالتين يحدث ضياع للأشعة الشمسية.

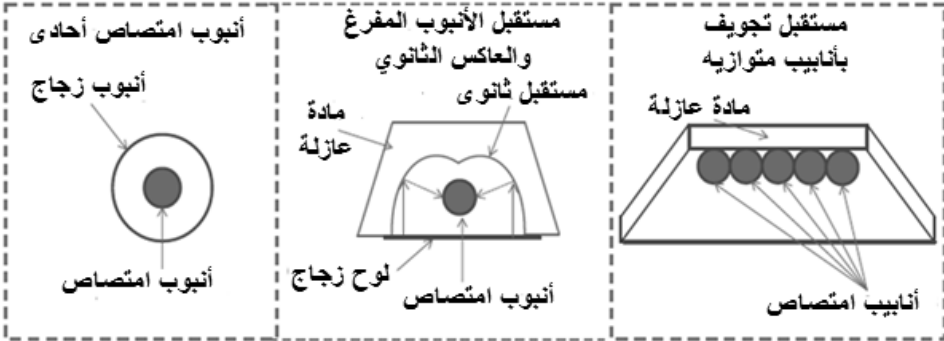
2- المُستقبل (receiver)

يكون المُستقبل ثابت وخطى ويركب علي بكرات لتعويض الامتداد الحراري الناتج من إرتفاع درجات الحرارة خلال التشغيل. في حالة المُستقبلات المصنوعة من الصلب ، يكون التمدد الحراري الطولي عند درجات الحرارة العالية للتشغيل حوالي 0.6% ، اي 6m لطول مُستقبل 1000 m

أنواع المُستقبلات:

يوجد عدة أنواع من المُستقبلات والموضحة بشكل (6 - أ) ' فيما يلي توضيح الأنواع المستخدمة:

- مُستقبل الأنبوب المفرغ والعاكس الثانوي
- مُستقبل تجويف بأنابيب متوازية



شكل (6 - أ) أنواع المُستقبلات

- مُستقبل الأنبوب المفرغ والعاكس الثانوي (Evacuated tube receiver and secondary)

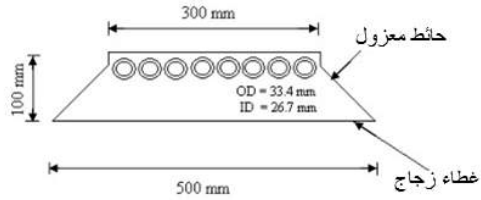
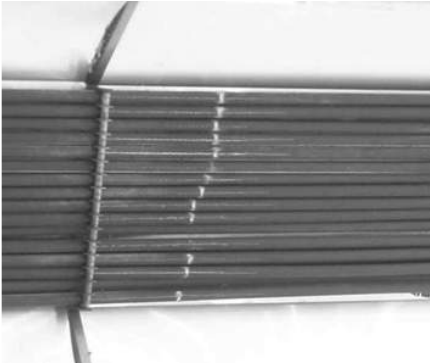
يتكون المُستقبل من أنبوب طويل مطلي يحول المياه المار به إلى بخار مشبع. نظرا لتعرض الخط البؤري (focal line) إلى تشوه نتيجة خاصية اللابورية (astigmatism) (أي الأشعة المنبعثة من نقطة لا تجتمع في نقطة بؤرية واحدة) لذا يتم تركيب عاكس ثانوية أعلى المُستقبل وذلك لإعادة تركيز أشعة الشمس إلى الخط البؤري.

كمثال، في محطة Novatec ، يكون قطر أنبوب المُستقبل 7 cm ، وعرض العاكس الثانوي 30 cm

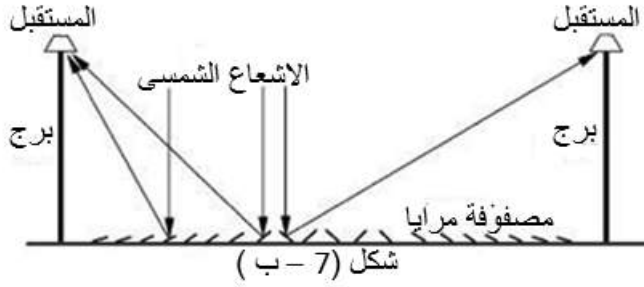
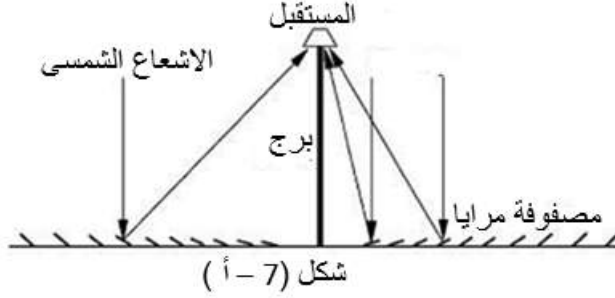
▪ مُستقبل تجويف بأنابيب متوازية (Cavity with parallel tubes receiver)
يتكون المُستقبل من :

- عدد من أنابيب صغيرة القطر موضوعة في الخط البؤري
- تجويف معزول على شكل شبه منحرف
- لا يحتوي علي عاكس ثانوى
- غطاء زجاجي لتخفيض المفقودات الحرارية.

يوضح شكل (6 - ب) مثال لمُستقبل تجويف بأنابيب متوازية يوضح شكل (7 - أ) تمثيل لحقل عاكسات فرسنة الخطية (المرايا والمستقبل)، وللتغلب على المشاكل الناتجة عن الظل أو عن حدوث إعاقة من تقارب العاكسات، يتم استخدام أكثر من مُستقبل خطي ثابت كما في شكل (7 - ب)



شكل (6 - ب) مثال لمُستقبل تجويف بأنابيب متوازية



شكل (7) تمثيل لحقل عاكسات فرسنة الخطية

3- مائع ناقل حرارة (HTF) (Heat Transfer Fluid)

نظرا لأن المُستقبل ثابت فإنه يسهل الإختيار الواسع لنوع المائع المستخدم كالآتي:

- تستخدم المياه كمائع عند الإحتياج لدرجات حرارة منخفضة
- والزيوت لدرجات الحرارة العالية
- والبخار لدرجات الحرارة الأعلى
- والأملاح الذائبة لأعلي مدي لدرجات الحرارة
- بالإضافة إلي استخدام الهواء أو CO_2 المضغوط لأعلي درجات حرارة تشغيل

فتحة المجمع (Aperture)

تعرف فتحة المرايا (المجمع) بمساحة مرايا العاكسات في الوضع الأفقي والتي تجمع كمية الإشعاع الشمسي.

عادة تقييم الفتحة علي أساس طول المرايا الواحدة أو الموديول الواحد.

محطات قري فرسنة الخطية

زيادة فتحة المرايا تعني زيادة كمية الإشعاع الشمسي المنعكس علي المستقبل. كمثال
للأنظمة الكبيرة يكون عرض الفتحة النموذجي حوالي 15 m
توصف فتحة المُستقبل بمساحة المُستقبل/ طول المرايا أو الموديول وتتغير تبعا
لتصميم النظام. يكون عرض المُستقبل مساوي تقريبا لعرض المرايا، ولكن يكون أقل
إذا استخدمت مرايا ذات إنحناء.
كمثال لمحطة تجريبية:

- عرض المرايا = 21 m

- عرض المُستقبل = 0.5 m

- نسبة التركيز = 42

يوضح جدول (1) خصائص بعض مجمعات فرسنتل الخطية الشمسية

جدول (1) خصائص بعض مجمعات فرسنتل الخطية الشمسية

الإسم التجاري للمحطة				الخاصيه
Mirroxx LF	SPG Type 3	SPG Fresdemo	Movatec Nova 1	
65	96	100	44.8	طول الموديول (m) (module length)
7.5	22	21.25	16.56	عرض فتحه الموديول (m) (module aperture width)
4	8.8	8.25	7.4	طول البؤرة (m) (focal length)
351.0	1467.8	1432.3	513.6	المساحة الكلية للموديول (m ²) (module net area)

المميزات الأساسية لمجمعات LFCs:

1. وزن منخفض
 2. إنتاج بخار مباشر بسيط
 3. إمكانية التكامل البسيط مع مجموعة القوي
 4. عمر تشغيل طويل
 5. يمكن التركيب علي الأسطح أو الأرض
 6. انخفاض الإستثمارات وتكاليف التشغيل
- تكون المرايا المسطحة اسهل وأرخص في الإنتاج عن حوض القطع المكافئ، وبالتالي فهي متاحة صناعيا وعالميا، ويكون أيضا شكل الهيكل منخفض، بمرايات علي إرتفاع متر أو مترين فوق الأرض، أي الهيكل أبسط وأقل وزن.

الاختلافات الأساسية بين مجمعات (LF) ومجمعات (PT):



- تستخدم LFCs مرايات مسطحة منخفضة التكاليف ($6-20 \text{ €/m}^2$) بينما PTCs تستخدم مرايات منحنية قطع مكافئ مرتفعة التكاليف 30-25 (€/m^2) لأن المرايات الزجاجية المسطحة هو إنتاج شائع قياسي.
- تحتاج LFCs إلي مواد صلبة غير ثقيلة، حيث يستخدم معدن لتثبيت الهيكل بخرسانة قليلة أو بدون خرسانة (لتسهيل عملية تجميع المكونات)
- الإنشاءات بالموقع تكون أسرع في حالة LFCs
- تكون أحمال الرياح أقل في حالة LFCs، والتي تؤدي إلي استقرار أسهل للهيكل، وفقد ضوئي أقل، مع تعرض أقل لكسر زجاج المرايات
- كل LFCs بمحطات القوي التجارية تستخدم مياه/ بخار تحت ضغط كمائع ناقل للحرارة صديق للبيئة . ولذا تحتاج المحطات المنتجة للبخار المباشر إلي مبادلات حرارية أقل من التي تستخدم الزيت الحراري كمائع ناقل للحرارة
- تحتاج PTCs لتحديد فتحة المجمع بعدد أمتار قليلة، بينما في LFCs يمكن أن تكون فتحة المجمع أكبر عند تكلفة منخفضة.




تطبيقات مجمعات فرسئل الخطية:

- إنتاج حرارة متوسطة تستخدم أنظمة الحرارة المتوسطة في التطبيقات الصناعية وكمساعدة لمحطات القوي التي تعمل في مدي 100°C الي 250°C ويمكن استخدام المياه أو الزيت كوسط مائع ناقل للحرارة.
- إنتاج بخار مباشر استخدام البخار كوسط مائع ناقل للحرارة ، تسمح بدرجات حرارة عالية لأنه لا يوجد مخاطر مماثلة للزيت الحراري . تعمل درجة الحرارة بمحطة Novatec الشمسية إلي 450° استخدام البخار يقلل المفقودات الحرارية. إذا حدث أي تسريب من البخار فإنه لا يسبب تلوث للبيئة مثل الزيت الحراري.

يوضح جدول (2) أنواع مجمعات فرسئل التجارية

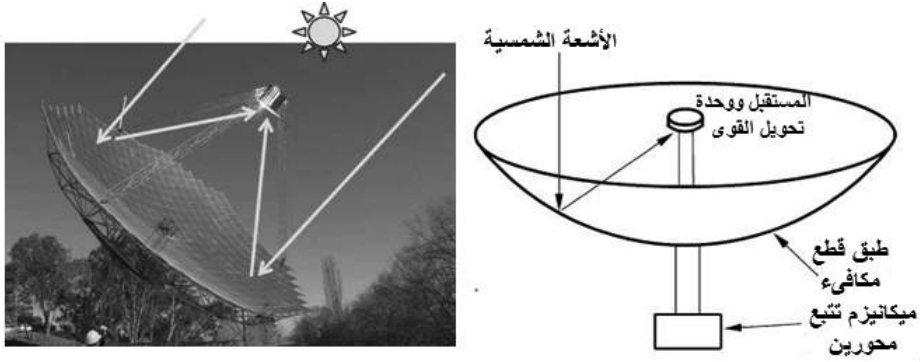
جدول (2) أنواع مجمعات فرسئل التجاري

المكان	المُستقبل	عرض الفتحة	المحطة
Calasparra,regionMurcia, Spain 1.4MW	أنبوب إمتصاص أحادي مع مُستقبل ثانوي	12 m  (16 م رايا مفاص 75 cm)	NovatecBio Sol (Morin 2010)
Plataforma Solar de Almeria, Andalucla, Spain	أنبوب إمتصاص أحادي مع مُستقبل ثانوي	15 m  (25 م رايا مفاص 60 cm)	Fresdemo SPG and Man (Bernhard 2009)

<p>Kimberlina, California USA 5MW</p>	<p>مُستقبل متعدد الأنابيب لا يحتوي علي مُستقبل ثانوي</p>	<p>20m (حوالي)  (10 مرايات مقاس 2 m)</p>	<p>Areva Solar (Areva 2010)</p>
<p>Freiburg (Germany) Bergamo (Italy) Sevilla (Spain) Tunisia, Masdar (UAE)</p>	<p>أنبوب إمتصاص أحادي مع مُستقبل ثانوي</p>	<p> 5.5m (11 مرآيا مقاس 50 cm)</p>	<p>PSE/Mirroxx x (PSE 2010)</p>
<p>La SeynesurMer, region of Toulon France 1 MW</p>	<p>أنبوب إمتصاص أحادي مع مُستقبل ثانوي. (إنتاج بخار مباشر)</p>	<p>20m  (14 مرآيا)</p>	<p>CNIM)</p>

الباب السابع محطات قوى مجمعات طبق قطع مكافئ Paraboloidal dish collectors Power Plants

يتكون هذا النظام من مرآة واحدة أو عدد من المرايا الصغيرة تشكل فيما بينها مرآة واحدة لها بؤرة واحدة، هذه المرآة مقعرة قطع مكافئ دائري مشابهة لطبق ضخم (مركز/ عاكس) Paraboloidal concentrator (parabolic dish)، تقوم بعكس وتركيز الإشعاع الشمسى على البؤرة بنسبة تركيز تتراوح بين 600 إلى 2000 ضعف، يركب فى البؤرة مستقبل حرارى ووحدة تحويل القوى (أو آلة) (PCU) (Power Conversion Unit)، هذه الوحدة تحول الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية والتي بدورها تغذى مولد لإنتاج الطاقة الكهربائية، يوضح شكل (1) تمثيل طبق قطع مكافئ. ويعتبر المركز الشمسى (المستقبل) والآلة وحدة واحدة والذي يطلق عليه Dish Engine / تستخدم هذه الوحدات كوحدات لإنتاج الطاقة الكهربائية للمناطق المعزولة عن الشبكة الكهربائية العامة، أو المبعثرة، أو أن تربط مع الشبكة الكهربائية.



شكل (1) تمثيل طبق قطع مكافئ

يقوم واحد أو أكثر من أطباق قطع مكافئ بتركيز الطاقة الشمسية عند نقطة اتصال واحدة، مثل التلسكوب العاكس والذي يقوم بتركيز ضوء النجوم، أو طبق هوائي يستخدم لتركيز موجات الراديو اللاسلكية.

ويوجد نوعان من الظواهر الرئيسية تؤخذ في الاعتبار عند تصميم طبق قطع مكافئ هما:

- أن شكل القطع المكافئ يتم تعريفه بحيث أن الأشعة الواردة والتي هي موازية لمحور الطبق سوف يتم عكسها تجاه البؤرة، بغض النظر عن مكان وصولها على الطبق.
- أن أشعة الضوء من الشمس والتي تصل لسطح الأرض تكاد تكون متوازية تماما. فإذا كان الطبق محاذيا مع محوره مشيرا إلى الشمس، فإنه سوف يتم انعكاس كل الأشعة الواردة تقريبا تجاه نقطة البؤرة للطبق

معظم مفقودات الأشعة تكون نتيجة بعض القصور في شكل القطع المكافئ والانعكاس غير الكامل. بينما تكون المفقودات الناتجة عن الأجواء ما بين الطبق ونقطة البؤرة تكاد تكون منعدمة، حيث أن الطبق يصمم ليكون صغير بما يكفي بأن يكون هذا العامل غير ذي أهمية في يوم مشمس ومشرق. إذا كان الطقس غير رائق أو ضبابي، فإن هذا قد يقلل من كفاءة طبق القطع المكافئ إلى حد كبير. وفي تصاميم محطات توليد الطاقة باستخدام الأطباق قطع مكافئ، يتم وضع الآلة الحرارية بالإضافة إلى دينامو في بؤرة الطبق، والتي تمتص الحرارة من الإشعاع الشمسي الحادث وتحوله إلى كهرباء.

وتعتبر تكنولوجيا طبق قطع مكافئ أحد تكنولوجيات تركيز نقطة. وأنها التكنولوجيا الوحيدة التي توصف بالمعيارية (modular)، أي أنه يمكن إستخدامها إما لإنشاء محطة مركزات شمسية حرارية كبيرة تتكون من العديد من الأطباق، أو إستخدامها كمحطة قوى منفصلة (معزولة عن الشبكة الكهربائية العامة) في الأماكن البعيدة بالقرى لإنتاج الطاقة الكهربائية أو لضخ المياه.

لأنظمة مجمعات المركزات الشمسية الحرارية يوجد نوعين من الكفاءة هما:

- الكفاءة البصرية (optical efficiency) والتي تشير إلى مقدرة كل مجمع لتركيز الأشعة الشمسية.
 - كفاءة التحويل الشمسي إلى كهرباء (solar- to- electric efficiency) والتي تعني المقدرة الكلية للنظام لتحويل الأشعة الشمسية إلى كهرباء.
- في تكنولوجيا مجمعات التركيز في نقطة (focal collectors) تكون الكفاءة البصرية أعلى من كفاءة مجمعات التركيز الخطية (linear collectors) نظرا لأن تركيز

محطات قوى مجمعات طبق قطع مكافئ

الأشعة الشمسية يتم في نقط فردية بدلا من الأنابيب الطولية الخطية. بالإضافة إلى أن نظام التتبع في مجمعات النقطة يكون بمحورين والذي يؤدي إلى ارتفاع التكاليف. لعاكسات الطبقة أعلى مستويات تركيز والتي تصل معمليا إلى 10000 ضعف، هذا التركيز العالي يؤدي إلى كفاءة بصرية عالية وبالتالي درجة حرارة عالية وتحسين كفاءة التحويل الشمسي إلى كهرباء حيث تكون بين 30%، 25%

لمركبات طبق قطع مكافئ وحدة مولد / محرك (motor / generator unit) وتصنف أنواع وحدة تحويل القوى (Power Conversion Unit) (PCU) إلى:

- تربيئة غازية (Gas Turbine).
- انتاج بخار مباشر (Direct Steam Generation).
- آلة أو محرك ستيرلنج (Stirling Engine).

تعتبر أنظمة طبق ستيرلنج هي الأكثر شيوعا وتستخدم في وحدات المركبات الشمسية الصغيرة نسبيا والتي تتعقب الشمس وتركز الطاقة الشمسية على مستقبل مجوف (cavity receiver) موضوع في نقطة مركز العاكس، والذي فيه يتم الإمتصاص والتحويل إلى مولد / محرك حراري (heat engine / generator). يعمل الطبقة من خلال نظام تتبع بمحورين لضمان الحصول على الإشعاع المثالي للمرايات.

دائما يكون الطبقة موجهة إلى الشمس، ويتميز بأنه التكنولوجيا الأكثر كفاءة بين المجمعات الشمسية الحرارية. وتصل إليه نسبة التركيز إلى نسب عالية جدا. عادة يتراوح عرض الطبقة بين 5m ، 15m ، يمكن أن يكون للطبقة سطح واحد أو عدة واجهات صغيرة.

المحرك الحراري (heat engine)

يستخدم عادة محرك حراري بريتون (Brayton) أو ستيرلنج كمحرك حراري في أنظمة طبق القطع المكافئ. هذا النظام مناسب للقدرات الصغيرة حتى 50kw

- دورة جول – بريتون (joule- Brayton cycle)
- يستخدم غاز ضغط منخفض كمانع تشغيل (كفاءة تحويل حرارة منخفض).
- دورة ستيرلنج (stirling cycle)

عبارة عن دائرة تحت ضغط يستخدم الغاز كمناع تشغيل (N_2, H_e, H_2)
للنوعين H_e, H_2 كفاءة تحويل حرارة عالية ، وبخصائص:

$$P_{max} \approx 20 \text{ Mpa}$$

$$T_{max} \approx 700^\circ\text{C}$$

حاليا يوجد نوعين من محرك سترلينج هما:

- محرك حركي (kinematic engine)
يعمل المحرك بالهيدروجين كمناع تشغيل ، والذي له كفاءة أعلى من محرك الكباس الحر.
- محرك الكباس الحر (free piston engine)
يعمل المحرك بالهيليوم ولا ينتج عن تشغيله أي إحتكاك خلال التشغيل، وبالتالي تنخفض أعمال الصيانة المطلوبة.

تطورت محركات الكباسات الحرة الإسطوانية المتعددة وأمكن الوصول إلى تخفيض التكلفة وتبسيط الفكرة كلية.

لأن المستقبل الشمسي عبارة عن مبادل حراري خارجي يمتص الطاقة الحرارية المستقبلية من الشمس، هذا يؤدي إلى تسخين وضغط الغاز في أنابيب المبادل الحراري الساخن أي تسخين المائع (والذي عادة إما أن يكون هيدروجين (hydrogen) أو هيليوم (helium)) إلى درجة حرارة حتى 1500°C وضغط 150 bars . ثم يشغل ماكينة سترلينج عند درجة حرارة تشغيل حوالي 800°C . يوصل المولد بالماكينة والذي ينتج مخرج طاقة كهربائية. تتحول الحرارة المفقودة من الماكينة إلى الجو المحيط عن طريق مبادل حراري (مشع) (radiator) مثل المستخدم في السيارات. يتم تبريد الغاز بواسطة المشع ويعاد تدويره باستمرار في الماكينة خلال دورة القوى.

(- الهليوم : عنصر غازي رمزة He وعددة الذرى 2 وهو أخف الغازات بعد الهيدروجين

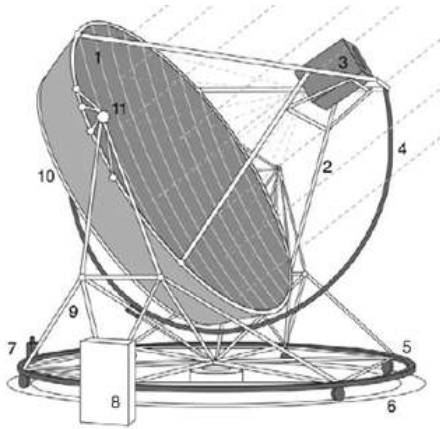
- الهيدروجين : عنصر غازي رمزة H وعددة الذرى 1 وهو أخف العناصر وزنا، يستخدم في مشاعل الهيدروجين الذرى والأكسى هيدروجين لإعطاء درجات حرارة مرتفعة).

يستخدم مائع نقل الحرارة لتدوير الماكينة الحرارية، (والتي غالبا ما تكون ماكينة سترلينج)، ثم يحول المولد الحركة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية. يمكن أن ينتج نظام طبق سترلينج الواحد بين 5kw، 25kw ووصلت القدرة حاليا الى 50 kw، يبين شكل (2) توضيح لأنابيب المائع. هذا النظام لا يحتاج إلى تخزين حراري ولا إحصالية نقل طاقة حرارية. ولكن نجد أن الطاقة الشمسية تتحول مباشرة إلى الطاقة الكهربائية. العيب الرئيسي لهذه التكنولوجيا هو الشكل الهندسي المعقد للعاكس والذي يكون مكلفا إقتصاديا، وبالتالي يزيد الإحتياج إلى الصيانة بالإضافة أن كل طبق يحتوي على المولد والماكينة الخاصة به.

منذ أكثر من 20 سنة، سجلت تكنولوجيا طبق سترلينج كفاءة تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية أكبر من 31.25%. ويوضح شكل (3) مكونات مجمع طبق قطع مكافئ (Lovegrove and CSIRO, 2012)، ويبين شكل (4) حقل مجمعات طبق قطع مكافئ كما يوضح جدول (1) بيانات الأداء لتكنولوجيا طبق سترلينج.



شكل (2) تمثيل لأنابيب مائع طبق قطع مكافئ



- 1 طبق مركز
- 2 هيكل تثبيت وحدة تحويل الفوى
- 3 وحدة تحويل الفوى
- 4 دليل إدارة الارتفاع
- 5 دليل إدارة السميت
- 6 أساس
- 7 إدارة السميت
- 8 كابينة الكهرباء
- 9 قاعدة
- 10 هيكل تثبيت مستدير
- 11 تحميل الارتفاع

شكل (3) مكونات مجمع طبق قطع مكافئ (Lovegrove and Csiro, 2012)



شكل (4) حقل مجمعات طبق قطع مكافئ

جدول (1) بيانات الأداء لتكنولوجيا طبق سترلينج

التوصيف	البند
0.01 - 0.4	السعة بوحدة MW(Capacity)
1000 – 3000	نسبة التركيز concentration
29%	أقصى كفاءة إشعاع (Peak solar efficiency)
16-18 %(*) 18- 23 %(**)	كفاءة إشعاع سنوية (annual solar efficiency)
30-40% (سترلينج) 20-30% (تربينة غازية)	كفاءة الدورة الحرارية (thermal cycle efficiency)
25% (**)	عامل السعة (شمسي) (capacity factor (solar))
8 – 12	الأرض المستخدمة بوحدة m ² / Mwh/y (land use)

حيث (*) عمليا (**) مشاريع
 كفاءة الإشعاع = (القوى المنتجة النهائية) ÷ (حزمة الإشعاع المباشر)
 عامل السعة = (عدد ساعات التشغيل للأشعة سنويا) ÷ إجمالي عدد ساعات السنة
 (8760)

مميزات مجمعات طبق قطع مكافئ:

- في أغلب الإنشاءات، يستخدم تبريد جاف (dry cooling)، والمناسب للمناطق ذات الأحوال الجوية الجافة (بعض أنواع المركبات الشمسية الأخرى تعمل بالتبريد الجاف، ولكن التكنولوجيا القياسية موضوعة على أساس أنظمة التبريد الرطب).
- قابلية التكيف مع الميول، حيث يمكن إستخدامها بسهولة في المناطق الجبلية (ليس مطلوب مستوى أرضي محدد).

- أعلى كفاءة تحويل شمسي لأنها دائما تتعرض كل فتحة الطبق لأشعة الشمس المباشرة وهذا يعمل على عدم ظهور تأثير مفقودات جيب تمام الزاوية (cosine loss).
- توجد أطباق صغيرة بقطر عدة سنتيمترات.
- أعلى درجة حرارة تشغيل.
- الأعلى فرص للتحسين.
- يمكن ربط النظام مع الشبكة العامة للكهرباء (on- grid) أو يكون منفصلا (off- grid).
- قابلية المزج مع أنظمة تشغيل أخرى (مثلا شمسي / وقودي أحفوري).
- يمكن إستخدام النظام في أغراض مختلفة مثل: تسخين المياه ، ضخ المياه، أو كمصدر كهرباء إحتياطي.

عيوب مجمعات طبق قطع مكافئ:

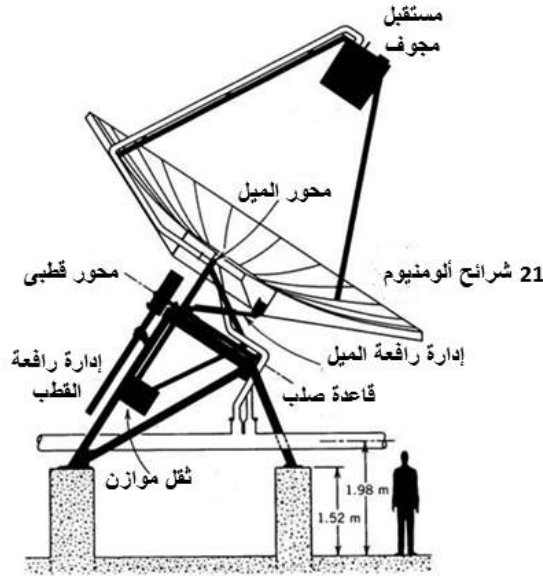
- إرتفاع تكاليف النظام والصيانة.
- تأثير التلوث عالي.
- صعوبة التخزين الحراري.

تطبيقات

طبق شيناندواه (Shenandoay Dish)

تم تصميم طبق شيناندواه (فى Virginia) لتطبيقه على مشروع التوليد المشترك للطاقة الشمسية الحرارية الموجود فى شيناندواه . بغرض تسخين زيت السيليكون المار فى احد المسارات إلى 400 درجة مئوية (750 فهرنهايت) مع درجة حرارة مدخل 260 درجة مئوية (500فهرنهايت). وقد تم تصميم الطبق من قبل شركة جنرال إلكتروك وتصنيعه من قبل شركة كينيتكس الشمسية، والموضح بشكل (5) مكونات طبق شيناندواه، يتكون من:

- طبق قطع مكافئ كعاكس قطر 7 متر.
- عدد 21 شرائح ألومنيوم، وتغطي على جانب واحد بـ 244 فيلم عاكس.



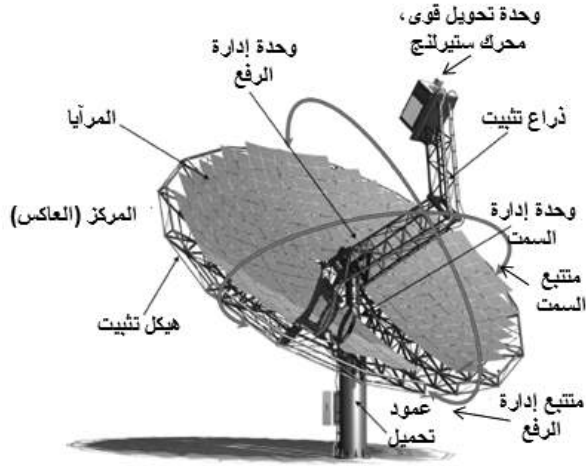
شكل (5) مكونات طبق شيناندواه

يوضح شكل (6) محطة لإنتاج الطاقة الكهربائية والحرارية معا . يعكس طبق قطع المكافئ من خلال سطح المرآة الإشعاع الشمسي إلى وحدة تحويل القوى - PCU (power conversion unit) بالنقطة المحورية - الجزء الرئيسي من وحدة تحويل القوى هو محرك ستيرلينج الذي يحول الطاقة الحرارية المكتسبة من الإشعاع الشمسي إلى طاقة ميكانيكية ومن ثم إلى طاقة كهربائية عن طريق مولد. هذا النظام يسمح أيضا بالاستفادة من الطاقة الحرارية غير المستخدمة والحرارة المفقودة، بحيث أن محطة الطاقة الشمسية يمكن استخدامها أيضا للحصول على كل من الحرارة والبرودة. ويتميز هذا النظام بالتحكم الآلي بالكامل وتحديد مواقع المركز من خلال محورين ويعمل النظام في ظروف قاسية. يمكن إنتاج الكهرباء وبيعها أو استخدامها للاستهلاك الفوري. من خصائص هذا الطراز:

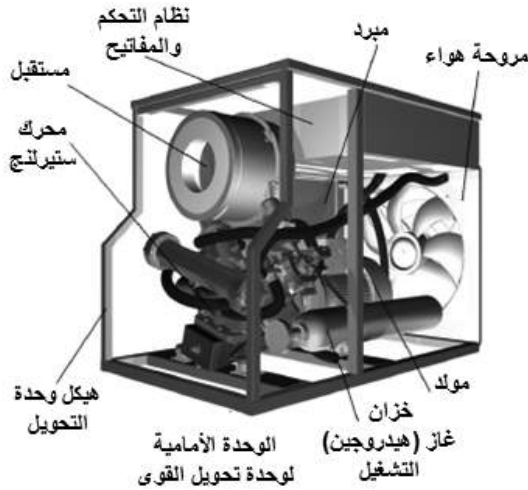
- أقصى قدرة كهربائية 10 kWh
- أقصى طاقة حرارية 25 kWh
- كفاءة عالية (25% electrical, +70% total)

محطات قوي مجمعات طبق مكافئ

يوضح شكلي (7) & (8) مكونات محطة لإنتاج الطاقة الكهربائية والحرارية الموضحة بشكل (6).
 لإنشاء حقل لإنتاج الطاقة الكهربائية والحرارية بقدرة 1MW من هذا النوع يحتاج حوالى واحد هكتار (hectare).



شكل (6) محطة لإنتاج الطاقة الكهربائية والحرارية



شكل (7) وحدة تحويل القوى للمحطة بشكل (6)



شكل (8) محرك ستيرلينج للمحطة بشكل (6)

يوضح شكل(9) محطة مزرعة طبق ستيرلينج (Maricopa Dish Stirling Farm) في أريزونا تتكون من 60 وحدة طبق ستيرلينج، قدرة الوحدة 25 Kw وبأجمالى قدرة 1.5Mwe

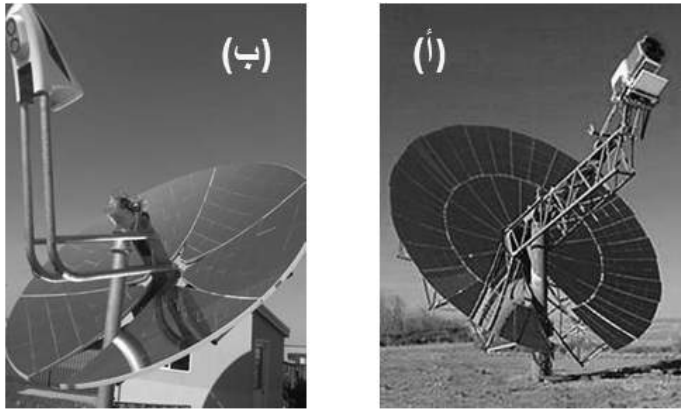


شكل (9) محطة نظام طبق ستيرلينج في أريزونا

من أهم أنظمة طبق ستيرلينج - قطع مكافئ - ذات محوري تتبع النوع الموضح في شكل (10 - أ) والذي ينتج أقصى قدرة 25kw_e (عند إشعاع مباشر 1000w/m²).

هذا النوع عبارة عن هيكل طبق تركيز شمسي نصف قطري (radial) لتثبيت مصفوفة من وجهات مرايات زجاجية منحنية، قطر الطبق حوالي 11.6m (مساحة سطح الزجاج = 90m²) والذي منه ينتج نسبة تركيز حوالي 7500. تتركز أشعة الشمس على أنابيب المستقبل (عند إرتفاع بؤرة يساوي 7.45m) وتحتوي الأنابيب على غاز الهيدروجين.

توجد أنواع صغيرة مماثلة لهذا النوع (شكل (10 - ب)) وبقدرة قصوى 3kw_e وكفاءة 24% وتستخدم ماكينة سترلينج بكباس واحد حر (single free piston) له نظام محكم ضد تسريب الهليوم، وبالتالي لا يحتاج إلى صيانة



شكل (10) طبق سترلينج قطع مكافئ ذات محوري تتبع

ويوضح شكل (11) محطة نظام طبق سترلينج في إسبانيا بقدرة 1.0 Mw_e باستخدام وحدات قدرة 3kw

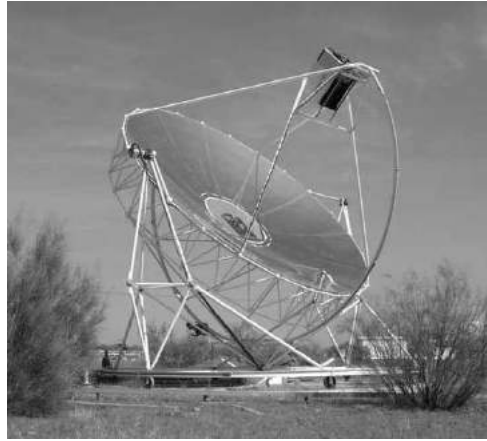
هذه الأنظمة لا تحتوي على دورة بخار مثل أنظمة المركبات الشمسية الأخرى أي أنها لا تحتاج لإستخدام مياه لتحويل العمليات بالنظام، وهذه ميزة هامة جدا في أنظمة طبق سترلينج عن أنظمة المركبات الشمسية.



شكل (11) محطة نظام طبق سترلينج في إسبانيا

يوجد الكثير من نماذج طبق سترلينج تم تشغيله بنجاح خلال السنوات الماضية ، بقدرات من 2.5kw إلى 10kw بالإضافة إلى طبق كبير 100kw و 400m² بجامعة أستراليا الإقليمية (Schaech, Bergmann).

مثل باقي النماذج ، يضاف وقود مساعد مثل الوقود الاحفوري أو الكتلة الحيوية (bio mass) ، والتي يمكن الحصول منها على الكهرباء في حالة عدم وجود الشمس. من خلال المشروع الأوروبي (EURO- DISH) تم تطوير محرك طبق سترلينج قدرة 10kw مع مشاركين من الصناعة والباحثين ، في إسبانيا يوضح شكل(12) هذا النموذج.



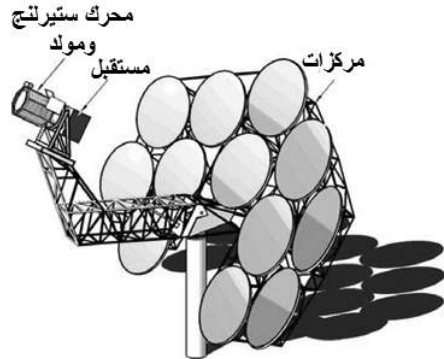
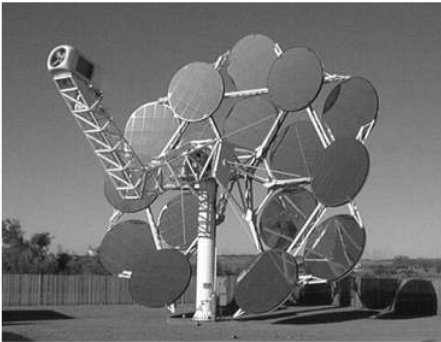
شكل (12) تطوير محرك طبق سترلينج قدرة 10 kw

يوضح شكل (13) نظام طبق ستيرلنج يحتوى على مركز شمسي بمساحة 944 قدم مربع بمرايا زجاج منحنى كل واحدة 3 قدم فى 4 قدم وتستخدم غاز هيدروجين كضاغط تشغيل



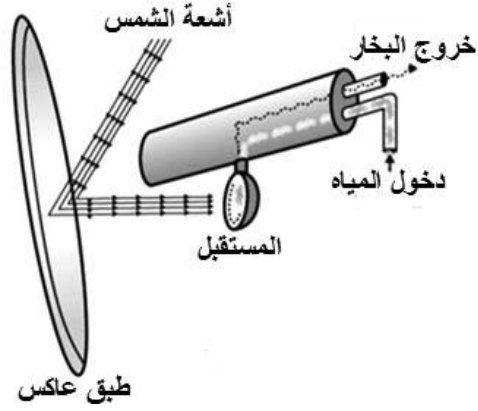
شكل (13) نظام طبق ستيرلنج

يوضح شكل (14) استخدام عدة أطباق صغيرة كمرکزات (عاكسات). كل طبق ينتج من 5 kW الى 25 kW كهراء، ويمكن استخدام طبق أو أكثر مستقلا أو مرتبطين معا لزيادة القدرة المطلوبة. أنشأت محطات من أطباق قدرة 25 kW بأجمالى 650 kW وبمساحة أرض حوالى واحد هكتار (hectare). يمكن استخدام مجمعات من أطباق قطع مكافئ لإنتاج البخار، حيث يوضح شكل (15) تمثيل لعمل هذا النظام.



شكل (14) استخدام عدة أطباق صغيرة كمرکزات

محطات قري مجمعات طبق قطع مكافئ



شكل (15) تمثيل طبق قطع مكافئ لإنتاج البخار

ملحق

دورة ستيرلنج:

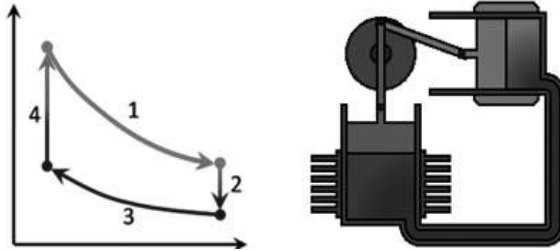
دورة ستيرلنج هي دورة تحريك حراري والتي تعبر عن المحركات التي تعمل بمبدأ ستيرلنج بما يحتويه محرك ستيرلنج الذي تم إختراعه وتطويره عام 1816م بواسطة القس الدكتور: روبرت ستيرلنج (Robert Stirling) (1790 – 1878). توصف دورة ستيرلنج بأنها دورة إنعكاسية وذلك يعني أنه إذا تم إضافة طاقة ميكانيكية إلى الدورة فإنها تعمل كمضخة حرارية للتسخين أو التبريد، وتعد دورة مغلقة وفيها المائع هو من النوع الغازي. توصف الدورة المغلقة أن المائع يسرى في الدورة دائما ويكون بداخل النظام الحراري ولا يخرج عنه.



تشمل دورة ستيرلنج الحرارية أربعة إجراءات رئيسية هي:

الإنضغاط – إضافة الحرارة – التمدد – طرد الحرارة.

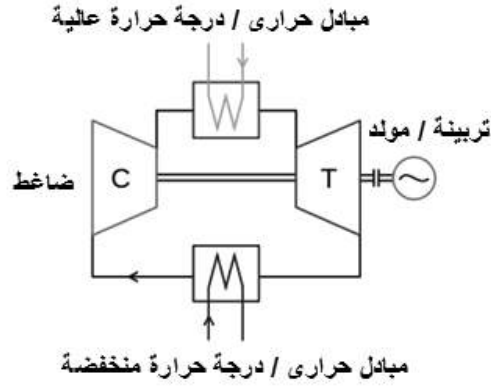
القس الدكتور : روبرت ستيرلنج



دورة ستيرلنج الحرارية

دورة برايتون (Braton Cycle):

هي دورة ترموديناميكية تصف عمل التربيننة الغازية، تنسب إلى المهندس المخترع الأمريكي جورج برايتون (George Brayton- 1872). تستخدم دورة برايتون في عمل محرك الإحتراق الداخلي مثل المحرك النفاث، كما تطبق على محركات الإحتراق الخارجي.

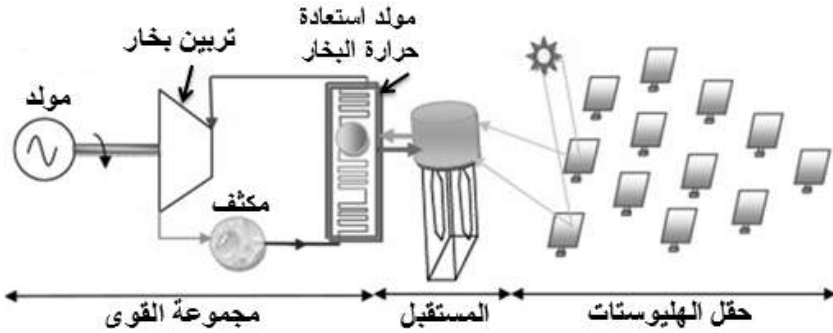


تمثيل ميكانيكي لدورة برايتون المغلقة

الباب الثامن محطات برج الطاقة المركزي Central tower power plants

تعرف أيضا بمحطات البرج الشمسي (solar tower plants) أو أبراج الطاقة (power towers) أو محطات طاقة هليوستات (heliostat power plants) هذه التكنولوجيا عبارة عن برج طاقة مركزي محاط بعدد كبير من مصفوفة مرايا (آلاف) قابلة للتتبع على محورين - يطلق على هذه المرايا - الهليوستات (heliostat) (تمثل المجمعات) والتي تعكس الأشعة الشمسية المباشرة إلى مُستقبل ثابت في أعلى قمة البرج.

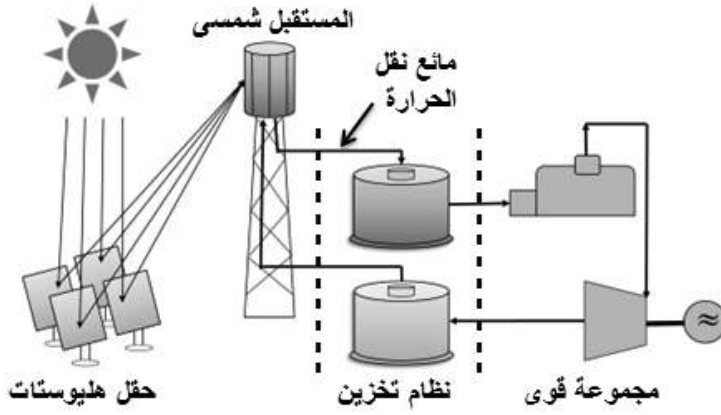
كما توجد على قمة البرج غلاية ضخمة تحتوي على مائع (ملح منصهر مثلا) يتم تسخينه لينقل حرارته من خلال مبادل حراري لإنتاج بخار ماء محمص والذي بدوره يشغل تربينة بخارية وبالتالي تُشغل مولد للحصول على الطاقة الكهربائية. للحفاظ على متغيرات البخار ثابتة، حتى أثناء تغيير الإشعاع الشمسي، أي أن المحطة تتكون من ثلاثة أجزاء رئيسية والموضحة في شكل (1)



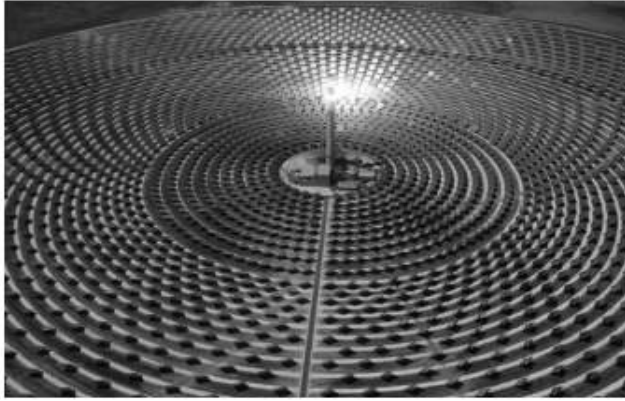
شكل (1) مكونات محطة برج الطاقة المركزي

عموما يمكن استخدام أحد الطريقتين لضمان استمرار الحصول على طاقة كهربائية من محطات برج الطاقة :

- تكامل محطة برج الطاقة المركزي مع مصدر احتياطي بالوقود الأحفوري
 - استخدام خزان حراري مع المحطة، والذي يخزن الحرارة لعدة ساعات للمساعدة وتسهيل إنتاج الكهرباء خلال فترة الذروة وفي فترات عدم إتاحة الإشعاع الشمسي
- في محطات برج الطاقة:
- تتراوح نسبة التركيز بين 300 إلى 1500 ضعف.
 - تصل درجة الحرارة من 800°C إلى 1000°C (وأحيانا تصل إلى 1300°C).
 - المقاس النموذجي يتراوح بين 10MW_{el} إلى 150MW_{el}
 - كفاءة كلية مرتفعة تصل إلى 29%
- تتكون محطات برج الطاقة من الأجزاء الرئيسية الآتية والموضحة بشكل (2) :
- حقل هليوستات (heliostat field)
 - مُستقبل شمسي (solar receiver)
 - مائع نقل الحرارة (heat transfer fluid)
 - نظام تخزين (storage system)
 - مجموعه قوى (power block)
- يوضح شكل (3) محطة برج الطاقة المركزي (Gema) في أسبانيا (Wikipedia, 2011)



شكل (2) المكونات الرئيسية لمحطات برج الطاقة المركزي



شكل (3) محطة برج الطاقة المركزي في أسبانيا (Gema)
(Wikipedia, 2011)

الهليوستات (The Heliostat)

كلمة هيلوس Hēlios من الإغريقية Ἥλιος بمعنى الشمس، عبارة عن اسم إله الشمس في الميثولوجيا اليونانية. وهو ابن التيتان ييريون والتيتان ثيا (وفقا لكتابات هسيود).

عموما تتكون كلمة هليوستات (Heliostat) من كلمتين إغريقيتين هما "هليو" وتعنى الشمس و"ستات" وتعنى ثابت غير متحرك ، وهى عبارة عن معدة تتكون من مرآة مثبتة على محور يتحرك للعمل على مدار الساعة والتي تجعل أشعة الشمس تنعكس في إتجاه واحد وذلك في أنظمة أبراج الطاقة الشمسية.

وتكون المكونات الرئيسية للهليوستات: سطح عاكس، هيكل وميكانيزم التتبع، نظام تحكم. يكون السطح العاكس أما زجاج و معدن أو غشاء مطاط (stretched

membrane). يتراوح مقياس الهليوستات الواحد من 1 m^2 إلى 150 m^2 يوضح جدول (1) خصائص نوعين من مساحات الهليوستات الشائعة الاستخدام 25 m^2 & 49 m^2

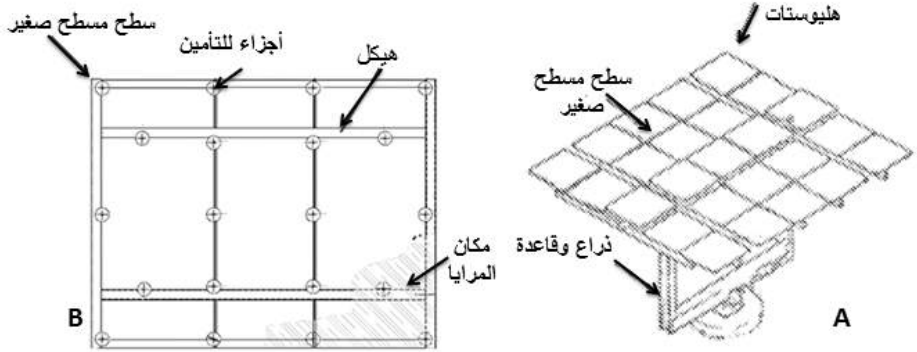
يمثل شكل (4-A) تمثيل لمكونات هليوستات، المساحة حوالى 121 m^2 ، مكون من 25 وحدة مرآة مسطحة ، ويوضح شكل (4-B) مكونات تفصيلية لوحدة المرآة

ويوضح شكل (5) هليوستات مساحة 121 m^2 مستخدم فى محطة PS-10 بأسبانيا (Source: Solucar, 2006) يمثل الشكل الواجهة الأمامية والخلفية والهيكل .

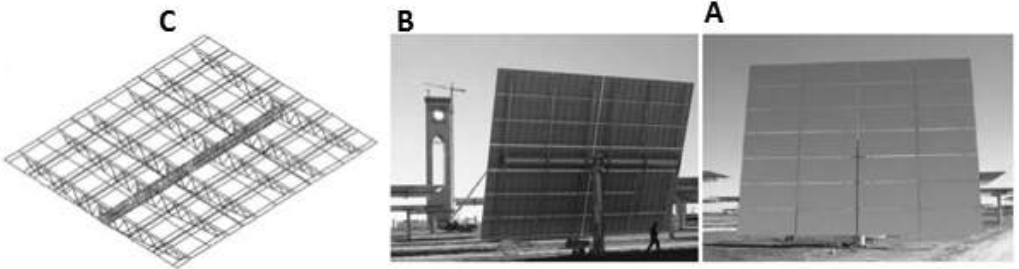
كما يوضح شكل (6) هليوستات مساحة 148 m^2 مستخدم فى معامل سانديا بأمريكا (Source: Kolb, 2007)

جدول (1) خصائص نوعين من مساحات الهليوستات شائعة الاستخدام

مساحة مرآة الهليوستات	25 m^2	49 m^2
مقياس السطح المسطح الصغير (facet)	2.5 x 2.5 m	1 x 1 m
ارتفاع القاعدة	3.5 m	5 m
نوع زجاج المرآة والسلك	4 mm ، مرآة شمسية AGC	مرآة شمسية AGC ، 4 mm
المادة الأساسية للهيكل	صلب	صلب

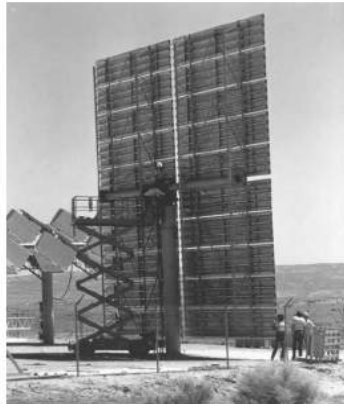


شكل (4) تمثيل مكونات الهليوستات



شكل (5) هليوستات مساحة 121 m^2 مستخدم في محطة PS-10 بأسبانيا

(Source: Solucar, 2006)



شكل (6) هليوستات مساحة 148 m^2 مستخدم في

معامل سانديا بأمریکا (Source: Kolb, 2007)

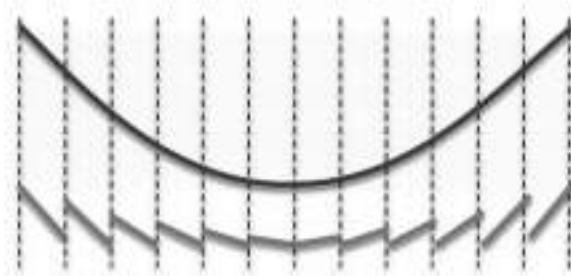
محطات برج الطاقة المركزي

أولاً : حقل هليوستات:

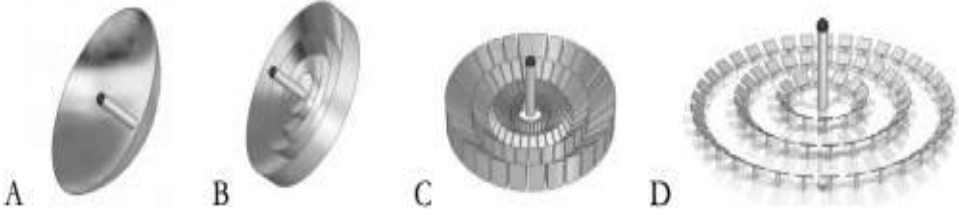
عبارة عن حقل ضخم يصل إلى عدة أفدنة من آلاف المرايا المسطحة أو المقعرة (الهليوستات) الكثيرة.

المرايا تتبع أشعة الشمس كل منفردة على محورين وذلك للإستفادة من الإشعاع المباشر، المحورين هما الإرتفاع (elevation) والسمت (azimuth)، ويتم ذلك عن طريق برنامج تحكم على الحاسب الآلي، بغرض حساب زوايا الميل لكل هليوستات واحد او لمجموعة هليوستات على حدة ،لتحقيق إنعكاس وتركيز للإشعاع المباشر على قمة البرج المركزي.

تستند هذه التكنولوجيا على مفهوم فرسنل (Fresnel)، والموضحة في شكل (7)، والتي تعني تقسيم مرايا منحنية إلى أجزاء ثم تجميعها على مستوى شاسع، حيث يتكون الهليوستات من مجموعة كبيرة جدا من مرايا مربعة ومسطحة وتشكل بقدر الامكان على شكل مرايا كروية او قطع مكافئ. ولتخفيض ارتفاع القطع المكافئ وبالتالي تحسين خصائص الأيرو ديناميكي (aero – dynamical) للهليوستات بالإضافة إلى بساطة التصميم الميكانيكي، ويعتمد شكل تجميع المرايا على ارتفاع البؤرة (focal) بينما ارتفاعها يعتمد على المسافة بين الهليوستات والمستقبل. كما أن شكل (8) يوضح التطور بداية من الحل المتماثل البسيط لتجميع الأشعة الشمسية في نقطة المركز، إلى حل غير متماثل أكثر تعقيدا، والذي يضمن قدرا كبيرا من الحل الأمثل للمشاكل. والهدف من هذا إستخدام مواد أكثر كفاءة مع تقليل التكاليف، ومراعاة الفكرة الأساسية وهي تركيز الأشعة الشمسية في النقطة المركزية.



شكل (7) أساسيات مرايا فرسنل – قسمت المرايا المنحنية إلى مرايا مسطحة (Nussbaumer, 2011)



شكل (8) تطور تكنولوجيا محطات برج الطاقة

يوضح شكل (8-A) أبسط الحلول باستخدام طبق قطع مكافئ يوجه مباشرة إلى الشمس . ولتخفيض كمية دعائم الهيكل وكذلك تقليل الإرتفاع يُحول الطبق إلى مرآيا فرسنة والموضحه بشكل(8-B). بإضافة مُستقبل ثابت ونظام تتبع لجوانب المرآيا تقل كمية دعائم الهيكل ويصبح النظام أكثر قوة كما في شكل (8-C). ويعتبر النظام المثالي والذي يمتاز بالحد من الآثار السلبية للتظليل من خلال زيادة المسافة بين المرآيا مع تصميم قياس المرآيا ، وهذا موضح في شكل (8-D).

يكون الهدف من هذا التطور هو تحسين تصميم المرآيا من حيث الحجم والوزن والأداء مع مراعاة أن تكون التكاليف إقتصادية. ويصنف الحقل الشمسي طبقا لترتيب الهليوستات إما على شكل صفوف طولية متوازية كما في شكل (9-B) أو على شكل إشعاعي كما في شكل (9-A) وفيما يلي توضيحا لذلك.

يوجد نوعان من إتجاه الحقل الشمسي (وبالتالي نوعين من المُستقبل) هما:

مُستقبل دائري (Circular receiver)

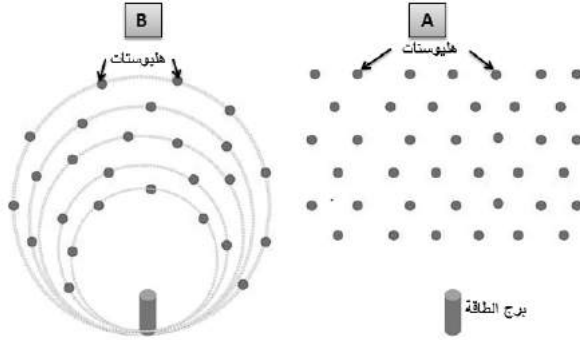
أو حقل محيط (Surround field)

يكون الحقل المحيط في شكل دائري تقريبا وتوزع الهليوستات حول البرج كما في شكل (10).

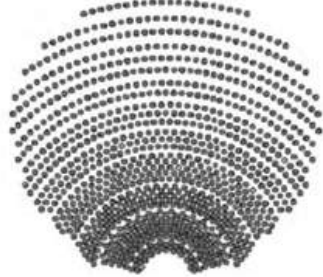
مُستقبل واحد (One receiver)

أو حقل شمالي / جنوبي (Northern or Southern field)

يوزع الحقل شمالي/جنوبي، أى أن جميع الهليوستات إما شمال أو جنوب البرج
كما فى شكل (11) .

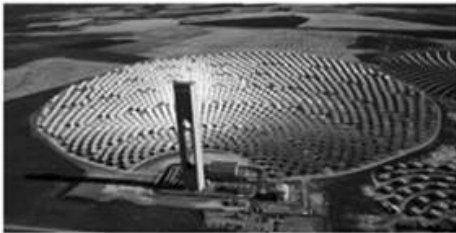


شكل (9) ترتيب الهليوستات



شكل (10) مُستقبل دائرى (الحقل المحيط)

Source Torresol Energy (Gemasolar)



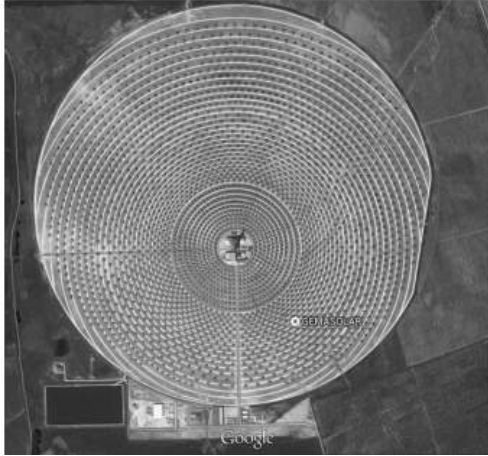
شكل (11) مُستقبل واحد (حقل شمالي أو جنوبي)

Source Abengoa (SP20)

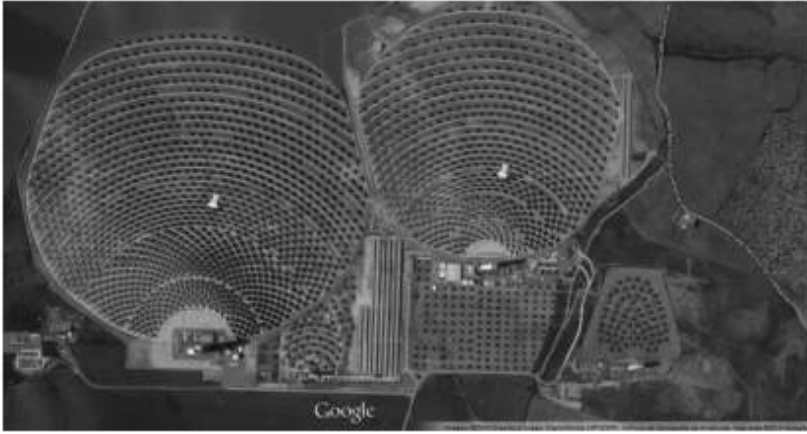
محطات برج الطاقة المركزي

كذلك يصنف تكوين الحقل كالأتي :

- تكوين شعاعي (Radial configuration) وهو ما عرف في شكل (10) حقل محيط وشكل (11) حقل شمالي أو جنوبي، بالإضافة إلى الأمثلة الموضحة بشكل (12) & شكل (13)
 - تكوين حقل الذرة (Cornfield configuration) الإسم يشير إلى المقصود وهو أن الهليوستات مرتبة على شكل صفوف طولية متوازية خلف بعضها
- يوضح شكل (14) حقل هليوستات في شكل صفوف طولية، محطة Sierra (أمريكا)
- ويوضح شكل (15) حقل هليوستات في شكل صفوف طولية، محطة Julich (ألمانيا)



شكل (12) حقل هليوستات شعاعي محطة Gemasolar (أسبانيا)



شكل (13) حقل هليوستات شعاعى محطتى PS10 & PS20 (أسبانيا)



شكل (14) حقل هليوستات فى شكل صفوف طولية، محطة Sierra (أمريكا)



شكل (15) حقل هليوستات فى شكل صفوف طولية، محطة Julich (ألمانيا)

المفقودات (Losses)

تتعرض الأشعة الشمسية لمفقودات بصرية (optical losses) متغيرة قبل وصولها إلى المُستقبل. وتمتاز محطات برج الطاقة المركزى بالكفاءة البصرية العالية، فمثلا فى المحطات القائمة بأسبانيا:

الكفاءة = 77 %

متوسط الكفاءة = 64 %

ويوضح الشكلان (16) & (17) أنواع المفقودات البصرية لحقل هليوستات والتي تعرف كالاتى:

• فقد جيب التمام (cosine losses)

تعتبر كفاءة جيب التمام (cosine efficiency) للهليوستات هي الأكبر تأثيرا على تحديد ترتيب حقل الهليوستات. وتعتمد هذه الكفاءة على كل من موضع الشمس ومكان كل هليوستات بالنسبة إلى المُستقبل.

كما تستخدم آلية التتبع لوضع الهليوستات بحيث يكون سطحها هو قوس الزاوية بين الأشعة الشمسية والأشعة المنعكسة من الهليوستات إلى المُستقبل. وينخفض تأثير المساحة المنعكسة للهليوستات بجيب تمام (cosine) نصف هذه الزاوية، ويعرف هذا التأثير بفقد جيب التمام. فى شكل (18) تم تمثيل تأثير هذا الفقد على

محطات برج الطاقة المركزي

أكثر من هليوستات حيث يتعرض الهليوستات A لمفقدات جيب التمام المؤثرة (هامة) بينما تتعرض الهليوستات B لمفقدات جيب التمام صغيرة جدا وغير مؤثرة (مهملة)

• **فقد التظليل (shadowing loss)**

يرجع فقد التظليل إلى الظل الناتج من الهليوستات المجاورة في الحقل.

• **فقد الإعاقة (blocking loss)**

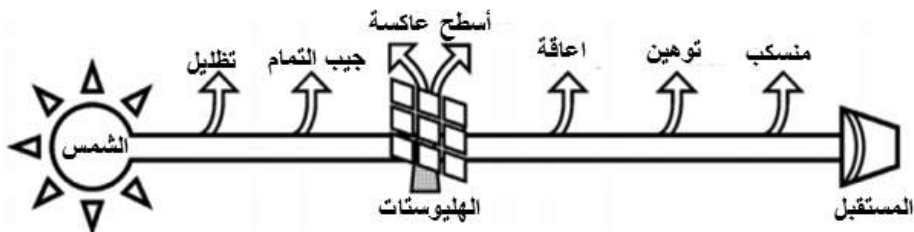
يرجع هذا الفقد إلى تأثير منع الإشعاع من أحد الهليوستات إلى المستقبل عن طريق هليوستات آخر

• **فقد التوهين (attenuation loss)**

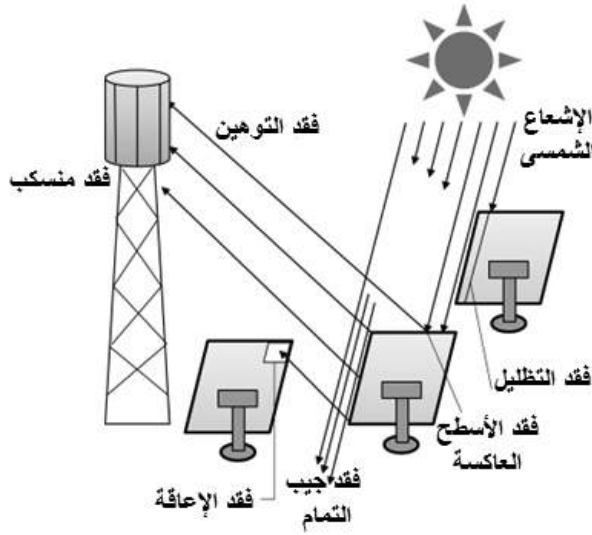
يحدث هذا الفقد نتيجة جزيئات الأتربة في مسارات الإشعاع إلى المستقبل

• **فقد منسكب (spillage loss)**

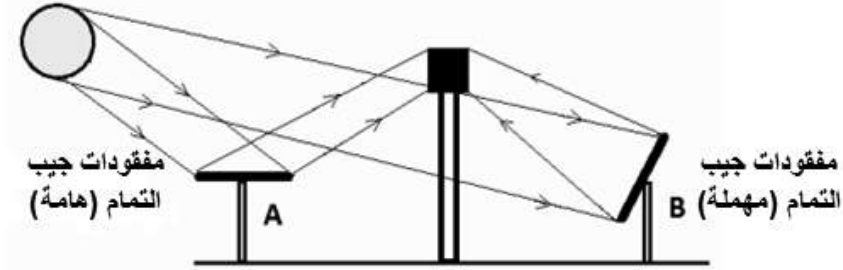
ينتج هذا الفقد نتيجة عدم وصول (ضبط) الأشعة المنعكسة من الهليوستات إلى المستقبل، وهذا يحدث إذا كانت الصورة المنعكسة للهليوستات أكبر من فتحة المستقبل (aperture).



شكل (16) تصنيف أنواع المفقدات البصرية لحقل هليوستات



شكل (17) تمثيل أنواع المفقودات البصرية لحقل هليوستات



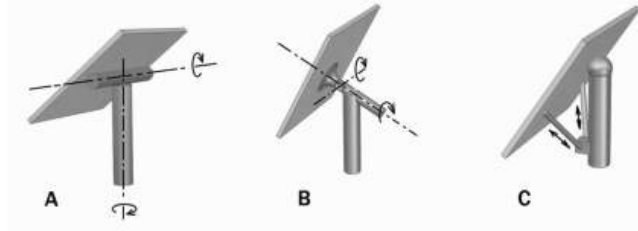
شكل (18) فقد جيب التمام على أكثر من هليوستات

تصنيف التشغيل الميكانيكي للهليوستات:

يصنف التشغيل الميكانيكي للهليوستات إلى: توالي أو توازي اعتماداً على تركيب المشغلات (actuators). [المشغل: يعرف في مجالات التحكم الإلكتروني، بأنه آلية لتنشيط معدات التحكم والتشغيل باستخدام إشارات إلكترونية].

هليوستات من نوع التوالي (serial types of heliostats)

في هذه النوعية تركيب المشغلات متسلسلة كما في شكل (19-A) والذي يوضح نوع مُشغل إرتفاع /سمت (azimuth - elevation)، بينما يوضح شكل (19-B) هليوستات ضبط محور كهدف (target aligned heliostat) ومميزات هذا النوع : تصميم بسيط وتحكم بسيط . بينما العيوب تتلخص في إنخفاض الإستقرار. تكون أكثر التصميمات الشائعة عبارة عن عمود مثبت في أعلى نقطة به وحدة محرك تحتوي على وسيلة إدارة إرتفاع وأخرى لإدارة سمت. ثم يثبت أنبوب عزم الدوران (torque) (أنبوب طويل من الصلب) على وحدة المحرك ،والذي يكون له محور إرتفاع متساوي. توصل المرايا الزجاجية مع أنبوب عزم الدوران على دعامات هيكل الجمالون والذي يكون متعامدا مع محور الإرتفاع. في الهليوستات كبيرة الحجم، يتم إستخدام شبكة ثانية (وممكن في النهاية تستخدم شبكة ثالثة) من الحزم بين المرايا الزجاجية والدعامات.



شكل (19) أنواع ميكانيزم تشغيل الهليوستات

هليوستات من نوع التوازي (parallel types of heliostat) :

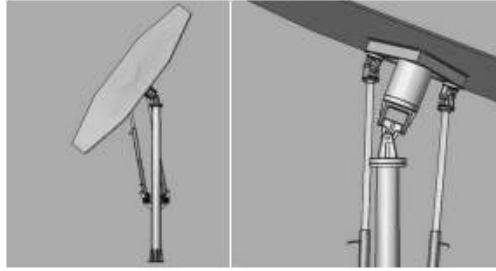
يحتوي هذا النظام على الأقل على مشغلين متصلين بكل من وحدة المرايا والأرض في نفس الوقت، كما في شكل (19-C). ومن مميزات هذا النوع زيادة الإستقرار . يصمم نظام التحكم للتعامل مع دوائر مغلقة آلية، حيث توجد أكثر من طريقة للحركة بين الأرض والمرايا. فيما يلي أنواع هليوستات التوازي:

• متعقب شمسي عام (universal solar tracker)

يوضح شكل (20) هذا النوع، وهو يتكون من مشغلين خطيين وعدد 5 وصلة (مفصل) (joint) عامة، تثبت المشغلات على مستوى مائل لكي تشكل الوصلات

على شكل مثلث . يكون المفصل العام عبارة عن زنبرك و صمولة موضوعا على السطح.

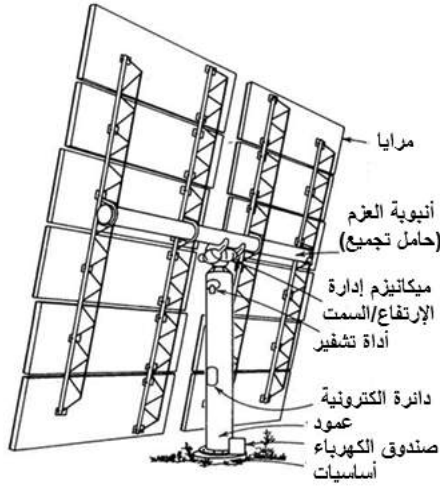
- سداسية القوائم ذو ثمانية الأسطح (octahedral hexapod), والموضح في شكل (21) ويوضح شكل (22) تمثيل للتشغيل الميكانيكي للهليوستات



شكل (20) متعقب هليوستات من نوع التوزاي
(Source: Orshan, 2010)



شكل (21) متعقب سداسي القوائم ذو الثمانية أسطح
(Source: Wikipedia, 2013 @ Physik Instrument, 2013)



شكل (22) تمثيل للتشغيل الميكانيكي للهليوستات

مواد المرايات:

إن المطلوب الرئيسي من مواد المرايات المناسبة هو تحقيق خصائص الإنعكاس . فيجب أن تكون الإنعكاسية (reflectivity) عالية. وتعرف الإنعكاسية لسطح ما، بأنها الرقم الذي يشير إلى جزء الإشعاع الساقط والذي ينعكس بواسطة السطح.

عموما تختلف الإنعكاسية تبعا لأطوال الموجات ، ولذا فهي تعرف عند طول موجة معطاه (محددة) أو عند مدى موجة محددة ، وللحظة مدى الضوء المرئي. وتمتاز المرايا بالآتي :

- انعكاسية عالية (96 / 90 %)
- خفيفة الوزن (سهولة التداول)
- كفاءة التبيس (القساوة) stiffness (أقل تدهور في المرايات عند التعرض لأحمال ديناميكية)
- المتانة
- أخطاء طيفي منخفض

على وجه العموم، فإن الإنعكاسية الموزونة للشمس (solar weighted reflectivity) تشير إلى أنه يؤخذ في الإعتبار وجود محتوى طاقة مختلف عند أطوال موجات مختلفة في الطيف الشمسي .

و عليه فإن الإنعكاسية الموزونة للشمس تشير إلى جزء طاقة الشمس التي تنعكس على المرآة.

ويصنف الإنعكاس كالآتي:

- إنعكاس مرآوي (specular reflection)

وهو الضوء الذي يأتي من اتجاه مدخل أحادي ينعكس إلى اتجاه مخرج أحادي وطبقا لقانون الإنعكاس فإن كل من اتجاه المدخل الأحادي واتجاه المخرج الأحادي يكون لهما نفس الزاوية بالنسبة للسطح العادي للمرآة.

- إنعكاس مشمتت (diffuse reflection)

في المقابل، فإن الضوء الداخل ينعكس في مدى إتجاه واسع. في تطبيقات CSP، يؤخذ في الإعتبار فقط الإنعكاس المرآوي، لأن الإشعاع المنعكس يجب أن يكون له اتجاه محدد. ويكون معيار جودة المرايات هوارتفاع "إنعكاس مرآوي موزون للشمس" (solar weighted specular reflectivity)

أنواع المرايات (Mirrors)

يوجد نوعان هما:

1- مرايات زجاجية مسطحة قياسية

(standard flat glass mirror)

أو (flat- glass heliostat)

يكون سمك المرايا 1-4mm وتحتوي على طبقة عاكسة في الخلفية. تتم حماية طبقة العاكس ضد إنخفاض درجتها (degrading)، إما بإضافة طبقة زجاج خلف الطبقة الأساسية (والتي تكون على شكل شرائح)، أو دهان الخلفية بمادة دهان كحماية. يمكن أن يكون الزجاج بإنحناء بسيط سهل على طول محور واحد. ويوضح شكل (23) هليوستات من مرايات زجاجية معدنية مسطحة قياسية.

2- مرايا نسيج غشائي متمدد

(SM)(stretched membrane mirror)

أو (SM heliostat)

ظهر هذا النوع في عام 1980 ويتركب من نسيج غشائي مرن مصنوع من الألومنيوم أو الصلب ستنلس، وتكون المادة العاكسة ثابتة، يتم ضبط شد النسيج الغشائي بواسطة مضخة تفريغ / مروحة (vacuum pump/ fan) أو محرك خطي ميكانيكي (mechanical linear actuator) على ذلك فلن يتغير طول ارتفاع التركيز (البؤرة). وتوجد مقاسات مختلفة لهليوستات النسيج الغشائي المتمد (SM - heliostats) :

وتتراوح نماذج القياس بين $50-150 \text{ m}^2$ ، والتي من الشائع أن تكون على شكل دائري. ويكون هيكل التثبيت أخف لأن الهليوستات وزنها خفيف. ويصل وزن الهليوستات SM إلى حوالي نصف وزن هليوستات الزجاج المسطح. حيث يوضح شكل (24) هليوستات مرايا نسيج غشائي متمد. ويلاحظ أن تكاليف هليوستات SM أعلى من هليوستات الزجاج المسطح بحوالي 20%



شكل (23) هليوستات من مرايات زجاجية معدنية مسطحة قياسية
Source: (GEEN 4830-ECEN 5007)



شكل (24) هليوستات مرايا نسج عشائي متمدد

(Source: GEEN 4830-ECEN 5007)

مادة الزجاج :

إن المرايا الزجاجية هي الاختيار القياسي. ويوضح جدول (2) أنواعا من مقاومات المرايا الزجاجية الشمسية وحدود قيمها، كذلك يوضح جدول (3) خصائص وبيانات المرايا الزجاجية الشمسية

جدول (2) مقاومات الزجاج (Source:Froling,2011)

حدود القيمة Mpa	المقاومة
880-930	مقاومة الانضغاط
30-90	مقاومة الشد
30-100	مقاومة الانحناء

جدول (3) بيانات مرايا شمسية زجاجية (Source:AGC solar,2012)

النوع	الوحده	القيمه
السلك	mm	4
الوزن النوعي	Kg/m ²	10
الكثافه عند 18 °C	Kg/m ²	2500
الانعكاسية	%	93.6
معامل التمدد الحراري (α)	/k10 ⁻⁶	9
المقاومة الميكانيكية	M Pa	45
نسبة بواسيون		0.2
معامل يونج	G Pa	70

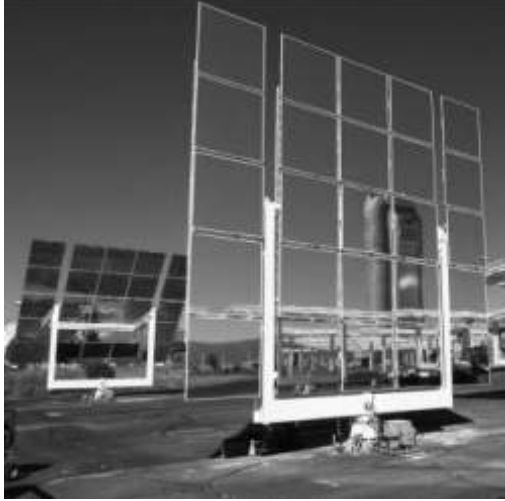
تعريفات :

- مقاومة الشد (Tensile Strength) هي أعلى قيمة للإجهاد (الإجهاد الهندسي) في منحنى الإجهاد و الانفعال وتساوى أعلى حمل شد تحمّلته العينة أثناء اختبار الشد مقسوما على مساحة المقطع الأولية. وتقاس مقاومة الشد بـ كجم/مم² أو نيوتن/مم² (= مليون بسكال) .
- مقاومة الانضغاط (Compressive Strength) هي مقدرة المادة على مقاومة القوى الضاغطة محورياً وعند الوصول إلى حدود مقاومة الانضغاط، تتحطم المادة.
- قوة الانحناء (Bending Strength) ، هي خاصية المادية، وتعرف بأنها الإجهاد في مادة قبل أن ينتج في اختبار الثني.
- المقاومة الميكانيكية (Mechanical Strength) في ميكانيكا المواد، مقاومة المادة هي قدرتها على تحمل الحمل المطبق دون فشل أو تشوه
- نسبة بواسون (Poisson's ratio) هي نسبة إجهاد الانكماش المستعرض إلى إجهاد التمديد الطولي في اتجاه قوة التمدد.
- معامل يونج (Young's modulus) هو مقياس للمرونة، وهو نسبة الإجهاد الواقع على المادة إلى الإجهاد الناتج.

- MPa = Megapascal
= 1000000 N/ m² = 10 bar

فيلم مرآيا (mirror film):

أنتجت شركات 3M الأمريكية فيلم مرآيا شمسي أطلق عليها Solar Mirror Film 1100 له إنعكاسية 94%، في أحد التطبيقات التي تمت منذ 1995 تلاحظ إنخفاض حوالي 3% في نسبة الإنعكاسية بعد 15 سنة تشغيل . الفيلم مصنع من (acryl) وبسمك 0.117mm يتم وضع الفيلم على مادة بإستخدام غراء . ومن المشكلات التي ظهرت عن ما هي المادة المناسبة الأفضل من المرآيات الزجاجية والتي يكون لها سطح صلب (جامد) ومسطح . وتوصي شركات 3M بإستخدام زجاج أو ستانلس ستيل أو ألومنيوم مدهون. ولا يوصى بعمل نظافة بالغسيل تحت ضغط أو عمل فرك لسطحها. ويوضح شكل (25) هليوستات فيلم مرآيا شمسي.



شكل (25) هليوستات فيلم مرآيا شمسي
(Source: SunShot 3M)

ثانيا : المُستقبل الشمسي (solar receiver)

يعرف المُستقبل أيضا بـ مبادل حرارى عالى التقنية (high-tech heat exchanger) والذى يعمل على تسخين الملح المنصهر أو المائع عند درجة حرارة حوالى 250°C المدفوع من الخزان البارد الى 565°C والذى يندفع الى الخزان الساخن. عند احتياج الشبكة العامة إلى الطاقة الكهربائية، يستعان بمحطة برج القوى المركزى من خلال ضخ الملح الساخن إلى نظام إنتاج البخار والذى بدوره ينتج البخار المحمص لمجموعة التربيننة / المولد، ثم يعود الملح إلى الخزان البارد وينتظر لاعادة تسخينه فى المستقبل حتى تستكمل الدورة ويوضح شكل (26) هذه الدورة.

يوجد عدة أنواع من المُستقبلات الشمسية، والموضحة فى شكل (27)، هي:

ا- مُستقبلات أنبوبية (tubular receiver)

▪ مُستقبل خارجي (external receiver) والموضح بشكل (28)

▪ مُستقبل مجوف (cavity receiver)

ب – مُستقبلات حجمية (volumetric receivers)

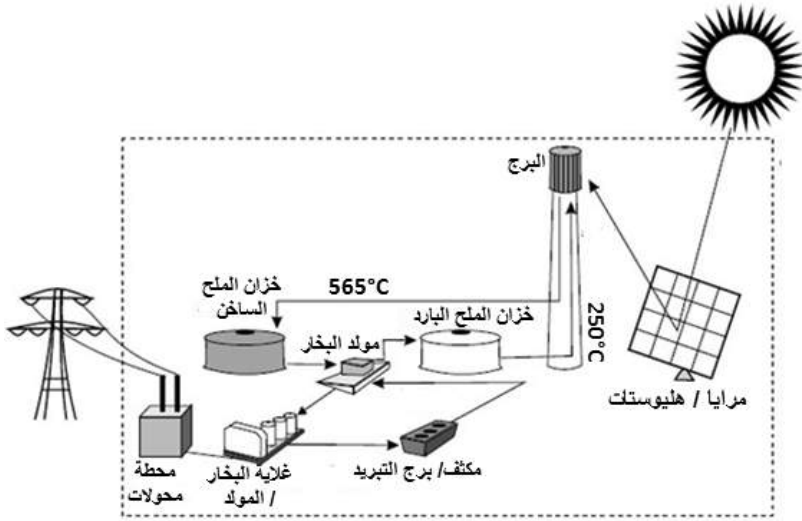
▪ مُستقبل هواء حجمي مفتوح

(open volumetric air receiver)

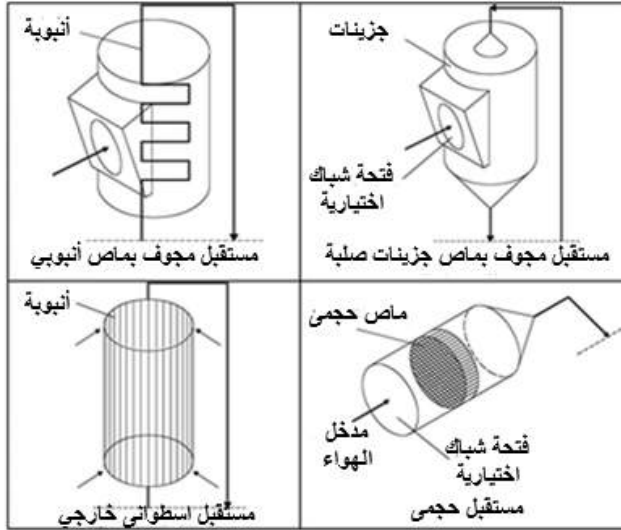
▪ مُستقبل هواء مضغوط (pressurized air receiver)

ج – مُستقبلات جزيئات صلب (solid particle receiver)

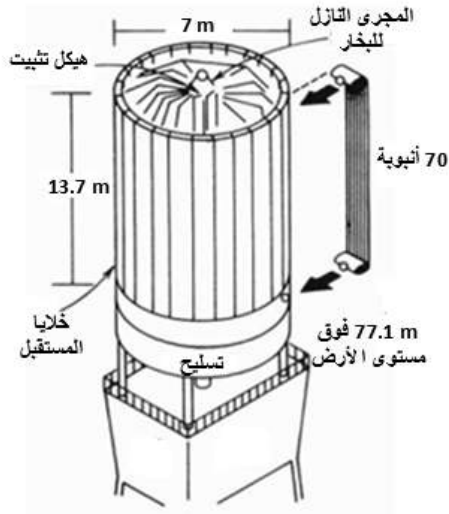
تعتبر المُستقبلات الأنبوبية هي الأكثر شيوعا تجاريا سواء النوع الخارجي أو المجوف.



شكل (26) تمثيل مكونات برج قوى مركزى بملح منصهر كمانع



شكل (27) أنواع المُستقبلات الشمسية



شكل (28) مُستقبل خارجي

يؤثر نوع المُستقبل مباشرة في شكل الحقل الشمسي. تتوافق المُستقبلات الخارجية مع نوع الحقل الشمسي المحاط بالمُستقبل بينما تتوافق المُستقبلات المجوفة مع الحقل الشمالي أو الجنوبي. في حالة المُستقبلات الخارجية، فإن كل الأسطح الخارجية لأنابيب الإمتصاص تتعرض للحقل الشمسي، بينما في المُستقبلات المجوفة تكون أنابيب الإمتصاص داخل التجويف. يدخل الإشعاع إلى التجويف من خلال فتحات فتحة المُستقبل (aperture)، ليصطدم بسطح أنبوب الإمتصاص. وتتنخفض المفقودات الحرارية في المُستقبلات المجوفة مقارنة بالمُستقبلات الخارجية. لأن المُستقبلات المجوفة تحجز الأشعة الشمسية المركزة الداخلة، فإن الفقد المنسكب يكون أعلى، مقارنة بالمُستقبلات الخارجية.

فيما يلي أنواع مائع التشغيل المستخدم في المُستقبل :

- مياه /بخار (water/ steam)
- هواء (air)
- أملاح منصهره (molten salts)
- صوديوم (sodium)

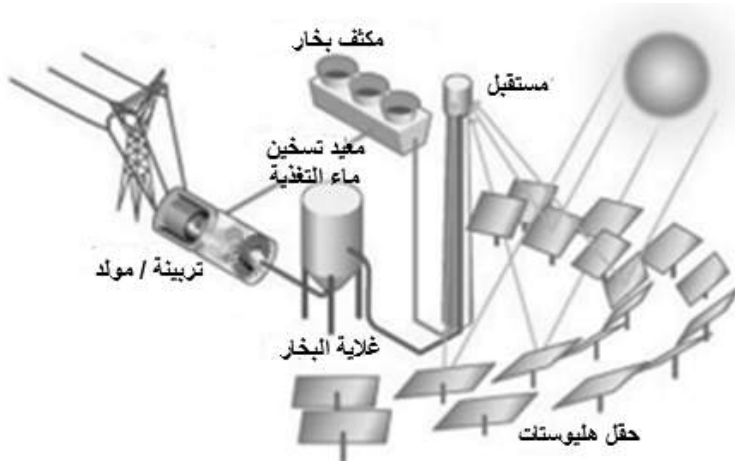
إعتمادا على نوع مائع التشغيل وتصميم المُستقبل، يمكن أن تصل أقصى درجة حرارة تشغيل إلى :

- ❖ من 25°C إلى 300°C عند إستخدام مياه/ بخار
 - ❖ إلى 390°C عند إستخدام الزيوت المصنعة
 - ❖ إلى 565°C عند إستخدام الأملاح المنصهرة
 - ❖ يمكن الوصول إلى 800°C عند إستخدام الغازات
- مستوى درجة حرارة مائع تحويل الحرارة يحدد حالة تشغيل دورة البخار في مجموعة القوى.

أ. نظام مستقبل بمائع بخار/مياه

يوضح شكل (29) هذا النظام، حيث تستخدم المياه كمائع نقل حرارة. فيوجد في المُستقبل نفسه إنتاج بخار مباشرة. ولذا فإن الميزة الرئيسية لهذا النظام إنه لا يحتاج إلي مبادل حراري، هذا إذا كان النظام بدون تخزين ، وعيوب هذا النظام الاتي :

- حدود أقل أقصى فيض للمُستقبل من 300 الي 600 kw/m²
- تكون الطاقة المخزنة في صورة بخار عالي الضغط غير اقتصادية، لذا يجب تحويل الطاقة إلي وسط آخر مع مبادلات حرارية والتي تسبب فقد طاقة أعلي .
- يضيف تغير المرحلة في مائع نقل الحرارة قيود إضافية عند تصميم المُستقبل ، والتي تؤدي إلي تأثير سالب علي الكفاءة
- في أوائل استخدام المحطات الشمسية المركزية ، استخدم خزان صخر بترولي (oil/rock) منحدر حراري (تدرج حراري سريع). وأقصى حد لدرجة حرارة الزيت هي 315° C . وبالتالي فإن البخار الخارج من الخزان له درجة حرارة منخفضة وكفاءة كلية منخفضة للتربينة.



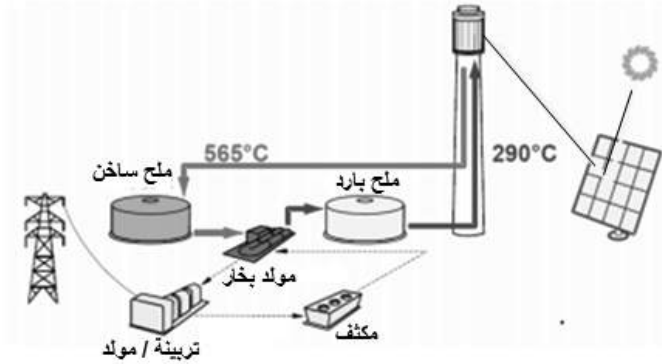
شكل (29) نظام مُستقبل بمائع بخار/مياه

ب. نظام مُستقبل بمائع ملح منصهر :

يوضح شكل (30) هذا النوع ، يعتبر الملح المنصهر مفيد وجذاب كمائع نقل الحرارة نظرا لإنخفاض التكاليف واتاحته الاقتصادية. فيما يلي بعض ملامح هذا النظام:

- حدود أقصى فيض للمستقبل أعلى مقارنة بنظام مياه/بخار (من 600 الي 800 kw/m²)
- خبرة عملية أكثر من 40 سنة في مجال موائع نقل الحرارة
- خلال فترة زمنية طويلة لم يحدث سموم ولا استقرار زائد وذلك حماية للبيئة وارتفاع الحرارة
- الملح المنصهر أرخص من الصوديوم من 2 الي 3 مرات
- يكون في الصورة السائلة عند الضغط الجوي
- درجة حرارة تشغيل متوافقة مع تربينات البخار (حرارة عالية وضغط عالي)
- غير قابل للاشتعال

- تصنع المواسير والصمامات والخزانات المستخدمة في دورة الأملاح الساخنة من ستينلس ستيل (مقاوم للصدأ)، بينما في أنظمة الملح البارد فتصنع من الصلب الكربوني المعتدل.
- يوضح جدول (4) خصائص مُستقبلات مياه/ بخار، ملح منصهر



شكل (30) نظام مُستقبل بمائع ملح منصهر

جدول (4) خصائص مُستقبلات مياه/ بخار، ملح منصهر

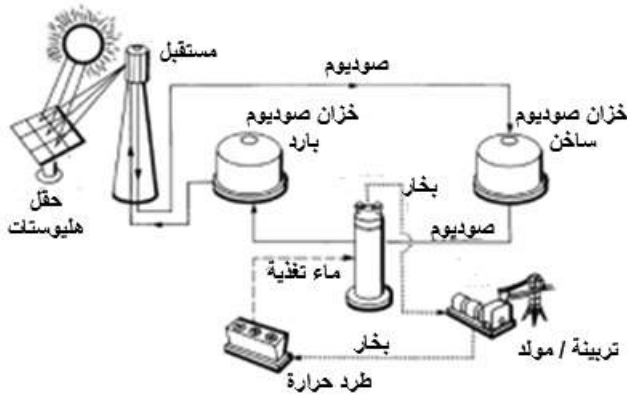
مُستقبل ملح منصهر	مُستقبل مياه/ بخار	الوحدة	المتغيرات
566	230 / 525	(°c)	درجة حرارة المخرج
550	350	(kw/m ²)	الفيض الساقط
800	700	(kw/m ²)	أقصى فيض
-	100 – 135	(bar)	أقصى ضغط
85-90	80 - 93	(%)	الكفاءة الحرارية

ج. نظام مستقبل بمانع صوديوم سائل

يبين شكل (31) هذا النظام ، يمتاز الصوديوم بخصائص نقل حرارة جيدة جدا، وله مفقودات حرارية منخفضة نتيجة صغر مساحة المستقبل.

مقارنة مع الملح المنصهر تظهر المميزات الآتية للصوديوم السائل:

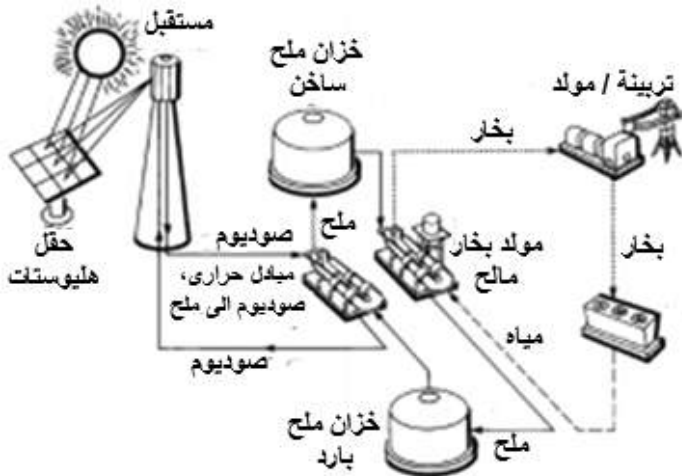
- موصولية حرارية عالية (conductivity) عند تشغيل المُستقبل من فيض شمسي عالي (أعلي من 1500kw/m^2)
- درجة تجمد الصوديوم عند 100°C والتي تقل مرتين مقارنة بالملح المنصهر
- للصوديوم درجة غليان عالية 873°C والتي تسمح للتشغيل في درجات الحرارة العالية لدورة قوي بریتون (Brayton power cycle)
- ينخفض كل من حجم المُستقبل والمفقودات الحرارية نظرا لفيض التشغيل العالي وكفاءة المستقبل الأفضل
- ولكن يوجد العديد من العوامل والتي تمثل عائق لمُستقبلات الصوديوم لتنتشر اقتصاديا، من هذه العوامل:
- نتيجة لارتفاع النسبي للتكاليف وانخفاض الحرارة النوعية (specific heat) للصوديوم فإن ذلك يحد من استخدامه كوسط تخزين حراري حساس.
- انخفاض السعة الحرارية الجمعية للصوديوم تؤدي إلى كبير حجم الخزان وارتفاع التكاليف
- ارتفاع الطبيعة غير الفعاله للصوديوم والمياه تؤخذ في الاعتبار عند التصميم تجنباً للمخاطر المرتفعة.



شكل (31) نظام مُستقبل بمائع صوديوم سائل

د. نظام مُستقبل بمائع ثنائي صوديوم/ملح (Sodium/Salt Binary)

يبين شكل (32) هذا النوع . يستخدم الصوديوم كمائع في المُستقبل بينما يستخدم الملح كمائع تخزين في النظام. حيث يستفاد من المميزات الجذابة في كلا المائعين ولكن في هذه الحالة يحتاج النظام لإضافة مسار آخر لنقل الحرارة والذي يؤدي إلي تعقيد النظام. وتقل مخاطر حرق الصوديوم لأنه مفيد داخل البرج المسلح

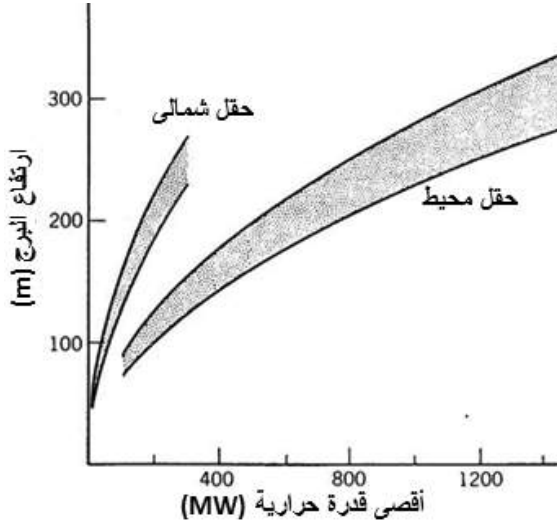


شكل (32) نظام مُستقبل بمائع ثنائي صوديوم/ملح

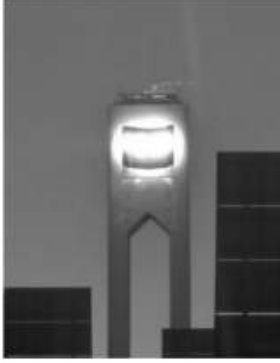
ثالثا: البرج الشمسي (Solar Tower)

يعتمد ارتفاع البرج على القدرة الحرارية المستقبلية لمحطة برج الطاقة المركزي ويتأثر الارتفاع بنوع الحقل الشمسي : حقل محيط أو حقل شمالي / جنوبي. ويوضح شكل (33) العلاقة بين الارتفاع المثالي للبرج طبقا لنوع الحقل الشمسي ومستويات القدرة الحرارية المختلفة للمستقبل (Receiver thermal power) غالبا يتراوح ارتفاع البرج من 50 الى 150 متر ويكون بتلك الارتفاعات حتى تستطيع جميع مرايا الهليوستات أن تعكس الأشعة إلى المُستقبل (المركب بأعلى البرج) دون أن تحجب الأشعة بعضها البعض. تزيد استثمارات البرج كلما زاد الارتفاع. يوجد نوعين من الأبراج الشمسية هما:

- البرج الخرساني (concrete tower)
 - البرج الصلب (steel frame tower)
- يوضح شكل (34) برج شمسي خرساني وآخر صلب (مُستقبل خارجي ومُستقبل مجوف)



شكل (33) العلاقة بين الارتفاع المثالي للبرج طبقا لنوع الحقل الشمسي ومستويات القدرة الحرارية المختلفة



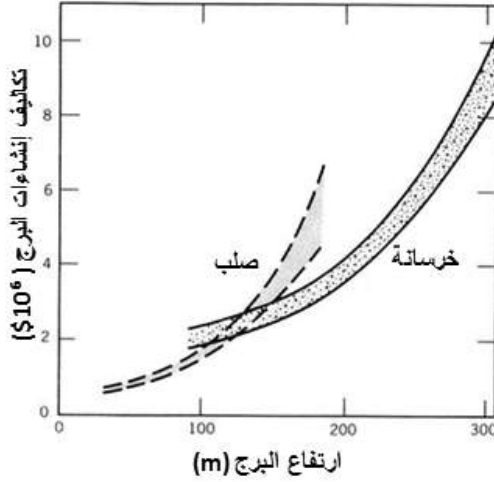
شكل (34) برج شمسي لمستقبل خارجي ومستقبل مجوف

عند تصميم البرج الشمسي يوصى بالاتي:

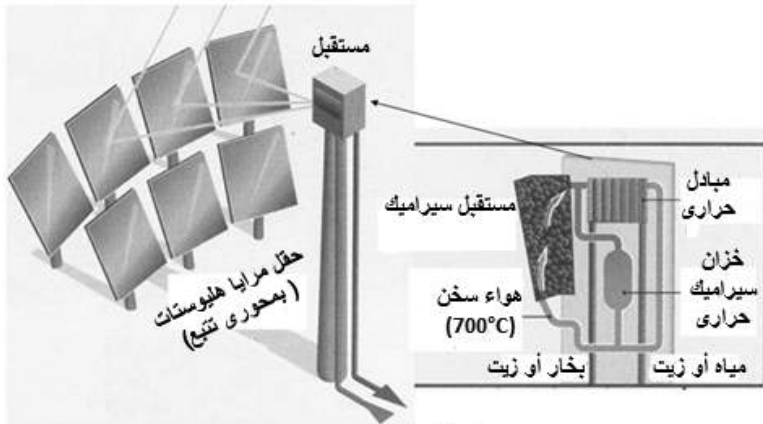
- للبرج الصلب يكون الارتفاع أقل من 120 m
 - للبرج الخرساني يكون الارتفاع أكبر من 120 m
- أيضا يوجد عاملان يؤثران على تصميم البرج هما: وزن المستقبل ومنطقة الرياح، وفي بعض المناطق المعرضة للزلازل يجب أن يؤخذ ذلك في الإعتبار. يتأثر وزن وحجم المستقبل بنوع المائع المختار، فمثلا لمحطة 380 MW (1.3×10^9 Btu/h) لها ارتفاع برج يتراوح بين 140 m – 170 m وحقل محاط بمرايا الهليوستات يكون:

- وزن المستقبل الخارجي الذي يستخدم الصوديوم كمائع 250000 kg
 - أو، وزن المستقبل المجوف الهواء 2500000 kg
- يشير تحليل التكاليف إلى أن أبراج الهيكل الصلب تكون أقل تكلفة عن الأبراج الخرسانية للارتفاعات أقل من 120 m بينما تكون تكلفة الأبراج الخرسانية أقل من الأبراج الصلب للارتفاعات الأكبر من 120 m
- يوضح شكل (35) العلاقة بين ارتفاع البرج وتكاليف الانشاءات في حالتى الأبراج الخرسانية والصلب، تكاليف البرج لأطوال مختلفة، مع مراعاة اختلاف المستقبل واختلاف الوزن. عند التصميم أخذ في الإعتبار أن يتحمل البرج سرعة رياح (90 mph) 40 m/s، وسرعة الارض 0.25g (gravity)

شكل (36) مكونات محطة برج الطاقة المركزي (Battleston-1981)، ويبين شكل (36) مكونات محطة برج الطاقة المركزي (الحقل – المستقبل البرج)



شكل (35) العلاقة بين ارتفاع البرج وتكاليف الإنشاءات في حالتى الأبراج الخرسانية والصلب



ارتفاع البرج : 100 – 200 m

شكل (36) مكونات محطة برج الطاقة المركزي (الحقل – المستقبل البرج)

النسبة r/h

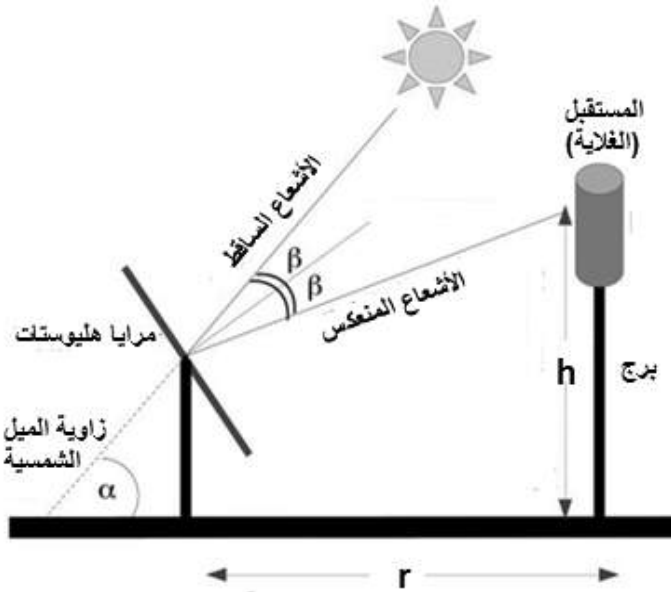
عند تصميم محطات قوى البرج المركزي يجب أن يؤخذ في الإعتبار النسبة r/h حيث:

h = ارتفاع البرج

r = المسافة بين أبعد هليوستات عن البرج الشمسي

لأغلب محطات قوى البرج المركزي تتراوح النسبة r/h بين 5.7 & 6.8، كلما زادت هذه النسبة كلما زاد تأثير المنع (blockage effect)، وكلما زادت قيمة r (أكبر من 1km) كلما زادت مفقودات التوهين (attenuation losses) يوضح شكل (36) تعريف r & h ، أى:

- المسافة بين البرج والهليوستات والتي تختلف من هليوستات إلى آخر
- الارتفاع وهو الوضع الأفقى لمكان المُستقبل (الغلاية) والتي تسخن بواسطة الهليوستات)



شكل (36) تعريف r & h

مميزات محطات برج الطاقة المركزي:

- تجمع الطاقة الحرارية البصرية وتحولها إلي مُستقبل أحادي، وبأقل طاقة حرارية منقولة مطلوبة
- تصل نسبة التركيز بين 300 الي 1500 ضعف، وبكفاءة عالية لكل من الطاقة المجمعة والطاقة المحولة إلي كهرباء.
- تخزين الطاقة الحرارية عند درجات حرارة عالية
- يمكن التركيب علي أراضي مائلة نسبيا (ذات ميل 5% فأكثر) وبذلك تنخفض التكاليف اللازمة لتجهيز الأرض قبل بداية المشروع.
- تصل إلي قدرات عالية (أكثر من 10MW) وبالتالي تكلفة اقتصادية للمقاسات الكبيرة.
- إمكانية الهجين (hybrid) مع أنظمة أخرى
- المناسب الأفضل للتبريد الجاف
- لا يصدر عنها غازات أو انبعاثات مائية اثناء التشغيل
- إذا حدث تسريب أو إنسكب الملح، فإنه يتجمد قبل حدوث أية مكونات ترابية
- إذا إنسكب الملح فإنه يمكن جرفه وإعادة تدويره عند الحاجة

عيوب محطات برج الطاقة المركزي:

- تحتاج تكاليف التشغيل والاستثمارات وقيمة الأداء السنوي التطبيق علي مدي واسع تجاريا
- عدم القدرة علي توفير الطاقة في ظروف انتشار الضوء، حيث ينخفض ناتج الطاقة بشكل كبير في الظروف الغائمة
- تحتاج لنظام تتبع للشمس للحفاظ علي تركيز أشعة الشمس علي الهليوستات (المجمع)
- أكثر حساسية لمشاكل التلوث

خصائص بعض محطات قوى البرج المركزي بالعالم

يوضح جدول (5) خصائص بعض محطات قوى البرج المركزي (Source : NREL)

يبين جدول (6) البيانات الأساسية لبعض خصائص محطات قوى البرج المركزي القائمة (Source:www.cstep.in) ويوضح جدول (7) بيانات ارتفاع البرج لبعض خصائص محطات قوى البرج المركزي القائمة نلاحظ بجدول (7) أن:

• بالمحطة ISEGS فإن $r/h = 10.4$

• بالمحطتين Julich solar Tower & Sierra sun Tower فإن

$$r/h = 2.3$$

من المعروف أن $r = 1400$ m للمحطة ISEGS ولذا فإن النسبة r/h بها أكبر من 10، و عليه فمن الأفضل تقيد النسبة r/h بحيث تكون أقل من 7، ويتحقق ذلك بتصميم r أقل من 1km

يوضح جدول (8) خصائص المستقبل ومجموعة القوى لبعض محطات قوى البرج المركزي القائمة

بالإضافة إلى أن جدول (9) يبين ساعات التخزين ومساحات المرايا والأرض لبعض محطات قوى البرج المركزي.

جدول (5) خصائص بعض محطات قوى البرج المركزي (Source : NREL)

S200	S100	S50	S3 (USA)	S2	المتغيرات
2014	2008	2006	2004	1996	سنة التشغيل
رانكين	رانكين	رانكين	رانكين	رانكين	دورة القوى
200	100	50	13.65	10	إجمالي القدرة (MW _e)
74	73	75	76	21	عامل السعة (%)
148	148	95	95	39/95	مقاس الهليوستات (m ²)
زجاج/معدن	زجاج/معدن	زجاج/معدن	زجاج/معدن	زجاج/معدن	تصميم الهليوستات
2.61	1.32	0.72	0.23	0.08	مقاس الحقل الشمسي (km ²)
1930	1110	710	280	100	مساحة المُستقبل m ²
1.6	1.4	1.2	0.95	0.8	أقصى فيض ساقط على المُستقبل MW/m ²
0.5	0.5	0.5	0.51	0.6	النسبة بين متوسط/ أقصى فيض ساقط
0.8	0.7	0.6	0.49	0.48	متوسط الفيض الساقط على المستقبل (MW/m ²)
13	13	16	16	3	ساعات التخزين الحراري
13.8	6.6	3.4	1.1	0.4	مساحة الأرض km ²

جدول (6) البيانات الاساسية لبعض خصائص محطات قوى البرج المركزي
القائمة (Source:www.cstep.in)

ارتفاع البرج (m)	مساحه فتحه الهليوستات (m ²)	عدد الهليوستات	السعه MWe	البلد	اسم المحطة
115	120	624	11	اسبانيا	PS-10
165	120	1255	20	اسبانيا	PS-20
46	1.14	14280	2.5	الهند	ACME
118	100	100	1.5	الصين	Dahan
75	121	69	4.6	اسبانيا	Solugas
140	120	2650	19.9	اسبانيا	Gemasolar
140	14.08	173500	392	امريكا	ISEGS
55	1.14	24360	5	امريكا	Sierra sun Tower
60	8	2153	1.5	المانيا	Julich solar Tower

جدول (7) بيانات إرتفاع البرج لبعض خصائص محطات قوى البرج المركزي
القائمة (Source:www.cstep.in)

r / h	ارتفاع البرج m	مقنن السعة MWe	إسم المحطة
6.5	115	11.02	PS-10
5.6	165	20	PS-20
	46	2.5	ACME
	118	1.5	Dahan
6.2	140	20	Gemasolar
10.4	140	392	ISEGS
2.3	55	5	Sierra sun Tower
2.3	60	1.5	Julich solar Tower

جدول (8) خصائص المستقبل ومجموعة القوى لبعض محطات قوى البرج المركزي القائمة (Source:www.cstep.in)

مجموعه القوى			المستقبل				اسم المحطة
التبريد	درجة الحرارة °C	الضغط (bar)	درجة حرارة المخرج °C	درجة حرارة المدخل °C	مائع انتقال الحرارة	النوع	
رطب	250-300	45	250-300	50	مياه	مجوف	PS-10
رطب	250-300	45	250-300	50	مياه	مجوف	PS-26
رطب		60	400	218	مياه	مجوف	ACME
رطب			400	104	مياه	مجوف	Dahan
	850	10	850		هواء	مجوف	Solugas
رطب			656	290	ملح منصهر	اسطوانه خارجية	Gemasolar
جاف			566	249	مياه	مستطيل خارجي	ISEGS
رطب	440	60	440	218	مياه	تجويرف ثنائي خارجي	Sierra sun Tower
رطب-جاف	485	26	680	120	هواء	حجمي	Julich solar Tower

جدول (9) ساعات التخزين ومساحات المرايا والأرض لبعض محطات قوى
البرج المركزي (Source: www.cstep.in)

نسبة مساحة الأرض إلى مساحة المرايا	مساحة الأرض / السعة المكافئة m ² /MWe	مساحة المرايا / السعة المكافئة m ² /MWe	مساحة الأرض ha	مساحة المرايا m ²	السعة المكافئة MWe	ساعات التخزين	مقنن السعة MWe	إسم المحطة
7.4	44918	6125	55	7.5E4	12.2	1	11.02	PS-10
5.3	36000	6750	80	1.5E5	22.22	1	20	PS-20
3	19425	6489	4.85	1.6E4	2.5	0	2.5	ACME
5.2	31200	6000	5.2	1E4	1.67	1	1.5	Dahan
7.2	13043	1815	6	8.3E3	4.6	0	4.6	Solugas
6.1	36746	5992	195	3.9E5	53.3	15	20	Gemasolar
6.1	36148	5857	1.417	2.6E6	392	0	392	ISEGS
2.9	16200	5534	8.1	2.8E4	5	0	5	Sierra sun Tower
4.4	45715	10285.7	8	1.8E4	1.75	1.5	1.5	Julich solar Tower

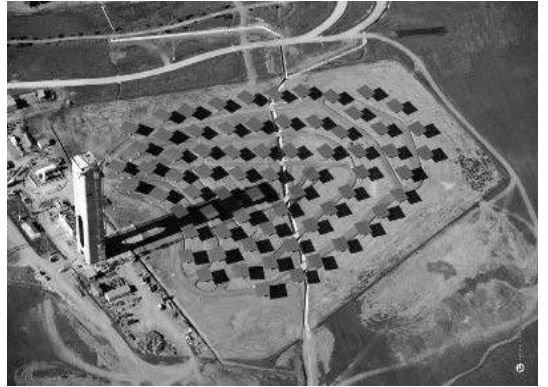
ويوضح شكل (37) محطتي PS-10 & PS-20 بأسبانيا، حيث يوجد برجين –ويحيط PS10 بعدد 624 هليوستات – وهي المرايا الضخمة التي تتبع الشمس طوال العام، والتي تعكس أشعة الشمس إلى أعلى البرج حيث يقع جهاز استقبال الطاقة الشمسية والتوربينات البخارية. ويحيط المحطة PS20 بعدد 1255 هليوستات. يقع المشروع على بعد 20 كم غرب إشبيلية ويستقبل الشمس يوميا بمعدل 9 ساعات باليوم تعتبر التكلفة أعلى من الطريقة التقليدية ولكنها أقل ضرر بالبيئة. ويوضح شكل (38) محطة Solugas، ويبين شكل (39) محطة ACME، كما يوضح شكل (40) محطة Dahan، أما الشكل (41) فيوضح محطة Solar two كاليفورنيا



شكل (37) محطتي PS-10 & PS-20 بأسبانيا



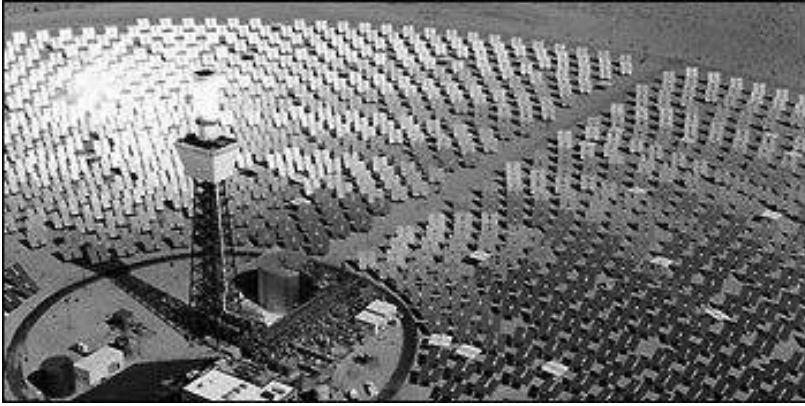
شكل (39) محطة ACME



شكل (38) محطة Solugas



شكل (40) محطة Dahan



شكل (41) محطة Solar two - كاليفورنيا

الباب التاسع
محطات قوي مجمعات حوض قطع مكافئ
Parabolic Trough Collectors Power Plants
(PTC Power Plants)

تكنولوجيا مجمعات حوض قطع مكافئ الشمسية هي الأكثر التي أثبتت جدواها في تكنولوجيا المجمعات الحرارية. ويرجع ذلك في المقام الأول إلى تشغيل تسعة محطات في صحراء موهافي بكاليفورنيا منذ منتصف الثمانينيات. في هذه المحطات، توجد حقول كبيرة جدا من مجمعات إنتاج الطاقة الحرارية المستخدمة لإنتاج البخار الموردة لدورة رانكين توربين/ مولد (Rankine steam turbine-generator cycle) لإنتاج الطاقة الكهربائية. كل مجمع يحتوى على عاكس قطع مكافئ خطي، الذي يركز شعاع الشمس المباشر على مستقبل خطي يقع في محور القطع المكافئ. يوضح شكل (1) الشكل النموذجي لمحطات مركزات شمسية لإنتاج الطاقة الحرارية ويبين جدول (1) خصائص محطات إنتاج الطاقة الحرارية بجنوب كاليفورنيا.

(Solar Energy Generating System) SEGS



شكل (1) الشكل النموذجي لمحطات أنتاج الطاقة الحرارية

جدول (1) خصائص محطات SEGS بجنوب كاليفورنيا

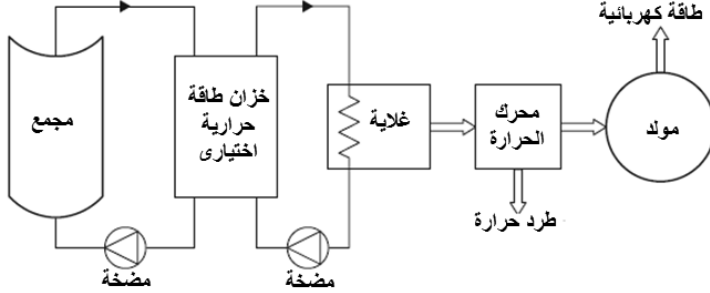
المخرج السنوي (output annual) (MW/a)	كفاءة تربيئة الوقود (Fossil turbine eff) (%)	كفاءة التربيئة الحرارية (solar turbine eff) (%)	مساحة الحقل الشمسي (solar field area) (m ²)	المجمع المستخدم (Luz collector)	درجة حرارة مخرج الحقل (solar outlet temp) (°C)	المخرج النهائي (Net) (output MWe)	بداية سنة التشغيل	المحطة
30100	-	31.5	82960	LS-2	307	13.8	1985	I
80500	37.3	29.4	190338	LS-2	316	30	1986	II
92780	37.4	30.6	230300	LS-2	349	30	1987	III
92780	37.4	30.6	230300	LS-2	349	30	1987	IV
91820	37.4	30.6	250500	LS-2	349	30	1988	V
90850	39.5	37.5	188000	LS-2	390	30	1989	VI
92646	39.5	37.5	194280	LS-2 & LS-3	390	30	1989	VII
252750	37.6	37.6	464340	LS-2	390	80	1990	VIII
256125	37.6	37.6	483960	LS-3	390	80	1991	IX

يوضح شكل (2) نظام الطاقة الحرارية الشمسية وفيه تجمع الأشعة الشمسية بواسطة مجمعات المركزات الشمسية، والمستخدمة لتشغيل محرك حرارى (heat engine) (في الديناميكا الحرارية، المحرك الحرارى هو نظام يحول الحرارة أو الطاقة الحرارية والطاقة الكيميائية إلى طاقة ميكانيكية، والتي يمكن بعد ذلك أن تستخدم للقيام بشغل ميكانيكي. ويتم ذلك من خلال جلب مادة الشغل من حالة درجة الحرارة العليا إلى حالة درجة الحرارة الأقل).

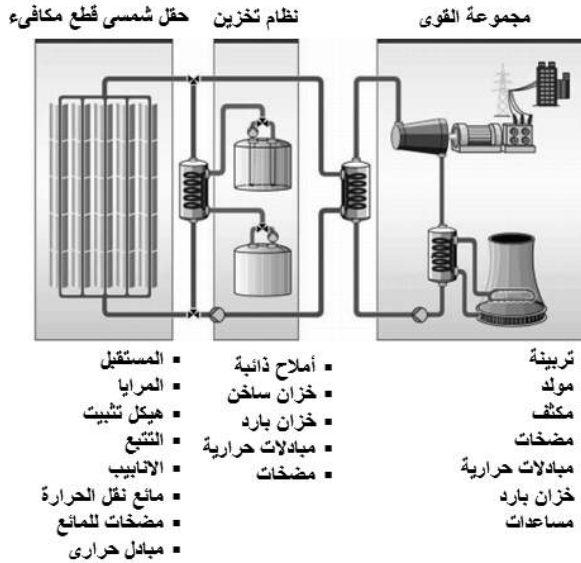
بعض هذه الأنظمة تحتوي على خزان حرارى والذى يسمح بتشغيل المحرك خلال الأجواء الضبابية وأوقات الليل، وذلك من خلال اختيار درجات حرارة تشغيل مناسبة، لأن كفاءة المحرك الحرارى تزيد بارتفاع درجة حرارة تشغيله، بينما تقل كفاءة المجمع الشمسى بارتفاع درجة حرارته.

وتتميز نظم المركزات الشمسية الحرارية بإمكانية تكاملها مع النظم التقليدية لإنتاج الكهرباء بالإضافة إلى أنها تضمن امدادات منتظمة للكهرباء، كما أنها لا تتسبب فى مشاكل لتشغيل الشبكة الكهربائية، لذا فإنها تتكون من ثلاثة قطاعات

رئيسية هي: الحقل الشمسي، نظام تخزين، مجموعة القوى، ويوضح شكل (3) مكونات كل قطاع



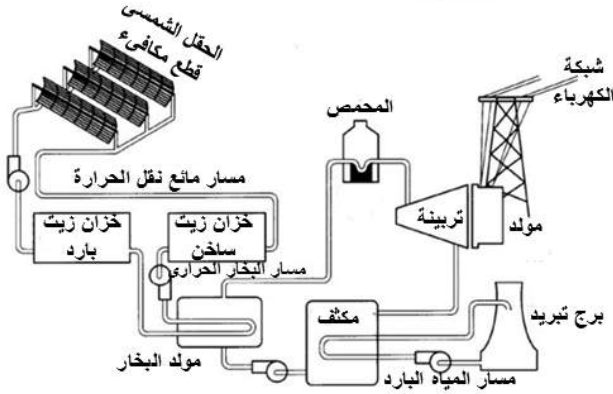
شكل (2) رسم خطى لنظام تحويل الطاقة الحرارية الشمسية



شكل (3) مكونات محطات مراكز قطع مكافئ شمسية لانتاج الطاقة الكهربائية

يتكون حقل المجمع من عدد كبير من مجمعات القطع المكافئ التي تتعقب الشمس من خلال محاور أحادية، مركبة في صفوف متوازية متجهه أفقيا

نحو الشمال / الجنوب وتتبع الشمس من الشرق إلى الغرب، للتأكد أن الشمس تتركز بصفة مستمرة على المستقبل الخطي. حيث يدور مائع نقل الحرارة خلال المستقبل والذي يسخن عن طريق الطاقة الشمسية ثم يمر في المبادلات الحرارية ويكمل الدائرة حتى الحصول على الكهرباء من خلال مجموعة القوى كما في شكل (4).



شكل (4) مكونات محطة إنتاج الكهرباء باستخدام مركزات شمسية قطع مكافئ

مكونات حقل شمسي قطع مكافئ

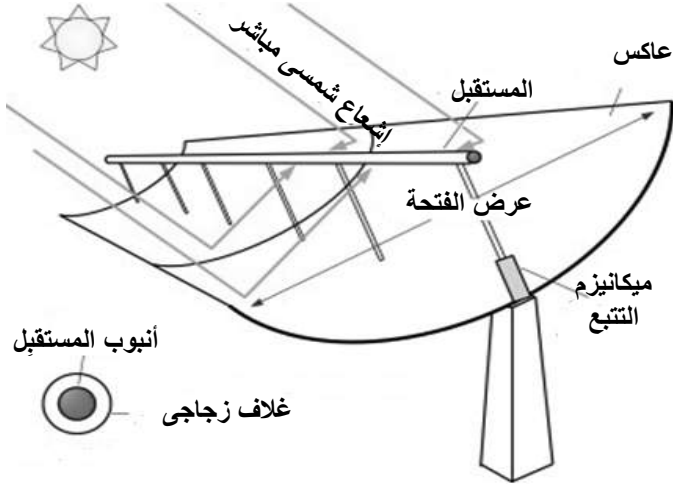
مجمع حوض قطع مكافئ (Parabolic Trough Collector) (PTC)

المجمع (collector) هو جهاز يستخدم لتحويل الطاقة الموجودة في أشعة الشمس أو الإشعاع الشمسي إلى صورة قابلة للإستخدام والتخزين (طاقة حرارية). يوضح شكل (5) مكونات مجمع حوض القطع المكافئ.

يتصف مجمع القطع المكافئ بـ :

- أن الأشعة الواردة والتي تكون موازية لمحور القطع المكافئ سيتم عكسها تجاه البؤرة بغض النظر عن مكان وصولها على القطع المكافئ.
- أن أشعة الضوء الشمسي والتي تصل إلى الأرض تكاد تكون متوازية، لذا إذا كان القطع المكافئ محاذياً مع محوره مشيراً إلى الشمس، فسيتم انعكاس كل من الأشعة الواردة (تقريباً) تجاه نقطة البؤرة للقطع المكافئ

- منعا لتشتت الأشعة المنعكسة بعيداً عن محور البؤرة أو لتفادي التقليل من كمية الأشعة المنعكسة بسبب التلوث (مثل الرمال والأتربة) يجب نظافة السطح العاكس دورياً.



شكل (5) مكونات مجمع حوض القطع المكافئ

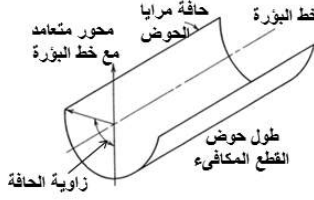
يوصف مجمع حوض القطع المكافئ بالمتغيرات الآتية:




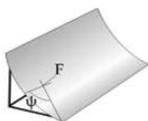
- طول حوض القطع المكافئ
- زاوية الحافة
- مساحة الفتحة
- طول (عرض) الفتحة
- مسافة البؤرة
- زاوية السقوط

يوضح شكل (6) تعريف متغيرات حوض قطع مكافئ

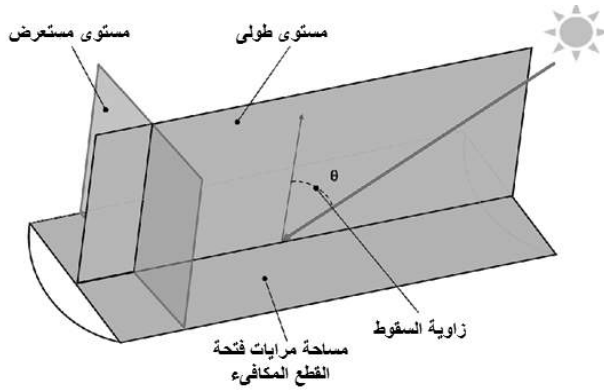
زاوية السقوط (θ) (incidence angle)

هي الزاوية بين شعاع مباشر من الشمس ومستوى فتحة مجمع حوض القطع المكافئ، والموضحة في شكل (7)



<p>طول حوض القطع المكافئ trough length</p> 	<p>طول البؤرة focal length</p> 
<p>عرض الفتحة aperture width</p> 	<p>زاوية الحافة rim angle</p> 

شكل (6) تعريف متغيرات حوض قطع مكافئ



شكل (7) زاوية السقوط

تعتمد قيمة زاوية السقوط على:

▪ موقع المحطة (خطى العرض والطول)

محطات قوي مجمعات حوض قطع مكافئ

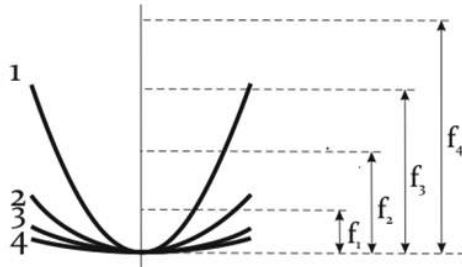
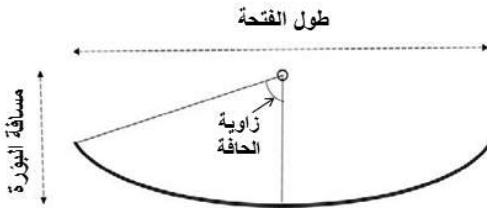
- اليوم في السنة
- الوقت في اليوم
- اتجاه التتبع

زاوية الحافة (Ψ) (rim angle)

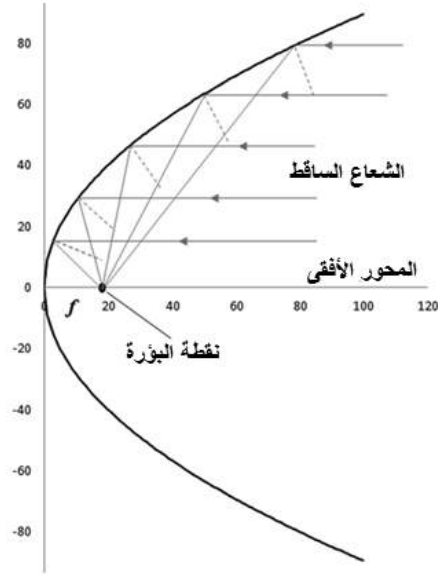
لمجمع حوض القطع المكافئ المسطح :

- لزاوية حافة أصغر - مسافة بؤرة أطول (focal length).
- عادة تكون حدود زاوية الحافة بين 70° & 115°
- تحتاج زاوية الحافة الأكبر إلى أسطح عاكسة أكبر لنفس مساحة الفتحة وبالتالي ارتفاع تكاليف المجمع وزيادة وزنه.
- تعتبر نسبة التركيز من أهم العوامل المؤثرة عند اختيار زاوية الحافة.
- تحتاج نسبة التركيز الأعلى إلى زاوية حافة أكبر من القيم الشائعة لزاوية الحافة 72.5°

يوضح شكل (8) العلاقة بين مسافة البؤرة ودرجة انحناء القطع المكافئ، عموماً في عاكس مجمع القطع مكافئ، تنعكس جميع الأشعة الموازية لمحور القطع المكافئ من خلال نقطة البؤرة (المحورية) (focal point) كما في شكل (9).



شكل (8) العلاقة بين مسافة البؤرة ودرجة إنحناء القطع المكافئ



شكل (9) تنعكس جميع الأشعة الموازية لمحور القطع المكافئ من خلال نقطة البؤرة

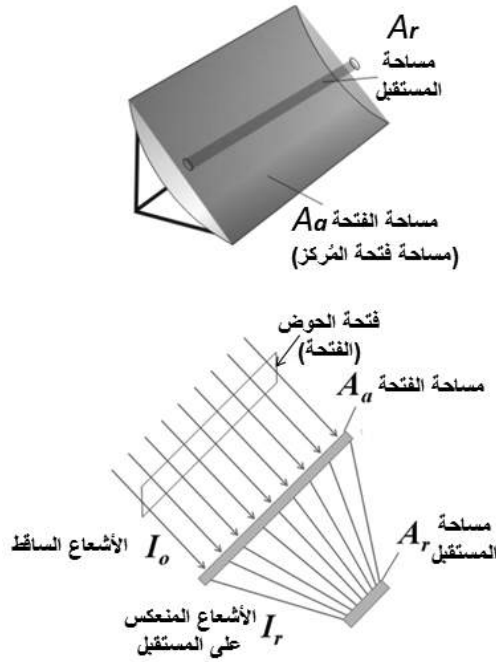
نسبة التركيز الهندسي (CRg) (geometric concentration ratio)

هي النسبة بين مساحة المُركِّز (مساحة فتحة الحوض) إلى مساحة المُستقبِل، كما في المعادلة التالية :

$$CRg = Aa / Ar \quad \text{أى أن:}$$

$$\text{نسبة التركيز} = (\text{مساحة فتحة الحوض}) / (\text{مساحة المُستقبِل})$$

يوضح شكل (10) تعريف لمساحة فتحة الحوض ومساحة المُستقبِل كذلك تمثيل لعملية تركيز الأشعة الضوئية.



شكل (10) تمثيل لعملية تركيز الأشعة الضوئية

وحدة نسبة التركيز (Solar concentration, concentration ratio)

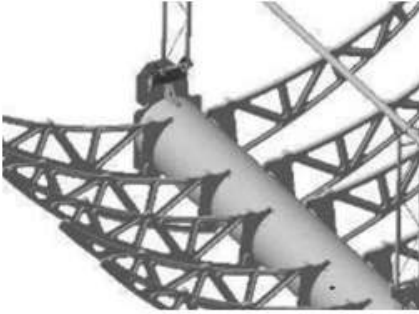
وحدة نسبة التركيز تكون: suns أو times أو folds والتي جميعها تعنى " تكرار أو عدد مرات " أو تكون النسبة بدون أى وحدة

- Measured in "suns" (the square of the magnification)
e.g.: 100-200 **suns**
- Or in times
e.g.: 500-1000 **times**
- Or in folds
e.g.: 100-200 **folds**
- Without unit
e.g.: 60-80

هيكل التثبيت (Supporting structure)

عبارة عن هيكل المجمع وتكون وظائفه:

- تثبيت المرايات العاكسة وأنبوب الامتصاص.
 - مراعاة تحمل الاجهادات الخارجية (مثلا تأثير الرياح).
 - السماح بدوران المجمع لتتبع الشمس بصفة مستمرة.
- يوجد العديد من التكنولوجيات التجارية لهياكل المجمع والتي تختلف في الطول وفتحة المجمع والمادة المستخدمة لتثبيت الحزم.
يوضح شكل (11) هيكل التثبيت المجمع



شكل (11) هيكل التثبيت المجمع

المرايات العاكسة (Reflecting mirror)

عبارة عن مرايا طولية مقعرة في شكل قطع مكافئ والتي تقوم بتركيز أكبر كمية متاحة من الاشعاع الشمسي على أنبوبة الامتصاص. أثناء النهار تتبع المرايا صعود الشمس وهبوطها للحصول على أحسن انعكاس، وأكثر العوامل المؤثرة على عمل المحطة هو الرياح.

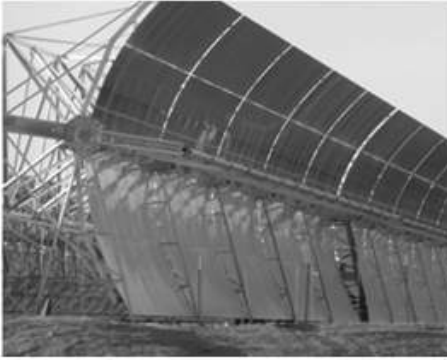
وتتمتاز المرايا بالاتي:

- انعكاسية عالية (96 / 90 %)
- خفيفة الوزن (سهولة التداول)
- كفاءة التيبس (القساوة) (stiffness) (أقل تدهور في المرايات عند التعرض لأحمال ديناميكية)
- المتانة
- أخطاء طيفي منخفض

الصلابة (Stiffness) (صلابة الغرض) - إلى أي مدى يقاوم التشوه استجابة للقوة المطبقة. والمفهوم التكميلي هو المرونة، كلما كان الغرض أكثر مرونة، كلما قلت قوته).

يوضح شكل (12) مرآة نصف اسطوانية مقعرة في حقل لوكهارد بالقرب من بحيرة هاربر، كاليفورنيا. ويوضح شكل (13) مكونات مرايا المجمع.

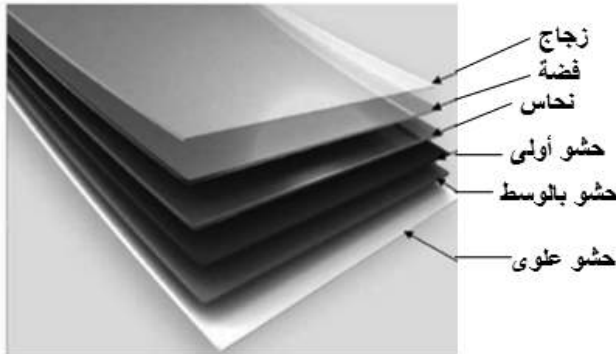
هيكل المجمع المحتوى على المرايا



تم تركيب جزء من المرايا



شكل (12) الصورة في الجانب الأيسر عبارة عن مرآة نصف اسطوانية مقعرة في حقل لوكهارد بالقرب من بحيرة هاربر، كاليفورنيا



شكل (13) مكونات مرايا المجمع

أنبوب الامتصاص (Absorber tube)

يكون موضعها في بؤرة القطع المكافئ كما في شكل (14)، (15) والتي تعمل علي تحويل الطاقة المصطادة (المنعكسة) إلي مائع نقل الحرارة (عمل المائع المار بداخل الأنبوب) يوضح شكل (16) أنبوب الامتصاص لمجمع حوض قطع مكافئ، ويؤخذ في الاعتبار الآتي:

- نوع معدن الأنبوب.
 - الطلاء المختار.
 - ثغرة هواء (air gap) بفراغ عالي والتي تعمل على :
 - الحد من مفقودات الحرارة بالتوصيل
 - حماية الطلاء من الأكسدة
 - أنبوب خارجي من الزجاج
- مثال لأنبوب الامتصاص : الطول 4 متر بسمك 70 مم

يصمم أنبوب الامتصاص بحيث تكون له أقصى خصائص بصرية (optical) وللوصول إلي أقصى كفاءة بصرية للمجمع يجب أن يؤخذ في الاعتبار:

• عامل النقل (transmissivity) لزجاج الأنبوية $\alpha = 93 / 97\%$ ح

• الامتصاصية (absorptivity) للدهان المختار $\alpha = 92 / 97\%$

(الامتصاصية هي تغلغل إحدى المواد في مادة أخرى)

لتقدير المفقودات الحرارية لأنبوب الامتصاص ، تكون المتغيرات الأساسية الهامة هي :

- آلية الفقد الأساسي هو مفقودات الإشعاع
- انبعاثية الطلاء المختار $\epsilon = f(T)$ وذلك لجميع التكنولوجيات والتي تزيد مع درجة الحرارة

(انبعاثية مادة ما (ϵ) Emissivity) هي القدرة النسبية لسطح المادة على إصدار الطاقة عن طريق الإشعاع وهي نسبة الطاقة المنبعثة من المادة إلى الطاقة

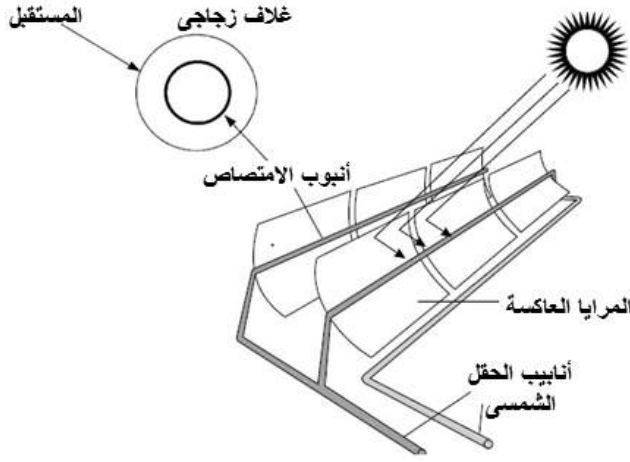
المنبعثة من الجسم الأسود عند درجة الحرارة نفسها. وهي قياس لقدرة المادة على اشعاع الطاقة الممتصة).

(الامتصاص (Absorptance) هو جزء من الإشعاع يمتص في طول موجة معين).

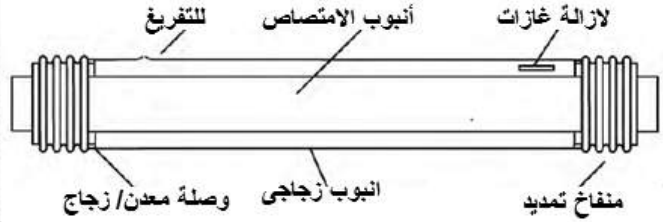
(النفاذية الشمسية (Solar transmittance) هي نسبة الإشعاع الشمسي الحادث عموديا على زجاج وتنتقل من خلاله).



شكل (14) موضع أنبوب الامتصاص في المجمع



شكل (15) موضع أنبوب الامتصاص في المجمع



شكل (16) أنبوب الامتصاص لمجمع حوض قطع مكافئ

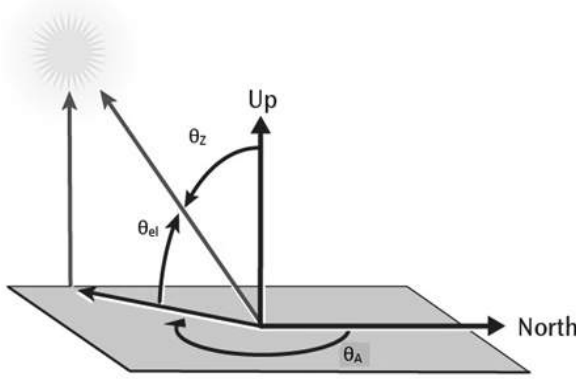
اتجاه الحقل الشمسي (solar field orientation)

لتحديد اتجاه الحقل الشمسي يلزم معرفة زوايا السمات والسمت الأفقي، ويوضح شكل (17) ذلك

$S = \theta_z =$ zenith angle, measured from vertical
= زاوية السمات

$Y = \theta_A =$ azimuth angle, measured from north
= زاوية السمات الأفقية

Θ_{el} = elevation angle, measured up from horizon
 = زاوية الارتفاع

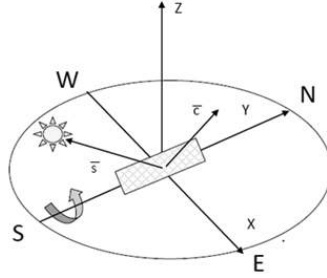
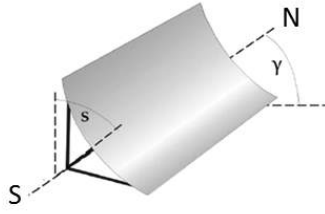


شكل (17) تعرف الزوايا

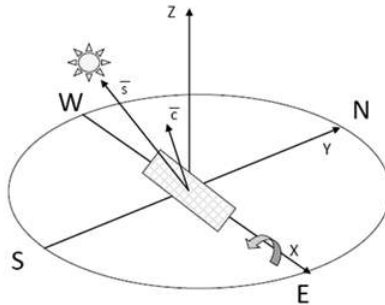
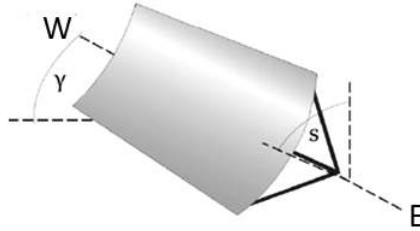
نظريا ، يمكن أن يكون الحقل الشمسي لحوض القطع المكافئ بمحطة CSP له أي اتجاه. وهذا محتمل دائما لأنه يتتبع (يتعقب) الشمس، ويوضح شكل (18) متعقب ميكانيكي بحوض القطع المكافئ. ومع ذلك ، يكون له اتجاه مفضل، حيث يكون ضبط المحور (alignment) شمال - جنوب ، مع الأخذ في الاعتبار أن التتبع (التعقب) يكون في اتجاه شرق - غرب، والموضح بشكل (19) كما يوضح شكل (20) ضبط المحور شرق - غرب، والتتبع (التعقب) في اتجاه شمال - جنوب



شكل (18) متعقب ميكانيكي بحوض القطع المكافئ



شكل (19) ضبط المحور شمال جنوب، والتتبع (التعقب) في اتجاه شرق غرب



شكل (20) ضبط المحور شرق - غرب، والتتبع (التعقب) في اتجاه شمال -

جنوب

محطات قوي مجمعات حوض قطع مكافئ

انتاج الطاقة الحرارية

- خلال السنة تختلف الطاقة الحرارية المنتجة إلى حد كبير من حقل شمسي قطع مكافئ تتجه محاوره بين الشمال والجنوب. حيث تكون الطاقة المنتجة أكثر من ثلاثة إلى أربعة أضعاف الطاقة المنتجة يوميا خلال أشهر الصيف مما كانت عليه في أشهر الشتاء. الطاقة الحرارية المنتجة من حقل شمسي تتجه محاوره من الشرق والغرب لا تختلف كثيرا من فصل الصيف إلى فصل الشتاء
- إن الإنتاج السنوي للطاقة الحرارية المنتجة من حقل شمسي تتجه محاوره من الشمال إلى الجنوب أكبر من ناتج حقل شمسي تتجه محاوره بين الشرق والغرب
- يعتمد حجم الحقل الشمسي على الطاقة الكهربائية الأسمية لمجموعة القوى و أيضا على وجود أو عدم وجود نظام لتخزين الطاقة الحرارية وعلى قدرتها

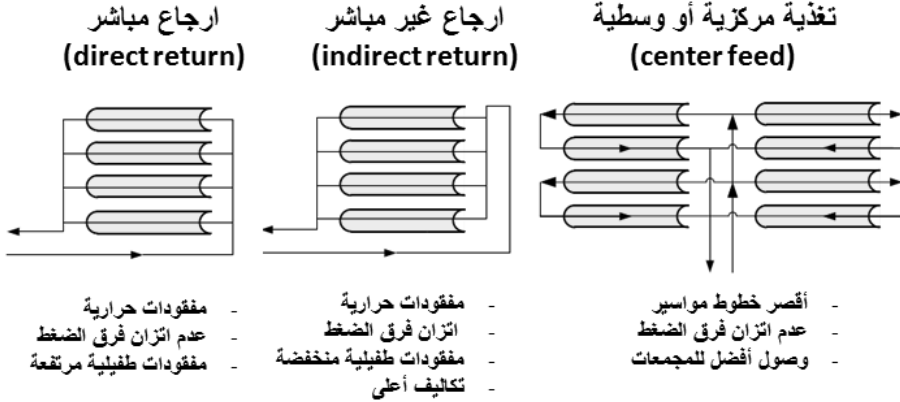
طرق ترتيب مجمعات حوض القطع المكافئ بالحقل الشمسي (Layouts for PTC Solar fields)

لأنظمة حوض القطع المكافئ الكبيرة تجاريا والتي لها أكثر من 80 Km مجمعات، توزع المجمعات في عدد كبير من الصفوف المتوازية. من الضروري الإهتمام بطرق توصيل و ترتيب المصفوفات و مواسير الحقل الشمسي، و ذلك للحفاظ على الانخفاض النسبي لكل من مفقودات الضغط و مفقودات استهلاك الكهرباء الطفيلي (parasitic electricity consumption) و هو فقد غير مرغوب فيه و يؤدي إلى فقد الطاقة أو حدوث مشاكل في قيم المتغيرات الكهربائية والذي ينتج أيضا من الأجزاء المتحركة في الحوض نفسه.

يوجد ثلاث طرق رئيسية للترتيب، والموضحة بشكل (21)، هي:

- ارجاع مباشر (direct return).
- ارجاع عكس (reverse return) (أو ارجاع غير مباشر indirect return)
- تغذية مركزية أو وسطية (center feed).

في جميع هذه الطرق نجد أن مواسير المخرج الساخنة تكون أقل طولاً من مواسير المدخل البارد و ذلك للوصول لأدنى مفقودات حرارية.



شكل (21) أنواع ترتيب مجمعات حوض القطع المكافئ بالحقل الشمسي

يكون ترتيب مواسير طريقة "الإرجاع المباشر" هو الأبسط و الأكثر إنتشاراً في الحقول الشمسية الصغيرة. ومن العيوب الرئيسية في هذه الطريقة وجود إختلاف كبير في الضغط بين مداخل الصفوف المتوازية. لذلك يضاف بلوف (valves) يدوية فيها و ذلك للحفاظ على ثبات السريان في كل صف. تسبب هذه البلوف هبوط إضافي في ضغط الحقل الشمسي، و يظهر تأثيره في الفقد الكلي لضغط النظام.

النتيجة النهائية مفقودات طاقة طفيلية اعلى من طريقة ترتيب " الإرجاع العكسي" حيث يدخل المائع مصفوفة المجمعات عند النهاية العكسية (المقابلة)، و يكون للصفوف ذات أنابيب المدخل الأطول، أنابيب مخرج أقصر، أي لإتزان أفضل لهبوط الضغط مشارك في كل صف. و لذا، يكون الطول الكلي للمواسير في طريقة " الإرجاع العكسي" أطول من طريقة "الإرجاع المباشر" أي مفقودات حرارية أعلى، على الرغم من أن هذا يعتمد بشدة على درجة حرارة مدخل الحقل الشمسي.

إذا كانت درجة الحرارة منخفضة، عندئذ تهمل المفقودات الحرارية الإضافية. إضافة أطوال للمواسير تعني تكاليف أكثر لإستخدام مواد عازلة أكثر و مهمات

للمائع أكثر.

في طريقة ترتيب أنابيب "الإرجاع العكسي" ، يجب التأكد من السريان المنتظم الكامل الموزع بين كل صفوف التوازي بدون إستخدام بلوف، و لضمان ثبات سرعة المائع يكون إرتفاع أنابيب الممرات الصاعدة (header pipes) أقل من المقاس عند المدخل، و أكبر من المقاس عند المخرج.

يعتبر ترتيب "التغذية المركزية" هو الترتيب الأكثر شيوعا في الحقول الشمسية الكبيرة. و يشبه تصميم "الإرجاع المباشر" من حيث أن فقد الضغط في الحقل الشمسي يكون أعلى إذا وضعت بلوف الإتزان عند مدخل الصف. وفي هذه الطريقة تستخدم أقل مواسير لعدم وجود أنابيب بطول صف المجمعات. بالإضافة إلى إمكانية إقتراب الأنابيب المباشر لصفوف كل مجمع بدون الإحتياج لترتيب مواسير تحت الأرض. وتعتبر هذه هي الميزة الأهم لترتيب "التغذية المركزية" لأن الإقتراب من الحقل الشمسي يكون ضروريا لغسل المجمعات.

و بما أن البلوف اليدوية تتركب عند مداخل و مخارج كل صف بغرض الصيانة، فإنه يمكن إستخدامها لإتزان هبوط الضغط في الصفوف المتوازية مع عدم وجود تكاليف إضافية. لكل ما سبق يكون نظام ترتيب "التغذية المركزية" هو الإختيار المفضل للحقول الشمسية بمحطات حوض القطع المكافئ الكبيرة (PTC) (Parabolic Trough Collectors)

ويجب أيضا مراعاة أن تكون تركيبات المواسير جيدة، لأن الكفاءة الكلية تنخفض في حالة عدم كفاية العزل الحراري. إن طول المواسير يسبب زيادة المفقودات الحرارية و بالتالي يخفض كمية الطاقة الحرارية المفيدة و اللازمة لمجموعة القوى (PB). و يجب تخفيف القناطر الحرارية (thermal bridges) المستخدمة لتثبيت الأنابيب والمكونات الأخرى (مثل خزانات الزيت، الطلمبات،...) لنفس السبب.

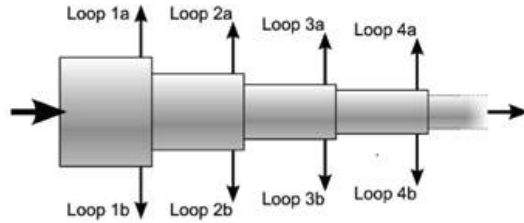
من التركيبات الهامة في الحقل الشمسي لنظام PTC إستخدام بلوف صرف (drain) و بلوف تهوية (venting). تقوم بلوف التهوية بضمان عدم وجود فقاعات هوائية متبقية داخل المواسير بعد ملئها بمائع الزيت الحراري للتشغيل، بينما يستخدم بلوف الصرف لأعمال الصيانة لجزء من المواسير لتفريغها من

محطات قوي مجمعات حوض قطع مكافئ

المائع و عمل الإصلاحات اللازمة.
و لأن الزيت الحراري يشتعل عند درجات الحرارة العالية، يجب عدم الإصلاح أو عمل لحامات لأجزاء المواسير إلا بعد الصرف الكامل مع ملئها بغاز خالي من الأكسجين.

خصائص المواسير (Piping Characteristics)

- تتغير أقطار مواسير التوصيل بعد كل حلقة (loop) (نظريا)، كما بشكل (22)
- أفضل مقياس للمواسير يتم بمقارنة التكاليف الإستثمارية (المواد) و تكاليف التشغيل (قدرة الضخ pumping power).
- يحتاج لإضافة عدة أمتار زيادة للمواسير لتعويض التمدد الحراري للسماح بالدخول لكل حلقة (loop).
- يتم ضبط قطر الممرات الصاعدة للحفاظ على أفضل سرعات سريان ويكون القطر الأصغر للصفوف الفرعية بالحقل الشمسي.



شكل (22) أقطار مواسير التوصيل بعد كل حلقة

مكونات مركزات حوض القطع المكافئ

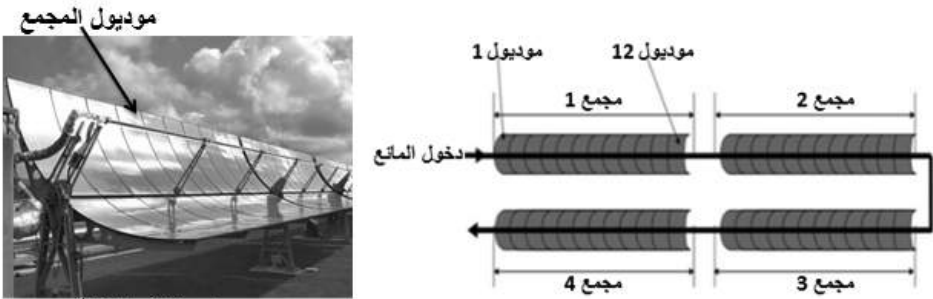
عادة يتكون شكل القطع المكافئ من أربعة جهات مرايا، عبارة عن شرائح زجاج (تخانة 4mm) منحنية حرارياً، مغطاة بطبقة من معدن الفضة العاكس مضافاً إليه طبقات حماية من خلف معدن الفضة.
يكون المكون الأساسي بالمجمع هو الموديول (collector module) وغالباً يجمع 12 موديول لتكوين مصفوفة مجمع شمسي واحد والذي يعرف بـ (SCA):

- Solar Collector Assembly
- Solar Collector Array

يوضح شكل (23) موديل ومصفوفة مجمع حوض القطع المكافئ ويوضح شكل (24) مكونات مركزات حوض القطع المكافئ بالحقل الشمسي من أول الشركات التي أنتجت مجمعات حوض القطع المكافئ :
American- Israeli company Luz industries Ltd.
وأخذت المنتجات الأسماء التالية:

- مجمع Euro Trough (ET) مقاس 150m,100m
- مجمعات طرازات : LS-3 & LS-2&LS-1

يبين جدول (2) البيانات الهندسية والبصرية لمجمعات حوض القطع المكافئ



مجمع حوض القطع المكافئ

شكل (23) موديل ومصفوفة مجمع حوض القطع المكافئ



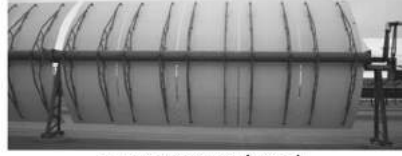
شكل (24) مكونات مركزات حوض القطع المكافئ بالحقل الشمسي

جدول (2) البيانات الهندسية والبصرية لمجمعات حوض القطع المكافئ

أقصى كفاءة بصرية (%)	التركيز الهندسي	قطر المستقبل (m)	مساحة المرايا (m ²)	طول المجمع (m)	طول العنصر (الموديول) (m)	مسافة البؤرة (m)	عرض الفتحة (m)	طراز المجمع
71	61:1	0.04	128	50.2	6.3	0.94	2.55	LS-1
76	71:1	0.07	235	49.0	8.0	1.49	5.00	LS-2
80	82:1	0.07	545	99.0	12.0	1.71	5.76	LS-3
78	50:1	0.04	424	49.0	6.1	0.76	2.30	IST
80	82:1	0.07	817	150.0	12.0	1.71	5.76	Euro trough
77	75:1	0.08	750	115.0	13.9	1.71	6.00	Sky trough

حيث :

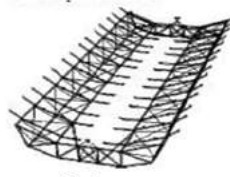
- عرض الفتحة (Aperture width)
- مسافة البؤرة (Focal length)
- طول الموديول (Length/element (module))
- قطر المستقبل (Receiver diameter)
- مساحه المرايا (Mirror area)
- التركيز الهندسي (Geometric concentration)
- طول المجمع (Length/ collector)
- IST: industrial solar technology



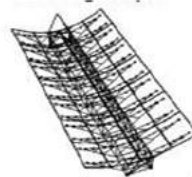
Luz System 2 (LS-2)



Luz System 3 (LS-3)



LS-3



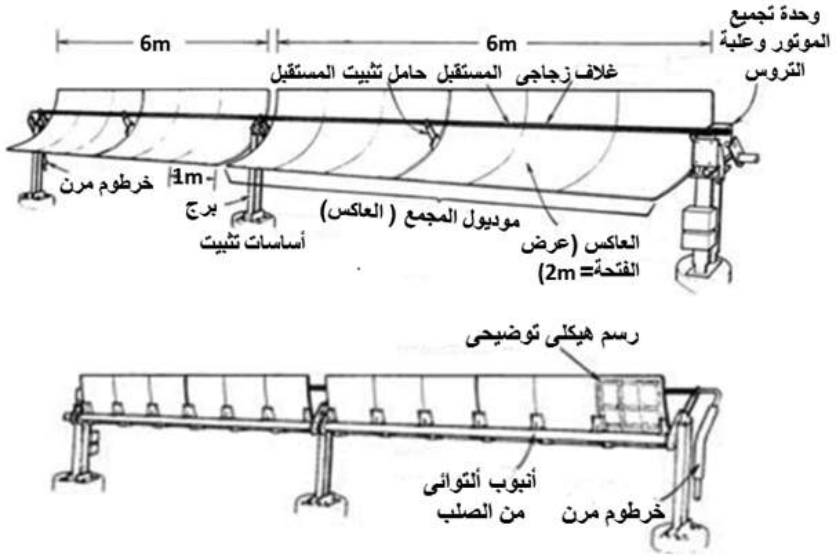
Euro Trough

شكل (25) مجمعات طرازات مختلفة

يوضح شكل (25) مجمعات طرازات مختلفة
يوضح شكل (26) مثال لمكونات موديول مصفوفة مجمع شمسي يتكون من
مرايات زجاجية مرتبة كالآتي: 4 صفوف كل صف يحتوي على 7 مرايات
(كمثال : مفاص المرايا $1.7 \text{ m} \times 1.6 \text{ m}$ وسمك $4 - 5 \text{ mm}$)
ويوضح شكل (27) مكونات تفصيلية لمركزات حوض القطع المكافئ



شكل (26) مثال
لمكونات موديول
مصفوف



شكل (27) مكونات تفصيلية لمركزات حوض القطع المكافئ

تصميم حقل شمسي "حوض قطع مكافئ"

توجد ثلاث مراحل لتصميم حقل شمسي:

المرحلة (1): تعريف نقطة التصميم (design point)، و التي تفرض عندها قيم التصميم.

المرحلة (2): حساب عدد المجمعات المتصلة على التوالي في كل صف متوازي.

المرحلة (3): حساب عدد الصفوف المتصلة على التوازي في الحقل الشمسي. فيما يلي توضيح ذلك:

يجب على مصمم الحقل الشمسي ألا يأخذ في الإعتبار حالات الطقس المحلية فحسب، بل يؤخذ أيضا في الإعتبار متغيرات تصميم حوض القطع المكافئ للمحطة، بالإضافة لأية مواصفات للعميل لأن الإشعاع الشمسي ليس مصدر طاقة ثابت، لذا فإن المخرج الحراري للحقل الشمسي ليس ثابتا أيضا. هذا يعني

أن الطاقة الحرارية الموردة من الحقل الشمسي أحيانا تكون أقل أو أعلى من قيم التصميم.

عموما ينتج الحقل الشمسي مخرج حراري اسمي (nominal thermal) عندما يكون كل من المتغيرات و حالات التشغيل مماثلة للقيم المفروضة عند نقطة التصميم.

المتغيرات و حالات التشغيل المطلوب تحديدها عند نقطة التصميم هي:

- إتجاه المجمع
- بيانات نقطة التصميم (الشهر – اليوم) و الزمن
- الموقع (خطي الطول و العرض)
- الإشعاع الشمسي المباشر و درجة الحرارة المحيطة للزمن و التاريخ المختار
- طاقة المخرج الحرارية الكلية الصادرة من الحقل الشمسي
- عامل إتساخ (soiling factor) للحقل الشمسي
- درجات حرارة مدخل و مخرج الحقل الشمسي
- نوع المائع
- معدل السريان الإسمي للمائع

كما يجب الأخذ في الإعتبار الأداء الموسمي تبعا للإتجاهات المختلفة، وعلى المصمم إختيار أفضل إتجاه للمحطة الشمسية، إعتادا على طلب المخرج الحراري و الإحداثيات الجغرافية للموقع. جميع المحطات الحرارية الشمسية التي تحتاج للحصول على أقصى إنتاج طاقة كهربائية سنويا تستخدم حاليا مجمعات متجهة " شمال – جنوب" و بذلك تحصل على أقصى طاقة كهربائية عند ساعات الذروة في أشهر الصيف.

عادة يختار زمن ووقت نقطة التصميم ليوم صيفي عند الظهيرة (مثلا يوم 21 يونيو في النصف الشمالي من الكرة الأرضية) لأن المخرج الحراري للمجمعات المتجهة شمال – جنوب تكون أقصى عند هذا الزمن و التاريخ. إذا صمم الحقل الشمسي عند يوم شتوي، عندئذ يكون من الضروري الإحتياج لنظام تخزين حراري كبير و ذلك لتجنب زيادة الطاقة الحرارية الناتجة في الصيف.

بمجرد تحديد وقت وتاريخ نقطة التصميم، وتحديد العميل للموقع الجغرافي، يجب عندئذ على المصمم فرض حالات الطقس (مثلا الإشعاع الشمسي المباشر و درجة الحرارة المحيطة) عند نقطة التصميم. يجب فرض الطاقة الحرارية الإسمية المصدرة من الحقل الشمسي و كذلك درجات حرارة المدخل/المخرج للحقل والتي تغذي مجموعة القوى أو عمليات صناعية حرارية. تتراوح درجات حرارة المدخل / المخرج للمحطات الحرارية الشمسية تقريبا بين 393°C و 293 °C ، لأن الزيوت الحرارية المستخدمة كمانع تشغيل تتحلل بسرعة عند درجة حرارة أعلى من 398°C ، و تكون أقصى كفاءة كلية للمحطة عند خطوة درجة حرارة حوالي 100°C في الحقل الشمسي.

إختيار مانع التحويل الحراري

يعتبر إختيار مانع التحويل الحراري لحقل شمسي "حوض قطع مكافئ" من الأهمية في مرحلة التصميم. من الشائع إستخدام الزيت الحراري في مجمعات حوض القطع المكافئ لدرجات الحرارة أعلى من 200°C . يمكن إستخدام المياه كسائل بضغطه إلى قيمة أعلى من ضغط التشبع المطلوب داخل أنابيب المستقبل و المواسير عند درجات حرارة التشغيل هذه، و التي تحتاج مواسير و نقط ربط أقوى و بالتالي إرتفاع تكاليف المجمعات و الحقل الشمسي.

لدرجات الحرارة أقل من 200°C، إما يستخدم خليط من المياه / جليكول الإثيلين (ethylene glycol) أو مياه سائل مضغوط، كمانع تشغيل لأن المطلوب الحفاظ على المائع عند ضغط متوسط في المرحلة السائلة.

توجد زيوت حرارية متعددة تستخدم كمانع لتحويل الحرارة لمجمعات حوض القطع المكافئ. يجب إختيار النوع المناسب من الزيت، و الذي له أقصى درجة حرارة (max bulk temperature) مع ضمان الصانع بإستقرار الزيت. و الزيوت الأكثر شيوعا و المستخدمة في مجمعات حوض القطع المكافئ و التي تصل درجة حرارتها إلى 395°C هي خليط من:

- 73.5% diphenyl oxide

- 26.5 % diphenyl (Dowtherm A or VP-1 thermal oil)

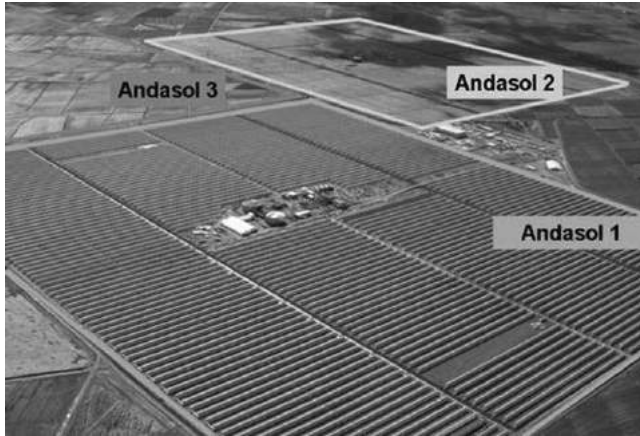
هذه الزيوت لها نقطة إنصهار بالغة الحد الأدنى من الإنخفاض.

تكون المشكلة الرئيسية لهذا النوع من الزيت أن له درجة حرارة تبلور عالية (crystallization temperature) 12° C ، و لذا تحتاج إلى نظام حرارة

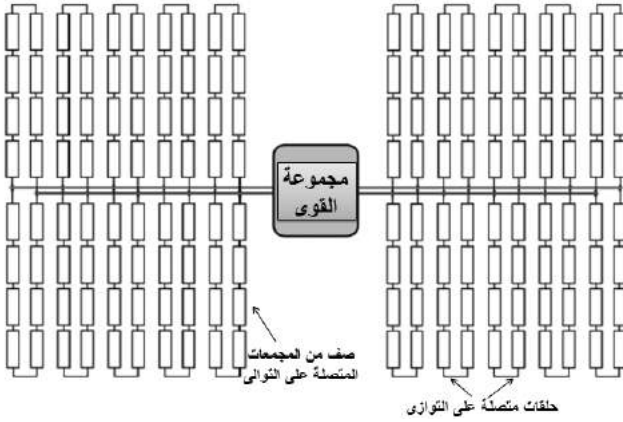
مساعدة إذا إنخفضت درجة حرارة زيت الأنابيب إلى أقل من هذه الحدود. توجد أنواع أخرى من الزيوت الحرارية لها درجات تشغيل أعلى قليلا و درجة حرارة تجمد (solidification) أقل (مثل Syltherm 800)، و هي زيوت مرتفعة التكاليف.

توصيل المجمعات بالحقل الشمسي

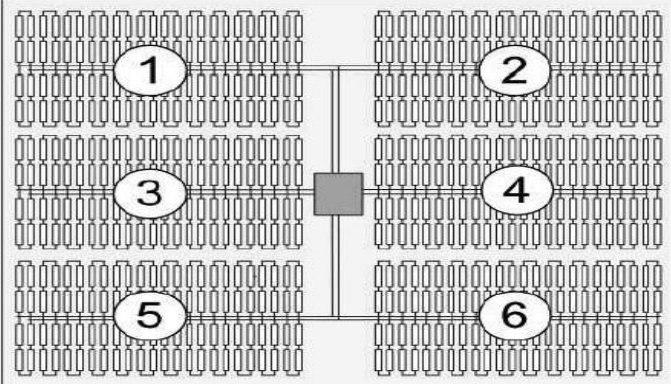
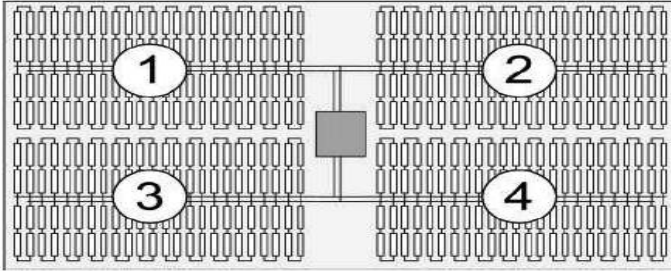
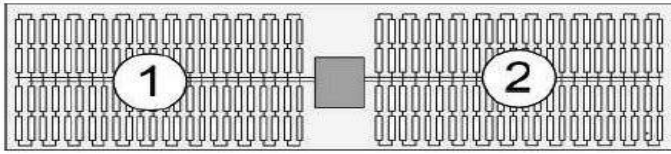
يتكون الحقل الشمسي من عدد كبير من المجمعات، في شكل حلقات متصلة على التوازي و كل حلقة تتكون من صفين تحتوي على مجمعات متصلة على التوالي. يبين شكل (28) حقل شمسي لمحطة من أول محطات المركزات الشمسية التجارية (حوض القطع المكافئ) بأسبانيا بسعة 150 MW ويوضح شكل (29) تمثيل لصفوف وحلقات لمجمعات بحقل شمسي. تقسم مجمعات الحقل الشمسي إلى قطاعين أو أربعة قطاعات أو ستة قطاعات اعتمادا على حجم الحقل، الشكل (30) يوضح تقسيم المجال الشمسي إلى قطاعات.



شكل (28) من أول محطات المركزات الشمسية التجارية (حوض القطع المكافئ) بأسبانيا بسعة 150 MW



شكل (29) تمثيل
لصفوف وحلقات
لمجمعات بحقل شمسي



شكل (30) تقسيم
المجال الشمسي إلى
قطاعات

أ - المجمعات المتصلة على التوالي في الصف

يعتمد عدد المجمعات المتصلة على التوالي لكل صف على سريان الكتلة الإسمي / صف (nominal mass flow / row)، كلما كان السريان أعلى كلما كان عدد المجمعات المتصلة على التوالي أكثر، وذلك لإجتياز الإختلاف الإسمي لدرجة الحرارة بين مدخل و مخرج الصف. إن سبب إستخدام عدد كبير من المجمعات متصلة على التوالي في الصف، هو أن المجمع الواحد لا يكون له القدرة على تجهيز إختلاف درجة حرارة عالية بالكفاية إذا كان سريان الكتلة مائع التشغيل عالي بالكفاية لضمان عامل تحويل حرارة جيد.

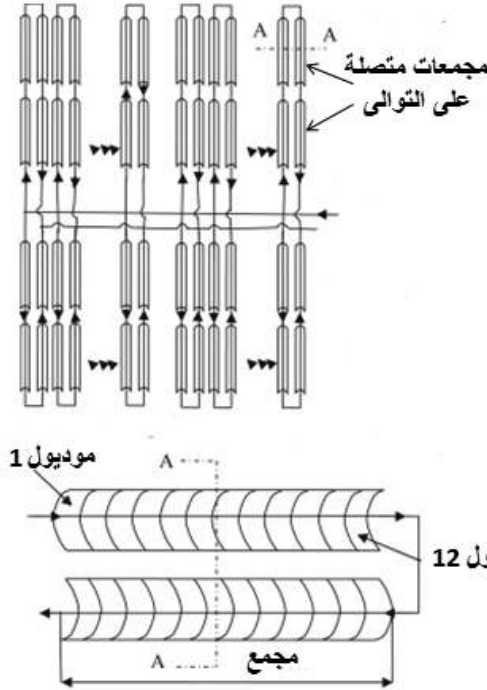
يقابل سريان الكتلة العالية إختلاف درجة حرارة أقل و التي تجهز بمجمع حوض قطع مكافئ واحد عند نقطة التصميم.

و عليه نحصل على عدد المجمعات المتصلة على التوالي في كل صف بقسمة، إختلاف درجة الحرارة بين مدخل و مخرج الحقل الشمسي، على إختلاف درجة الحرارة التي يمكن الحصول عليها من مجمع واحد عند نقطة التصميم.

كمثال يستخدم غالبا في مجمعات حوض القطع المكافئ حاليا طراز EuroTrough-150 و الذي يصنف بالآتي:

- طول الصف 600 متر (يحتوي على 4 مجمعات بطول 150 متر أو 6 مجمعات بطول 100 متر متصلين على التوالي)
- سريان الكتلة للزيت الحراري المطلوب لزيادة درجة الحرارة بـ 100°C في صف المجمعات و التي تقابل توصيات إنخفاض الضغط و معامل تحويل الحرارة مع تكاليف مناسبة للأنايب
- تكون نقطة التصميم لسريان كتلة المائع لكل صف حوالي 5Kg/s و مرحلة درجة الحرارة لكل مجمع 25°C

ويوضح شكل (31) مجمعات متصلة على التوالي وتوصيل صفيين مجمعات في حلقة واحدة ومكونات المجمع من 12 موديول



شكل (31) توصيل صفين مجمعات في حلقة واحدة

ب- الصفوف المتصلة على التوازي

بعد تحديد عدد المجمعات المتصلة على التوازي بالصف، يتم تحديد عدد الصفوف المتصلة على التوازي بالحقل. يعتمد عدد الصفوف على القدرة الحرارية المطلوبة لتغذية العمليات الصناعية المستهدفة.

ببساطة يحدد عدد الصفوف كالتالي: (القدرة الحرارية المنتجة من الحقل الشمسي / القدرة الحرارية الموردة من صف واحد عند نقطة التصميم)

يلاحظ أن لمحطتي مركزات شمسية حرارية لها نفس القدرة، يختلف مقياس الحقل الشمسي لكل منهما اعتماداً على وجود تخزين حراري أم لا.

وعلى سبيل المثال:

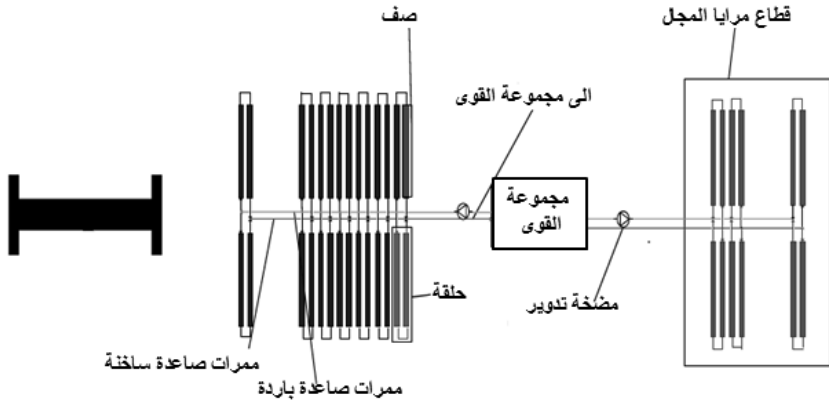
- محطة مركزات شمسية قدرة 50 MW تحتوي على نظام تخزين حراري

بطاقة 1GWh، يتكون الحقل من 155 صف، كل صف يحتوي على 4 مجمعات، و مساحة المجمعات الكلية 510000 متر مربع.

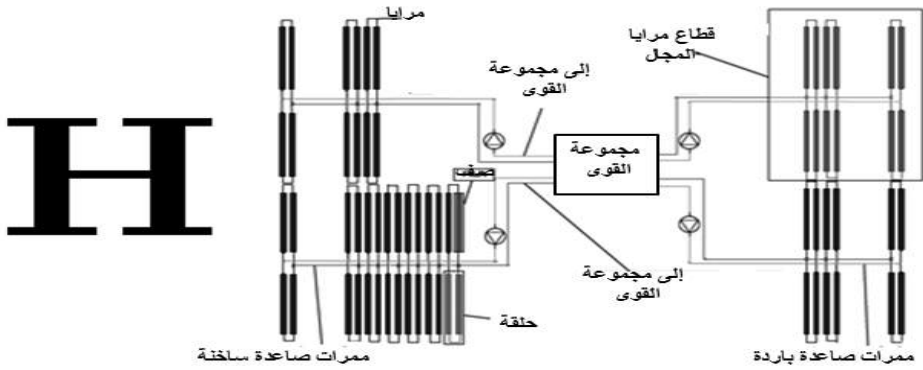
- محطة مركزات شمسية قدرة 50 MW لا تحتوي على نظام تخزين حراري، يتكون الحقل من 88 صف، كل صف يحتوي على 4 مجمعات ، و مساحة المجمعات الكلية 288000 متر مربع.

سبب هذا الإختلاف أن حقل المحطة الشمسية المركزية المحتوية على نظام تخزين حراري لا يغذي فقط مجموعة القدرة (PB) بالطاقة الحرارية و لكن يقوم أيضا بتغذية نظام التخزين الحراري حتى يحافظ على تشغيل مجموعة القدرة بالحمل الكامل لمدة 7.5 ساعة بعد غروب الشمس. أي أنه بالرغم من نفس القدرة المقننة لكنتا المحطتين إلا أن الحقل الشمسي لكل منهما يختلف واقعيًا ، بالإضافة لإختلاف عدد ساعات التشغيل السنوية.

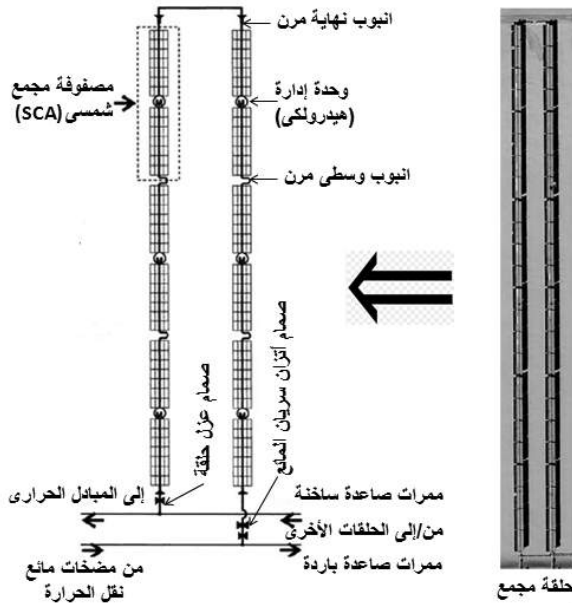
ويمكن ترتيب مكونات الحقل الشمسي على شكل حرف (I) أو حرف (H) ويوضح شكل (32) ترتيبية مجال شمسي على شكل حرف (I)، وفيه معدل السريان الكلي مقسم على القطاعين ويوضح شكل (33) ترتيبية مجال شمسي على شكل حرف (H)، وفيه معدل السريان الكلي مقسم على 4 قطاعات، و يبين شكل (34) مكونات تفصيلية لحلقة مجمع



شكل (32) ترتيبية مجال شمسي على شكل حرف (I)



شكل (33) ترتيبية مجال شمسي على شكل حرف (H)



شكل (34) مكونات تفصيلية لحلقه مجمع

حساب حجم الحقل الشمسي و القدرة المقنتة للمحطة يتم تحديد العاملين الآتيين أولاً:

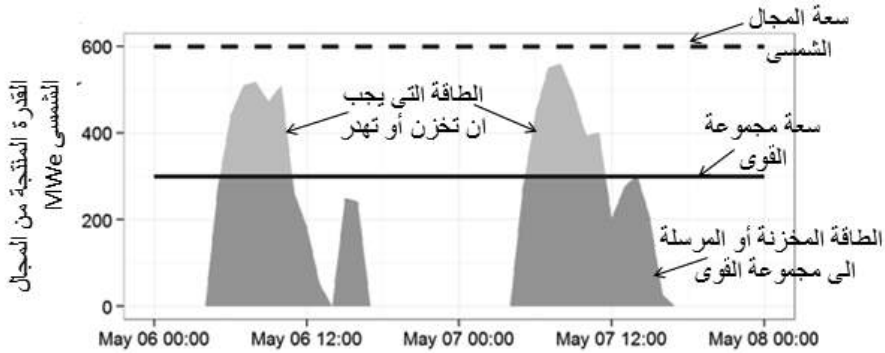
1- المضاعف الشمسي (Solar Multiple) (SM)

هو النسبة بين المخرج الحراري للحقل الشمسي عند نقطة التصميم (تعرف عادة نقطة التصميم بأنها نقطة الظهيرة في يوم صيف في نصف الكرة الشمالي) و الطاقة الحرارية المطلوبة لتغذية مجموعة القوى (PB) عند القدرة الاسمية. و عليه فإن الحقل الشمسي الآن يستخدم مضاعفا شمسيا أكبر لنفس مقنن مجموع القوى (PB).

كمثال للمحطات الشمسية قدرة 50 MW عند نفس خط العرض الجغرافي

- في حالة عدم وجود نظام تخزين حراري فإن $SM = 1.15$:
- في حالة وجود نظام تخزين حراري (1GWh) فإن $SM = 2$

يوضح شكل (35) محطة مركزات شمسية بها مقنن مجموعة القوى 300 MW ولها $SM = 2$ أى أن أقصى طاقة كهرباء حرارية منتجة من الحقل الشمسي ضعف المقنن الحراري لمجموعة القوى، هذه الزيادة تخزن في حالة وجود نظام تخزين أو تهدر في حالة عدم وجود نظام تخزين.



شكل (35) التغير في الطاقة الكهربائية الحرارية المنتجة من الحقل الشمسي خلال يومين

2- عامل السعة (capacity factor)

هو النسبة بين عدد الساعات المكافئة سنويا فقط عند الحمل الشمسي الكامل، و أقصى عدد ساعات تشغيل للمحطة (365 day*24 hr= 8760 hr). مع ملاحظة أن لانظمة التخزين الحراري تزيد عدد ساعات التشغيل، و لذا يكون عامل السعة لمحطة تحتوي على تخزين حراري أكبر منه للمحطة غير المحتوية على تخزين حراري. مثلا لمحطة مركزات شمسية قدرة 50 MW وتخزين حراري 1 GWh فإن عامل السعة يساوي 0.4 بينما يساوي 0.22 في حالة عدم وجود تخزين حراري.

تحديد مكونات ترتيبية مجمعات الحقل الشمسي

لتحديد عدد وترتيب مجمعات الحقل الشمسي تتبع الخطوات التالية :

1. حساب الحرارة المكتسبة المفيدة للمجمع الواحد (KW)
2. حساب درجة حرارة مخرج مجمع واحد (°C)
3. حساب الطاقة الحرارية الكلية من الحقل الشمسي (KWth)
4. حساب ترتيبية المجمعات للحقل الشمسي (عدد الحلقات والطاقة الحرارية الكلية)

فيما يلي توضيح كل خطوة :

(1) حساب الحرارة المكتسبة المفيدة للمجمع الواحد:

$$Q_u = F_R A_a [S - (A_r / A_a) U_L (T_i - T_a)]$$

حيث

- Q_u = الحرارة المكتسبة المفيدة (useful heat gained) (KW لكل مجمع)
 F_R = عامل تحريك الحرارة بالمجمع (collector heat removal factor)
 A_a = مساحه فتحة المركز (aperture area of concentrator) (m^2)
 A_r = مساحه المستقبل (receiver area) (m^2)
 S = الإشعاع الشمسي الممتص (absorbed solar radiation) (w / m^2)
= الإشعاع الساقط على الموقع المختار عند نقطة التصميم

U_L = معامل فقد الحرارة (Heat loss coefficient) ($w / m^2 \cdot ^\circ C$)
 T_i = درجة حرارة مدخل المائع (fluid inlet temperature) ($^\circ C$)
 T_a = درجة الحرارة المحيطة (ambient temperature) ($^\circ C$)

**عامل تحريك الحرارة بالمجمع (F_R)
 (Collector heat removal factor)**

يعرف هذا العامل بأنه نسبة الطاقة المفيدة المحسوبة باستخدام $(T_i - T_a)$ إلى الطاقة المفيدة المحسوبة باستخدام $(T_{pm} - T_a)$ أو هو النسبة بين الحرارة المنقولة الفعلية إلى أقصى حرارة منقولة ممكنة. وتكون قيمة هذا العامل > 1 (وليس له وحدة) حيث:

T_{pm} = متوسط درجة حرارة الممتص ($^\circ C$) (absorber)
 (2) حساب درجة حرارة مخرج مجمع واحد

$$T_o = T_i + Q_u / \dot{m} c_p$$

حيث

T_o = درجة حرارة المخرج (outlet temperature) ($^\circ C$)
 T_i = درجة حرارة المدخل (inlet temperature) ($^\circ C$)
 \dot{m} = معدل سريان كتلة مائع نقل الحرارة (mass flow rate of HTF) (kg/s)
 c_p = سعة الحرارة النوعية لمائع نقل الحرارة (specific heat capacity of HTF) ($J/kg \cdot ^\circ C$)

فيما يلي بعض الأمثلة وحلها لحساب عدد من المتغيرات المطلوبة، فإذا أخذنا مثال لحساب عدد المجمعات اللازمة للحصول على ارتفاع في درجة حرارة المدخل بـ $100^\circ C$ وذلك باستخدام بيانات المجمع الآتية:

$$T_i = 239^\circ C$$

$$\dot{m} = 8 kg/s$$

$$Q_u = 550 (Kw / collector)$$

$$Kwh = 3.6 \times 10^3 KJ$$

$$c_p = 2450 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C} = 2.45 \times 3.6 \times 10^3 \text{ kWh/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

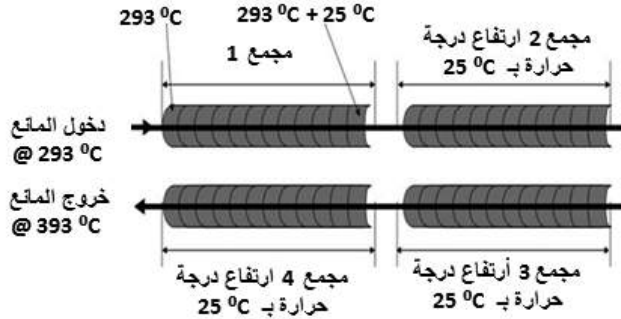
فإننا يجب ان نتبع الخطوات التالية :

$$\begin{aligned} T_o &= 239 + \frac{(550 \text{ kw})}{(8 \text{ kg/s})(2450 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})} \\ &= 239 + \frac{(550 \text{ kw})}{\left(\frac{8 \text{ kg}}{(60 \times 60) \text{ hr}}\right)(2.45 \times 3.6 \times 10^3 \text{ kWh/kg} \cdot ^\circ\text{C})} \\ &= 239 + 28 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

أي ترتفع درجة حرارة مخرج المجمع ب 28°C عن درجة حرارة المدخل وهي 239°C وحيث أن المطلوب زياده درجة الحرارة ب 100°C إذن

$$100^\circ\text{C} / 28^\circ\text{C} = 3.5 \text{ عدد المجمعات المطلوبة}$$

لذا يختار عدد المجمعات = 4 كما في شكل (36)



شكل (36) حلقة مجمعات ترفع درجة حرارة مائع نقل الحرارة ب 100°C

(3) حساب الطاقة الحرارية الكلية للحقل الشمسي (P_{th})

$$P_{th} = (P_{el} / \eta_{PB}) + \text{electric parasitic} + \text{SF piping losses} + \text{other losses}$$

حيث

$$P_{th} = \text{الطاقة الحرارية للحقل الشمسي}$$

(Thermal power from solar collector field)

P_{el} = صافي سعة المولد (net capacity)
 η_{PB} = كفاءة مجموعة القوى (power block efficiency)
 Electric parasitic = الطفيليات الكهربائية
 SF piping losses = مفقودات مواسير الحقل الشمسي

مثال:

احسب الطاقة الحرارية الكلية طبقاً للبيانات الآتية:

$$P_{el} = 30 \text{ MW} \quad , \quad \eta_{gen.} = 0.96$$

$$\eta_{boil} = 0.9 \quad , \quad \eta_{turb.} = 0.37$$

$$\text{Electric parasitic} = \text{الطفيليات الكهربائية} = 5.8 \text{ MW}$$

$$\text{SF piping losses} = \text{مفقودات مواسير الحقل الشمسي} = 6.2 \text{ MW}$$

$$\text{Other losses} = \text{مفقودات أخرى} = 12.36 \text{ MW}$$

الحل:

$$P_{th} = 30 / (0.96 \times 0.9 \times 0.37) + 5.8 + 6.2 + 12.36$$

$$= 118.2 \text{ MW}_{th}$$

(4) حساب مكونات ترتيبية مجمعات الحقل الشمسي

لتحديد ترتيبية الحقل الشمسي يلزم:

- قدرة مخرج المجمع الواحد
- عدد المجمعات في الحلقة
- الطاقة الحرارية الكلية للحقل الشمسي

$$\text{عدد الحلقات المطلوبه} = \left(\frac{\text{الطاقة الحرارية الكلية من الحقل الشمسي}}{\text{قدرة مخرج المجمع الواحد}} \right) / (\text{عدد المجمعات في الحلقة})$$

مثال :

باستخدام البيانات في الأمثلة السابقة احسب ترتيبية المجمعات للحقل الشمسي

الحل :

$$\text{الطاقة الحرارية الكلية} = P_{th} = 118.2 \text{ MW}_{th}$$

$$\text{قدرة مخرج المجمع الواحد} = Q_c = 550 \text{ kW /collector}$$

$$\text{عدد المجمعات في الحلقة} = 4$$

$$\text{No. of loops} = \frac{118.2 \times 10^3}{(550)(4)} \approx 54 \text{ loop}$$

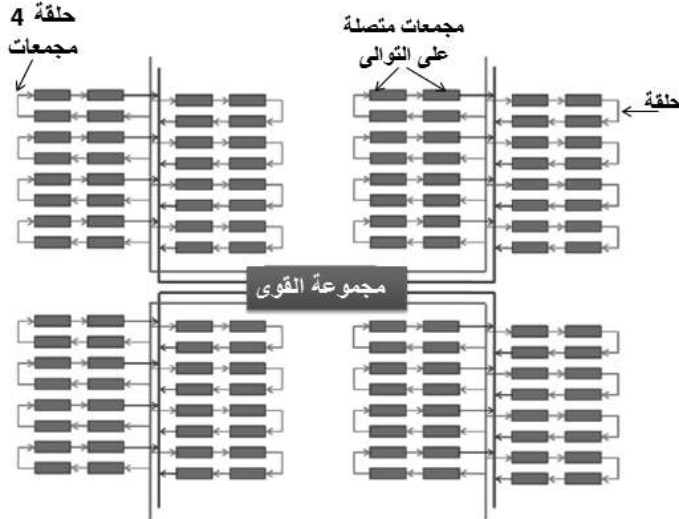
باختيار ترتيبية تحتوى على عدد 56 حلقة حتى يمكن توزيع عدد المجمعات في إتران هيدروليكي منتظم في النظام.

وعلى ذلك تصبح قدرة المخرج المنتجة من عدد 56 حلقة

$$P_{el} \approx 31.1 \text{ MW}$$

يوضح شكل (37) رسم تخطيطي لترتيبية مجمع شمسي تحتوى على حلقة

طراز LS-2



شكل (37) رسم تخطيطي لترتيبية مجمع شمسي تحتوى على حلقة طراز LS-2

محطات قوي مجمعات حوض قطع مكافئ

مثال:

مساحة متاحة لمحطة شمسية حوض قطع مكافئ = 1.5 km^2

ا- إذا كانت سعة مجموعة القدرة = 50 MW

ما قيمة المضاعف الشمسي (SM)

ب- إذا كان النظام بدون تخزين، كم سعة مقنن القدرة الكهربائية للمحطة

الحل :

$$A = 4 A_{ap} \quad \text{أ-}$$

حيث A = المساحة الكلية للمحطة الشمسية

$$A_{ap} (\text{km}^2) = \text{مساحة فتحات المجمعات} (\text{km}^2)$$

$$A_{ap} = \frac{P_{el} * SM}{\eta * G_{b.coll}},$$

$$\eta = 25\%, \quad P_{el} = 50 \text{ MW}, \quad G_{b.coll} = 800 \text{ w/m}^2$$

$$1.5 \text{ km}^2 = 4 \left(\frac{50 \text{ MW} * SM}{0.25 * (800 \text{ w/m}^2)} \right)$$

$$SM = \left(\frac{(1.5 \text{ km}^2) * (0.25) * (0.8 \text{ kw/m}^2)}{4 * (50 \text{ MW})} \right)$$

$$\therefore SM = 1.5$$

ب.

$$SM = 1$$

$$1.5 \text{ km}^2 = 4 \left(\frac{P_{el} * (1)}{0.25 * (800 \text{ w/m}^2)} \right)$$

$$P_{el} = 75 \text{ MW}$$

الباب العاشر
اقتصاديات المركّزات الشمسية الحرارية
Economics of Solar Thermal Concentrates

تكاليف الطاقة الكهربائية طبقاً لمصدر الطاقة المولدة منه

(Cost of electricity by source)

هي حساب تكلفة إنتاج الكهرباء عند نقطة التوصيل بالشبكة العامة للكهرباء أو إلى الحمل وتقاس بوحدة نقدية/ك و س، وذلك خلال العمر الافتراضي للمحطة أو التكنولوجيا المنتجة للكهرباء آخذين في الإعتبار كلا من التكلفة التأسيسية (رأس المال الأولي)، معدل الخصم، عامل السعة بالإضافة إلى تكلفة التشغيل المستمر والوقود والصيانة. تكون أهمية حساب قيمة التكلفة لمصادر الطاقة المختلفة في أنها تعطي مرجعية تساعد صانعي القرار على توجيه الاستثمارات طبقاً لاختيار تكنولوجيا الطاقة المختلفة

يوضح جدول (1) تكاليف الطاقة الكهربائية لمصادر الطاقة المختلفة

(Source : EIA, NREL)

جدول (1) تكاليف الطاقة الكهربائية لمصادر الطاقة المختلفة

(Source : EIA ، NREL، 2012)

(<http://www.marketoracle.co.uk/Article38024.html>)

التكلفة (\$/kwh)	المصدر
0.036	فحم
0.024	نووية
0.092	كهرومائية
0.049	تربينة غازية
0.04 : 0.15	رياح (offshore)
0.07 : 0.20	رياح (onshore)
0.15 : 0.59	شمسي، فوتوفلتية
0.06 : 0.30	شمسي، مركبات
0.04 : 0.13	الطاقة الحرارية الأرضية

تكلفة الطاقة ذات المستوي الواحد :

(Levelized cost of Energy) (LCOE)

أو (Levelized Energy Cost) (LEC)

(ويعرف أيضا بـ التكلفة النسبية للطاقة)

هو صافي القيمة الحالية لتكلفة وحدة الكهرباء علي مدي عمر أصول معدات إنتاج الكهرباء.

وهو تقيم اقتصادي من الدرجة الأولى للتنافسية من حيث تكلفة نظام إنتاج الكهرباء والتي تشمل جميع التكاليف علي مدي عمر تشغيل النظام مثل: الإستثمارات الأولية، التشغيل والصيانة، تكلفة رأس المال.

إن معادلة حساب LCOE هي أداة تحليلية واحدة والتي يتم إستخدامها لمقارنة التكنولوجيات البديلة عند اختلاف مقياس التشغيل، الاستثمارات، والدورة الزمنية

اقتصاديات المركبات الشمسية الحرارية

للتشغيل. مثلاً تستخدم المعادلة LCOE لمقارنة تكاليف الطاقة المنتجة من محطات المركزات الحرارية ومحطات الإنتاج بالوقود الأحفوري أو أي نوع آخر من تكنولوجيات إنتاج الطاقة.

تحسب تكلفة الطاقة من القيمة الحالية لكل التكاليف علي مدى عمر تشغيل الأصول مقسوما علي الناتج الإجمالي للأصول في مجال الطاقة الكهربائي.

أى ان:

$$\text{التكلفة النسبية للطاقة (LCOE)} = (\text{مجموع التكاليف خلال عمر التشغيل}) \div (\text{مجموع الطاقة الكهربائية المنتجة خلال عمر التشغيل})$$

ولذا لحساب التكلفة النسبية للطاقة يحتاج لجميع البيانات الآتية خلال عمر التشغيل:

- تكاليف الاستثمارات
 - تكاليف الصيانة والتشغيل
 - تكاليف الوقود
 - كمية الطاقة الكهربائية المنتجة
 - معدل الخصم
 - عمر التشغيل المتوقع للنظام أو لمحطة الكهرباء
- عادة يتم حساب التكلفة النسبية للطاقة على مدار 20 إلى 40 سنة بوحدات : دولار/ م و س أو يورو/ ك و س أو لكل م و س، ومع ذلك ، ينبغي توخي الحذر عند مقارنة مختلف دراسات التكلفة النسبية للطاقة ومصادر المعلومات حيث أن التكلفة النسبية للطاقة الخاصة بمصدر الطاقة المعطى تعتمد بشكل كبير على الافتراضات، وشروط التمويل والتطوير التكنولوجي المحلل بصفة خاصة. ولذا فإن المتطلب الأساسي للتحليل هو وجود بيان واضح لقابلية التحليل على التطبيق بناءً على الافتراضات المبررة.
- يوضح جدول (2) القيمة المتوقعة لتكاليف مصادر الانتاج الجديدة (2018)، ويتضح من الجدول إن أعلى تكلفة متوقعة لتكاليف إنتاج الطاقة الكهربائية تكون من المحطات الشمسية الحرارية.

جدول (2) القيمة المتوقعة لتكاليف مصادر الإنتاج (2018)

التكلفة المتوسطة النسبية للطاقة (\$/Mwh في سنة 2011 للمحطات الداخلة بالخدمة في 2018)					عامل السعة %	نوع المحطة
إجمالي التكلفة النسبية للطاقة	استثمارات النقل	التكلفة المتغيرة للمصيانة والتشغيل (والوقود)	التكلفة الثابتة للمصيانة والتشغيل	تكلفة رأس المال النسبية		
100.1	1.2	29.2	4.1	65.7	85	الفحم التقليدي
123.0	1.2	30.7	4.8	84.4	85	الفحم المتقدم
135.5	1.2	37.2	8.8	88.4	85	الفحم المتقدم مع CCS
67.1	1.2	48.4	1.7	15.8	87	الغاز الطبيعي: الدورة المجمعة الاعتيادية
65.6	1.2	45.0	2.0	17.4	87	الغاز الطبيعي: الدورة المجمعة المتقدمة
93.4	1.2	54.1	4.1	34.0	87	الغاز الطبيعي: CC المتقدمة مع CCS
130.3	3.4	80.0	2.7	44.2	30	الغاز الطبيعي: توربين الاحتراق التقليدي
104.6	3.4	68.2	2.6	30.4	30	الغاز الطبيعي: توربين الاحتراق المتقدم
108.4	1.1	12.3	11.6	83.4	90	نووية متقدمة
89.6	1.4	0.0	12.0	76.2	92	أرضية حرارية
111.0	1.2	42.3	14.3	53.2	83	كتلة حيوية
86.6	3.2	0.0	13.1	70.3	34	رياح (offshore)
221.5	5.7	0.0	22.4	193.4	37	رياح (onshore)
144.3	4.0	0.0	9.9	130.4	25	خلايا شمسية
261.5	5.9	0.0	41.4	214.2	20	شمسية حرارية
90.3	2.0	6.1	4.1	78.1	52	كهرومائية

(Source: <https://www.marefa.org/>)

تكاليف إنتاج الطاقة من محطات المركزات الشمسية الحرارية

إن تكاليف إنتاج الطاقة الكهربائية حاليا من تكنولوجيا المركزات الشمسية الحرارية تكون أعلى من الإنتاج باستخدام التكنولوجيات (الوقود الأحفوري - النووي - الرياح - الخلايا الشمسية). أثبتت الدراسات والأبحاث وجود فرص متعددة لإنخفاض التكلفة خاصة مع التطور الواسع لأحجام المحطات الكبيرة، بالإضافة إلى التحسن المستمر فى تكنولوجيا CSP، ومن المتوقع إنخفاض التكاليف بنسبة كبيرة جدا. تعتمد اقتصاديات إنشاء محطات CSP أساسا على حجم المحطة، يعرف الحجم بدلالة قدرة المخرج والذي يرتبط مباشرة بمساحة الأرض المستخدمة، حاليا نجد أن أقل قدرة لمحطة:

• طبق سترلنج قطع مكافئ : 1 MWe

• برج الطاقة المركزي : 10 MWe

• حوض قطع مكافئ : 50 MWe

ونجد أن التكلفة التقديرية لمحطة طبق قطع مكافئ مستقل حوالى

5000 € / kw_e بينما تكون التكلفة لأنظمة البرج المركزى وحوض القطع المكافئ أقل من 3000 € / kw_e وحاليا تستهدف الدول الإنتاج بقدرات بين 100 Mwe & 200 Mwe والتي ستؤدى إلى إنخفاض التكاليف ومن المتوقع عند إجراء تطورات فى تكنولوجيا المركزات الشمسية الحرارية ستتنخفض التكاليف بنسبة تصل إلى 50 % هذه الإجراءات تعتمد على عدة عوامل تبعا لنوع التكاليف ، والتي تنقسم إلى:

- التكاليف الشمسية (Solar costs) وهى تعنى تكاليف المهمات المتعلقة بالشمس، والتي من المتوقع أن تنخفض عند تحقق الإنتاج بالجملة مع تطور أبحاث أنظمة المرايا (حيث تمثل المجمعات الشمسية حاليا نسبة 40 % : 30 % من التكاليف الاستثمارية للمحطة) ويكون ذلك مصحوبا بتطور الأنظمة البصرية الجديدة .
- التكاليف غير الشمسية (Non - Solar costs) وهى تعنى باقى مهمات المحطة، تنخفض هذه التكاليف بزيادة كفاءة أنظمة النقل الحرارى، وزيادة كفاءة دورة مجموعة القوى، وإنتاج البخار المباشر بالتكامل مع الأنظمة التقليدية، وزيادة درجة حرارة البخار بغرض تحسين كفاءة دورة البخار لإنتاج الكهرباء.

مثال لذلك، أن التكلفة التقديرية النسبية للطاقة (LCOE) لمحطة المركبات الشمسية الحرارية قدرة 100 MWe حوالي 12 €/ kwh يمكن أن تنخفض التكاليف عمليا عند الانتاج بالجملة لحقل هليوستات وزيادة القدرة الى 200 Mwe أيضا بالزيادة البسيطة في درجة حرارة التشغيل 580 °C مصحوبا بتحسين تصميم الهليوستات يمكن أن تنخفض التكاليف بنسبة 10% وتصل التكلفة إلى 9 €/ kwh خاصة إذا أمكن التغلب على حدوث تآكل بدون ارتفاع كبير في التكاليف .

تكاليف محطات حوض قطع مكافئ

في محطات حوض قطع مكافئ تكون التكاليف، تقريبا منسوبة إلى التكاليف الكلية كالآتي:

- تكلفة الحقل الشمسي حوالي من 60% الى 80%
- تكلفة مجموعة القوى (بدون تخزين طاقة) حوالي من 10% الى 15%
- في حالة وجود تخزين طاقة تكون التكلفة حوالي من 15% الى 20%
- باقى التكاليف تكون للأعمال المدنية والبنية الأساسية للموقع وأية أعمال أخرى

لتخفيض تكاليف محطات حوض قطع مكافئ، يؤخذ الآتى فى الإعتبار:

- اختيار الموقع المثالى للمحطة
 - الحجم المثالى للمحطة
 - زيادة سعة التخزين وعامل السعة
 - تحسين التكنولوجيا المستمر
 - زيادة التنافسية
 - زيادة معدلات المعرفة
- توضح الجداول من رقم (3) الى رقم (13) تكاليف المكونات والأعمال لمحطة حوض قطع مكافئ لقدرات مختلفة ومحطات قائمة بالخدمة وبعضها لعدد ساعات تخزين محددة و عامل شمسي (SM) محدد، كذلك تكاليف مكونات الحقل الشمسي و تكاليف الصيانة والتشغيل

جدول (3) نسبة تكاليف المكونات والاعمال لمحطة حوض قطع مكافئ
(1991 - SEGS) 80 Mw

نسبة المشاركة	البند
37%	الحقل الشمسي (المعدات)
7%	الحقل الشمس (الأعمال المدنية + الإنشاءات)
8%	نظام مائع نقل الحرارة (المعدات)
3%	نظام مائع نقل الحرارة (الأعمال المدنية والإنشاءات)
3%	أعمال الموقع
7%	الخدمات
15%	مجموعه القوي (المعدات)
4%	مجموعه القوي (الأعمال المدنية + الإنشاءات)
10%	باقي المكونات (المعدات)
6%	باقي المكونات (الأعمال المدنية + الإنشاءات)

(Source: DeutschesZentrum (DLR))

جدول (4) نسبة تكاليف مكونات محطة حوض قطع مكافئ 100 MWe،
عدد 12 ساعة تخزين و 2.5 عامل شمسي (SM)

نسبة المشاركة	البند
2%	التركيبات/الإنشاءات
58%	نظام تجميع الإشعاع الشمسي
23%	نظام التخزين الحراري
3%	الغلاية (مولد البخار)
14%	مجموعه القوي

(Source: NREL 2004)

جدول (5) نسبة تكاليف مكونات الحقل الشمسي لمحطة حوض قطع مكافئ (2011)

نسبة المشاركة	البند
14 %	التركيبات
14 %	المرايا
27 %	الهيكل المعدني
4 %	الزيوت الحرارية
11 %	الانابيب
11 %	الاساسيات
6 %	تجهيزات الارض
13 %	أعمال أخرى

(Source: www.Jeonardo-energy.org/)

جدول (6) قيمة تكاليف مكونات الحقل الشمسي لمحطة حوض قطع مكافئ 100 MWe، عدد 12 ساعة تخزين، و 2.5 عامل شمسي (SM)

نسبة المشاركة	البند
20%	المستقبل
19%	المرايا
29%	الهيكل المعدني
6%	وسيلة التتبع
5%	أنابيب التوصيل
7%	التحكمات
3%	أنابيب الممرات الصاعدة
4%	الانشاءات
3%	مانع نقل الحرارة
4%	أعمال أخرى

(Source: NREL 2004)

اقتصاديات المركبات الشمسية الحرارية

جدول (7) نسبة تكاليف مكونات محطة حوض قطع مكافئ 50 MWe، عدد 7 ساعة تخزين

النسبة المشاركة	البند
30%	الحقل الشمسي
9%	التخزين
8%	ادارة المشروع
7%	أعمال مدنية
5%	مجموعه القوي
5%	مائع نقل الحرارة
6%	تكاليف مالية
3%	تطوير المشروع
3%	التوصيل بالشبكة
14%	المرتبات
2%	متنوعات
8%	أخري

(Source: IEA 2010)

جدول (8) قيمة تكاليف مكونات محطة حوض قطع مكافئ 50 MWe، وعدد 7.5 ساعة تخزين (1 - Andasol)(محطة)

التكلفة (M \$)	المكون
62.4	الحقل الشمسي وعمالة الموقع
140.3	معدات الحقل الشمسي ومائع نقل الحرارة
38.4	نظام التخزين الحراري
52.0	مجموعه القوي
71.0	أخري
364	الإجمالي

(Source: <http://hub.globalccsinstitute.com/>)

جدول (9) التكاليف التقديرية لمكونات حقل حوض القطع المكافئ

المكون	التكلفة التقديرية	الوحدة
مرايا القطع المكافئ (السلك العادي لمرايا زجاجية)	28-40	€/m ² (لمساحة المجمع)
هيكل صلب (المعدن)	50-65	€/m ² (لمساحة المجمع)
مستقبل مفرغ (vacuum receiver)	200-300	€/m (لطول المستقبل)
الزيت الحراري	3.0-7.0	€/ℓ (لتر)
مجمع حوض القطع المكافئ (مضافا اليه الإنشاءات)	200-240	€/m ² (لمساحة المجمع)
إنشاءات الحقل الشمسي (مواسير التوصيل، نظام التخزين الحراري)	230-290	€/m ² (لمساحة المجمع)

(Source: <http://www.slidshare.net/Rizwan114/>)

جدول (10) التكاليف الاستثمارية لبعض محطات حوض القطع المكافئ

Fichtner	Sargent & Lundy				الوحدة	المكون
	2008		2003			
T 100	T 100	T 100	T 100	SEGS VI		محطة القوى
مختلط	تخزين	بدون تخزين	تخزين	مختلط		
160	172	171	67	67	\$/m ²	هيكل تثبيت
60	53	53	43	43	\$/m ²	مستقبلات
60	63	63	40	43	\$/m ²	مرايا
150	141	141	250	234	\$/m ²	شمسي BOP
2500	1183	1183	306	527	\$/kwe	مجموعة قوى / BOP
-	765	-	958	-	\$/kwe	تخزين حراري
559	671	447	254	92	M\$	التكاليف
5594	6708	4471	5073	3052	\$/kwe	الإستثمارية الكلية

(Source: Fichtner)

جدول (11) التكاليف الاستثمارية لبعض أنواع محطات المركزيات الشمسية
الحرارية حوض قطع مكافئ

أخري (المراجع)	التكلفة \$/kw	عامل السعة %	خزان تخزين	نوع المحطة
Hinkley,2011:Turchi: 2010a	4600-7100	20-25%	لا تحتوي	حوض قطع مكافئ
Cohen,1999	3000-4000			محطات مشروع SEGS التي تعمل منذ 1984
Hinkley,2011:Turchi: 2010a Turchi:2010b,fichtner 2010	7300-9000	>40%	4-6.5 hrs	حوض قطع مكافئ
IRENA, 2012 (INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY)	5500-8000		لا تحتوي	حوض قطع مكافئ 2011- 2010
	7500-8500		تحتوي	
IEA, 2010a (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY)	4200-8400		تحتوي	حوض قطع مكافئ كبير

(Source: <http://www.etap.org-www.irena.org/>)

جدول (12) تكاليف الصيانة والتشغيل لبعض محطات حوض القطع المكافئ

Fichtner	Sargent & Lundy				الوحدة	المكون
2008	2008		2003			
T 100	T 100	T 100	T 100	SEGS VI		محطة قوى
مختلط	تخزين	بدون تخزين	تخزين	مختلط		
120	78	67	115	63	\$/kwe	التكاليف السنوية للصيانة والتشغيل

(Source: Fichtner)

جدول (13) تكلفة kwh في بعض محطات حوض القطع المكافئ المركزية بالصين (2010)

\$/kwh _e	قدرة المحطة
0.16	100 MW
0.14	1000 MW
0.12	1000 MW (2020)

(Source: Fichtner)

تكاليف محطات برج الطاقة المركزي:

توضح الجداول من رقم (14) الى رقم (17) تكاليف المكونات والأعمال لمحطات برج طاقة مركزي لقدرات مختلفة ولمحطات قائمة بالخدمة وبعضها لعدد ساعات تخزين محددة، كذلك تكاليف هليوستات ويبين شكل (1) تطور خطوط إنتاج وتكاليف الهليوستات (www.researchgate.net/publication/224802065_Solar_Thermal_Plants_-_Power_and_Processs_Heat)

جدول (14) تكاليف مكونات محطة برج مركزي 11MW، إسبانيا (PS-10)

التكلفة (M Euros)	المكون
12.6	الحقل الشمسي
8.4	مجموعة القوى
5.25	المستقبل
1.05	البرج
1.05	التخزين
0.7	الأرض
5.95	تكاليف غير مباشرة
35	الإجمالي

(Source: <https://hub.Globalccsinstitute.com>)

جدول (15) تكاليف مكونات هليوستات 148 m²

التكلفة (\$/m ²)	البند
23.06	موديول مرايا
21.21	هيكل تثبيت
27.11	ميكانيزم تتبع
1.94	التحكم
1.79	مدير كهربائي
7.4	توصيلات الحقل
2.28	الإنشاءات
16.96	القاعدة
18.41	فائدة
6.34	ضبط محاور الحقل

(Source: data taken from (Kolb, 2007))

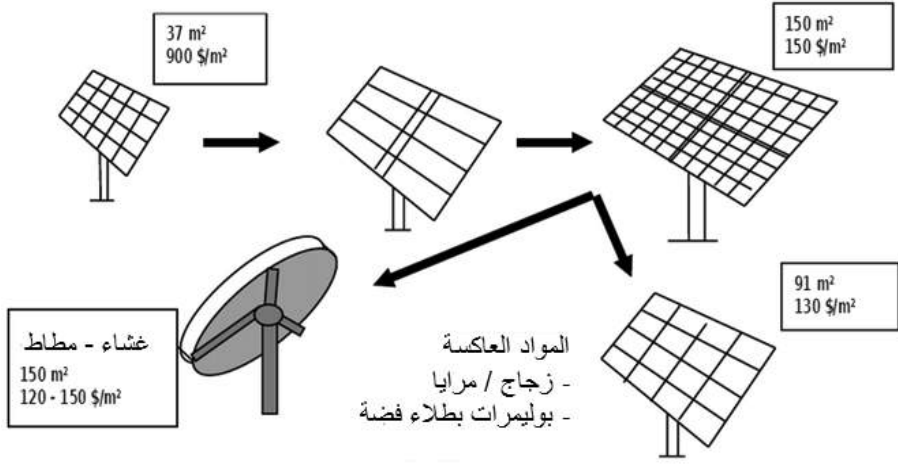
جدول (16) التكاليف الإستثمارية لمحطة برج الطاقة المركزي

أخرى (المراجع)	التكلفة \$/kw	عامل السعة %	خزان تخزين	نوع المحطة
Hinckley , 2011, Turchi 2010a, Turchi 2010b , Fichtner 2010,IRENA,2012	6300 - 7700	41-54 %	6-9 hrs	برج شمسي
	9000 - 10500	68-79 %	12-15 hrs	

(Source: www.etsap.org – www.Lrena.org)

جدول (17) التكاليف الإستثمارية لبعض محطات برج الطاقة المركزي

Fichtner	Sargent &Lundy		الوحدة	المكون
2008	2008	2003		محطة القوى
Tower 47.25 MW	Solar Tres 13.56 MW	Solar Tres 13.56 MW		
شمسي فقط	تخزين	تخزين		
25.3	-	11.6	\$/m ²	الموقع/البنية الأساسية
191.2	230.6	160	\$/m ²	حقل الهليوستات
155 MW _{th}	280 m ²	280 m ²		المستقبل
151.5 \$/KWh _{th}	121680 \$/m ²	57143 \$/m ²		
18.9	21.99	11.6	\$/m ²	البرج والأنابيب
1556.6	4719.6	1397.7	\$/kwe	مجموع القوى وباقي المكونات
-	24.9	49	\$/KW _{th}	التخزين الحراري
214	219	119	M\$	التكاليف الاستثمارية
4534	16905	8753	\$/kwe	الكلية



شكل (1) تطور خطوط إنتاج وتكاليف الهليوستات

تكاليف محطات طبق سترلينج قطع مكافئ:

يوضح جدول (18) نسبة مشاركة تكاليف مكونات محطة طبق قطع مكافئ
 جدول (18) نسبة مشاركة تكاليف مكونات محطة طبق قطع مكافئ

نسبة المشاركة	البند
38%	الحقل الشمسي
37%	مجموعة القوى
7%	المستقبل
1%	الأرض
17%	تكاليف غير مباشرة

(Source: [https:// hub. Globalccsinstitute.com](https://hub.Globalccsinstitute.com))

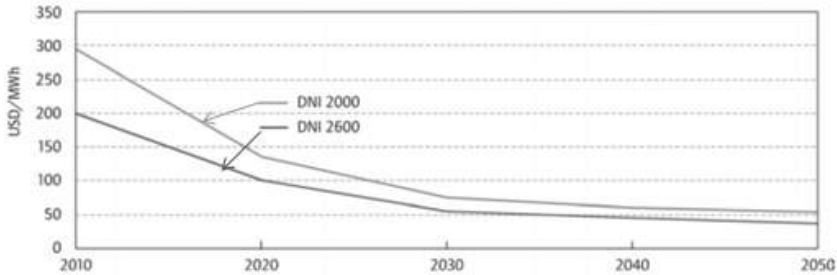
تكلفة الطاقة ذات المستوى الواحد لمحطات CSP:

(Levelized cost of Energy) (LCOE)

نظرا للتغير في شكل وتناسق محطات المركبات الشمسية الحرارية CSP، فإن تكاليف الإنتاج أو تكاليف الطاقة ذات المستوى الواحد (التكلفة المتوسطة النسبية للطاقة) (بوحدة \$/Kwh(US يكون مؤشر أفضل للتكلفة الحقيقية (بوحدة \$/Mw(US. يتغير عامل السعة (أو عامل الحمل) في مدى واسع لمحطات CSP. المحطات ذات نفس مساحة الحقل الشمسي ونفس الطاقة المنتجة سنويا، يمكن أن يختلف حجم المولدات اعتمادا على إحتوائها أو عدم إحتوائها على نظام تخزين الطاقة.

تحسب تكاليف الطاقة من التكاليف المتاحة وبيانات الأداء للمشروعات الكاملة حاليا والمشروعات تحت الإنشاء. تعتمد تكاليف الإنتاج على:

- الإشعاع العادي المباشر (DNI) عند موقع المشروع، والموضحة في شكل (2)
 - حجم المحطة والتصميم المثالي للمحطة
 - تكاليف التكنولوجيا
 - التحقق من انخفاض التكاليف عند تحسن التكنولوجيا
 - زيادة التنافسية
 - تأثير معدلات المعرفة
- توضح الجدولين (19) & (20) تكاليف الطاقة ذات المستوى الواحد (\$/kwh) لمحطات CSP



شكل (2) تقييم تكاليف الطاقة ذات المستوى الواحد (\$/Mwh) لمستويين مختلفين للإشعاع العادي المباشر (DNI)

جدول (19) تكاليف الطاقة ذات المستوى الواحد (\$/kwh)

محطات فرسنيل الخطية	محطات طبق قطع مكافئ	محطات برج الطاقة المركزي	محطات حوض قطع مكافئ	البند
----	----	0.2 : 0.9	0.3 : 0.75	التكاليف الحالية
0.06 : 0.08	0.05 : 0.08	0.06 : 0.08	0.06 : 0.08	التكاليف المستقبلية

(Source: www.ifc.org)

جدول (20) تكاليف محطات CSP في 2011

LCE (2010 \$/Kwh)	التشغيل والصيانة (2010 \$/kwh)	عامل السعة (%)	تكاليف الإنشاءات (2010 \$/KW)	النوع	
0.14: 0.36	0.02 : 0.035	20%:25%	4600	بدون تخزين	لوح قطع مكافئ
		40%:53%	7100:9800	عدد ساعات تخزين 6	
0.17 : 0.29		40%:45%	6300:7500	من 6 إلى 7.5 ساعة تخزين	برج شمسي
		65%: 80%	9000:10500	من 12 إلى 15 ساعة تخزين	

(Source: IRENA, June 2012)

تخفيض التكاليف من خلال إختيار الحجم الإقتصادي للمحطة (زيادة حجم المحطة)

أوضحت الدراسات أنه يمكن أن تنخفض التكاليف المحددة لمحطة حوض قطع مكافئ قدرة 50 MW ولها تخزين حراري 7.5 ساعة بنسبة % 12.1 عند زيادة القدرة إلى 100 MW وأن تنخفض التكاليف بنسبة % 20.3 عند زيادة القدرة إلى 200MW ، وهذا موضح في جدول (21).

يلاحظ في جدول (21) إنخفاض تكاليف: إدارة المشروع – باقى مكونات المحطة – مجموعة القوى – الربط بالشبكة، والنتيجة إنخفاض التكاليف المحددة بين % 20، % 25 إذا زادت القدرة من 50MW إلى 200MW

جدول (21) إنخفاض التكاليف عند زيادة حجم محطة حوض قطع مكافئ

حجم المحطة 200 MW	حجم المحطة 50MW	البند
11.3 %	13.9 %	المرتبات
28.8 %	30.4 %	الحقل الشمسي
9.3 %	9.3 %	التخزين الحراري
2.3 %	8.3 %	إدارة المشروع
4.2 %	7.7 %	باقى مكونات المحطة
7.2 %	7.2 %	الأعمال المدينة
3.4 %	5.3 %	مجموعة القوى
4.8 %	5.1 %	مائع نقل الحرارة
4.9 %	6.1 %	مالية المشروع
0.7 %	2.7 %	تطوير المشروع
1.5 %	2.7 %	الربط بالشبكة
1.5 %	1.6 %	أخرى
100 %	100 %	إجمالي الإستثمارات

(Source: Kistner)

حقائق:

- ❖ المحطات الأكبر تكون أكثر تكلفة فعلية من المحطات الصغيرة.
- ❖ محطة حوض القطع المكافئ بنظام تخزين تكون تكلفتها أقل بنسبة 28.6% من محطة برج شمسي بنظام تخزين.
- ❖ من المتوقع أن تكاليف محطات البرج الشمسي سوف تنخفض أكثر من تكنولوجيا محطات حوض القطع المكافئ.
- ❖ تكاليف إستثمار محطات المركزات الشمسية (CSP) بالصين $6810 \$/k_{we}$ (وهذا يكافئ ثلثي التكلفة بالمقارنة بالمحطات بأوروبا)
- ❖ تكاليف الصيانة والتشغيل لمحطات CSP بالصين تمثل 1.25% من إجمالي التكاليف الإستثمارية في السنة (ويقابلة تكلفة 2% للصيانة والتشغيل بمحطات أوروبا).
- ❖ تكلفة الطاقة ذات المستوى الواحد (LCE) لمحطة قطع مكافئ قدرة 41MW بالصين تكون أقل تكلفة بنسبة 44% مقارنة بالمماثل بأوروبا.

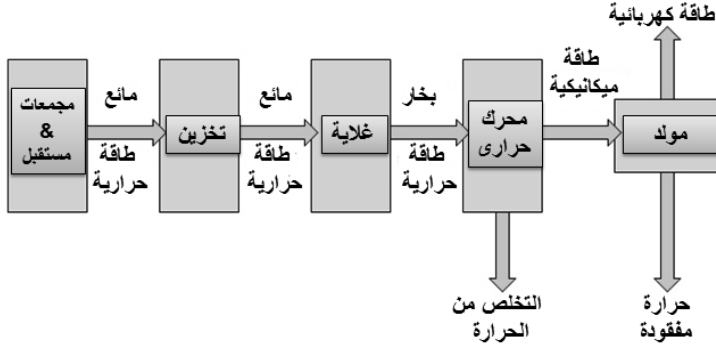
الباب الحادى عشر

إنتاج الطاقة من محطات المركّزات الشمسية الحرارية

Energy Yield of Concentrated Solar Thermal Power (CSP) Plants

تقوم أنظمة إنتاج الطاقة الشمسية الحرارية (الكهربائية) بتجميع وتركيز أشعة الشمس لإنتاج الحرارة العالية اللازمة لإنتاج الكهرباء. جميع أنظمة الطاقة الحرارية الشمسية لديها مجمعات طاقة شمسية مع مكونين رئيسيين : "عاكسات (المرايا)" التي تلتقط وتركز ضوء الشمس على "المستقبل" في معظم أنواع الأنظمة، يتم تسخين مائع نقل الحرارة ومروره في المستقبل والذي يستخدم لإنتاج البخار. ويتم تحويل البخار إلى طاقة ميكانيكية في التوربينات، والتي تعمل على إدارة مولد لإنتاج الكهرباء. كما أن نظم الطاقة الشمسية الحرارية لديها أنظمة تتبع والتي تعمل على تركيز أشعة الشمس على المجمعات على مدار اليوم كلما تغير موضع الشمس في السماء.

كما يمكن أن تحتوي أنظمة الطاقة الشمسية الحرارية أيضا على مكونات نظام تخزين الطاقة الحرارية التي تسمح لنظام تجميع الطاقة الشمسية بتسخين نظام تخزين الطاقة خلال النهار، وتستخدم الحرارة من نظام التخزين لإنتاج الكهرباء في المساء أو أثناء الطقس الغائم. وقد تكون لمحطات الطاقة الشمسية الحرارية أيضا أنظمة هجين تستخدم أنواع الوقود الأخرى (عادة الغاز الطبيعي) لتكملة الطاقة من الشمس خلال فترات الإشعاع الشمسي المنخفض ويوضح شكل (1) تمثيل لمكونات أنظمة إنتاج الطاقة الشمسية الحرارية



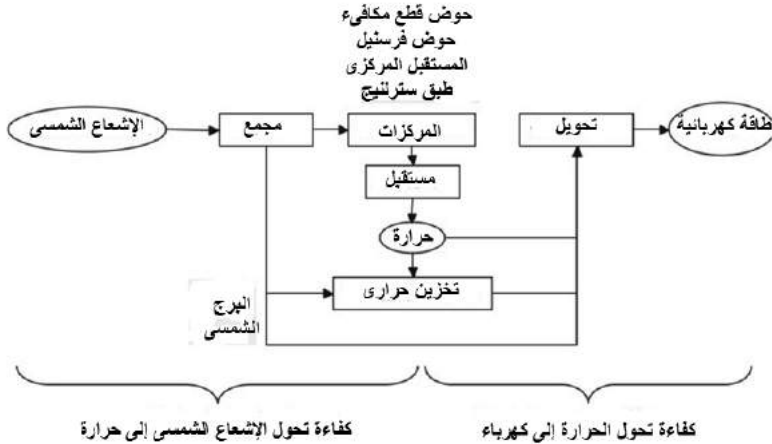
شكل (1) تمثيل لمكونات أنظمة إنتاج الطاقة الشمسية الحرارية

كفاءة محطات المركبات الشمسية الحرارية

تصنف كفاءة الإشعاع الشمسي / الكهربى (Solar- to- electricity efficiency) إلى :

- كفاءة تحول الإشعاع الشمسي إلى حرارة
(Solar – to – heat – efficiency)
- كفاءة تحول الحرارة إلى كهرباء
(Heat – to - electric efficiency)

يوضح شكل (2) هذا التصنيف

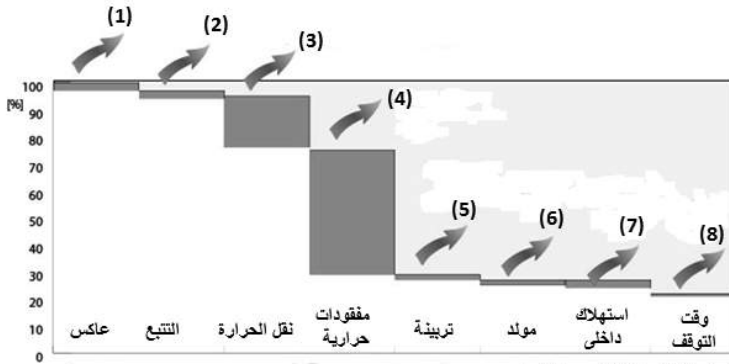


شكل (2) تصنيف أنواع كفاءة محطات المركبات الشمسية الحرارية

إنتاج الطاقة من محطات المركبات الشمسية الحرارية

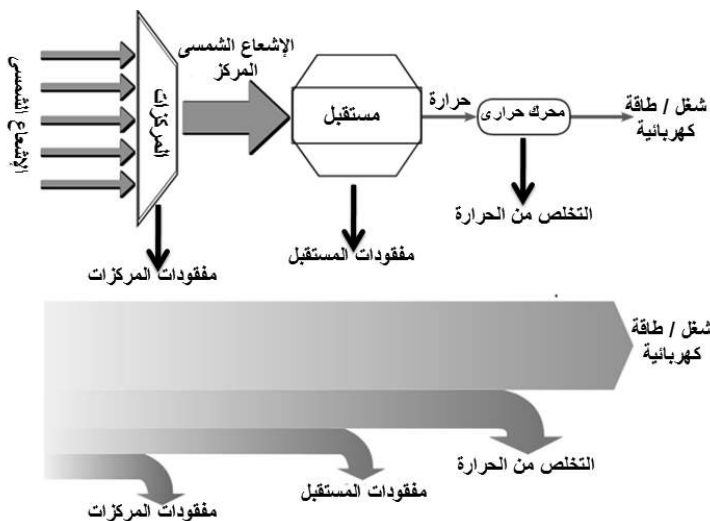
لحساب الكفاءة فى محطات المركزات الشمسية الحرارية، يتم أولاً تحديد المفقودات، وتحديث أغلب مفقودات الطاقة فى دورة الديناميكا الحرارية والتي تكون مسئولة عن إدارة التربينه. ومن المعروف أن كفاءة دورة الديناميكا الحرارية (η_{cycle}) تتناسب مع أقصى درجة حرارة يمكن الوصول إليها بواسطة المركزات الشمسية، ويكون أكبر مكون فقد فى دورة الديناميكا الحرارية هي المفقودات الحرارية فى دورة رانكين (Rankine cycle) والتي يمكن أن تصل أقصى نسبة نظرية لها الى 64 % ويوضح الشكلين (3) & (4) أنواع مفقودات الطاقة فى أنظمة CSP ، ويتم التعبير عن الكفاءة الكلية للمحطة بكل من: كفاءة المستقبل الشمسى ، وكفاءة دورة الديناميكا الحرارية. كما فى المعادلة التالية:

$$\eta_{\text{CSP}} = \eta_{\text{receiver}} \eta_{\text{cycle}}$$



- (1) ضياعات الإعكاس و التركيز $\approx 3\%$
- (2) المفقودات نتيجة التتبع غير المثالى $\approx 3\%$
- (3) فقد درجة الحرارة فى المانع والمبادل الحرارى $\approx 20\%$
- (4) المفقودات الحرارية فى دورة رانكين $\approx 60\%$
- (5) المفقودات الميكانيكية فى التربينه $\approx 3\%$
- (6) مفقودات المولد $\approx 3\%$
- (7) استهلاك المعدات المساعدة $\approx 6\%$
- (8) وقت التوقف البرنامج الزمنى $\approx 2\%$

شكل (3) التمثيل النموذجى لمفقودات أنظمة إنتاج الطاقة الشمسية الحرارية



شكل (4) أنواع مفقودات الطاقة في أنظمة CSP

اتزان الطاقة على المستقبل (energy balance on a receiver)
توضح المعادلة التالية معادلة اتزان الطاقة للحصول على الطاقة المفيدة (useful energy) على المستقبل، وهي الفرق بين الطاقة المستقبلية من المجمع و الطاقة المفقودة نتيجة الإشعاع (radiation) و التوصيل (convection):

$$Q_{\text{useful}} = Q_{\text{sun}} - Q_{\text{losses}}$$

حيث:

$$Q_{\text{sun}} = \text{الطاقة المستقبلية من الشمس}$$

$$Q_{\text{losses}} = \text{الطاقة المفقودة}$$

لتحديد الطاقة المستقبلية من الشمس تأتي الحاجة لعرض بعض التعريفات التالية:

الإشعاع الداخلى إلى الجسم

يكون هذا الإشعاع منعكس (reflected) أو ممتص (absorbed) أو مرسل

(transmitted) كما هو موضح بشكل (5)

العلاقة بين أنواع الإشعاعات كالاتي:

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

حيث:

α = درجة الامتصاص (absorbance) و هي النسبة بين الفيض الممتص في الجسم إلى الفيض الداخل إلى الجسم.
 τ = معامل النفاذية (transmittance) و هي النسبة بين الفيض المنقول من الجسم إلى الفيض الداخل إلى الجسم.
 ρ = عامل الانعكاسية (reflectance) و هي النسبة بين الفيض المنعكس من الجسم إلى الفيض الداخل إلى الجسم.



شكل (5) تعريفات أنواع الإشعاعات

و تخضع معادلة ائزان الطاقة للآتي:

$$Q_{\text{useful}} = I_a \rho_m A_{\text{ap}} T \alpha_r R S - Q_{\text{losses}} \quad (\text{in W})$$

$$Q_{\text{losses}} = A_r \epsilon \sigma T_{\text{surface}}^4 \quad (\text{in W})$$

حيث:

I_a = الإشعاع (isolation) (بوحدة W/m^2)

A_{ap} = مساحة الفتحة (m^2) (aperture area)

ρ_m = عامل الانعكاسية للمرايا (reflection factor or reflectance)

α_r = درجة امتصاص المستقبل (absorbency or absorbance)

S = عامل ظل المستقبل (receiver-shading factor)

R = عامل منع المستقبل (receiver-intercept factor) (وهو الجزء من

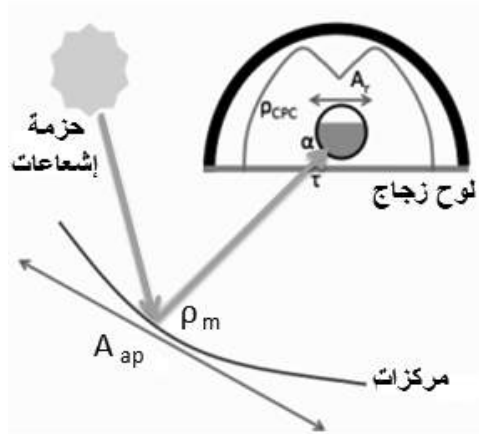
مساحة المجمع والذي لا يتعرض للظل أو حجب الضوء)

إنتاج الطاقة من محطات المركبات الشمسية الحرارية

A_r = مساحة المستقبل (m^2)
 ϵ = انبعاثية المستقبل (emissivity) هي النسبة بين الفيض المشع من الجسم
 (بواسطة الإشعاع) والفيض الذي يمكن أن يشع من الجسم إذا كان جسم أسود
 عند نفس درجة الحرارة.

σ = ثابت ستيفان (Stefan's constant)
 (و يساوي $5.67 \times 10^{-6} J/s.m^2 .k^4$)

T = متوسط درجة حرارة الإشعاع ($in \text{ } ^\circ C$)
 يوضح شكل (6) بعض التعريفات المستخدمة لحساب اتزان الطاقة



شكل (6) بعض التعريفات المستخدمة لحساب اتزان الطاقة

معامل تحول الحرارة الكلي (overall heat transfer coefficient)

يتم الحصول على هذا المعامل من المعادلة التالية:

$$UL = hw + hr + Ucond$$

$$hw = 8.6 (V^{0.6}) / (L^{0.4})$$

$$hr = 4 \epsilon \sigma T^3$$

حيث:

hw = معامل تحول الحرارة بالتوصيل (convection heat transfer coefficient)

V = سرعة الرياح (m/s)

L = طول المستقبل (m)

hr = معامل تحول الحرارة بالإشعاع (radiation heat transfer coefficient)

المفقودات الضوئية (optical losses)

توجد أنواع مختلفة من المفقودات، بعضها راجع إلى المجال الهندسي، و الأخرى راجع إلى البيئة و الجو المحيط. من أحد أهم هذه المفقودات و التي يجب أن تؤخذ في الإعتبار هي الفقد الراجع إلى تأثير جيب التمام (cosine effect). ويوضح شكل (7) تأثير جيب التمام.

وتعرف فعالية جيب التمام من المعادلة:

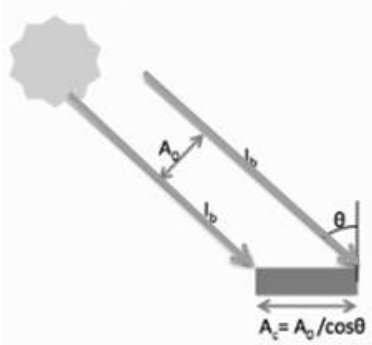
$$\epsilon \cos = I_c / I_b = \cos \Theta$$

حيث:

$\epsilon \cos$ = فعالية جيب التمام (cosine effectiveness)

I_c = الإشعاع على سطح المجمع

I_b = أشعة الحزمة (beam radiation)



شكل (7) ايضاح تأثير جيب التمام

إنتاج الطاقة من محطات المركبات الشمسية الحرارية

مؤشرات الكفاءة (Efficiency Indexes)

لتحديد أداء محطات المركزات الشمسية الحرارية يلزم معرفة وحساب مؤشرات الكفاءة، وعمليا يوجد عدد خمسة كفاءات تغطي أغلب المراحل الهامة لمسار سريان الطاقة والتي توضح تأثير المكونات المختلفة بالمحطة . فيما يلي تعريف هذه الكفاءات:

الكفاءة البصرية للحقل الشمسي

والتي تقارن بين الإشعاع الساقط على الممتص والإشعاع الشمسي الواقع على المرايا

$$\eta_{\text{Optical}} = \frac{E_{\text{@absorber}}}{E_{\text{sun}}} = \frac{E_{\text{@absorber}}}{A_{\text{ap. DNI}}}$$

الكفاءة الحرارية للحقل الشمسي

$$\eta_{\text{Thermal}} = \frac{E_{\text{HTF}}}{E_{\text{@absorber}}}$$

كفاءة الأنابيب

والتي تشير الى تأثير المفقودات الحرارية بالانابيب (شاملة المفقودات الحادثة فى فترات الليل) منسوبة إلى القدرة الحرارية المنتجة من مائع نقل الحرارة

$$\eta_{\text{Piping}} = \frac{E_{\text{@boiler}}}{E_{\text{HTF}}}$$

الكفاءة الصافية لمجموعة القوى

وهي تعبر عن كفاءة تحويل المدخل الحرارى إلى الطاقة الكهربائية، أى الكفاءة الصافية لمجموعة القوى والمحتوية أيضا على المفقودات الحرارية للمبادل الحرارى

$$\eta_{\text{net - PB}} = \frac{E_{\text{el,net-PB}}}{E_{\text{boiler}}}$$

$$E_{\text{el,net - PB}} = E_{\text{el,turb}} - E_{\text{el,pumps}} - E_{\text{el,aux_cond.}}$$

كفاءة مساعدات الحقل الشمسي

وهي تعبر عن تأثير كل من استهلاك مضخات التدوير ونظام التتبع بالحقل الشمسي منسوبة إلى مخرج صافى مجموعة القوى

$$\eta_{aux-SF} = \frac{E_{el,net-PB} - E_{el,aux-SF}}{E_{el,net-PB}}$$

من هذه الكفاءات الخمسة نحصل على الكفاءة الكلية للمحطة أى الكفاءة الحرارية / الكهربائية

$$\eta_{Overall} = \eta_{Optical} \cdot \eta_{Thermal} \cdot \eta_{Piping} \cdot \eta_{net-PB} \cdot \eta_{aux-SF}$$

$$= E_{el,annual} / E_{sun} = P_{net} / E_{sun}$$

من هذه المعادلة نحصل على الطاقة المنتجة من محطات المركبات الشمسية الحرارية

حيث :

DNI = الإشعاع العادي المباشر (direct normal irradiance)

A_{ap} = مساحة فتحة المجمع (aperture area of the collector)

$E_{@absorber}$ = الطاقة المصطدمة عند الممتص (energy impinging on the absorber)

= أو القدرة النظرية المتاحة على سطح أنابيب الأمتصاص

E_{sun} = الطاقة المصطدمة عند المرايا (energy impinging on the mirror)

= أو القدرة الحرارية الصافية المحولة إلى المائع

E_{HTF} = طاقة مائع نقل الحرارة (energy to the HTF)

$E_{@boiler}$ = الطاقة الحرارية الداخلة إلى مجموعة القوى (thermal input to the PB)

$E_{el, net-PB}$ = صافى الطاقة الكهربائية لمجموعة القوى

$E_{el, turb}$ = فى دورة رانكين الشائعة (مياه / بخار) تعرف بأنها المخرج الكهربى لتربينة البخار

(condensate and feed-water pumps consumption) = $E_{el, pumps}$ = استهلاك مضخات مياه التغذية والتكثيف

(condenser auxiliaries consumption) = E_{el, aux_cond} = استهلاك مساعدات المكثف

صافي الطاقة الكهربائية السنوية للمحطة = $E_{el, annual} = P_{net}$

جميع مؤشرات الكفاءة يمكن أن تستخدم في :

الحالات العادية والتي فيها تكون جميع المتغيرات كقدرة (watt)

حالات الاتزان السنوي للطاقة والتي فيها تكون المتغيرات كطاقة (Joule)

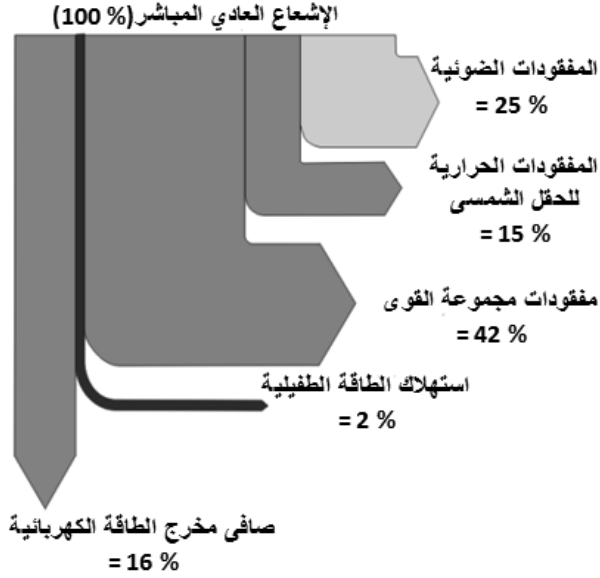
مخطط سانكي للطاقة المنتجة (Sankey diagram for Energy Yield)

هو مخطط بياني يوضح سريان الطاقة المنتجة من محطة مركزات شمسية حرارية أخذاً في الاعتبار نوع ونسبة المفقودات المختلفة (تنسب تسمية هذا المخطط إلي الكابتن الايرلندي " ماتيو هنري ريبال سانكي" الذي استخدم هذا النوع من الرسم في عام 1898 لتوضيح كفاءة استخدام الطاقة في محرك بخاري) يوضح شكل (8) سريان الطاقة التقريبي في محطة مركزات شمسية حرارية حوض قطع مكافئ (قيم متوسطة)

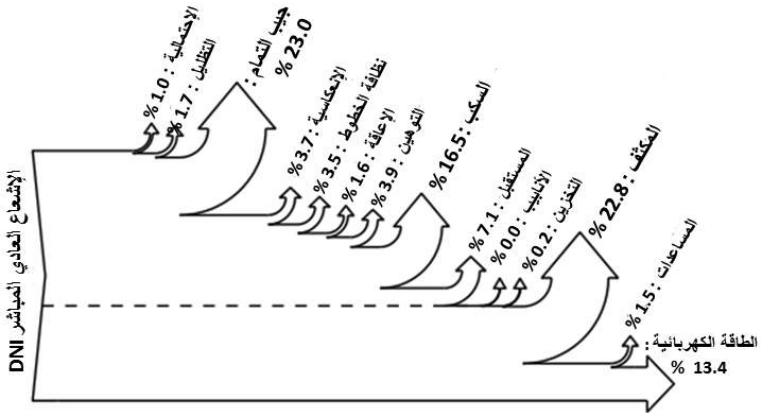
ويوضح شكل (9) مخطط سانكي للطاقة المنتجة ونسبة المفقودات لمحطة برج

الطاقة المركزي (Spelling 2011) (GemSolar – 20 MW_e)

بينما يوضح شكل (10) مثالين لتوزيع نسبة المفقودات في المكونات الرئيسية لمحطات طبق قطع مكافئ

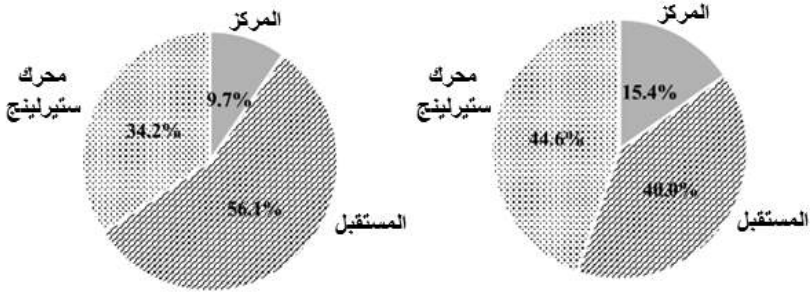


شكل (8) سريان الطاقة التقريبي في محطة مراكز شمسية حرارية حوض قطع مكافئ (قيم متوسطة)



شكل (9) مخطط سانكي للطاقة المنتجة ونسبة المفقدات لمحطة برج الطاقة المركزي

(GemSolar – 20 MW_e) (Spelling 2011)



شكل (10) مثالان لتوزيع نسبة المفقودات في المكونات الرئيسية لمحطات طبق قطع مكافئ

كفاءة استخدام الأرض لمحطات CSPs

توضح المعادلات التالية حساب كفاءة الإشعاع الشمسي / الكهربى لمحطات CSPs بالنسبة لمساحة الأرض المطلوبة، هذه الكفاءة تعني كفاءة تحويل الإشعاع الشمسي إلي كهرباء (solar to electricity conversion efficiency) كفاءة الإشعاع الشمسي/الكهربى = (صافي الإنتاج السنوي للطاقة) ÷ (الإشعاع المباشر السنوي على فتحات المجمعات)

عامل استخدام الأرض = (مجموع مساحات فتحات العاكسات (المجمعات)) ÷ (مساحة الأرض الكلية المطلوبة)

كفاءة استخدام الأرض = (كفاءة الإشعاع الشمسي / الكهربى) × (عامل استخدام الأرض)

يوضح جدول (1):

كفاءة الإشعاع الشمسي / الكهربى

(Solar electric aperture related efficiency)

وعامل استخدام الأرض (land use factor)

وكفاءة استخدام الأرض (land use efficiency) وذلك للتكنولوجيات المختلفة لمجمعات CSPs ومجموعة القوى (power cycle). ويوضح جدول (2) خصائص أداء أنواع محطات المركبات الشمسية

جدول (1) كفاءة الإشعاع الشمسي / الكهربى، عامل استخدام الأرض وكفاءة استخدام الأرض لتكنولوجيات CSPs مختلفة

كفاءة استخدام الأرض	عامل استخدام الأرض	كفاءة الإشعاع الشمسي / الكهربى منسوبا إلى الفتحات	نوع المجمع - دورة الكهرباء
3.5 - 5.6 %	25 - 40 %	11-16 %	- حوض قطع مكافئ - دورة بخار
2.5 - 4.0 %	20 - 25 %	12 - 16%	- مستقبل مركزي - دورة بخار
4.8 - 9.6 %	60 - 80 %	8 - 12 %	- فرسئل خطي - دورة بخار
4.0 - 6.3 %	20 - 25 %	20 - 25 %	- مستقبل مركزي - دورة مركبه
9.0 - 20.0 %	60 - 80 %	15 - 25 %	- مصفوفة أبراج شمسية متعددة - دورة بخار أو دورة مركبة

(Source: solar paces conference Berlin, September 2009)
(Global potential of CSP)

جدول (2) خصائص أداء أنواع محطات المركزات الشمسية

نوع التكنولوجيا	حدود السعة (MW)	نسبة التركيز	أقصى كفاءة حرارية (%)	كفاءة الحرارة / كهرباء (%)	إستخدام الارض (m ² /MWha)
حوض قطع مكافئ	10-200	70-80	21	10-15	6-8
عاكس فرسئل	10-200	25-100	20	9-11	4-6
برج الطاقة	10-150	300-1000	20	8-10	8-12
طبق ستيرلنج	0.01-0.4	1000-3000	29	16-18	8-12

التأثيرات البيئية (Environmental impacts)

تقدر انبعاثات CO₂ من محطات المركزات الشمسية الحرارية بـ 17 g / kWh مقارنة بـ 776 g / kWh من محطات الكهرباء التي تستخدم الفحم، و 396 g / kWh من محطات الدورة المركبة التي تعمل بالغاز الطبيعي. ومع ذلك يجب مراعاة أن بعض محطات المركزات الشمسية الحرارية تستخدم الوقود الأحفوري كدعم احتياطي، ولذا لا يمكن اعتبارها كمحطة "بلا انبعاثات". وقد ذكر في آفاق تكنولوجيا الطاقة (Energy Technology Perspectives 2008) بالسيناريو الأزرق ان محطات CSPs سوف توفر سنويا حوالى 1260 M tonCO₂ أى 7% من إجمالي 18 G tonCO₂ التي يمكن تلافيتها من إنتاج الكهرباء (منسوباً إلى السيناريو المرجعي). بالإضافة إلى تجنب الانبعاثات الملوثة الأخرى مثل: NO_x SO_x

الباب الثاني عشر تطبيقات محطات قوى مجمعات حوض قطع مكافئ

(1) المحطة الشمسية الحرارية بالكريمت (جمهورية مصر العربية)

تعد أكبر مشروع ضمن 3 مشروعات تم تنفيذها على مستوى قارة أفريقيا في المغرب والجزائر ومصر، وتعتمد على ارتباط الدورة المركبة بالحقل الحراري الشمسي.

- يبلغ إجمالي مساحة الحقل الشمسي 644 ألف متر مربع
- عدد موديولات المجمعات الشمسية 1920 وتحتوي على 53760 مرابيا.

- بلغت نسبة التصنيع المحلي في المكون الشمسي نحو 50 %
- قدرة المشروع 140 ميغا وات منها 20 ميغا وات مكون شمسي

بدأ تشغيل المحطة تجارياً اعتباراً من 2011/6/30

تم اختيار موقع الكريمت جنوب الجيزة لما له من مميزات أهمها:

- (1) أرض صحراوية غير مأهولة
 - (2) شدة إشعاع شمسي مباشر تصل إلى 2400 ك.و. س./م²/سنة
 - (3) شبكة كهربائية ممتدة وشبكة غاز طبيعي
 - (4) القرب من مصدر مياه (نهر النيل).
- تم استخدام تكنولوجيا مركزات القطع المكافئ الإسطواني بالارتباط بالدورة المركبة التي تستخدم الغاز الطبيعي كوقود.
- التصميم الهندسي للمشروع :**

مكون الدورة المركبة:

- عدد (2) ترابين غازية قدرة كل منهما حوالي 41.5 ميغاوات تستخدم الغاز الطبيعي كوقود أساسي لتوليد الكهرباء بالإضافة إلى إمكانية استخدام المازوت كوقود بديل.
- عدد (2) وحدة استرجاع الحرارة وتوليد البخار (HRSG)، وتتكون من عدة مراحل (مبادلات حرارية) لتوليد البخار وتحميمه (بواسطة

حرارة غازات عادم التربيننة الغازية) على مستويين مختلفين من الضغط.

- تربينة بخارية بقدرة 67 ميجاوات تستقبل البخار الناتج من وحدتي استرجاع الحرارة لتوليد الكهرباء.
- يتم تكثيف البخار الخارج من التربيننة البخارية في المكثف، حيث يتم ضخ المياه المكثفة إلى نازع الغازات (Deaerator) ومنه يتم ضخ مياه التغذية مرة أخرى إلى وحدتي استرجاع الحرارة لاستكمال دورة إنتاج البخار.

الحقل الشمسي بالمحطة الشمسية الحرارية لتوليد الكهرباء - الكريما

$$\text{المساحة الكلية للمحطة} = 640 \text{ m} * 900 \text{ m} = 576000 \text{ m}^2$$

$$\text{مساحة المجمعات} = 131000 \text{ m}^2$$

النسبة بين المساحة الكلية إلى مساحة المجمعات 4.4

$$\text{عدد الحلقات} = 9 + 11 + 11 = 40 \text{ loop} = \text{إجمالي عدد الحلقات}$$

كل حلقة صفيين تحتوي على 48 موديول

$$\text{الحلقة (loop)} = 2 \text{ row} = 24 + 24 \text{ module}$$

الصف (row) = 2 SCA

$$\text{عدد الموديولات} = 40 \text{ loop} * 48 \text{ module} = 1920 \text{ module}$$

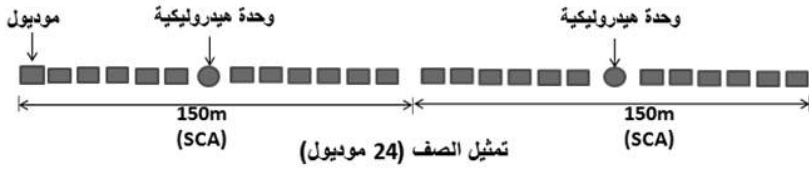
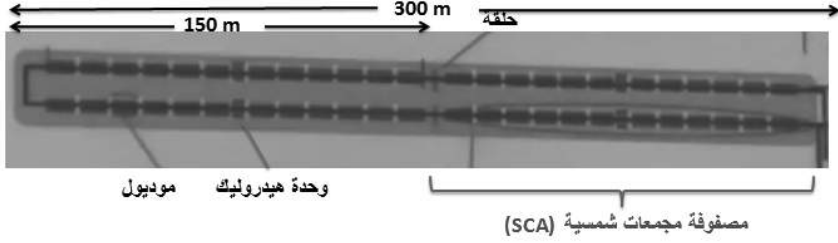
كل حلقة مقسمة إلى 4 مصفوفات ، كل مصفوفة 6 موديولات + 6 موديولات بينهما وحدة هيدروليكية

(المصفوفة: (Solar Collector Assembly or Array (SCA)

أي أن الحلقة تتكون من صفيين ، كل صف مصفوفتين ، كل مصفوفة 12 موديول مجمع ووحدة هيدروليكية (الوحدة الهيدروليكية مسؤولة عن تتبع الحلقة)، طول

الصف 300 m وطول المصفوفة 150 m

ويوضح شكل (1) الحلقة المكونة من 4 مصفوفات شمسية (SCA)



شكل (1) الحلقة المكونة من 4 مصفوفات شمسية (SCA)

كل 12 موديول ووحدة هيدروليكية يطلق عليها مصفوفة (SCA):

طولها 150m ومساحتها $817m^2$

كل موديول يحتوي على 4×7 مرايات = 28 مرايا

مقاس المرايا $1.7m \times 1.6m \times (4-5mm) =$

مساحة الموديول $76.16m^2 = 1.7 \times 1.6 \times 28 =$

عدد المصفوفات (SCA) $(40 \text{ حلقة}) \times (4 \text{ مصفوفة}) =$

$160 =$ مصفوفة

مساحة فتحة المصفوفة (المجمع) $817m^2 =$

مساحة المجمع الشمسية $130720m^2 = 817 \times 160 =$

$131000m^2 \approx$

البيانات الفنية للحقل الشمسي بالكريمات:

الحقل مقسم إلى 4 مناطق للحلقات بالإضافة إلى منطقة خامسة لمجموعة القوى

كما في شكلي (2) & (3)

• عدد الحلقات = 40

• عدد مصفوفات المجمع الشمسي / الحلقة = 4

• إجمالي عدد مصفوفات المجمع الشمسي (SCA) = 160

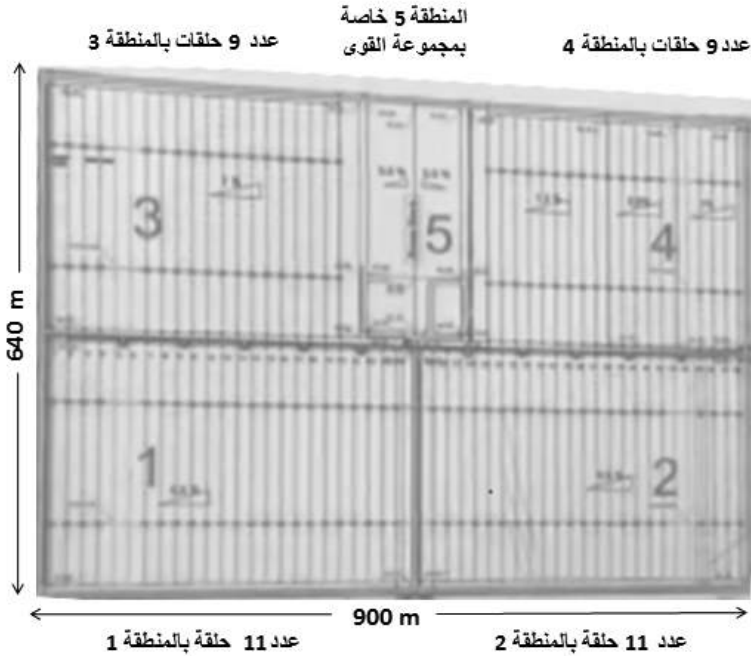
• عدد الموديولات / مصفوفة = 12

تطبيقات محطات قومي مجمعات حوض قطع مكافئ

- إجمالي عدد موديلات المجمع الشمسي = 1920
- المساحة الفعلية الكلية للمرايات = 131000 m²
- أقصى مخرج للطاقة الحرارية من المجال الشمسي = 61 MW_{th}
- أقصى مخرج طاقة كهربائية = 20 MW_{el}
- درجة حرارة مدخل المائع = 293° C
- درجة حرارة مخرج المائع = 393° C
- نوع المائع = أملاح ذائبة



شكل (2) الحقل الشمسي بالمحطة الشمسية الحرارية لتوليد الكهرباء -
الكريمات



شكل (3) تقسيم الحقل الشمسي بالمحطة الشمسية الحرارية لتوليد الكهرباء –
الكريمات

(2) وحدة تجريبية لإنتاج الطاقة وتحمية المياه باستخدام نظام
المركزات الشمسية

Multipurpose Applications by Thermodynamic Solar (MATS)

مدينة الأبحاث العلمية والتطبيقات التكنولوجية – برج العرب - الاسكندرية

في مجال توطين تكنولوجيا المركزات الشمسية وفي إطار اتفاقية التعاون بين أكاديمية البحث العلمي والتكنولوجيا والوكالة الإيطالية ENEC ، تم إعداد مقترح محطة شمسية تجريبية متعددة الأغراض (توليد كهرباء، تحلية مياه) باستخدام تكنولوجيا الأملاح المذابة كمناع ناقل للحرارة ووسيط تخزين ، يهدف المشروع إلى تصميم وبناء وحدات مركزات شمسية متعددة الأغراض بأحدث الأساليب

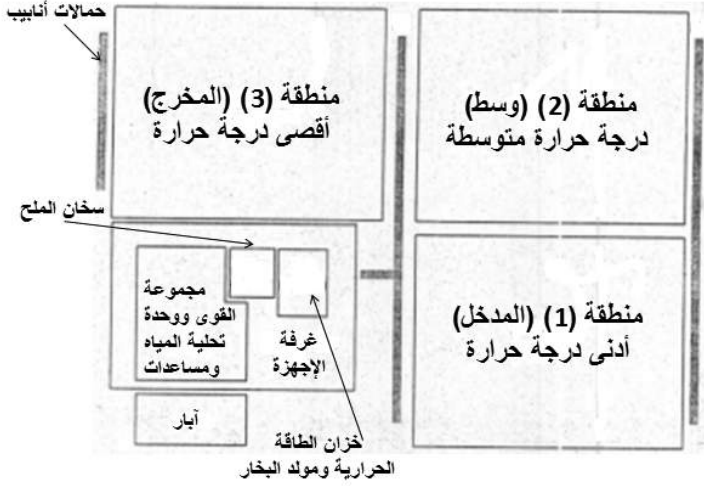
التكنولوجية والقائمة على الابتكار لإنتاج الطاقة الكهربائية بقدرة واحد ميغاوات. وتقوم الوحدة بتحلية 250 متر مكعب فى اليوم، وقد تقرر بناء المشروع بمدينة الأبحاث العلمية والتطبيقات التكنولوجية بمدينة برج العرب الجديدة الأسكندرية.

الطاقة الكهربائية المنتجة ستوزع كالأتى:

- 200 كيلو وات لتغذية مساعدات المشروع
- 800 كيلو وات لتغذية أحمال مدينة الأبحاث العلمية والتطبيقات التكنولوجية

تتكون المحطة كما فى شكل (4) من:

- الحقل الشمسى:
 - منطقة (1) (المدخل) أدنى درجة حرارة
 - منطقة (2) (وسط) درجة حرارة متوسطة
 - منطقة (3) (المخرج) أقصى درجة حرارة
 - مجموعة القوى ووحدة تحلية المياه ومساعدات (على مستوى (4-)
(متر)
 - خزان الطاقة الحرارية ومولد البخار (على مستوى (11-) متر)
 - سخان الملح (على مستوى (6.5-) متر)
- يستخدم الغاز الطبيعى فى حالة صيانة الحقل الشمسى أو عدم إنتاج الطاقة الشمسية لفترة طويلة وذلك للحفاظ على الحالة السائلة لمحلول الملح المذاب المستخدم لتخزين ونقل الطاقة الحرارية من الطاقة الشمسية.



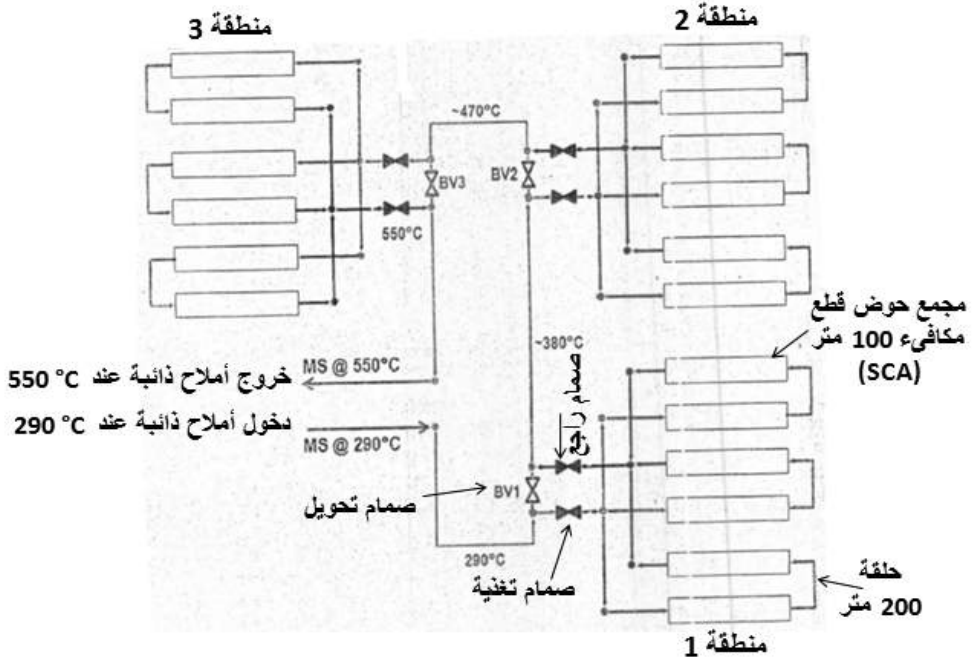
شكل (4) تمثيل للمواقع الأساسية لوحدة MATS

مكونات الحقل الشمسي :

- عدد 18 مصفوفة مجمع شمسي (SCA) طول كل مصفوفة 100 m
- المساحة الكلية لأحواض المجمعات الشمسية 10000 متر مربع
- المُستقبل (الممتص):
- مواسير استينلس ستيل مدهونة بمادة تساعد على امتصاص حرارة الشمس ومغلقة بمواسير من الزجاج لها نفاذية عالية ومفرغ الهواء بينهما.
- الماسورة موضوعة في بؤرة مرايا تعكس أشعة الشمس
- المواسير والمرايا مركبة على هيكل معدني يتم إدارته بنظام هيدروليكي دقيق لتتبع حركة الشمس من خلال حساسات لحركة الشمس
- المياه المحلاة تستخدم في:
- * تعويض مياه تغذية مولد البخار
- * نظافة المرايا
- * استخدامات معامل مدينة الأبحاث العلمية والتطبيقات التكنولوجية
- تستخدم الأملاح المذابة كمائع لنقل الحرارة

تطبيقات محطات قوي مجمعات حوض قطع مكافئ

يوضح شكل (5) ترتيبية المجال الشمسي لوحدة MATS



شكل (5) ترتيبية المجال الشمسي لوحدة MATS

ملحق

المحطات البخارية

(Steam power plant)

إن عملية إنتاج الطاقة الكهربائية هي عملية تحويل الطاقة من شكل إلى آخر حسب مصادر الطاقة المتوفرة في مراكز الطلب على الطاقة الكهربائية وحسب الكميات المطلوبة لهذه الطاقة، الأمر الذي يحدد أنواع محطات الإنتاج وكذلك أنواع الاستهلاك وأنواع الوقود ومصادره كلها تؤثر في تحديد نوع المحطة ومكانها وقدرتها.

أنواع محطات إنتاج الكهرباء :

1. محطات الإنتاج البخارية.
2. محطات الإنتاج النووية.
3. محطات الإنتاج المائية.
4. محطات الإنتاج من المد والجزر.
5. محطات الإنتاج ذات الاحتراق الداخلي (ديزل - غازية)
6. محطات الإنتاج بواسطة الرياح.
7. محطات الإنتاج بالطاقة الشمسية.

المحطات البخارية

- تستعمل انواع مختلفة من الوقود حسب النوع المتوافر مثل: الفحم - البترول السائل - الغاز الطبيعي
- تتصف المحطات البخارية بكون حجمها ورخص تكاليفها (مقارنة بالانواع الاخرى)
- الفارق بين المحطات البخارية هو كيفية نقل وتخزين وتداول وحرق الوقود
- العوامل المؤثرة علي اختيار الموقع المناسب للمحطة:

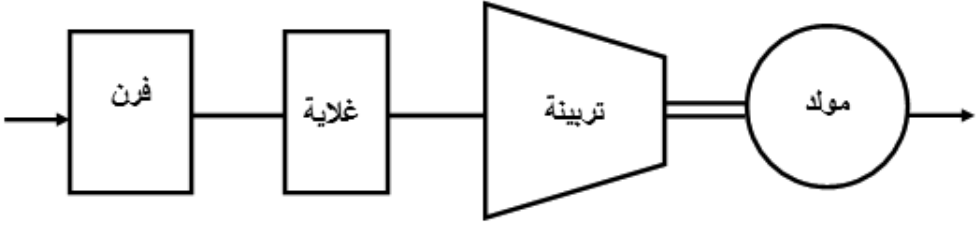
- ❖ القرب من مصادر الوقود المتاحة وسهولة نقله وتوافر وسائل النقل
- ❖ القرب من مصادر مياه التبريد (حيث يحتاج المكثف الي كميات كبيرة من مياه التبريد) لذلك تبني هذه المحطات عادة علي شواطئ البحار او بالقرب من مجاري مائية.

وتعتمد المحطات البخارية على استعمال نوع الوقود المتوفر وحرقة في أفران خاصة لتحويل الطاقة الكيميائية في الوقود الى طاقة حرارية في اللهب الناتج من عملية الاحتراق ثم استعمال الطاقة الحرارية في تسخين المياه في غلايات خاصة (BOILERS) وتحويلها الى بخار في درجة حرارة وضغط معين ثم تسليط هذا البخار على توربينات بخارية صممت لهذه الغاية فيقوم البخار السريع بتدوير محور التوربينات وبذلك تتحول الطاقة الحرارية الى طاقة ميكانيكية على محور هذه التوربينات . يربط محور المولد الكهربائي ربطا مباشرا مع محور التوربينات البخارية فيدور محور المولد الكهربائي بنفس السرعة وباستغلال خاصية المغناطيسية للعضو الدوار (ROTOR) من المولد والجزء الثابت (STATOR) منه تتولد على طرفي الجزء الثابت من المولد الطاقة الكهربائية اللازمة ..

لا يوجد فوارق أساسية بين المحطات البخارية التي تستعمل أنواع الوقود المختلفة إلا من حيث طرق نقل وتخزين وتداول وحرق الوقود . وقد كان استعمال الفحم الحجري شائعا في أواخر القرن الماضي وأوائل هذا القرن ، إلا أن اكتشاف واستخراج البترول ومنتجاته أحدث تغييرا جذريا في المحطات الحرارية حيث أصبح يستعمل بنسبة تسعين بالمئة لسهولة نقله وتخزينه وحرقة إن كان بصورة وقود سائل أو غازي

المكونات الرئيسية للمحطات البخارية

يوضح شكل (1) المكونات الأساسية بالمحطة البخارية



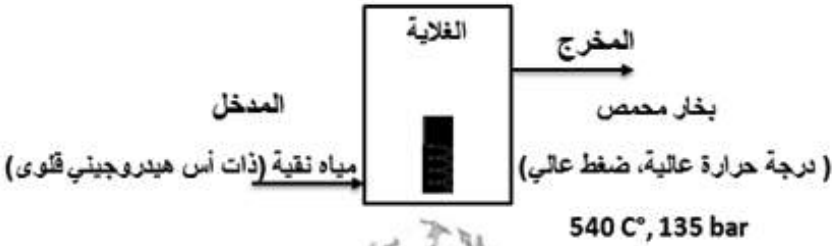
شكل (1) المكونات الأساسية بالمحطة البخارية

1. الفرن (Furnace)

عبارة عن وعاء لحرق الوقود ، يختلف في الشكل والنوع طبقاً لنوع الوقود المستخدم ، وملحق به وسائل تخزين ونقل وتداول الوقود ، والتخلص من المخلفات . ويكون عمل الفرن تحويل الطاقة الكيميائية في الوقود الي طاقة حرارية في اللهب الناتج عن عملية الاحتراق ثم استعمال الطاقة الحرارية في تسخين المياه في الغلايات

2. الغلاية (Boiler)

تقوم بإنتاج بخار محمص أو جاف Super-heated steam / Dry steam
يوضح شكل (2) تمثيل الغلاية



تصل درجة حرارة اللهب الي 1000 C°

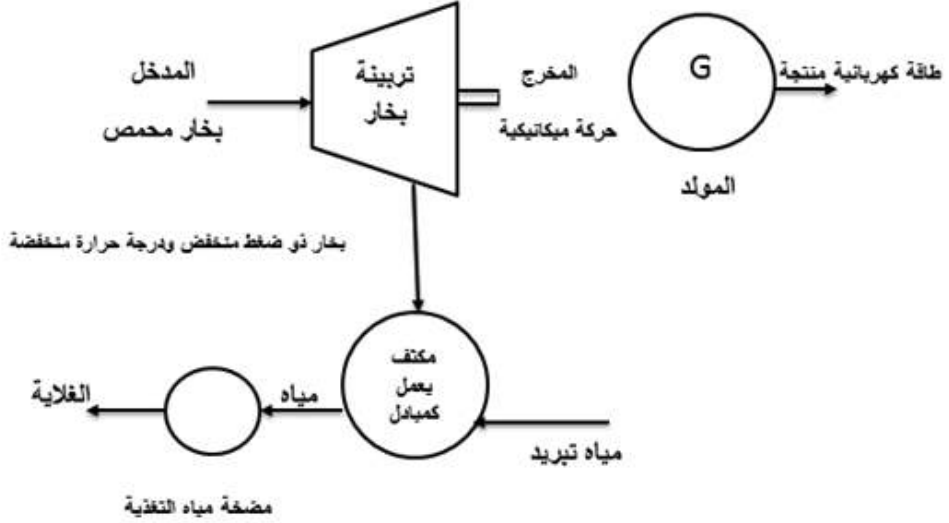
شكل (2) تمثيل الغلاية

3. التربينة الحرارية (Turbine)

تقوم التربينة بتحويل الطاقة الحرارية الموجودة في البخار الي طاقة

المحطات البخارية

ميكانيكية متمثلة في تدوير محور التربيننة المتصلة ميكانيكيا بالمولد
فيدور منتجا الطاقة الكهربائية، كما هو واضح بشكل (3)



شكل (3) تمثيل التربيننة البخارية

4. المكثف Condenser

يكتف البخار ذي الضغط المنخفض ودرجة حرارة منخفضة الخارج من التربيننة ويتحول الي مياه ويضخ الي الغلايه ليعاد تسخينه من جديد
فكرة المكثف:

- تأخذ المياه الباردة من البحر أو النهر (بدون تنقية سوي مرشحات لحجز الشوائب) وتمر بمواسير داخل المكثف
- يمر البخار المراد تكثيفه حول مواسير التبريد
- عن طريق التبادل الحراري يكتسب الماء البارد الحرارة الموجودة في البخار حتي يتكثف
- بمجرد ان يتحول هذا البخار الي مياه فان مضخة مياه التغذية (boiler feed pump) تضخ هذه المياه من جديد الي الغلاية ليعاد تسخينه من جديد

5. برج التبريد (Cooling tower)

يستخدم برج التبريد مع المكثف لتخزين مياه تبريد لتغذية المكثف وذلك بالمحطات غير الواقعة علي مصدر لمياه التبريد بجوار المحطة الحرارية

6. المدخنة (Chimney)

هي مدخنة من الطوب الحراري اسطوانية الشكل مرتفعة جدا ، تقوم بطرد غازات الاحتراق الي الجو علي ارتفاع شاهق جدا بحيث يتم تقليل تلوث البيئة المحيطة بالمحطة.

7. المولد الكهربى (Generator)

يتكون المولد من عضو دوار (rotor) متصل مباشرة مع محور التربينه ، وعضو ثابت (stator) عن طريق ملفات العضوين الدوار والثابت يتحول المجال المغناطيسي الدوار الي تيار كهربى (الطاقة الكهربائية) علي طرفي ملف العضو الثابت.

تعتبر محطة كهرباء شبرا الخيمة "البخارية" لتوليد الطاقة الكهربائية، واحدة من أكبر وأهم المحطات البخارية في الشرق الأوسط وأفريقيا وأقدمها أيضاً، إذ تبلغ قدرتها 1300 ميجاوات، وتمثل 4% من إجمالي الطاقة الكهربائية المولدة في مصر وحوالي 16% بالنسبة للقاهرة. يوضح شكل (4) محطة كهرباء شبرا الخيمة "البخارية"، ويوضح شكل (5) محطة الكريما "البخارية"



شكل (4) محطة كهرباء شبرا الخيمة "البخارية"



شكل (5) محطة الكريمات "البخارية"

References

[1] UNDERSTANDING SOLAR CONCENTRATORS

By George M. Kaplan

Technical Reviewers, Dr. Thomas E. Bowman, Dr. Maurice Raiford, Jesse Ribot

Illustrated By Rick Jali

[2] <http://www.powerfromthesun.net/Book/chapter09/chapter09.html>

[3] http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/oem-wp009_-en-p.pdf

[4] http://www.appropedia.org/Understanding_solar_concentrators

[5] <http://cleanleap.com/7-solar-technology-assessment-and-appropriate-technology-options/71-solar-thermal-technology>

[6] <https://inhabitat.com/nevadas-new-molten-salt-solar-plant-will-produce-power-long-after-the-sun-sets/moltensalt/>

[7] <http://www.renewableenergyfocus.com/view/17095/csp-developments-in-heat-transfer-and-storage-materials/>

[8] <http://solarenergyengineering.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?articleid=2607877>

[9] http://research3.fit.edu/nhc/documents/TES_NAI_Journal_Final.pdf

- [10]<http://mechanicalinventions.blogspot.com.eg/2014/07/one-axis-tracking-concentrator.html>
- [11]<http://www.industrial-solar.de/content/en/maerkte/fresnel-collector/>
- [12]https://www.researchgate.net/publication/273696030_Dynamic_Modelling_of_Concentrated_Solar_Field_for_Thermal_Energy_Storage_Integration
- [13]<http://www.ee.co.za/article/linear-fresnel-systems-future-csp.html>
- [14]<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148115302494>
- [15]<https://www.geni.org/globalenergy/research/review-and-comparison-of-solar-technologies/Review-and-Comparison-of-Different-Solar-Technologies.pdf>
- [16]http://www.solarcellcentral.com/csp_page.html
- [17]<http://www.alpha-e.com/at350-specifications.html>
- [18]<http://landartgenerator.org/blagi/archives/2004>
- [19]https://en.wikipedia.org/wiki/Frank_Shuman
- [20] <http://www.skyfuel.com/en/technology/csp-101/>
- [21]https://www.slideshare.net/swapnil_energy/concentrated-solar-power-technologies-csp-11509061
- [22]<https://www.slideshare.net/asertseminar/solar-thermal-power>

[23]<https://newenergyportal.wordpress.com/category/solar-energy/>

[24]<https://www.nextbigfuture.com/2007/06/solar-cells-with-407-efficiency-made-58.html>

[25]<https://www.ecnmag.com/article/2013/11/cpv-technology-today-and-tomorrow>

[26]<https://sites.google.com/site/qasp22/comparison-of-pv-and-csp>

[27]https://www.researchgate.net/publication/311970734_Parametric_analysis_of_a_hybrid_solar_concentrating_photovoltaic_concentrating_solar_power_CPVCSP_system

[28]https://en.wikipedia.org/wiki/Concentrated_solar_power#Efficiency

[29]<https://www.slideshare.net/IntertechPira/beninga-worleyparsons>

[30]NREL is a national laboratory of the U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, operated by the Alliance for Sustainable Energy, LLC. Contract No. DE-AC36-08GO28308

Utility-Scale Parabolic Trough Solar Systems: Performance Acceptance Test Guidelines .April 2009 — December 2010

David Kearney Kearney & Associates Vashon, Washington

[31]Technical Manual for the SAM Physical Trough Model

Michael J. Wagner and Paul Gilman

[32]Estimating the Performance and Economic Value of Multiple Concentrating Solar Power Technologies in a Production Cost Model Jennie Jorgenson, Paul Denholm, Mark Mehos, and Craig Turchi

[33]Guidelines for CSP Yield Analysis – Optical Losses of Line Focusing Systems; Definitions, Sensitivity Analysis and Modeling...

Conference Paper in Energy Procedia · January 2013

DOI: 10.1016/j.egypro.2014.03.141 · Source: DLR

[34]Concentrated Solar Thermal Power

AnjaneyuluKrothapalli Department of Mechanical Engineering

Florida State University, Tallahassee, FL 32310
BrentonGreska

Sustainable Energy Technologies, LLC

St. Cloud, FL 34771

[35]Concentrated solar power plants: Review and design methodology H.L. Zhang ,J.Baeyens , J.Degr eve , G.Caceres

Renewable and Sustainable Energy Reviews 22 (2013)
466–481

[36]Global Potential of Concentrating Solar Power

Franz Trieb, Christoph Schillings, Marlene O’Sullivan,
Thomas Pregger, Carsten Hoyer-Klick

SolarPaces Conference Berlin, September 2009

[37]Simplified Methodology for Designing Parabolic Trough Solar Power Plants

Ricardo Vasquez Padilla

University of South Florida, rvasque@mail.usf.edu

[38]An investigation on factors influencing dust accumulation on CSP mirrors

S. Pennetta, , S. Yu, , P. Borghesani, , M. Cholette, , John Barry, and , and Z. Guan

Published by the American Institute of Physics

[39]EUROTROUGH - Parabolic Trough Collector Developed for Cost Efficient Solar Power Generation

Michael Geyer ,EckhardLüpfer,

[40]Analysis & Design of Parabolic Trough Solar Thermal Power Plant for Typical Sites of Pakistan

Engr. ShahrukhSaleem, Prof. Dr. AzzamulAsar

[41]Reflector Soiling and Cleaning Methods

Fabian Wolfertstetter, DLR

@ SFERA Summer School

Hornberg, May 15th – 16th 2013

[42]Advanced CSP Teaching Materials

Chapter 6

Linear Fresnel Technology

Author

Matthias Günther

[43]Solar Engineering of Thermal Processes

Fourth Edition

John A. Duffie (Deceased)

Emeritus Professor of Chemical Engineering

[44]<https://www.google.com.eg/url?>

[45]<http://www.google.com/patents/US20130220303>

[46]<https://www.osapublishing.org/oe/abstract.cfm?uri=oe-24-14-a985>

[47]https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power_tower

[48]

<https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=24>

[49]<http://www.seminaronly.com/mech%20&%20auto/solar-power-towers-seminar-report-ppt.php>

[50]<https://hub.globalccsinstitute.com/publications/development-solar-and-wind-power-karnataka-and-tamil-nadu/71-solar-thermal-technology>

[51]<http://www.powerfromthesun.net/Book/chapter10/chapter10.html>

[52]<http://www.powerfromthesun.net/Book/chapter01/chapter01.html>

[53]<http://www.powertakeoff.com/blog/energy-efficiency-cheapest-fuel/>

[54]<http://www.marketoracle.co.uk/Article38024.html>

[55]<https://www.marefa.org/>

[56]<https://www.e-education.psu.edu/eme811/node/682>

[57]<http://turnkey-innovations.com/comparison-pv-csp/>

[58]<https://www.e-education.psu.edu/eme811/node/682>

[59]http://file.scirp.org/Html/7-6201461_31251.htm

[60]<https://www.slideshare.net/drpmills/81-to-84-2012>

[61]https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CSP_Essentials.pdf

[62]European Concentrated Solar Thermal Road-Map (ECOSTAR SES6-CT-2003-502578), DLR

[63]Farah AL-Chaaban, Ahmed Ghamrawi, ChaibanHaykal and NazihMoubayed"Comparative study on PV and Thermal solar energy concentrators" (EEECEGC 2013), 2013

[64]Renewable energy technologies; cost analysis series concentrating solar power

IRENA, June 2012

[65]Towards cost reduction in CSP: innovative design for an efficient Fresnel based solar failed.

BUBEN ABBAS CAMARA

Ingeniero industrial

By: prof. Martinez-Val Penlosa, Madrid.

[66]Receiver Design Methodology for solar Tower plants

Joseph Stalin Maria Jebamalai

SE-10044, Stockholm, August 2016

جميع حقوق الطبع محفوظة للمؤلفة

رقم الإيداع

بدار الكتب والوثائق القومية

2018 /16100

مطبعة

Crest Press

عنوان المطبعة: ١، شارع الاربعين، من جسر السويس، بجوار حديقة بدر

تليفون: ٠٢ ٢٢٩٧٠ ٠٦٢