www.sbargh.ir

واحد تهران جنوب
دانشكده فني مهندسي
گروه برق قدرت

عنوان پروژه :

بهره گیری از انرژیهای تجدیدپذیر برای تولید انرژی الکتریکی

استاد راهنما :

جناب آقاي دكتر ابراهيمي

تهیه کنندگان :

امین شیخ احمدی

مجید زرگرزاده

www.sbargh.ir

۶

انرژی خورشیدی

مقدمه
تاریخچه
تشعشع خورشیدي
تشعشعات خورشیدي
سیستمهاي تبدیل انرژي خورشیدي به الکتریسیته
تبدیل انرژي گرمایي خورشید به الکتریسیته
تبدیل فتوولتاییك
سیستمهاي ریسیور مرکزي گرماي خورشیدي
هلیوستات ها
زمین هلیوستات
کنترل هلیوستات
ریسیور
راندمان ریسیور
سیستم انتقال گرما
سیستم نگهداري گرمایي
تجربه جهاني
نیروگاههاي هیبریدي
تبدیل سیکل استر لینگ
سیستمهاي سیکل مرکب (بهم پیوسته)
تبدیل انرژي فتوولتاییك
سیستمهاي تولید توان خورشیدي ماهواره

www.sbargh.ir

مقدمه

از تمام منابع انرژي تجديد پذير بيشترين توجه به انرژي خورشيدي در دهه ۱۹۷۰ انجام شد . بيشترين توجه به آن بعنوان يك راه حل براي كاهش استفاده از منابع فسيلي و سوختهاي هسته اي براي يك محيط زيست پاكيزه تر شد .

انرژي خورشيدي ، در سايز عمومي انرژي پتانسيلي دارد كه براي تهيه انواع انرژي مي توان ذخيره كرد : الكتريكي ، حرارتي ، شيميايي و هر سوخت قابل حمل و نقل . به هر حال انرژي خورشيدي ، قابل گسترش ، قابل چرخش و معمولا غير وابسته است . بنابراين به سيستمها و قطعاتي نياز دارد كه بتوانند بزرگ شوند و راندمانشان براي تبديل به هر گونه از موارد استعمال فوق كه امكان داشته باشد تبديل شوند . بيشتر مواد سازنده براي جمع آوري و تغيير شكل تشعشعات خورشيدي استفاده مي شود خواه انرژي گرمايي و يا فتوولتايي باشدبه هرصورت انرژي شان بسيار بيشتر مي شود . براي مثال مقدار زيادي انرژي براي تبديل سنگ معدن به محصولات زير مانند : آلومينيوم ، فولاد ، مس ، بتن ، شيشه و پلاستيك لازم است . تبديل مستقيم انرژي خورشيدي به الكتريسيته (فتوولتاييك) به پروسه شتابدهنده كه از ماسه كريستال سيليكون است نياز دارد . هر دو سيستم تبديل انرژي ، تشعشعات را جمع آوري كرده و به انرژي قابل استفاده (گرماي خورشيد و فتوولتاييك) تبديل مي كند .

يك ارزيابي منطقي از انرژي خورشيد نشان مي دهد كه داراي ارزش هاي بسيار زيادي است . ارزشها بر دو نوع اند : ۱ – ارزش پولي محصولات توليد شده و فراهم كردن آن براي ورود به سيستمهاي قابل كاركرد ۲- مقدار منابع انرژي مرسوم اعم از زغال سنگ ، نفت ، گاز طبيعي و سوخت هاي هسته اي كه بايد در پروسه هاي توليدي محصولات فوق و در ساختمان سيستم ها مصرف شود .

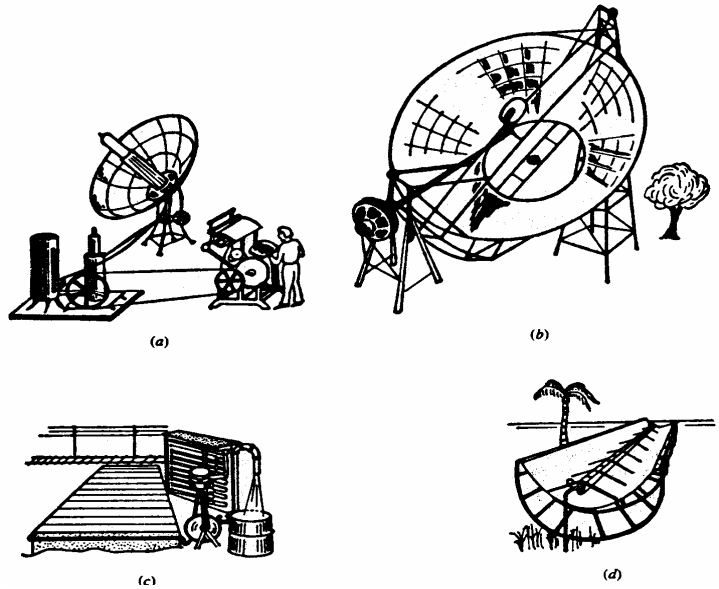
تاريخچه

در كل ، نياز انسان به انرژي خورشيدي غير قابل انكار است . نور خورشيد باعث رشد همه گياهان شده و آب تازه براي گياهان و بقاي انسان توليد مي كند . بعلاوه آن بعنوان منبع گرمازا در زندگي مردم هزاره اول بوده و آزمايشات جدي براي استفاده از آن براي توليد انرژي بطور ويژه در قرن هيجدهم شروع شد. در سال ۱۷۷٤ ژوزف پريستلي روي اكسيد جيوه مطالعه كرد . نتيجه آن يك گاز بود كه به روشني يك شمع مي سوخت . اين آزمايش منجر به كشف اكسيژن گشت .

www.sbargh.ir

يك قرن بعد ، يك دستگاه تقطير نسبتا خورشيدي در شمال صحراي شيلي نصب شد . آن زميني به مساحت ۴۸۰۰ m را در بر گرفته بود و شامل سقفهاي شيشه اي تخت شيبي بود، كه اشعه خورشيد از آب زير سقفها عبور مي كرد . آب بخار شده در زير شيشه اي كه از آن عبور مي كرد و سرد كننده بود كندانس مي شد و در كانالها جمع مي شد . دستگاه در هر روز در حدود $25\ m^3$ آب تقطير شده توليد مي كرد و در يك معدن نيترات استفاده مي شد . دستگاه ۴۰ سال كار كرد يعني تا وقتي كه معدن تمام شد .

تبديل انرژي خورشيدي به مكانيكي براي اولين بار در نمايشگاهي در پاريس در سال ۱۸۷۸ هنگاميكه نور خورشيد بر روي يك بويلر كه بخار توليد مي كرد متمركز شده بود و يك موتور بخار كوچك را تغذيه مي كرد و آن يك دستگاه چاپ را بكار مي انداخت شرح داده شد . در سال ۱۹۰۱ يك مبدل بزرگتر ($6\ m^2$) به فرم يك مخروط ناقص براي يك موتور ۴,۵ hp ، بخار توليد مي كرد . در سالهاي ۱۹۰۷ و ۱۹۱۱ نزديك فيلادلفيا ، اف .شامن موتورهاي بخار خورشيدي در چندين اسب بخار ساخت كه براي پمپاژ آب بكار مي رفت . در سال ۱۹۱۳ شامن با همكاري سي . وي . بويز يك موتور بخار خورشيدي بزرگتر با قدرت ۵۰ hp ساخت كه بسيار بلند و بصورت شلجمي بود و اشعه خورشيد را به يك لوله كه در مركز آن بود فوكاس مي كرد (با نسبت تمركز ۴/۵) . موتور آب نيل ، نزديك كايرو را براي آبياري ،پمپ مي كرد . (چهار سيستم توضيح داده شده در بالا در شكل ۱ نمايش داده شده است .)



شكل- ۱
چهار سيستم
توضيح داده شده
در بالا[۷]

www.sbargh.ir

در تلاشهاي بعدي براي تبديل انرژي خورشيدي به الكتريكي دستگاهي توسط جي . اي . هرينگتون در سال ۱۹۱۵ در نيومكزيكو ساخته شد . نور خورشيد بر روي يك بويلر متمركز مي شد كه يك موتور بخار را بحركت در مي آورد و آب را به داخل يك تانك كه در ارتفاع ٦ متري قرار داشت و $19\ m^3$ حجم داشت هدايت مي كرد . آب ذخيره شده به سمت پايين حركت مي كرد كه يك توربين آبي را بچرخاند و آن متصل به يك ژنراتور بود كه چند لامپ كوچك در يك معدن كوچك را تغذيه مي كرد .

به هر حال رقابت بين سوختهاي فسيلي ارزان و فعاليتهاي كوچك در زمينه پيشرفت انرژي خورشيدي بيش از ۳۰ سال به طول انجاميد اما نتوانست جايگزين آن شود .

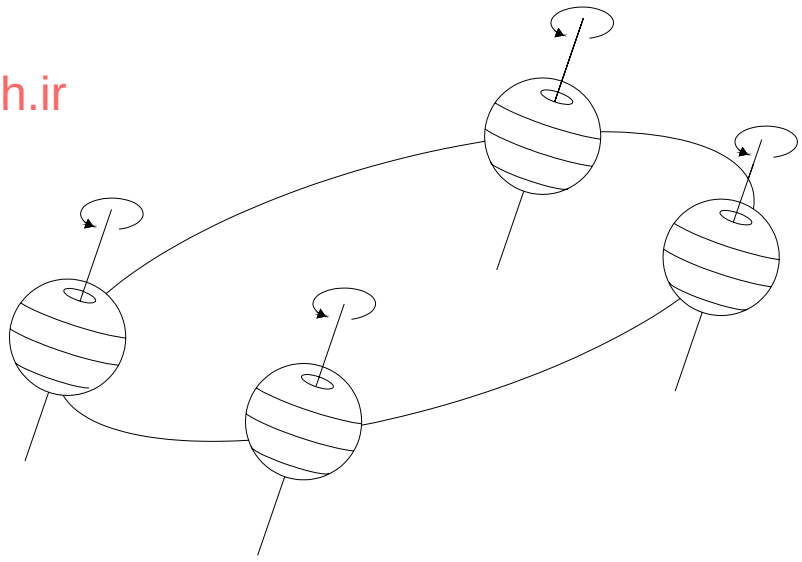
تشعشع خورشيدي

مقدار كل انرژي خورشيدي كه به زمين مي رسد زياد است . چرخش زمين و مدار چرخش زمين به دور خورشيد هر روزه و بصورت فصلي صورت مي گيرد . آن همچنين از تداخل جوي از ابرها مواد ويژه ، گازها و . . . عبور مي كند . در اين بخش ما انرژيي كه از آنطرف اتمسفر به زمين مي رسد مورد توجه قرار مي دهيم .

زمين به دور خورشيد در يك مدار كمي بيضوي مي چرخد كه محورهاي بزرگ و كوچك آن با هم در حدود ۱/۷درصد اختلاف دارند . زمين در ۲۱ دسامبر نزديكترين فاصله را با خورشيد دارد كه حدود $1/45 \times 10^{11}\ m$ است و دورترين فاصله در ۲۲ ژوئن مي باشد كه فاصله زمين با خورشيد در حدود $1/54 \times 10^{11}\ m$ است .

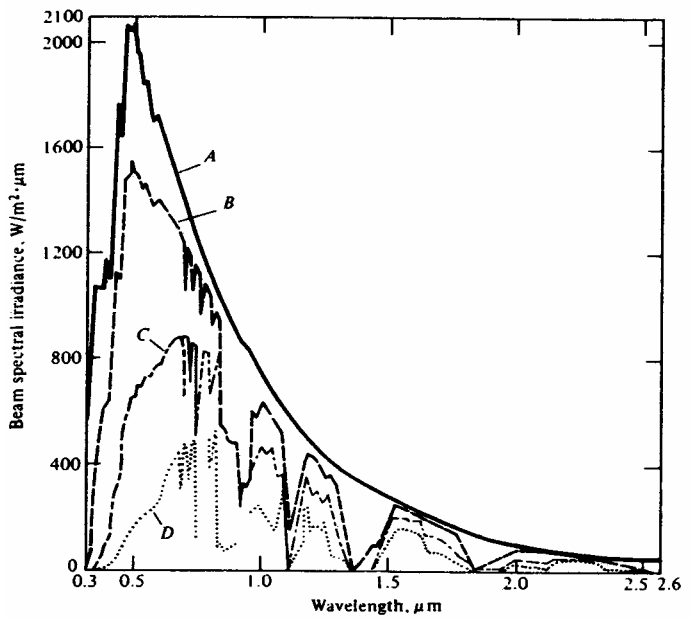
فاصله متوسط $1/49 \times 10^{11}\ m$ است (شكل ۲). [۷]

www.sbargh.ir



شكل ۲- [۷]

قطر خورشيد در حدود $1/39 \times 10^{9}\ m$ است و مماسهاي آن با زمين فقط با زاويه ۳۲ دقيقه مي باشد . بنابراين براي تمام مقاصد عملي ، تابشهاي خورشيدي ممكن است هنگام بر خورد با زمين ، موازي در نظر گرفته شوند . خورشيد داراي دماي جرم سياه (**black - body**) در حدود $5762^{\circ}\ K$ است . طيف نوري تشعشعات انرژي خورشيدي در فاصله متوسط زمين - خورشيد از اتمسفر زمين در شكل ۳ نشان داده شده است .



شكل ۳- طيف نوري تشعشعات انرژي خورشيدي در فاصله متوسط زمين - خورشيد[۷]

آن يك منحني نوك تيز با چگالي تابش پريونيت است . رابطه بين خورشيد و زمين و تاثير دماي خورشيد منجر به شدت تشعشعات خورشيدي مي شود كه تقريبا ثابت است و « ثابت خورشيدي » ناميده مي شود و با "S" نمايش مي دهند. آن با سطح زير نمودار **A** در شكل ۳ برابر است و مقدار زير را دارد : $S=۱۳۵۳\ m/w^2$. مدار تقريبا بيضوي چرخش زمين به دور خورشيد باعث مي شود شدت تشعشعات واقعي خورشيد كمي از ثابت خورشيدي با يك رنج در حدود ۳ ± در صد منحرف شود . تغييرات كوچك ديگر نيز با پريوديك هاي مختلف روي مي دهد . تشعشعات خورشيدي از همه انواع تشعشعات پرتو افكني مي باشد كه همچنين تشعشعات مستقيم ناميده مي شود .

محور قطبي زمين (محوري كه زمين به دور خود مي چرخد) بطور ثابت با زاويه ۲۳ / ٤٥ ° از حالت معمولي رو به سمت خورشيد (**ecliptic plane EP**) خم شده است .

تشعشعات خورشيدي

انرژي خورشيدي كه به سطح زمين مي رسد تشعشعات فرا زميني (خورشيدي) (**Terrestrial Radiation**) ناميده مي شود . آهنگ رسيدن انرژي فرا زميني به واحد سطح در زمين بر حسب W/m^2 است كه بطور متغير مربوط به تشعشع ، ايزوله كردن يا چگالي انرژي ، مربوط مي شود . تشعشعات فرا زميني گازهاي مختلف ، بخارات و مواد ويژه در اتمسفر زمين در معرض تغيير و يا كاهش دادن قرار مي دهد . تشعشعات فرا زميني به وسيله دو مكانيسم پراكندگي و جذب تضعيف مي شوند .

پراكندگي مكانيسمي است كه قسمتي از يك پرتو پراكنده شود يعني بوسيله مولكول هاي ، بخار آب و يا گرد غبار در اتمسفر تضعيف شود . مكانيسم به نوع متوسط پراكندگي و طول موج تشعشع بستگي دارد و تقريبا يك اثر طبيعي پيچيده مي باشد .

www.sbargh.ir

به هر حال اين مكانيسم شناخته شده كه پراكندگي و انتشار تشعشعات بيشتر براي مواج با طول موج كوتاه تر رخ دهد و اين دليل ديدن آسمان به رنگ آبي است .

جذب تشعشعات خورشيدي در اتمسفر عمدتا توسط ازون (O_3) صورت مي گيرد ، بخار آب (H_2O) و دي اكسيد كربن (Co_2) اشعه X و ديگر امواج طول موج كوتاه خورشيد بوسيله يونهاي N_2 و O_2 و ديگر اجزاي درون اتمسفر بسيار جذب مي شوند . تاثيرات مهم باعث مي شوند بوسيله :

۱ - ازون امواج فرابنفش (طول موج كوتاه) را با جذب كامل در طول موجهاي ۰/۲۹ μm و كمتر از آن و كاهش جذب در طول موجهاي بين ۰/۲۹ تا ۰/۳۵ μm . البته يك باند جذب بسيار ضعيف نزديك ۰/٦ μm وجود دارد .

۲- بخار آب با جذب قوي باندهاي با طول موج بالا يعني طيفي در حدود ۱/۰ ، ۱/٤ و ۱/۸ μm .

۳- دي اكسيد كربن باند جذبي در طول موجهاي كوتاه يا طول موجهاي قابل رويت ندارد اما چندين باند براي جذب تشعشعات فرا زميني دارد اما اين باندها فقط در حدود ۵ درصد كل طيفها را در بر مي گيرد . اين باندها عبارتند از : ۲/۳٦ تا ۳/۰۲ μm _ ٤/۰۱ تا ٤/۰۸ μm _ ۱۲/۵ تا ۱٦/۵ μm . بنابراين پديده جذب بوسيله آب و دي اكسيد كربن باعث مي شود كه انرژي رسيده به سطح زمين با طول موجي بزرگتر از ۲/۳ μm داشته باشد .

سيستمهاي تبديل انرژي خورشيدي به الكتريسيته

در سال ۱۹۸۰ كل انرژي مصرفي ايالات متحده در حدود $۲/۲۸٦ \times ۱۰^{13}$ KWh مي باشد كه در حدود ۲۵ در صد آن يعني $۵/۱۷۵ \times ۱۰^{12}$ KWh براي توليد انرژي الكتريسيته بكار مي رود . راندمان متوسط تبديل انرژي در حدود ۳۰ تا ۳۲ در صد است و در سال كل انرژي الكتريسيته مصرف شده در حدود $۱/۸ \times ۱۰^{12}$ $KWh/year$ است .

ممكن است به نظر برسد انرژي خورشيدي كه مي تابد در حدود $۲/۲ \times ۱۰^{16}$ $KWh/year$ مي تواند بيشتر از ۱۰۰۰ بار بزرگتر از كل مصرف انرژي و يا ۱۲۰۰۰ بار بيشتر از انرژي الكتريسيته مصرفي در ايالات متحده مي باشد اگر مجموع انرژي خورشيدي را در زمينهايي كه نه در تصرف كسي و نه زير كشت است حساب كنيم ، در آن صورت به بهترين وجه ظرفيت بالقوه بهره برداري از انرژي خورشيدي به دست مي آيد .

انرژي خورشيدي به دو صورت به انرژي الكتريسيته تبديل مي شود : تبديل انرژي گرمايي خورشيد به الكتريسيته و تبديل فتوولتاييك .

www.sbargh.ir

تبديل انرژي گرمايي خورشيد به الكتريسيته

در ايـن روش تشعـشعات خورشـيدي بـه گرمـا تبـديل شـده كـه در واقـع بـه يـك سـيكل ترموديناميك وارد مـي شود و توليد كـار مكـانيكي و الكتريسيته مـي كنـد . بـراي اين كـه داراي راندمان باشد و اقتصادي شود لازم است كه انرژي خورشيدي منتشر شده بـه عنـوان يك منبـع گرمايي با دماي بالا (**Solar - Thermal Conversion**) جمع آوري و متمركز شود .

كولكتورها ، انرژي خورشيدي را جمع مي كنند و به سمت گيرنده ها (ريسيورها) كـه شـامل سيالي اسـت كـه در سيكل ترموديناميك كـار مـي كنـد هدايت مـي كننـد . سيـستمهاي استفاده شده براي تبديل انرژي گرمايي خورشيد به الكتريسيته چند نوع مي باشد كه شامل

۱. سيكل رانكلين كه سيال آن بخار يا چيز ديگري است .
۲. سيكل برايتون كه سيال آن هليوم يا هوا است .
۳. سيستمهاي هيبريدي
۴. سيستمهاي **Re Powering**

بعلاوه سيستمهاي ذخيره سازي ممكن است لازم باشد . سيستمهايي كه فقط توليد گرما مـي كننـد به مقداري مواظبت نياز دارند . [۷]

تبديل فتوولتاييك (**Photo Voltaic Conversion**)

سيـستمهاي فتوولتاييـك شـامل وسـايلي بـه شـكل سـلول (**Cell**)اسـت كـه تبـديل مـستقيم فوتونهاي خورشيدي به الكتريسيته بدون استفاده از سيكل ترموديناميك يـا سيال مـي باشـد . آنـها مي توانند كولكتورهاي خود باشند يـا مـي تواننـد از كولكتورهـايي استفاده كنند كـه خورشيد بـه سـمت آنـهـا متمركـز شـود . سـلولها جريانهـا و ولتاژهـاي پـاييني توليـد مـي كننـد بنـابراين در ماژولهايي با يكديگر متصل شده اند . ماژولها نيز به نوبه خود در پانلهايي قرار دارنـد و رشته ها (**Arrays**) به تجهيزات قدرت ويژه اي مي رسند . سلولها از مواد زير ساخته شده اند :

۱. **يك كريستال سيليكون**
۲. **سيليكون با تعداد زيادي كريستال**
۳. **ورقه هاي نازك با يك رنج وسيع از كمپوندهاي شيميايي**

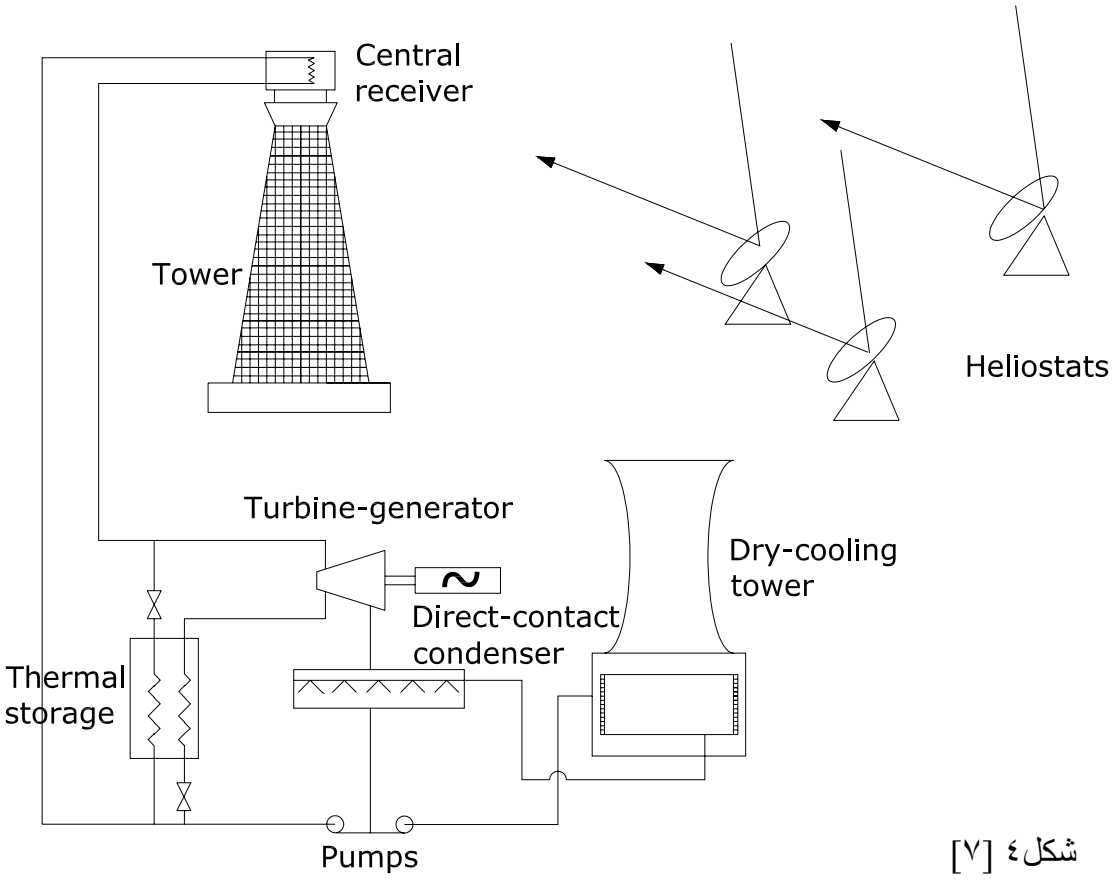
سيستمهاي ريسيور مركزي گرماي خورشيدي

سيستمهاي ريسيور مركزي يعني تبديل گرماي خورشيد به الكتريسيته از آينه هاي بـا ابعـاد بـزرگ استفاده مـي شـود كـه نـور خورشـيد را مـنعكس مـي كننـد و « هليوسـتات » (**Heliostat**) ناميده مي شود كـه انـرژي خورشيدي را بـه ريسيور مركزي كـه در بـالاي يك برج است منعكس مي كنند (شكل ٤) .

www.sbargh.ir

هليوستاتها بطور جداگانه انرژي خورشيدي را به سمت ريسيور مركزي هدايت مي كنند . آنها در مدت زماني كه نور خورشيد مي تابد انرژي آنرا روي ريسيور متمركز مي كنند . درون ريسيور يك سيال وجود دارد كه مي تواند آب باشد تا بخار شود تا در سيكل رانكلين ، يك توربو ژنراتور را بحركت در آورد و يا يك سيال مياني باشد كه گرما را به سيكل بخار انتقال دهد .

سيستم بايد داراي نگهداري سر خود براي شبها و روزهاي ابري داشته باشد بصورتيكه در شكل ٤ نمايش داده شده است . خروجي ريسيور بزرگتر از چيزي كه در سيكل بخار لازم است ساخته مي شود و اضافي خروجي در دوره ها ي مختلف به سمت سيستم نگهداري گرمايي برگشت مي شود . زمانهايي كه تابش خورشيد كم است و يا وجود ندارد آب تغذيه كننده به سمت سيستم ذخيره سازي تغيير جهت مي دهد يعني بجاي اينكه به ريسيور برود



شكل٤ [٧]

يك دريچه مخصوص در سيستم اجازه كار در مود ديگري را مي دهد .

نيروگاههاي تبديل انرژي گرمايي خورشيد به الكتريسيته معمولا در زمينهاي باير و بسيار گرم كه بزرگ نيز هستند (به دليل بزرگ بودن هليوستات) نصب مي شوند . جاييكه انرژي خورشيدي نيز فراوان است اما آب كمياب است . كندانسور نيز حتما بايد يك برج خنك كننده خشك باشد . چنين برجهايي داراي راندمان پاييني هستند و باعث كاهش راندمان سيكل رانكلين مي شود اما نيازي به آب ندارند .

www.sbargh.ir

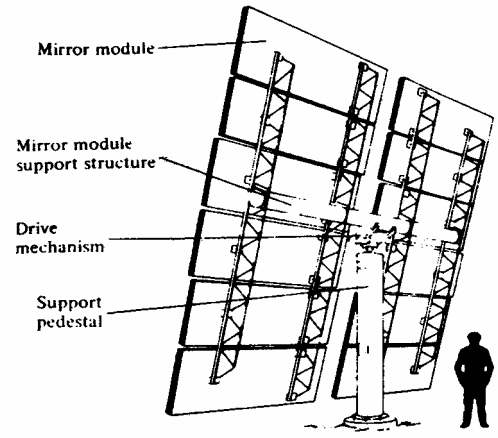
اولين نيروگاه خورشيدي با توان **MW ۱۰** بصورت پايلوت در بيابان موجاوه (**Mojave**) در كاليفرنيا در نيمه سال **۱۹۸۲** تست شد و شروع بكار كرد .

هليوستات ها

هليوس (**Helios**) در يوناني به معني خورشيد است . هليوستاتها آينه هايي هستند كه قابليت جابجايي دارند بنابراين مي توانند تشعشعات خورشيد را به ريسيور مركزي در كل مدت روز منعكس كنند . آنها براي دنبال كردن خورشيد ساخته شده اند نه اينكه بر اشعه هاي آن عمود باشند بلكه بايد در زاويه اي باشند كه بتوانند آنها را به ريسيور ثابت منعكس كنند . اين زاويه به دو عامل بستگي دارد :زمان (ساعت) و موقعيت تك تك هليوستاتها نسبت به ريسيور .

هر هليوستات از يك سطح منعكس كننده يا آينه تشكيل شده و ساختمان آن شامل جهت ياب ، سيستم كنترل و سيستم حركتي است . طراحي هاي امروزي مجموعا بين ٤٠ تا $70\ m^2$ را شامل مي شود . ايده آل آن است كه كانون آن برابر با فاصله ريسيور **با** هليوستات باشد . البته چون فاصله زياد است كره يا هر سطح صافي بهترين پيشنهاد است . دو نوع سطح منعكس كننده وجود دارد : شيشه و پلاستيك .

يك هليوستات شيشه اي معمولا به ۱۰ تا ۱٤ پانل كه نسبتا يك سطح بزرگ را تشكيل مي دهد تقسيم مي شود اين امر ساخت و حمل و نقل آنرا ساده مي كند (شكل ۵) .



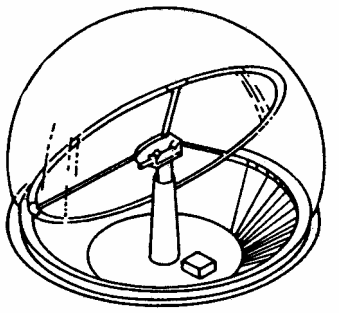
www.sbargh.ir

شكل ۵[۷]

يك پانل شيشه اي به نوعي سطح دوم آينه است (شبيه آينه هاي معمولي) . پانلها معمولا بصورت مستطيلي و در ابعاد $۳/٦\ m \times ۱/۲$ مي باشد . آنها از ورقه هاي نازك شيشه اي با آهن كم (با ضخامت ۱/۵ تا **۳ mm**) براي مينيمم كردن جذب نور استفاده مي شود . پانلها در موقع سر هم كردن نسبت به هم كمي كج هستند تا اشعه هاي خورشيد را روي ريسيور متمركز كنند .

هليوستاتهاي شيشه اي از نوع پلاستيكي آن در سال **۱۹۸۲** پيشرفته تر بودند چون هم مستحكم تر و هم قدرت انعكاس بيشتري داشتند در هليوستاتهاي امروزي از شيشه و نقره در سطح منعكس كننده و از فولاد ، آلومينيوم و مس در ساختمان پايه آن استفاده مي شود . آنها

بايد سنگين ، قوي و محكم و در مقابل بادهاي شديد و يا هر شرايط جوي ديگر پايدار باشند . رنج وزني آنها براي هر متر مربع از آينه كه شامل فندانسيون نيز مي شود در حدود ۵ تا Kg/m^2 ۶۰ است . يك نيروگاه MW ۱۰ به۱۸۱۸ هليوستات شيشه اي بطوريكه در شكل ۵ نشان داده شده ، نياز دارد هريك از انها از ۱۲ پانل مجزا تشكيل شده است. هليوستاتهاي امروزي تقريبا ۴۵ درصد هزينه كل يك نيروگاه گرماي خورشيدي (برج و ريسيور هر كدام در حدود ۱۱ در صد و سيستم ذخيره سازي در حدود ۱۷ در صد) را در بر مي گيرد (البته بقيه هزينه ها در بين زمين و ديگر تجهيزات تقسيم مي شود) . كاهش هزينه هليوستات يكي از اهداف اصلي كاهش هزينه اصلي اين گونه نيروگاههاست. هزينه يك هليوستات ۲۵۰دلار بر هر متر مربع است . مطالعات در زمينه توليد ثانويهDOE نشان داد كه مي توان هزينه را تا $150/m^2$ و يا تا $110/m^2$ كاهش داد . هليوستات پلاستيكي اگر چه داراي قدرت منعكس كنندگي و مقاومت كمتر نسبت به نوع شيشه اي آن است اما داراي هزينه كمتر ، جرم سطح رفلكتور (منعكس كننده) كمتر و بنابراين داراي جرم و هزينه كمتر براي پايه آن و سيستم حركتي هليوستات مي باشد . يك نوع هليوستات كه بوسيله شركت بوييِنگ طراحي شده در شكل ۶ نشان داده شده كه داراي يك ورقه منعكس كننده (رفلكتور) پلاستيكي كه روي صفحه هليوستات به مساحت $16/7\ m^2$ كشيده شده كه از باد توسط آن محافظت مي كند .



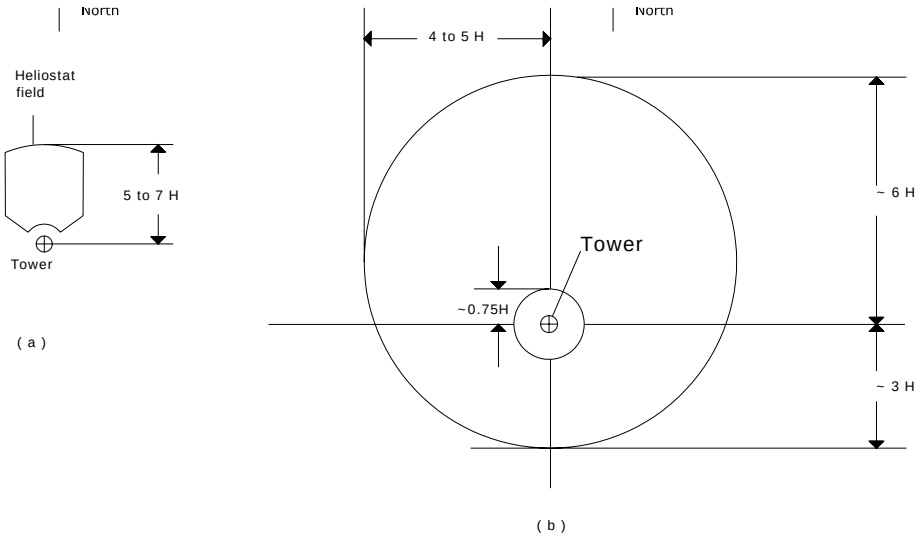
شكل ۶-هليوستات طراحي شده بوييِنگ [۷]

زمين هليوستات

زمين هليوستات جايي است كه ريسيور مركزي در آن قرار دارد و همچنين ***" جمع كننده زير سيستم"*** (Collector Subsystem) ناميده مي شود . شكلي دارد كه بايد نسبت به توپوگرافي منطقه و سطح نيروگاه تعيين شود . زمين ممكن است در يك ناحيه صاف و مسطح ويا بر روي يك تپه و . . . قرار داشته باشد . در نيمكره شمالي ، در موقع ظهر هميشه خورشيد در جنوب برج ريسيور مركزي قرار دارد بنابراين يك زمين شمالي معمولا داراي ارزش بيشتري است زيرا كسينوس آن كمترين است .

براي نيروگاههاي كوچك ، انرژي گرمايي ورودي كمتر ازMW ۱۰۰ در كل يك زمين شمالي بهينه است (شكل a ۷) .

www.sbargh.ir



شكل ٧[٧]

اگرنيروگاه بزرگتر شود ، زمين نيز بزرگتر شده و هليوستاتهاي زيادي استفاده مي شود در ضمن فاصله آنها نيز با برج افزايش مي يابد . هواي اطراف نيروگاه باعث تضعيف انعكاس تشعشعات از فاصله دور هليوستاتهاي شمالي مي شود . ورودي ريسيور مي تواند بوسيله كاهش فاصله هليوستاتها به سمت شرق و غرب برج بهبود يابد و اندازه نيروگاه به سمت جنوب آن افزايش مي يابد (شكل **b** ٧) .

تلفات انرژي بين تشعشعات خورشيدي (ثابت خورشيدي) و عايقهاي آن تاكنون بحث شد . بعلاوه تلفات انرژي تابشي در زمين هليوستات وجود دارد . اين تلفات را مي توان بصورت زير خلاصه كرد :

١. ***سايه*** : اين مشكل توسط سايه سطح منعكس كننده يك هليوستات بر روي هليوستات (هاي) ديگر در بعضي از ساعات روز ايجاد مي شود . البته سايه برج بر روي هليوستاتها نا چيز است و از آن صرفنظر مي شود .

٢. ***تلفات (كاهش) كسينوس*** : چون سطح منعكس كننده يك هليوستات بر پرتوهاي خورشيدي عمود نيست اما با فرض زاويه اي كه پرتوهاي خورشيدي را به سمت ريسيور مركزي منعكس مي كند ناحيه اي كه بوسيله هليوستات ، چگالي انرژي خورشيدي را قطع مي كند كمتر از سطح منعكس كننده بوسيله كسينوس زاويه بين سطح و عمود بر پرتوهاي تابش شده از خورشيد مي باشد .

٣. ***بلوكه شدن*** : اين امر نتيجه آن است كه هنگاميكه نور يك هليوستات منعكس شد قسمتي از آن توسط پشت هليوستاتهاي ديگر برگشت شود .

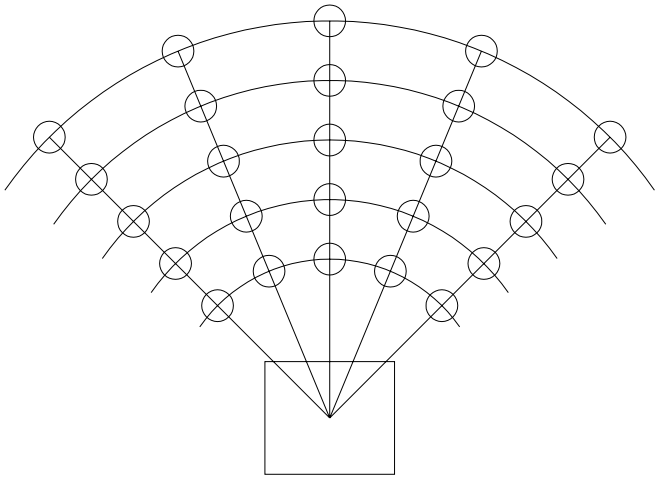
٤. ***تلفات منعكس كننده*** : اين امر از جذب تشعشعات تابش شده بوسيله شيشه و سطح نقره اندود و همچنين پراكنده كردن تشعشعات منعكس شده بوسيله سطح كثيف مي باشد .

www.sbargh.ir

۵. ***تضعيف شدن :*** اين تلفات بوسيله جذب و پراكنده شدن بوسيله بخار آب ،غبار ، مه، دود و ذرات داخل هوا كه بين هليوستات و ريسيور وجود دارد ايجاد مي شود .

زمين و هليوستاتهاي درون آن بايد بطور بهينه اي طراحي شوند تا انرژي گرمايي خورشيد با كمترين هزينه به ريسيور برسد . البته براي برطرف كردن مشكلات فوق، مشكلات ديگري ايجاد مي شود . بطور مثال كاهش اثر سايه و بلوكه شدن تشعشعات منعكس شده بوسيله افزايش فضا (زمين) بين هليوستاتها منجر به افزايش تضعيف تشعشعات مي شود ، زمين بزرگتر و استفاده از آن براي دريافت انرژي و رساندن انرژي بيشتر به ريسيور باعث كاهش آن مي شود .

مطالعات نشان مي دهد كه بهترين و اقتصادي ترين طرح قرار گيري هليوستاتها در روي زمين بصورت شعاعي است (مطابق شكل ۸) .



شكل ۸ [۷]

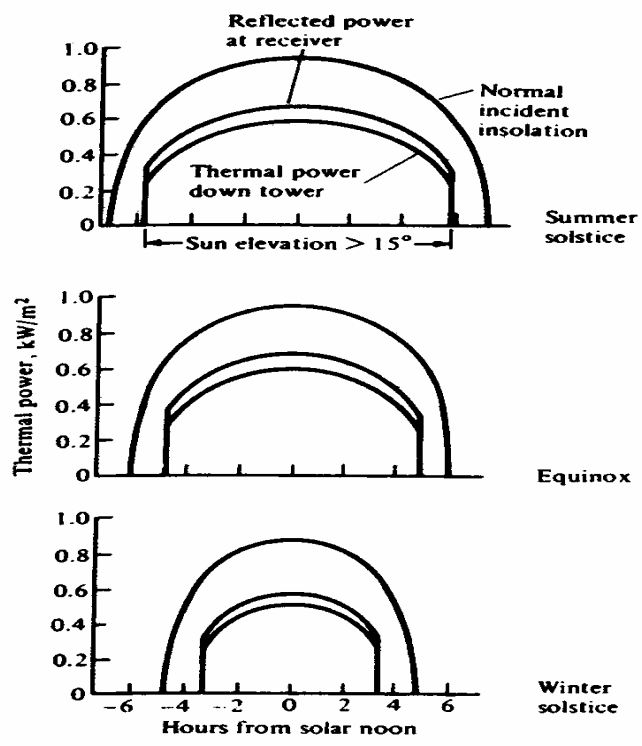
اين طرح تلفات بلوكه و تضعيف شدن را كاهش داده و در نتيجه زمين مورد استفاده كاهش مي يابد .

كنترل هليوستات

پوشش (عايق كردن) هليوستات نسبت به زمين از ساعتي به ساعت ديگر و از فصلي به فصل ديگر فرق مي كند (شكل ۲). بيشتر هليوستاتها در طلوع آفتاب در زير سايه هستند بجز آنهاييكه در دورترين بخش غربي هستند . شبيه همين وضعيت در غروب آفتاب رخ مي دهد . مينيمم مقدار انرژي كه معمولا مي رسد ۱۰ درصد حداكثر توان است كه فقط مي تواند زماني كه خورشيد در ° ۱۵ درجه يا بيشتر بالاي افق باشد جمع مي شود .

توان منعكس شده و تلفات ريسيور در شكل ۹ با حالت معمولي عايق بندي تشعشعات براي تابستان ، شب و روز و زمستان نشان داده شده است .تلفات ريسيور تقريبا ثابت است و به زمان روزي كه در آن كار مي كند و همچنين دما وابسته است .

www.sbargh.ir



شكل ۹ [۷]

سيكل كار روزانه جمع كننده انرژي خورشيدي شامل شروع در صبح ، كار در طول روز مطابق شكل ۹ و اتمام در عصر مي باشد . در طول زماني كه هليوستات كار نمي كند در وضعيت « استو » (انباشتن ، ذخيره سازي stow)، بسر مي برد . در اين حالت سطح آن

يا بصورت افقي رو به پايين و يا در يك موقعيت عمودي قرار دارد . در صبح آنها از حالت **Stow** به حالت **Stand by** رفته و تشعشعات خورشيد را به نقطه اي نزديك ريسيور و نه به خود آن منعكس مي كنند . اين حالت در حدود ۱۵ دقيقه طول مي كشد و براي هر هليوستات **KWh** ۰/۱ انرژي صرف مي شود . سپس ريسيور روشن مي شود (آب خنك به آن پمپ مي شود) . سپس هليوستاتها يكي يكي از حالت **Stand by** به حالت كار ، (**Operating**) مي روند بدين معني كه تشعشعات خورشيد را به سطح ريسيور منعكس مي كنند . اين امر از گرماي بيش از حد ريسيور جلوگيري مي كند . همچنين سيستمهاي كنترل افزايش دما در رسيسور وجود دارد . در طول مدت كار عادي هليوستاتها به شيوه

رديابي خورشيد (**Sun _ tracking**) ، كار مي كنند . اين امر بوسيله يك كنترلر اعمال مي شود تا تشعشعات منعكس شده به يك نقطه باشد .

www.sbargh.ir

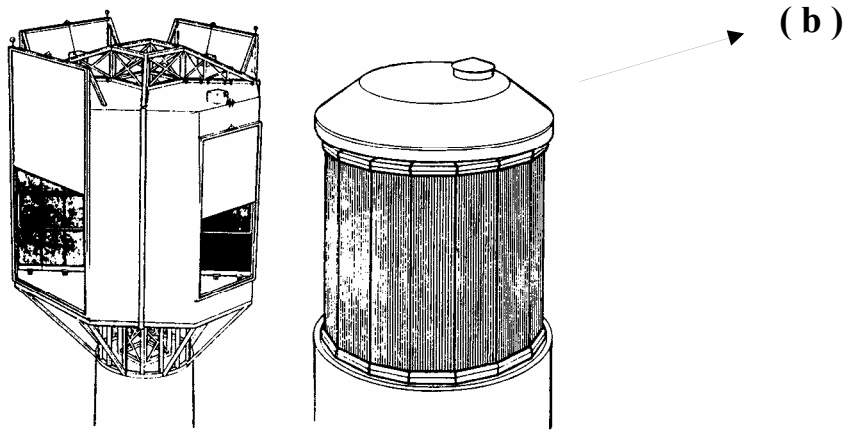
رديابي خورشيد توسط هليوستاتها به دو روش انجام مي شود : روش اول استفاده از سنسورهاي فعال انعكاس نور است كه موتورهاي محرك روي هليوستات را كنترل مي كند تا سطح منعكس كننده دائما تشعشعات خورشيد را به يك نقطه منعكس كند . روش دوم استفاده از يك كامپيوتر برنامه ريزي شده است كه جهت سطحهاي منعكس كننده را با توجه به موقعيت آنها نسبت به ريسيور تعيين مي كند . اين امر به ساعت روز و همچنين روز سال بستگي دارد . روش ديگر رديابي بوسيله دو محور چرخان صورت مي پذيرد : يك محور آسيموت (سمت

(**Azimuth**) و ديگري ارتفاع سطح رفلكتور مي باشد . مرحله خاموش (**Shut down**) بر عكس مرحله روشن (**Start - up**) است .

سيتماي كنترل بايد بسيار دقيق باشد تا سطح رفلكتور را با دقت در حد ميلي راديان بچرخاند زيرا يك خطاي كوچك در زاويه منجر به اختلاف بسيار زيادي درنقطه تجمع نور منعكس شده مي شود كه دليل آن فاصله بسيار زياد بين هليوستات و ريسيور است . اين اختلاف كوچك مي تواند يك باد قوي كه پايه هليوستات را تكان مي دهد اتفاق افتد .

ريسيور

ريسيور مركزي در بالاي برج بلندي (ارتفاعي در حدود **۹٤/٥ m**) قرار دارد . برج طوري ساخته شده كه پيك چگالي انرژي تشعشعات بين ۳۰۰ تا ^{2} **۷۰۰m /KW** باشد . ريسيور طوري طراحي شده كه از هدر رفتن انرژي دريافتي جلوگيري كند و آنرا جذب كرده و به سيال انتقال دهد . اگرچه تشعشعات ، هليوستات را به صورت مستطيل شكل ترك مي كنند اما بصورت دايره اي به ريسيور مي رسند . سطح جذب كننده گرما معمولا شبيه بويلر با سوخت فسيلي است . دو نوع ريسيور وجود دارد كه در زير شرح داده مي شود : ۱ - نوع حفره اي (**Cavity**) ۲ - نوع خارجي (**External**) .



www.sbargh.ir

شكل ۱۰ [۷]

شكل فوق يك ريسيور از نوع حفره اي كه صفحه هايي با لوله هاي خنك كننده دارد كه در سطح داخلي آن قرار گرفته است . صفحه لوله ها در داخل سطح مقعر ريسيور به سمت زمين منظم شده است و سطح صفحه ۲ تا ۳ برابر سطح سوراخ است . سطح سوراخ تقريبا به اندازه تصوير خورشيد از دورترين هليوستات است . نسبت سطح سوراخ به صفحه، مينيمم مجموع تلفات حرارتي است . يك ريسيور حفره اي ممكن است با يك يا تعداد بيشتري حفره و سوراخ طراحي شود كه هر قطعه با زاويه اي بين ٦۰ تا ۱۲۰ درجه را در بر مي گيرد . شكل **a** ۱۰ يك ريسيور حفره اي با چهار سوراخ را نشان مي دهد . ريسيور از نوع خارجي در شكل**b** ۱۰ ، داراي صفحاتي از لوله هاي سرد كننده است كه در سطح خارجي ريسيور

قرار دارد . براي نيروگاههاي كوچك صفحات ممكن است صاف باشند و يا براي نيروگاههاي بزرگ كمي محدب رو به زمين باشند . نسبت ارتفاع به قطر آن **١ : ١** تا **١ : ٢** است . قطر لوله هاي سرد كننده از **٢٠** تا **٥٦ mm** و **ضخامت آن از ١/٢** تا **٤/٦mm** است كه به فشار ، مواد و به ديگر موارد طراحي مهندسي وابسته است .

راندمان ريسيور

راندمان يك ريسيور بصورت نسبت جذب انرژي به دفع آن در نقطه طراحي آن تعريف مي شود . راندمان ريسيور نتيجه طراحي مسالمت آميز بين چندين مكانيسم تلفات انرژي است كه آنرا مي توان بصورت زير خلاصه كرد :

١. ***Spillage*** : اين ، انرژي منعكس شده هليوستاتهاست اما توسط سيال جذب نمي شود اشعات منعكس شده ممكن است به ريسيور برخورد نكند يا به غير از سوراخ (در يك ريسيور حفره اي) بر خورد كند . **Spillage** ممكن است بوسيله خطاهاي رديابي كه آنها نيز به نوبه خود بوسيله خطاهاي سيستم كنترل ايجاد مي شود اتفاق افتد . در يك طراحي خوب اين خطا كمتر از **٥** درصد است .
٢. ***بازگشت :*** اين مورد انرژيي است كه از سطح عبوري گرماي ريسيور برگشت مي شود . اين امر بوسيله رنگ زدن سطح ريسيور با قابليت جذب بسيار بالا مينيمم مي شود . اين كاهش معمولا در بهترين طراحي كمتر از **٥** درصد است.
٣. ***كنوكسيون :*** اين انرژي بوسيله كنوكسيون بين بدنه ريسيور و هواي اطراف آن از بين مي رود .
٤. ***تشعشع :*** اين انرژي بوسيله تشعشعات مادون قرمز از سطح داغ ريسيور با محيط تلف مي شود كه وابسته به شكل ريسيور و نوع آن (حفره اي يا خارجي) مي باشد .تركيب تلفات كنوكسيون و تشعشع ، زياد است و بين **٥** تا **١٥** درصد است .
٥. ***هدايت گرمايي :*** اين انرژي بر اساس تلفات از طريق اجزاي ساختمان ، عايق بندي و . . . از بين مي رود . اين تلفات حداقل تلفات است و كمتر از **١** درصد را شامل مي شود .

طراحي بهينه ريسيور بسيار مهم است . براي مثال در يك ريسيور بزرگ ، تلفات **Spillage** بسيار پايين است اما تلفات كنوكسيون و تشعشع زياد است . يك ريسيور حفره اي تلفات بازگشتي كمتري نسبت به يك ريسيور خارجي دارد اما تلفات كنوكسيون ريسيور خارجي بخاطر سطح سياه آن كمتر است ولي تلفات هدايت گرمايي آن بيشتر است ، اندازه آن بزرگتر و پيچيده تر است .

www.sbargh.ir

به هر حال ريسيورهاي حفره اي نسبت به ريسيور از نوع خارجي داراي راندمان بيشتري هستند . ريسيور حفره اي توسط شركتهاي **Honeywell** و **Martin Marietta** با راندماني در حدود **٩٠** درصد طراحي و ساخته شده اند . ريسيور خارجي نيز توسط

شرکت **Mc Donlle Douglas** با راندمان تقريبي ۸۰ درصد ساخته شده است . به بيان ديگر ، ريسيور هاي حفره اي بسيار بزرگتر ، سنگين تر و گرانتر نسبت به ريسيورهاي خارجي هستند . وزن آنها بيشتر از ۲۵۰ تن است اما وزن يك ريسيور خارجي كمتر از ۱۳۶ تن مي باشد . [۷]

سيستم انتقال گرما

سيستم انتقال گرما از سيال انتقال دهنده گرما (سرد كننده اوليه) ، لوله كشي ريسيور ، لوله كشي بين ريسيور و تجهيزات توليد توان و همچنين پمپها تشكيل شده است . سرد كننده اوليه ممكن است همان سيالي باشد كه در نيروگاههاي معمولي بكار مي رود و نيز ممكن است از جنس ديگري باشد .

پنج گونه مختلف از سرد كننده ها در زير آمده است :

۱. ***بخار آب :*** آب ريسيور گرما دريافت مي كند تا به بخار تبديل شود همانند نيروگاههاي سيكل تركيبي . تغيير فاز در ريسيور روش معمولي توليد بخار است . روش ديگر، بويلر استوانه اي و يا استفاده از بويلر با سوپر هيتر است . بخار ممكن است در ۵۴۰ تا ۶۰۰ °C و با فشار ۷۰ تا ۱۴۰ **bar** توليد شود . اين سيستم داراي فوايد زيادي است از جمله استفاده از حداقل تكنولوژي و در نتيجه كاهش هزينه .

۲. ***فلزات مايع :*** فلزات مايع بخصوص سديم (**Na**) **بعنوان يك سيال براي هدايت** گرمايي براي راكتورهاي هسته اي سريع توليد كننده است . مهمترين فايده آن راندمان بسيار بالاي انتقال گرما است . سديم در ۹۸ °C منجمد مي شود و به سيستمي نياز دارد كه در طول خاموش بودن نيروگاه از انجماد آن جلوگيري كند . سديم نيز بصورت شيميايي اكتيو است و در هوا يا آب به سرعت اكسيد مي شود . يك گاز پوشاننده مانند آرگون كه سنگين تر از هواست در راكتورهاي هسته اي با خنك كننده سديم استفاده مي شود براي اين كه از اكسيداسيون و آتش گرفتن آن جلوگيري شود . سديم استفاده شده هر چند داغ و يا سرد باشد نياز به اين دارد كه اكسيدهاي آنرا جدا كنند . سديم ممكن است در بالاتر از ۵۴۰ °C بصورت مايع ، كار انتقال گرماي خورشيد و توليد بخار را انجام دهد . فلزات مايع داراي فشار بخار كمي در دماي كار هستند و در نتيجه به تجهيزات فشار بالا در نيروگاه نياز ندارند .

www.sbargh.ir

۳. ***نمكهاي مذاب :*** نمكهاي مذاب براي انتقال گرما در صنايع شيميايي استفاده مي شود و بصورت آزمايشي نيز بعنوان سيال در راكتورهاي هسته اي بكار مي روند . آنها همانند فلزات مايع به تجهيزات فشار بالا در دماي كار نياز ندارند بعلاوه ظرفيت گرمايي بالايي دارند . نمكهاي مخلوط نيترات براي سيستمهاي خورشيدي با ريسيور مركزي پيشنهاد مي شود . همچنين نمك مي تواند در دماي بسيار بالا كار كند و

گرمايش را به سمت توليد بخار در نيروگاه بخار ببرد . آنها همچنين داراي نقطه انجماد بالايي در حدود ۱٤۰ تا C ° ۲۲۰ است كه براي احتياط به وسايلي براي حفاظت در مقابل جامد شدن در طي خاموشي نيروگاه نياز دارند .

٤. ***گازها :*** گازها مي توانند در هر دماي مطلوبي كه با مواد تشكيل دهنده سازگاري داشته باشند حتي بالاتر از C ° ۸٤۰ كار كنند . فشار گاز فقط براي غلبه بر كاهش فشار در سيكل سرد كننده لازم است . ظرفيت گرمايي پايين گازها به حجم زياد گاز و در نتيجه سرعت بالاي گاز جاري نياز دارد . فشار بالا ، چگالي را افزايش مي دهد در نتيجه ظرفيت گرمايي افزايش مي يابد ولي سرعت كاهش مي يابد . گازهاي مورد مطالعه هوا و هليوم هستند . آنها مي توانند بعنوان عامل منتقل كننده گرما كه توليد بخار مي كند و در يك نيروگاه با سيكل رانكلين توليد انرژي مي كند استفاده شوند يا مستقيما در يك نيروگاه با توربين گازي و سيكل برايتون از نوع باز (با هوا) و يا در يك سيكل بسته (با هليوم) استفاده شوند .

٥. ***استفاده از روغن بعنوان عامل انتقال حرارت :*** از فوايد استفاده از روغنها ، فساد پذيري كم با بيشتر مواد است و مي توان از آنها در فشارهاي بخاركم استفاده كرد . آنها تحت دماي بالا تجزيه مي شوند كه تجزيه پيروليتيك (**Pyrolitic Decomposition**) ناميده مي شوند . (در محيطي كه تشعشعات راديو اكتيو وجود دارد تجزيه « راديو ليتيك » ناميده مي شود . نتيجه تجزيه روغن ، افزايش فشار در سيستم است . روغنها فقط مي توانند در يك رنج كم دمايي كار كنند . دو روغني كه براي سيستمهاي ريسيور مركزي پيشنهاد مي شود « **ترمينول٦٦** » و « **كارولينا HT-43** » است كه در رنج دماي ۷- تا C ° ۳۱۵ مي توانند كار كنند .

لوله كشي براي سيال اوليه از ريسيور تا پايين برج و در روي زمين سايت نيروگاه هزينه اصلي را در بر مي گيرد . سايز لوله ها براي يك نيروگاه **MW** ٤۰۰ از ۰/۳ تا۰/۵ **m** براي نمك مذاب ، تا **۲/٤m** براي هوا با فشار **bar** ۱۲ و بطول بيش از **m** ٦۰۰ **براي** هر دو لوله سيال گرم و سرد است . وزن براي يك ريسيور **MW** ٤۰۰ از نوع سرد كننده سديم و خارجي **۲/۵** تن است .[۷]

www.sbargh.ir

سيستم نگهداري گرمايي

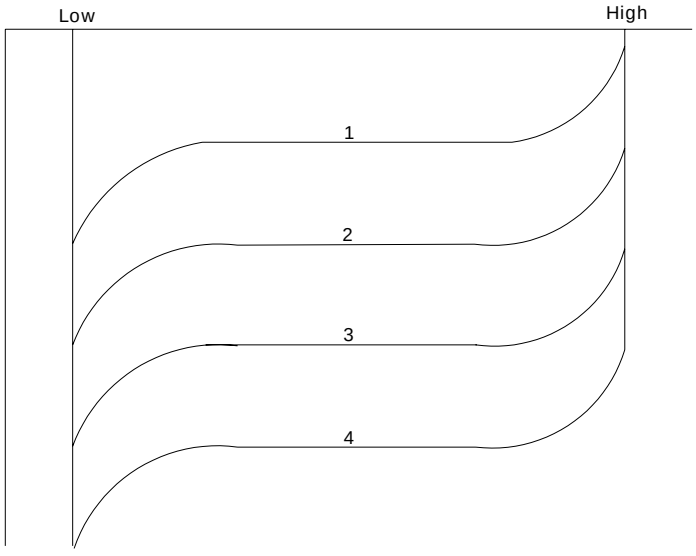
اگرچه چندين سيستم نگهداري انرژي نظير شيميايي ، الكتروشيميايي (باطريها) ، مكانيكي (هواي متراكم شده ، پمپهاي هيدروليكي ، چرخ طيار) و يا سيستم تكفاز يا چند فاز گرمايي وجود دارد اما موقعيت جغرافيايي بيشتر نيروگاههاي خورشيدي از هزينه زيادي در اين زمينه جلوگيري مي كند .

سيستم ذخيره سازي انرژي در نيروگاههاي خورشيدي - گرمايي ضروري است چون در شرايط متغيير جوي ،(زمانهايي كه خورشيد پشت ابر است و يا شبها) به اين سيستم نياز دارند . نيروگاههاي سوخت فسيلي معمولي ممكن است در چنين دوره هايي بعنوان سيستمهاي هيبريدي مورد استفاده قرار گيرند اما سيستمهاي نگهداري گرمايي بعنوان پارامتر ديگري در نيروگاههاي خورشيدي استفاده مي شوند . دو نوع نگهداري گرمايي در سيستمهاي خورشيدي وجود دارد : **١** - تانك تكي يا ترموكلاين (**Thermo cline**)

٢ - دو تانك يا سيستمهاي داغ - سرد .

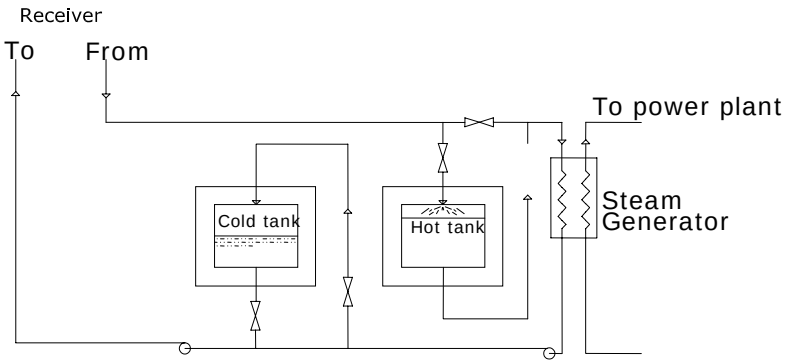
تانك تكي بصورت شماتيك در شكل **٤** نمايش داده شده است . شكل **١١** مشخصه دما - زمان يك سيستم ترموكلاين را نشان مي دهد . شكل نشان مي دهد كه شيب دما كاملا صاف نيست اين فاكتوري است كه در چنين سيستمي تاثير مي گذارد (كاهش مي دهد) . در چنين سيستمي دما بين **٢٩٠** تا **٥٦٥** $^{\circ}C$ متغيير است .

شكل **١١** مشخصه دما - زمان يك سيستم ترموكلاين[٧]



www.sbargh.ir

شكل **١٢** شماتيك يك سيستم دو تانك را نشان مي دهد . اندازه سيستمهاي نگهداري مي تواند براي ذخيره سازي انرژي گرمايي كافي ساخته شود حتي اگر گرما از ريسيور براي كارنيروگاه بصورت **٢٤** ساعته گرفته شود . اگر چه اندازه آن به طول روزها بستگي دارد اما ظرفيت آن براي روزهاي كوتاه سال كافي نيست .



شكل ١٢ - شماتيك يك سيستم دو تانك[٧]

تجربه جهاني

سيستمهاي ريسيور مركزي در خيلي از نقاط دنيا وجود دارند . در ايالات متحده بزرگترين نيروگاه خورشيدي داراي **MW** ١٠ پيك توان است كه حدود ١٤٠ ميليون دلار هزينه در بر داشته است و در ١٢ مايلي جنوب شرقي بارستو در كاليفرنيا و در بيابان موجاوه قرار دارد . اين نيروگاه توسط شركت اديسون در كاليفرنياي جنوبي و با حمايت اداره انرژي امريكا (**DOE**) احداث گرديده است . (شكل ١٣- تمام نيروگاه را نشان مي دهد .)

www.sbargh.ir

شكل ١٣ [٨]

شركتهاي Mc Donnell Douglas و **Martin Marietta** يك نيروگاه خورشيدي كه با بخار آب كار مي كرد و سيستم نگهداري گرمايي آن از سيال روغن استفاده مي كرد ساختند . اين نيروگاه در تابستان ١٩٨٢ شروع بكار كرد و در اكتبر ١٩٨٢ به توان **MW** ١٠/٤ دست يافت . سيستم نگهداري آن به**MW** ٧ مي رسيد كه به هدف نهايي در طراحي نرسيد .

در آلمريا در اسپانيا آژانس بين المللي انرژي ، چندين كشور اروپايي و ايالات متحده روي يك نيروگاه KW ۵۰۰ با سديم مذاب بعنوان عامل انتقال گرما و سيال سيستم نگهداري ، سرمايه گذاري كردند . اين نيروگاه ۹۳ هليوستات داشت . ريسيور آن از نوع حفره اي در بالاي يك برج ۴۳ متري قرار داشت . نيروگاه ديگري در همين منطقه در سال ۱۹۸۲ با ۳۰۰ هليوستات كه هر كدام از آنها به زميني در حدود $40\ m^2$ نياز داشته و ريسيور آن از نوع حفره اي بود .

در آدرانوي سيسيل در ايتاليا يك نيروگاه ريسيور مركزي با توان MW ۱ كه « يورليوس Eurelios » ناميده مي شود . در مي ۱۹۸۱ شروع بكار كرد . ريسيور آن از نوع آن از نوع حفره اي و در بالاي برج ۵۵ متري قرار داشت كه آبي با دماي $510\ ^\circ C$ توليد مي كرد .

در فرانسه يك نيروگاه MW ۲ كه « تميس Themis » ناميده مي شد ساخته شد و ۲۰۰ هليوستات با يك ريسيور حفره اي با نمك مذاب با دماي $525\ ^\circ C$ داشت .

در ژاپن يك نيروگاه MW ۱ واقع در شهر نيو Nio به نام « پروژه طلوع آفتاب Project Sunshine » واقع در ناگاوا احداث شد . اين نيروگاه ۸۰۷ هليوستات كوچك كه براي هر كدام $16\ m^2$ مساحت نياز بود ، داشت . ريسيور آن از نوع شبه حفره اي بود.[۷]

سيستمهاي ديگر خورشيدي

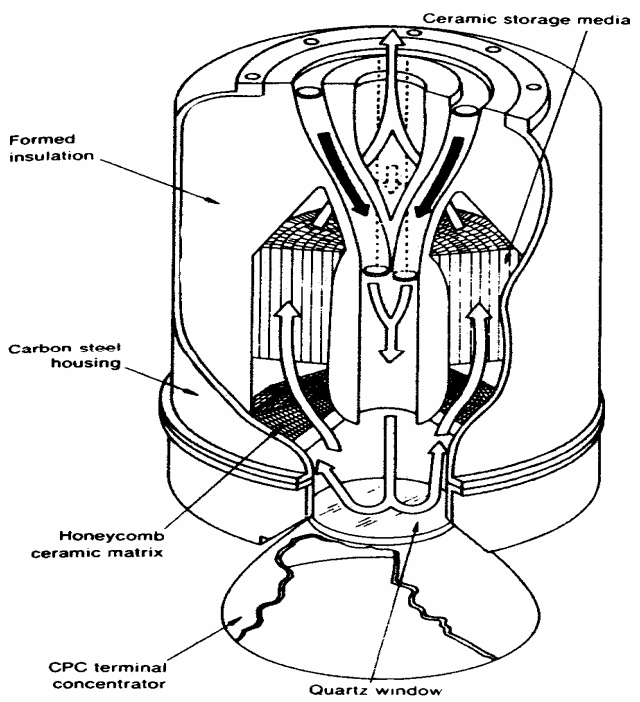
نيروگاههاي هيبريدي

يك سيستم هيبريدي كمبودهاي انرژي خورشيدي را جبران مي سازد نه بوسيله سيستم نگهداري بلكه بوسيله خورشيد بعنوان يك منبع گرمايي هنگاميكه در دسترس و كافي است و استفاده از سوختهاي فسيلي از قبيل نفت با گاز در مواقع ديگر . DOE مطالعاتي را در زمينه سيستمهاي هيبريدي روي سيكل برايتون بعنوان يك پيشنهاد مهم در دست دارد .

سيال ابتدايي به سمت ريسيور رفته و توربين گازي شروع بكار مي كند . سيال مي تواند : ۱ - هوا ۲- هليوم و يا ۳- مخلوط ديگر گازها باشد . اگر چه سيكل برايتون ساده تر از سيكل رانكلين است ولي به دماهاي بالاتر براي رسيدن به راندمانهاي مطلوب نياز دارد . بطور معمولي يك نيروگاه سيكل رانكلين از نوع خورشيدي يا فسيلي بخاري با دما در حدود $540\ ^\circ C$ تا $590\ ^\circ C$ و با فشار bar ۷۰ و حتي بيشتر نياز دارد . نيروگاههاي خورشيدي سيكل برايتون كه باگاز كار مي كنند با فشار بسيار پايين تر كار مي كنند اما براي اينكه قابل رقابت باشد بايد در دماي بسيار بالايي كار كنند . طراحي اين گونه نيروگاهها و موادي كه براي ريسيور بكار مي رود براي چنين مواردي بسيار سخت است . DOE و EPRI مطالعاتي را در زمينه طراحي و كار ريسيور هايي كه با دماي بالا كار مي كنند و با آلياژ هاي فلزي و قطعات سراميكي ساخته مي شوند را دارند .[۷]

www.sbargh.ir

شكل ١٤ يك ريسيور هانب كام سراميكي كه توسط بنياد ساندرز ساخته شده و توسط ادوارد در كاليفرنيا تست شده است رانشان مي دهد .



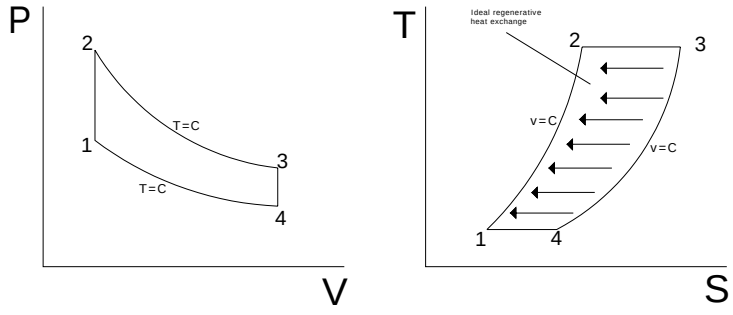
شكل ١٤- يك ريسيور هانب كام سراميكي[٧]

www.sbargh.ir

تبديل سيكل استر لينگ

سيستم هيبريدي ديگري كه مي توان تصور كرد ، سيكل استرلينگ است . سيكل استرلينگ ايده آل يك سيكل باز توليد است كه از چهار پروسه برگشت پذير تشكيل شده است : دو حجم ثابت و دو دماي ثابت .

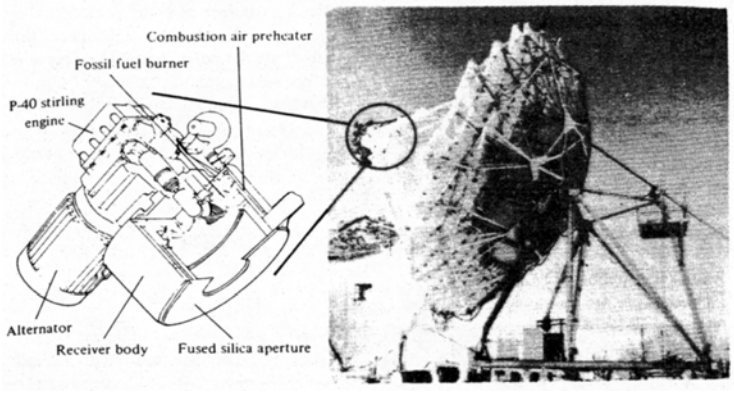
گرما در طول مدت دماي ثابت ، بترتيب به پروسه هاي**٣- ٢ و١- ٤** داده مي شود . گرما بصورت داخلي بين پروسه هاي حجم ثابت **٢ - ٣ و ٢ - ١** مبادله مي شود . موتورهاي واقعي استرلينگ بر اساس سيكل ايده آل استرلينگ ساخته مي مي شود (همانطوريكه موتورهاي واقعي ديزلي بر اساس سيكل ايده آل ديزلي ساخته مي شوند) اگرچه راندمان آنها برابر با سيكل ايده آل نيست ، اما راندمان آنها به **٣٥** تا **٤٠** درصد مي رسد .



شكل **١٥**- سيكل استرلينگ[٧]

يك موتور استرلينگ مي تواند يك ژنراتور الكتريكي را بچرخاند . موتور مي تواند بطور مستقيم با ريسيور خورشيدي كوپل شود . يك نوع از اين موتور ها ،سيستمهاي تمركز دهنده هستند كه به صورت موازي (الكتريكي)قرار دارند كه در مركز سيستم فوكاس قرار

دارند . شكل ١٦ يك نوع از آنرا با مدل **P-40** كه در سوئد ساخته شده را نمايش مي دهد . آن بر روي يك ديش نصب شده است . موتور بصورت مستقيم روي بدنه ريسيور قرار گرفته است . موتور با سيال هوا در يك سيكل بسته كار مي كند و دما در آن در حدود **٨١٦ °C** است . راندمان تبديل آن **٣٥** درصد است .



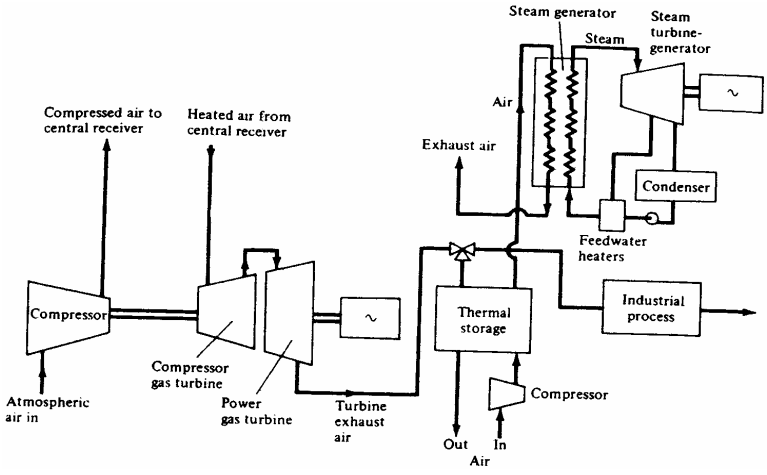
شكل ١٦[٧]

www.sbargh.ir

سيستمهاي سيكل مركب (بهم پيوسته)

سيكلهاي بهم پيوسته در نيروگاههاي سيكل برايتون و رانكلين استفاده مي شود . در سيكل برايتون از توربين گازي با دماي بالا و در سيكل رانكلين از ژنراتورهاي بخاري .

شكل ١٧ يك سيكل مركب با دو شفت توربين گازي و يك سيستم ريسيور مركزي را نشان مي دهد . هواي جو بوسيله يك كمپرسور فشرده شده و گرم مي شود . با دادن گرما دماي آن شايد به **٨١٥ °C** برسد . سپس از طريق توربين ، كمپرسور و توربين قدرت يك



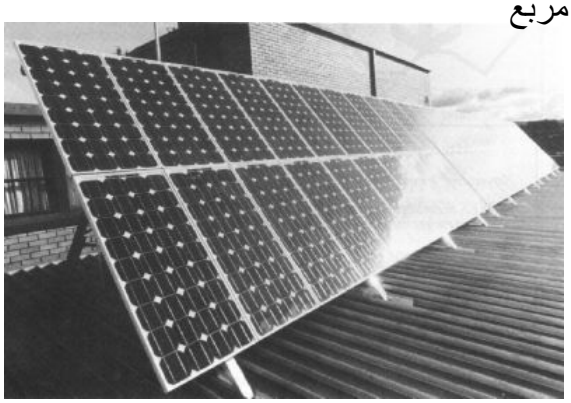
شكل ١٧- يك سيكل مركب با دو شفت توربين گازي و يك سيستم ريسيور مركزي[٧]

ژنراتور الكتريكي به حركت در مي آيد . در زمانهايي كه خورشيد نيست ژنراتور بخاري توسط سيستم نگهداري گرمايي و توسط يك كمپرسور جدا كار مي كند .

تبديل انرژي فتوولتاييك

تبديل انرژي فتوولتاييك يك تكنولوژي تبديل مستقيم است كه بدون استفاده از سيال نظير بخار يا سيكل مكانيكي نظير رانكلين يا برايتون از نور خورشيد بطور مستقيم

الكتريسيته توليد مي كند . سيستمهاي فتوولتاييك ، ساده ، مناسب و قابل اعتماد هستند و نياز به قطعات متحرك ندارند . بعلاوه آنها بصورت ماژول هستند و رشته هاي يكسان آن در كنار هم قرار گرفته و بر روي سقف نصب مي شوند تا يك سيستم مركزي بزرگ را تشكيل دهند . واحد پايه سيستم فتوولتاييك « ***سلول خورشيدي*** » است . سلولهاي خورشيدي معمولي از سيليكون تصفيه شده با غلظت بالا كه بصورت شمشهاي كريستالي است (كه بوسيله سيد (دانه) از سيليكون مذاب تهيه شده) ساخته مي شود . شمشها را بصورت ورقه هاي نازك بريده و صيقل مي دهند . مواد تقويتي ديگر به ويفرها اضافه كرده تا به نيمه هادي تبديل شوند تا از آنها بتوان در توليد سلول خورشيدي استفاده كرد . وقتيكه نور خورشيد با سلولها برخورد مي كند ، يك اختلاف پتانسيل الكتريكي ايجاد شده و جريان الكتريكي ، وقتي بار خارجي به سلولها متصل باشد ، ايجاد مي شود . سلولهاي سيليكوني خورشيدي بصورت ورقه هاي دايره اي با قطر **٧/٦ cm** و ضخامت **٣٠٠ μm** مي باشند . اگر چه ويفرهاي مربعي يا مستطيلي باعث افزايش استفاده از فضا بوسيله پهلو به پهلو قرار گرفتن مي شود اما ويفرهاي دايره اي ارجحيت دارند . يك سلول بطور معمولي توان **١ W** با ولتاژ **٠/٥ V** راتوليد مي كند . آنها از نظر الكتريكي بصورت سري - موازي قرار گرفته كه ماژول ناميده مي شوند تا بتوانند جريان و ولتاژ مورد نياز را توليد كنند . يك ماژول داراي ابعادي در حدود **١/٢ m** × **١/٢** است . چند ماژول يك پانل (صفحه) را تشكيل مي دهند . طراحي يك پانل براي اسمبل كردن رشته هاي فتوولتاييك بزرگ است تا توليد توان كنند . شكل ١٨ يك رشته فتوولتاييك را نشان مي دهد كه **٤٣٥٦٠** × **٣/ ٤** پاي مربع



شكل١٨

www.sbargh.ir

را در بر گرفته و شامل **٢٣٦٦** ماژول است . آن توان **٦٠ KW** را براي نيروي هوايي ايالات متحده در « لاگونا » ي در كاليفرنيا را تامين مي كند .[٧]

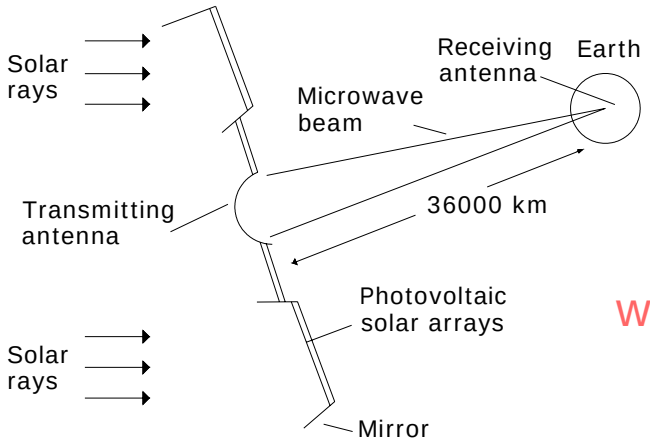
اولين الكتريسيته فتوولتاييك در سال **١٩٨٥** براي يك فرستنده راديويي در ماهواره فضايي ونگوارد نصب شد . در آن زمان هزينه آن در مقايسه با سوختهاي فسيلي يا هسته اي بسيار بالاتر بود و به **٢٠٠** دلار براي پيك توان مي رسيد اما در سال **١٩٧٦** به **٢٢** دلار و در سال **١٩٨٢** براي **٤ MW** پيك توان هزينه آن به كمتر از **١٠** دلار كاهش يافته است . اما براي اينكه بهينه باشد براي هر وات بايد كمتر از **٠/٧** دلار هزينه در بر داشته باشد . هزينه توليد الكتريسيته تنها به هزينه ساخت سلولها بستگي ندارد بلكه به تعادل نيروگاه بستگي دارد و هزينه ساخت سلول تنها قسمتي از آن است . قسمتهاي غير فتوولتاييك نيروگاه نظير

زمين ، فندانسيون ، بناها ، سيم كشي ، تبديلات **DC** به **ac** قدرت ، ارتباط به شبكه و سيستم خنك كننده هم اكنون نزديك دو سوم هزينه را به خود اختصاص مي دهند . بنابراين براي ۱۰ دلار به ازاي هر وات ، هزينه نيروگاه به ۳۰۰۰۰ دلار براي هر كيلووات رسيده كه اين رقم ۱۵ تا ۲۰ برابر نيروگاههاي فسيلي و هسته اي است . در ضمن نيروگاه فتوولتاييك براي قسمتهاي كوتاهي از روز در پيك خود كار مي كند بنابراين مطالعه و بررسي براي كاهش هزينه و تكنولوژي ساخت براي سيليكون و يا مواد ديگر از قبيل كادميوم ، سولفيد مس ، و سيليكون غير كريستالي بايد ادامه يابد .

سيستمهاي توليد توان خورشيدي ماهواره

سيستم توليد توان خورشيدي ماهواره **(Satellite Solar Power System)** **(SSPS)** بر اساس پيشرفتهاي برنامه هاي فضايي و براي اولين بار، مطالعات در دهه ۱۹۶۰ صورت گرفت . تحقيق شامل نحوه قرار گيري ماهواره هاي زميني بصورتيكه انرژي خورشيدي را جمع كند و با مدار زمين سنكرون شود . مدار ماهواره حدود **۳۶۰۰۰ Km** طول دارد كه با مدار زمين موازي است . ماهواره از شرق به غرب و با همان سرعت زاويه اي زمين حركت مي كند .

شكل ۱۹ شماتيك اين طرح را نشان مي دهد . ماهواره ها ، سلولهاي فتوولتاييك بزرگي براي جمع آوري انرژي خورشيدي دارند . همچنين آنها سيستمهاي تبديل توان توليدي الكتريكي به توان فركانسهاي مايكروويو را دارند . يك آنتن بزرگ براي انتقال تشعشعات مايكروويو از موقعيت تقريبا ثابت آن نسبت به زمين وجود دارد كه به ايستگاه زميني انتقال مي دهد . ايستگاه نيز يك آنتن دريافت بزرگ دارد كه وظيفه تبديل امواج مايكروويو را به توان الكتريكي **ac** دارد . ماهواره ها در ارتفاع بسيار بالايي قرار دارند و در بيشتر ساعات در معرض نور خورشيد قرار دارند و به سيستم نگهداري انرژي الكتريكي نياز دارند .



www.sbargh.ir

شكل ۱۹- شماتيك سيستم توليد توان خورشيدي ماهواره[۷]

(Satellite Solar Power System)