

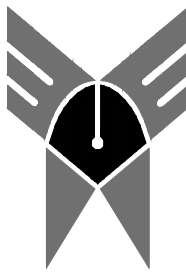
بناام خدا

مجموعه ذیل در مورد **انرژی خورشیدی** میباشد

محمد وافی محمدی

تنظیم کننده :

هر گونه کپی برداری با یک صلوات مجاز است



واحد تهران جنوب
دانشکده فني مهندسي
گروه برق قدرت

عنوان پروژه :

بره گیری از ارزشهای تجدیدپذیر برای تولید انرژی الکتریکی

استاد راهنما :

جناب آقای دکتر ابراهیمی

تهیه کنندگان :

امین شیخ احمدی

مجید زرگرزاده



انرژی خورشیدی

مقدمه

تاریخچه

تشعشع خورشیدی

تشعشعات خورشیدی

سیستمهای تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریسیته

تبدیل انرژی گرمایی خورشید به الکتریسیته

تبدیل فتوولتاییک

سیستمهای ریسور مرکزی گرمای خورشیدی

هلیوستات ها

زمین هلیوستات

کنترل هلیوستات

ریسور

راندمان ریسور

سیستم انتقال گرما

سیستم نگهداری گرمایی

تجربه جهانی

نیروگاههای هیبریدی

تبدیل سیکل استر لینگ

سیستمهای سیکل مرکب (بهم پیوسته)

تبدیل انرژی فتوولتاییک

سیستمهای تولید توان خورشیدی ماهواره

از تمام منابع انرژی تجدید پذیر بیشترین توجه به انرژی خورشیدی در دهه ۱۹۷۰ انجام شد. بیشترین توجه به آن بعنوان يك راه حل برای کاهش استفاده از منابع فسیلی و سوختهاي هسته اي برای يك محیط زیست پاکیزه تر شد.

انرژی خورشیدی، در سايه عمومي انرژی پتانسیلی دارد که برای تهیه انواع انرژی می توان ذخیره کرد: الکتریکی، حرارتی، شیمیایی و هر سوخت قابل حمل و نقل. به هر حال انرژی خورشیدی، قابل گسترش، قابل چرخش و معمولاً غیر وابسته است. بنابراین به سیستمها و قطعاتی نیاز دارد که بتوانند بزرگ شوند و راندهانشان برای تبدیل به هر گونه از موارد استعمال فوق که امکان داشته باشد تبدیل شوند. بیشتر مواد سازنده برای جمع آوری و تغییر شکل تشعشعات خورشیدی استفاده می شود خواه انرژی گرمایی و یا فتوولتایی باشد به هر صورت انرژی شان بسیار بیشتر می شود. برای مثال مقدار زیادی انرژی برای تبدیل سنگ معدن به محصولات زیر مانند: آلومینیوم، فولاد، مس، بتن، شیشه و پلاستیک لازم است. تبدیل مستقیم انرژی خورشیدی به الکتریسیته (فتوولتاییک) به پروسه شتابدهنده که از ماسه کریستال سیلیکون است نیاز دارد. هر دو سیستم تبدیل انرژی، تشعشعات را جمع آوری کرده و به انرژی قابل استفاده (گرمای خورشید و فتوولتاییک) تبدیل می کند.

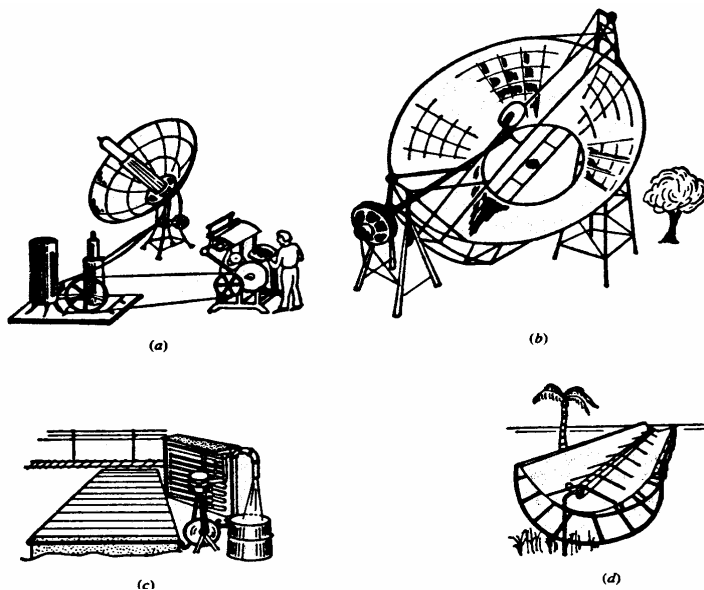
يك ارزیابی منطقی از انرژی خورشید نشان می دهد که دارای ارزش هاي بسیار زیادی است. ارزشها بر دو نوع اند: ۱- ارزش پولی محصولات تولید شده و فراهم کردن آن برای ورود به سیستمهاي قابل کارکرد ۲- مقدار منابع انرژی مرسوم اعم از زغال سنگ، نفت، گاز طبیعی و سوخت هاي هسته اي که باید در پروسه هاي تولیدی محصولات فوق و در ساختمان سیستم ها مصرف شود.

تاریخچه

در کل، نیاز انسان به انرژی خورشیدی غیر قابل انکار است. نور خورشید باعث رشد همه گیاهان شده و آب تازه برای گیاهان و بقای انسان تولید می کند. بعلاوه آن بعنوان منبع گرمازا در زندگی مردم هزاره اول بوده و آزمایشات جدی برای استفاده از آن برای تولید انرژی بطور ویژه در قرن هیجدهم شروع شد. در سال ۱۷۷۴ ژوزف پریستلی روی اکسید جیوه مطالعه کرد. نتیجه آن يك گاز بود که به روشنی يك شمع می سوخت. این آزمایش منجر به کشف اکسیژن گشت.

يك قرن بعد ، يك دستگاه تقطير نسبتا خورشيدی در شمال صحراي شيلي نصب شد . آن زميني به مساحت 4800 m^2 را در بر گرفته بود و شامل سقفهاي شیشه اي تخت شيبی بود که اشعه خورشید از آب زیر سقفها عبور می کرد . آب بخار شده در زیر شیشه اي که از آن عبور می کرد و سرد کننده بود کندانس می شد و در كانالها جمع می شد . دستگاه در هر روز در حدود 25 m^3 آب تقطير شده تولید می کرد و در يك معدن نیترات استفاده می شد . دستگاه ۴۰ سال کار کرد یعنی تا وقتی که معدن تمام شد .

تبدیل انرژی خورشیدی به مکانیکی برای اولین بار در نمایشگاهی در پاریس در سال ۱۸۷۸ هنگامیکه نور خورشید بر روی يك بویلر که بخار تولید می کرد متمرکز شده بود و يك موتور بخار كوچك را تغذیه می کرد و آن يك دستگاه چاپ را بکار می انداخت شرح داده شد . در سال ۱۹۰۱ يك مبدل بزرگتر (6 m^2) به فرم يك مخروط ناقص برای يك موتور 4.5 hp ، بخار تولید می کرد . در سالهای ۱۹۰۷ و ۱۹۱۱ نزدیک فیلادلفیا ، اف . شامن موتورهاي بخار خورشیدی در چندین اسب بخار ساخت که برای پمپاژ آب بکار می رفت . در سال ۱۹۱۳ شامن با همکاری سي . وي . بویز يك موتور بخار خورشیدی بزرگتر با قدرت 50 hp ساخت که بسیار بلند و بصورت شلجمی بود و اشعه خورشید را به يك لوله که در مرکز آن بود فوکاس می کرد (با نسبت تمرکز $4/5$) . موتور آب نیل ، نزدیک کایرو را برای آبیاری ، پمپ می کرد . (چهار سیستم توضیح داده شده در بالا در شکل ۱ نمایش داده شده است .)



شکل- ۱

چهار سیستم

توضیح داده شده

در بالا [۷]

در تلاشهای بعدی برای تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریکی دستگاهی توسط جی . ای . هرینگتون در سال ۱۹۱۵ در نیومکزیکو ساخته شد . نور خورشید بر روی یک بویلر متمرکز می شد که یک موتور بخار را حرکت در می آورد و آب را به داخل یک تانک که در ارتفاع ۶ متری قرار داشت و 19 m^3 حجم داشت هدایت می کرد . آب ذخیره شده به سمت پایین حرکت می کرد که یک توربین آبی را بچرخاند و آن متصل به یک ژنراتور بود که چند لامپ کوچک در یک معدن کوچک را تغذیه می کرد .

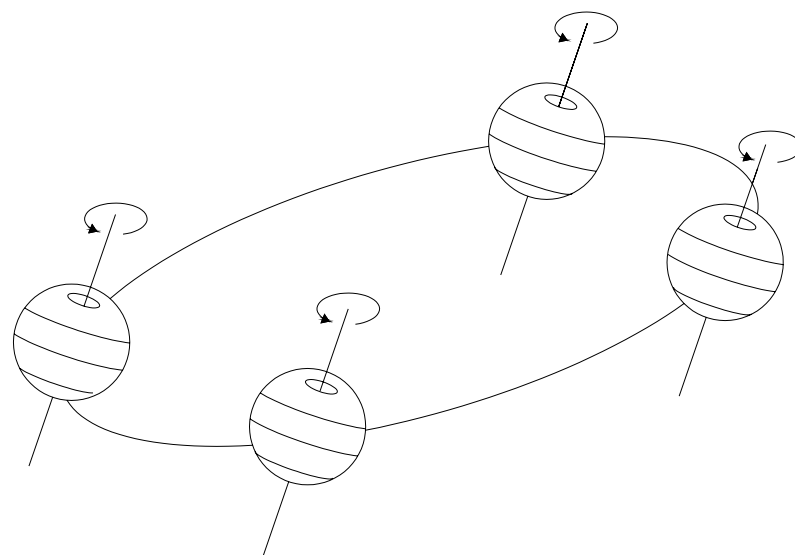
به هر حال رقابت بین سوختهای فسیلی ارزان و فعالیتهای کوچک در زمینه پیشرفت انرژی خورشیدی بیش از ۳۰ سال به طول انجامید اما نتوانست جایگزین آن شود .

تشعشع خورشیدی

مقدار کل انرژی خورشیدی که به زمین می رسد زیاد است . چرخش زمین و مدار چرخش زمین به دور خورشید هر روزه و بصورت فصلی صورت می گیرد . آن همچنین از تداخل جوی از ابرها مواد ویژه ، گازها و . . . عبور می کند . در این بخش ما انرژی که از آنطرف اتمسفر به زمین می رسد مورد توجه قرار می دهیم .

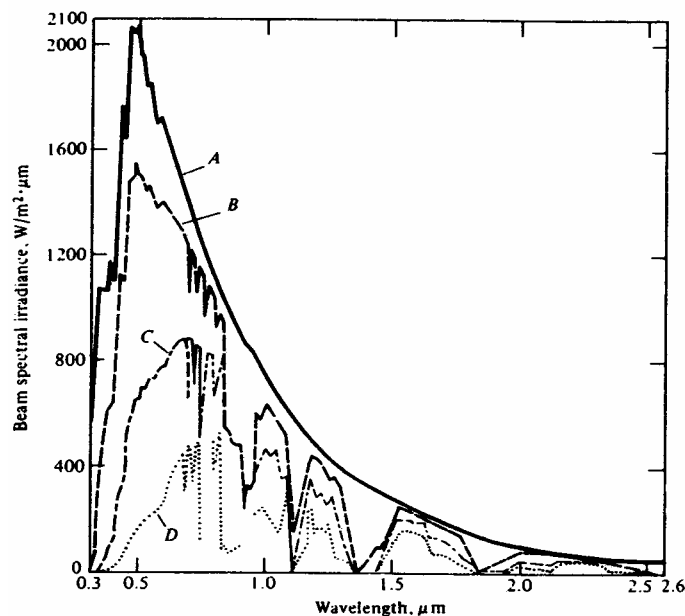
زمین به دور خورشید در یک مدار کمی بیضوی می چرخد که محورهای بزرگ و کوچک آن با هم در حدود $1/7$ درصد اختلاف دارند . زمین در ۲۱ دسامبر نزدیکترین فاصله را با خورشید دارد که حدود $10^{11} \times 1/45 \text{ m}$ است و دورترین فاصله در ۲۲ ژوئن می باشد که فاصله زمین با خورشید در حدود $10^{11} \times 1/54 \text{ m}$ است .

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



شکل ۲ - [۷]

قطر خورشید در حدود $10^9 \times 1/39 \text{ m}$ است و مماسهای آن با زمین فقط با زاویه ۳۲ دقیقه می باشد . بنابراین برای تمام مقاصد عملی ، تابشهای خورشیدی ممکن است هنگام برخورد با زمین ، موازی در نظر گرفته شوند . خورشید دارای دمای جرم سیاه (black - body) در حدود 5762° K است . طیف نوری تشعشعات انرژی خورشیدی در فاصله متوسط زمین - خورشید از اتمسفر زمین در شکل ۳ نشان داده شده است .



شکل ۳ - طیف نوری تشعشعات انرژی خورشیدی در فاصله متوسط زمین - خورشید [۷]

آن يك منحنی نوک تیز با چگالی تابش پریونیت است . رابطه بین خورشید و زمین و تاثیر دمای خورشید منجر به شدت تشعشعات خورشیدی می شود که تقریباً ثابت است و « ثابت خورشیدی » نامیده می شود و با "S" نمایش می دهند. آن با سطح زیر نمودار A در شکل ۳ برابر است و مقدار زیر را دارد : $S = 1353 \text{ W/m}^2$. مدار تقریباً بیضوی چرخش زمین به دور خورشید باعث می شود شدت تشعشعات واقعی خورشید کمی از ثابت خورشیدی با يك رنج در حدود $\pm 3\%$ در صد منحرف شود . تغییرات كوچك دیگر نیز با پریوديك های مختلف روی می دهد . تشعشعات خورشیدی از همه انواع تشعشعات پرتو افکنی می باشد که همچنین تشعشعات مستقیم نامیده می شود .

محور قطبی زمین (محوری که زمین به دور خود می چرخد) بطور ثابت با زاویه 23.5° از حالت معمولی رو به سمت خورشید (ecliptic plane EP) خم شده است .

تشعشعات خورشیدی

انرژی خورشیدی که به سطح زمین می رسد تشعشعات فرا زمینی (خورشیدی) (Terrestrial Radiation) نامیده می شود . آهنگ رسیدن انرژی فرا زمینی به واحد سطح در زمین بر حسب W/m^2 است که بطور متغیر مربوط به تشعشع ، ایزوله کردن یا چگالی انرژی ، مربوط می شود . تشعشعات فرا زمینی گازهای مختلف ، بخارات و مواد ویژه در اتمسفر زمین در معرض تغییر و یا کاهش دادن قرار می دهد . تشعشعات فرا زمینی به وسیله دو مکانیسم پراکندگی و جذب تضعیف می شوند .

پراکندگی مکانیسمی است که قسمتی از يك پرتو پراکنده شود یعنی بوسیله مولکول های ، بخار آب و یا گرد غبار در اتمسفر تضعیف شود . مکانیسم به نوع متوسط پراکندگی و طول موج تشعشع بستگی دارد و تقریباً يك اثر طبیعی پیچیده می باشد .

به هر حال این مکانیسم شناخته شده که پراکندگی و انتشار تشعشعات بیشتر برای موج با طول موج کوتاه تر رخ دهد و این دلیل دیدن آسمان به رنگ آبی است .

جذب تشعشعات خورشیدی در اتمسفر عمدتاً توسط ازون (O_3) صورت می گیرد ، بخار آب (H_2O) و دی اکسید کربن (CO_2) اشعه X و دیگر امواج طول موج کوتاه خورشید بوسیله یونهای N_2 و O_2 و دیگر اجزای درون اتمسفر بسیار جذب می شوند . تاثیرات مهم باعث می شوند بوسیله :

۱ - ازون امواج فرابنفش (طول موج کوتاه) را با جذب کامل در طول موجهای $0.29 \mu m$ و کمتر از آن و کاهش جذب در طول موجهای بین $0.29 \mu m$ تا $0.35 \mu m$. البته یک باند جذب بسیار ضعیف نزدیک $0.6 \mu m$ وجود دارد .

۲ - بخار آب با جذب قوی باندهای با طول موج بالا یعنی طیفی در حدود $1.0 \mu m$ ، $1.4 \mu m$ و $1.8 \mu m$.

۳ - دی اکسید کربن باند جذبی در طول موجهای کوتاه یا طول موجهای قابل رویت ندارد اما چندین باند برای جذب تشعشعات فرا زمینی دارد اما این باندها فقط در حدود ۵ درصد کل طیفها را در بر می گیرد . این باندها عبارتند از : $2.36 \mu m$ تا $3.02 \mu m$ _ $4.01 \mu m$ تا $4.08 \mu m$ _ $12.5 \mu m$ تا $16.5 \mu m$. بنابراین پدیده جذب بوسیله آب و دی اکسید کربن باعث می شود که انرژی رسیده به سطح زمین با طول موجی بزرگتر از $2.3 \mu m$ داشته باشد .

سیستمهای تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریسیته

در سال ۱۹۸۰ کل انرژی مصرفی ایالات متحده در حدود $10^{13} KWh \times 2/286$ می باشد که در حدود ۲۵ درصد آن یعنی $10^{12} KWh \times 5/175$ برای تولید انرژی الکتریسیته بکار می رود . راندمان متوسط تبدیل انرژی در حدود ۳۰ تا ۳۲ درصد است و در سال کل انرژی الکتریسیته مصرف شده در حدود $10^{12} KWh/year \times 1/8$ است .

ممکن است به نظر برسد انرژی خورشیدی که می تابد در حدود $10^{16} KWh/year \times 2/2$ می تواند بیشتر از ۱۰۰۰ بار بزرگتر از کل مصرف انرژی و یا ۱۲۰۰۰ بار بیشتر از انرژی الکتریسیته مصرفی در ایالات متحده می باشد اگر مجموع انرژی خورشیدی را در زمینهایی که نه در تصرف کسی و نه زیر کشت است حساب کنیم ، در آن صورت به بهترین وجه ظرفیت بالقوه بهره برداری از انرژی خورشیدی به دست می آید .

انرژی خورشیدی به دو صورت به انرژی الکتریسیته تبدیل می شود : تبدیل انرژی گرمایی خورشید به الکتریسیته و تبدیل فتوولتاییک .

تبدیل انرژی گرمایی خورشید به الکتریسیته

در این روش تشعشعات خورشیدی به گرما تبدیل شده که در واقع به يك سيكل ترمودیناميك وارد می شود و تولید کار مکانیکی و الکتریسیته می کند . برای این که دارای راندمان باشد و اقتصادی شود لازم است که انرژی خورشیدی منتشر شده به عنوان يك منبع گرمایی با دمای بالا (Solar - Thermal Conversion) جمع آوری و متمرکز شود .

کولکتورها ، انرژی خورشیدی را جمع می کنند و به سمت گیرنده ها (ریسورها) که شامل سیالی است که در سيكل ترمودیناميك کار می کند هدایت می کنند . سیستمهای استفاده شده برای تبدیل انرژی گرمایی خورشید به الکتریسیته چند نوع می باشد که شامل

۱. سيكل رانكلين که سیال آن بخار یا چیز دیگری است .

۲. سيكل براي تون که سیال آن هلیوم یا هوا است .

۳. سیستمهای هیبریدی

۴. سیستمهای Re Powering

بعلاوه سیستمهای ذخیره سازی ممکن است لازم باشد . سیستمهایی که فقط تولید گرما می کنند به مقداری مواظبت نیاز دارند . [۷]

تبدیل فتوولتاییک (Photo Voltaic Conversion)

سیستمهای فتوولتاییک شامل وسایلی به شکل سلول (Cell) است که تبدیل مستقیم فوتونهای خورشیدی به الکتریسیته بدون استفاده از سيكل ترمودیناميك یا سیال می باشد . آنها می توانند کولکتورهای خود باشند یا می توانند از کولکتورهایی استفاده کنند که خورشید به سمت آنها متمرکز شود . سلولها جریانهها و ولتاژهای پایینی تولید می کنند بنابراین در ماژولهایی با یکدیگر متصل شده اند . ماژولها نیز به نوبه خود در پانلهایی قرار دارند و رشته ها (Arrays) به تجهیزات قدرت ویژه ای می رسند . سلولها از مواد زیر ساخته شده اند :

۱. يك كريستال سيليكون

۲. سيليكون با تعداد زيادي كريستال

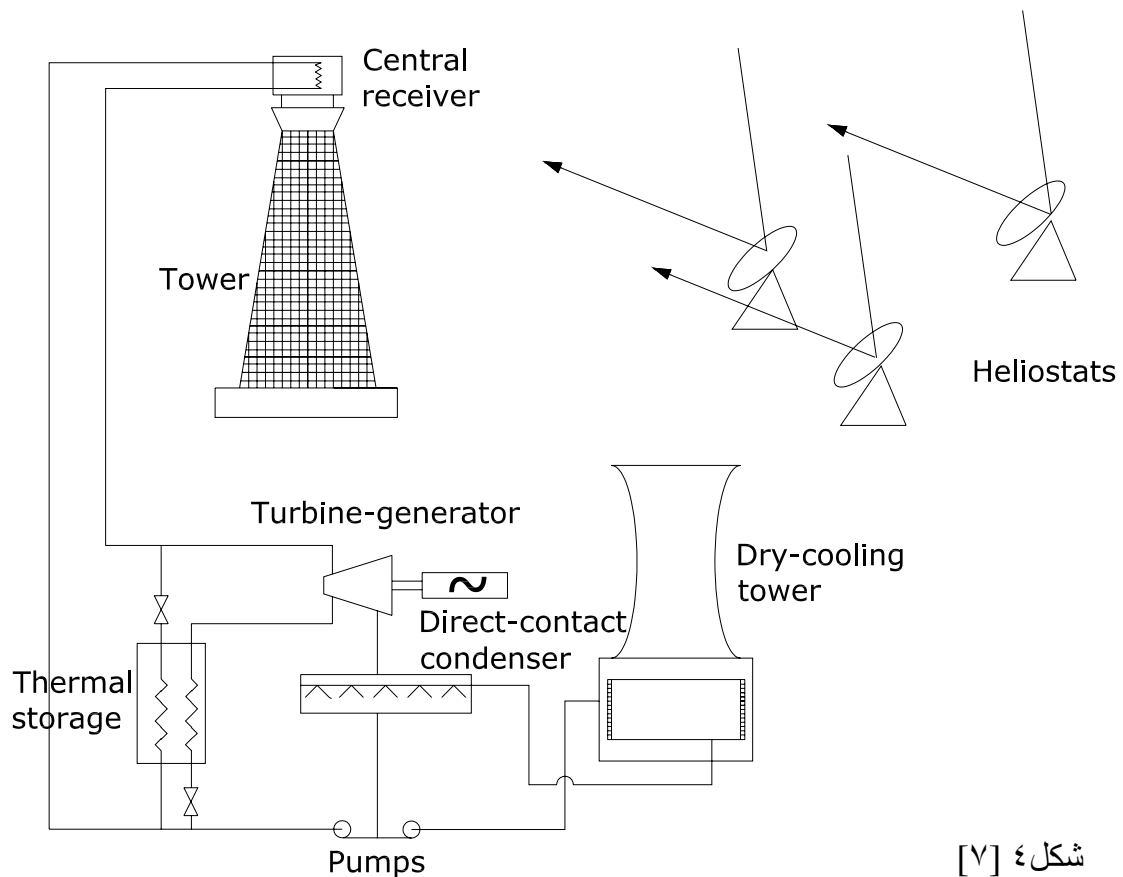
۳. ورقه هاي نازك با يك رنج وسيع از كمپوندهاي شيميايي

سیستمهای ریسور مرکزی گرمای خورشیدی

سیستمهای ریسور مرکزی یعنی تبدیل گرمای خورشید به الکتریسیته از آینه های با ابعاد بزرگ استفاده می شود که نور خورشید را منعکس می کنند و « هلیوستات » (Heliostat) نامیده می شود که انرژی خورشیدی را به ریسور مرکزی که در بالای يك برج است منعکس می کنند (شکل ۴) .

هلیوستات‌ها بطور جداگانه انرژی خورشیدی را به سمت ریسور مرکزی هدایت می‌کنند . آنها در مدت زمانی که نور خورشید می‌تابد انرژی آنرا روی ریسور متمرکز می‌کنند . درون ریسور یک سیال وجود دارد که می‌تواند آب باشد تا بخار شود تا در سیکل رانکین ، یک توربو ژنراتور را بحرکت در آورد و یا یک سیال میانی باشد که گرما را به سیکل بخار انتقال دهد .

سیستم باید دارای نگهداری سر خود برای شبها و روزهای ابری داشته باشد بصورتیکه در شکل ۴ نمایش داده شده است . خروجی ریسور بزرگتر از چیزی که در سیکل بخار لازم است ساخته می‌شود و اضافی خروجی در دوره های مختلف به سمت سیستم نگهداری گرمایی برگشت می‌شود . زمانهایی که تابش خورشید کم است و یا وجود ندارد آب تغذیه کننده به سمت سیستم ذخیره سازی تغییر جهت می‌دهد یعنی بجای اینکه به ریسور برود



شکل ۴ [۷]

یک درجه مخصوص در سیستم اجازه کار در مود دیگری را می‌دهد . نیروگاه‌های تبدیل انرژی گرمایی خورشید به الکتریسیته معمولاً در زمین‌های بایر و بسیار گرم که بزرگ نیز هستند (به دلیل بزرگ بودن هلیوستات) نصب می‌شوند . جایگاه انرژی خورشیدی نیز فراوان است اما آب کمیاب است . کندانسور نیز حتماً باید یک برج خنک کننده خشک باشد . چنین برج‌هایی دارای راندمان پایینی هستند و باعث کاهش راندمان سیکل رانکین می‌شود اما نیازی به آب ندارند .

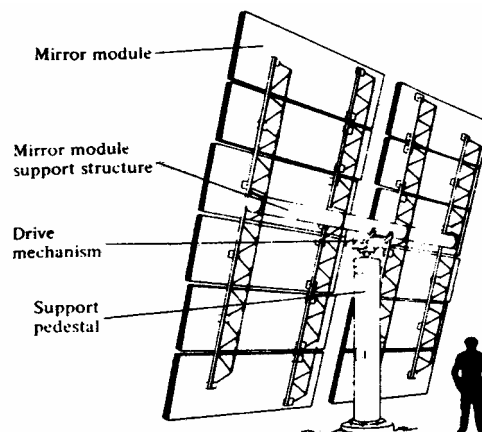
اولین نیروگاه خورشیدی با توان **10 MW** بصورت پایلوت در بیابان موجاوه (Mojave) در کالیفرنیا در نیمه سال ۱۹۸۲ تست شد و شروع بکار کرد .

هلیوستات ها

هلیوس (Helios) در یونانی به معنی خورشید است . هلیوستاتها آینه هایی هستند که قابلیت جابجایی دارند بنابراین می توانند تشعشعات خورشید را به ریسور مرکزی در کل مدت روز منعکس کنند . آنها برای دنبال کردن خورشید ساخته شده اند نه اینکه بر اشعه های آن عمود باشند بلکه باید در زاویه ای باشند که بتوانند آنها را به ریسور ثابت منعکس کنند . این زاویه به دو عامل بستگی دارد : زمان (ساعت) و موقعیت تک تک هلیوستاتها نسبت به ریسور .

هر هلیوستات از یک سطح منعکس کننده یا آینه تشکیل شده و ساختمان آن شامل جهت یاب ، سیستم کنترل و سیستم حرکتی است . طراحی های امروزی مجموعاً بین ۴۰ تا 70 m^2 را شامل می شود . ایده آل آن است که کانون آن برابر با فاصله ریسور با هلیوستات باشد . البته چون فاصله زیاد است کره یا هر سطح صافی بهترین پیشنهاد است . دو نوع سطح منعکس کننده وجود دارد : شیشه و پلاستیک .

یک هلیوستات شیشه ای معمولاً به ۱۰ تا ۱۴ پانل که نسبتاً یک سطح بزرگ را تشکیل می دهد تقسیم می شود این امر ساخت و حمل و نقل آنرا ساده می کند (شکل ۵) .

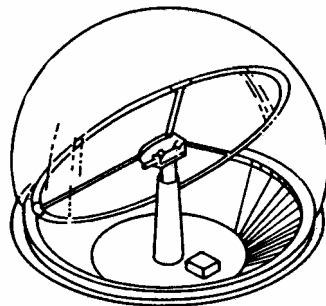


شکل ۵ [۷]

یک پانل شیشه ای به نوعی سطح دوم آینه است (شبیه آینه های معمولی) . پانلها معمولاً بصورت مستطیلی و در ابعاد $3/6 \times 1/2$ m می باشد . آنها از ورقه های نازک شیشه ای با آهن کم (با ضخامت ۱/۵ تا ۳ mm) برای مینیم کردن جذب نور استفاده می شود . پانلها در موقع سر هم کردن نسبت به هم کمی کج هستند تا اشعه های خورشید را روی ریسور متمرکز کنند .

هلیوستاتهای شیشه ای از نوع پلاستیکی آن در سال ۱۹۸۲ پیشرفته تر بودند چون هم مستحکم تر و هم قدرت انعکاس بیشتری داشتند در هلیوستاتهای امروزی از شیشه و نقره در سطح منعکس کننده و از فولاد ، آلومینیوم و مس در ساختمان پایه آن استفاده می شود . آنها

باید سنگین ، قوي و محکم و در مقابل بادهای شدید و یا هر شرایط جوي دیگر پایدار باشند . رنج وزني آنها براي هر متر مربع از آينه که شامل فندانسيون نیز مي شود در حدود ۵ تا ۲ Kg /m ۶۰ است . يك نيروگاه MW ۱۰ به ۱۸۱۸ هليوستات شیشه اي بطوريکه در شکل ۵ نشان داده شده ، نیاز دارد هريك از آنها از ۱۲ پانل مجزا تشکیل شده است. هليوستاتهاي امروزي تقريباً ۴۵ درصد هزینه کل يك نيروگاه گرمای خورشيدی (برج و ريسور هر کدام در حدود ۱۱ درصد و سيستم ذخيره سازي در حدود ۱۷ درصد) را در بر مي گيرد (البته بقيه هزینه ها در بين زمين و ديگر تجهيزات تقسيم مي شود) . کاهش هزینه هليوستات يکي از اهداف اصلي کاهش هزینه اصلي اين گونه نيروگاههاست. هزینه يك هليوستات ۲۵۰ دلار بر هر متر مربع است . مطالعات در زمينه توليد ثانويه DOE نشان داد که مي توان هزینه را تا ۱۵۰\$/m² و يا تا ۱۱۰\$/m² کاهش داد . هليوستات پلاستيکي اگر چه داراي قدرت منعکس کنندگی و مقاومت کمتر نسبت به نوع شیشه اي آن است اما داراي هزینه کمتر ، جرم سطح رفلکتور (منعکس کننده) کمتر و بنابر اين داراي جرم و هزینه کمتر براي پايه آن و سيستم حرکتی هليوستات مي باشد . يك نوع هليوستات که بوسيله شرکت بويینگ طراحی شده در شکل ۶ نشان داده شده که داراي يك ورقه منعکس کننده (رفلکتور) پلاستيکي که روي صفحه هليوستات به مساحت ۱۶/۷ m² کشيده شده که از باد توسط آن محافظت مي کند .

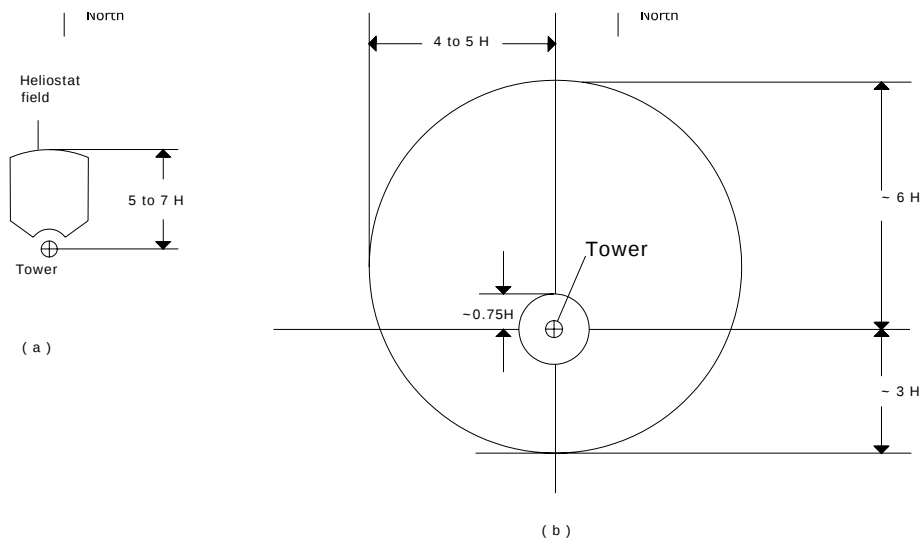


شکل ۶- هليوستات طراحی شده بويینگ [۷]

زمين هليوستات

زمين هليوستات جايي است که ريسور مرکزي در آن قرار دارد و همچنين " جمع کننده زیر سيستم " (Collector Subsystem) ناميده مي شود . شکلي دارد که بايد نسبت به توپوگرافي منطقه و سطح نيروگاه تعيين شود . زمين ممکن است در يك ناحيه صاف و مسطح و يا بر روي يك تپه و ... قرار داشته باشد . در نيمکره شمالي ، در موقع ظهر هميشه خورشيد در جنوب برج ريسور مرکزي قرار دارد بنابر اين يك زمين شمالي معمولاً داراي ارزش بيشتري است زيرا کسينوس آن کمترين است .

براي نيروگاههاي کوچک ، انرژی گرمایی ورودي کمتر از MW ۱۰۰ در کل يك زمين شمالي بهينه است (شکل a ۷) .



شکل ۷ [۷]

اگر نیروگاه بزرگتر شود ، زمین نیز بزرگتر شده و هلیوستاتهای زیادی استفاده می شود در ضمن فاصله آنها نیز با برج افزایش می یابد . هوای اطراف نیروگاه باعث تضعیف انعکاس تشعشعات از فاصله دور هلیوستاتهای شمالی می شود . ورودی ریسپور می تواند بوسیله کاهش فاصله هلیوستاتها به سمت شرق و غرب برج بهبود یابد و اندازه نیروگاه به سمت جنوب آن افزایش می یابد (شکل b ۷) .

تلفات انرژی بین تشعشعات خورشیدی (ثابت خورشیدی) و عایقهای آن تاکنون بحث شد . علاوه تلفات انرژی تابشی در زمین هلیوستات وجود دارد . این تلفات را می توان بصورت زیر خلاصه کرد :

۱. سایه : این مشکل توسط سایه سطح منعکس کننده یک هلیوستات بر روی هلیوستات

(های) دیگر در بعضی از ساعات روز ایجاد می شود . البته سایه برج بر روی هلیوستاتها نا چیز است و از آن صرف نظر می شود .

۲. تلفات (کاهش) کسینوس : چون سطح منعکس کننده یک هلیوستات بر پرتوهای

خورشیدی عمود نیست اما با فرض زاویه ای که پرتوهای خورشیدی را به سمت ریسپور مرکزی منعکس می کند ناحیه ای که بوسیله هلیوستات ، چگالی انرژی خورشیدی را قطع می کند کمتر از سطح منعکس کننده بوسیله کسینوس زاویه بین سطح و عمود بر پرتوهای تابش شده از خورشید می باشد .

۳. بلوکه شدن : این امر نتیجه آن است که هنگامیکه نور یک هلیوستات منعکس شد قسمتی از آن توسط پشت هلیوستاتهای دیگر برگشت شود .

۴. تلفات منعکس کننده : این امر از جذب تشعشعات تابش شده بوسیله شیشه و سطح

نقره اندود و همچنین پراکنده کردن تشعشعات منعکس شده بوسیله سطح کثیف می باشد .

۵. **تضعیف شدن:** این تلفات بوسیله جذب و پراکنده شدن بوسیله بخار آب، غبار،

مه، دود و ذرات داخل هوا که بین هلیوستات و ریسور وجود دارد ایجاد می

شود.

زمین و هلیوستاتهای درون آن باید بطور بهینه ای طراحی شوند تا انرژی گرمایی خورشید

با کمترین هزینه به ریسور برسد. البته برای برطرف کردن مشکلات فوق، مشکلات

دیگری ایجاد می شود. بطور مثال کاهش اثر سایه و بلوکه شدن تشعشعات منعکس شده

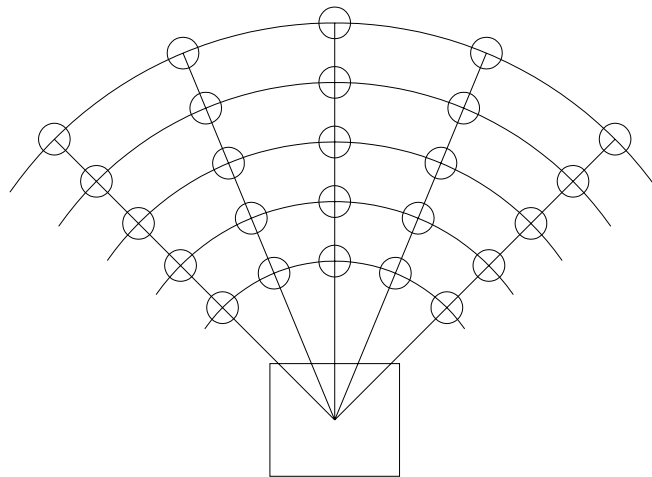
بوسیله افزایش فضا (زمین) بین هلیوستاتها منجر به افزایش تضعیف تشعشعات می شود،

زمین بزرگتر و استفاده از آن برای دریافت انرژی و رساندن انرژی بیشتر به ریسور باعث

کاهش آن می شود.

مطالعات نشان می دهد که بهترین و اقتصادی ترین طرح قرار گیری هلیوستاتها در

روی زمین بصورت شعاعی است (مطابق شکل ۸).



Tower

شکل ۸ [۷]

این طرح تلفات بلوکه و تضعیف شدن را کاهش داده و در نتیجه زمین مورد استفاده

کاهش می یابد.

کنترل هلیوستات

پوشش (عایق کردن) هلیوستات نسبت به زمین از ساعتی به ساعت دیگر و از فصلی

به فصل دیگر فرق می کند (شکل ۲). بیشتر هلیوستاتها در طلوع آفتاب در زیر سایه هستند

جز آنهاییکه در دورترین بخش غربی هستند. شبیه همین وضعیت در غروب آفتاب رخ می

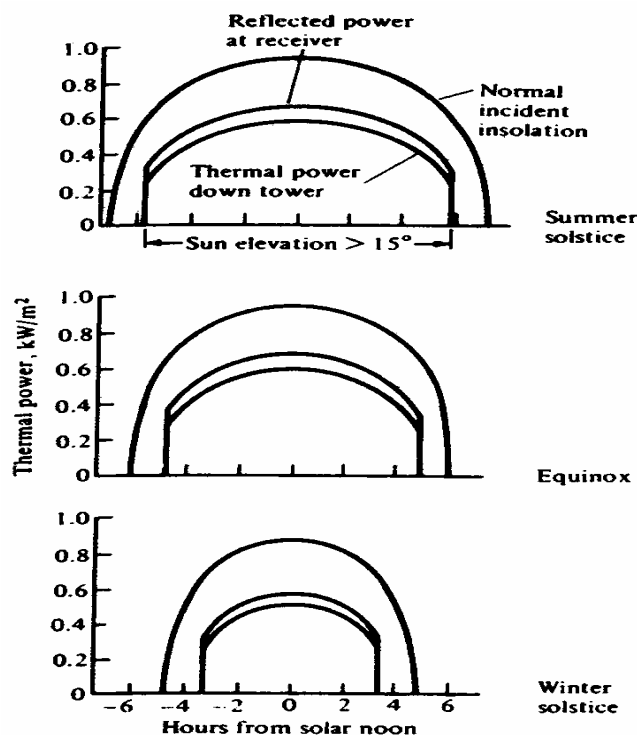
دهد. مینیمم مقدار انرژی که معمولاً می رسد ۱۰ درصد حداکثر توان است که فقط می تواند

زمانی که خورشید در 15° درجه یا بیشتر بالای افق باشد جمع می شود.

توان منعکس شده و تلفات ریسور در شکل ۹ با حالت معمولی عایق بندی تشعشعات برای

تابستان، شب و روز و زمستان نشان داده شده است. تلفات ریسور تقریباً ثابت است و به

زمان روزی که در آن کار می کند و همچنین دما وابسته است.



شکل ۹ [۷]

سیکل کار روزانه جمع کننده انرژی خورشیدی شامل شروع در صبح ، کار در طول روز مطابق شکل ۹ و اتمام در عصر می باشد . در طول زمانی که هلیوستات کار نمی کند در وضعیت « استو » (انباشتن ، ذخیره سازی *stow*) ، بسر می برد . در این حالت سطح آن

یا بصورت افقی رو به پایین و یا در یک موقعیت عمودی قرار دارد . در صبح آنها از حالت **Stow** به حالت **Stand by** رفته و تشعشعات خورشید را به نقطه ای نزدیک رسیپور و نه به خود آن منعکس می کنند . این حالت در حدود ۱۵ دقیقه طول می کشد و برای هر هلیوستات 0.1 KWh انرژی صرف می شود . سپس رسیپور روشن می شود (آب خنک به آن پمپ می شود) . سپس هلیوستاتها یکی یکی از حالت **Stand by** به حالت کار ، (**Operating**) می روند بدین معنی که تشعشعات خورشید را به سطح رسیپور منعکس می کنند . این امر از گرمای بیش از حد رسیپور جلوگیری می کند . همچنین سیستمهای کنترل افزایش دما در رسیپور وجود دارد . در طول مدت کار عادی هلیوستاتها به شیوه ردیابی خورشید (**Sun _ tracking**) ، کار می کنند . این امر بوسیله یک کنترلر اعمال می شود تا تشعشعات منعکس شده به یک نقطه باشد .

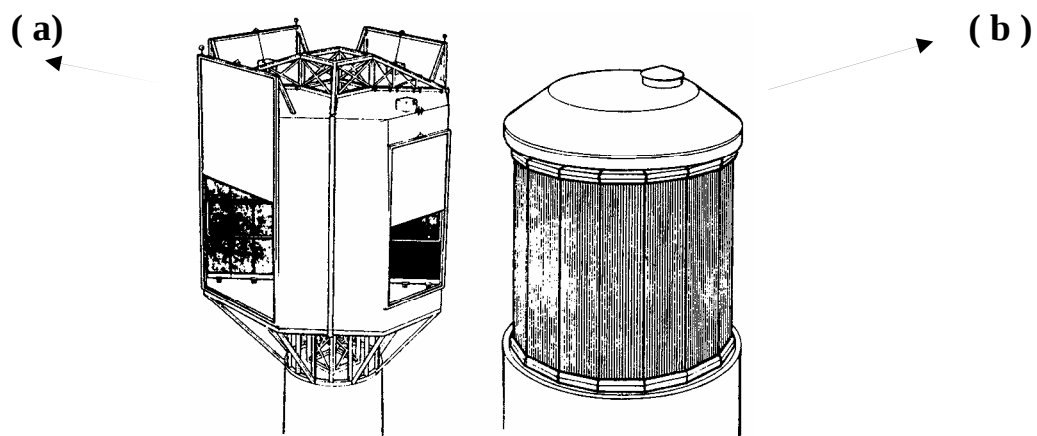
ردیابی خورشید توسط هلیوستاتها به دو روش انجام می شود : روش اول استفاده از سنسورهای فعال انعکاس نور است که موتورهای محرک روی هلیوستات را کنترل می کند تا سطح منعکس کننده دائما تشعشعات خورشید را به یک نقطه منعکس کند . روش دوم استفاده از یک کامپیوتر برنامه ریزی شده است که جهت سطحهای منعکس کننده را با توجه به موقعیت آنها نسبت به رسیپور تعیین می کند . این امر به ساعت روز و همچنین روز سال بستگی دارد . روش دیگر ردیابی بوسیله دو محور چرخان صورت می پذیرد : یک محور آسیموت (سمت

Azimuth : و ديگري ارتفاع سطح رفلکتور مي باشد . مرحله خاموش (Shut down) بر عکس مرحله روشن (Start - up) است .

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

ريسيور

ريسيور مركزي در بالاي برج بلندي (ارتفاعي در حدود $94/5 \text{ m}$) قرار دارد . برج طوري ساخته شده كه پيك چگالي انرژي تشعشعات بين 300 تا $700 \text{ m}^2/\text{KW}$ باشد . ريسيور طوري طراحي شده كه از هدر رفتن انرژي دريافتي جلوگیری کند و آنرا جذب کرده و به سيال انتقال دهد . اگرچه تشعشعات ، هليوستانات را به صورت مستطیل شکل ترك مي كنند اما بصورت دايره اي به ريسيور مي رسند . سطح جذب كننده گرما معمولا شبیه بويلر با سوخت فسيلي است . دو نوع ريسيور وجود دارد كه در زیر شرح داده مي شود : ۱ - نوع حفره اي (Cavity) ۲ - نوع خارجي (External) .



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 هليوستانات است . نسبت سطح سوراخ به صفحه ، مينيم 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 60 تا 120 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 كمی محدب رو به زمین باشند . نسبت ارتفاع به قطر آن ۱ : ۱ تا ۲ : ۱ است . قطر لوله هاي سرد كننده از ۲۰ تا ۵۶ mm و ضخامت آن از ۱/۲ تا ۴/۶mm است كه به فشار ، مواد و به ديگر موارد طراحي مهندسي وابسته است .

راندمان ريسور

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

۱. **Spillage** : اين ، انرژي منعكس شده هليوستانهاست اما توسط سيال جذب نمي

شود اشعات منعكس شده ممكن است به ريسور برخورد نكند يا به غير از سوراخ

(در يك ريسور 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 ۵ درصد است .

۲. **بازگشت** : اين مورد انرژيي است كه از سطح عبوري گرمائي ريسور برگشت

مي شود . اين امر بوسيله رنگ زدن سطح ريسور با قابليت جذب بسيار بالا

مينيمم مي شود . اين کاهش معمولاً در بهترين طراحي كمتر از ۵ درصد است .

۳. **كنوكسيون** : اين انرژي بوسيله كنوكسيون بين بدنه ريسور و هواي اطراف آن

از بين مي رود .

۴. **تشعشع** : اين انرژي بوسيله تشعشعات مادون قرمز از سطح داغ ريسور با

محيط تلف مي شود كه وابسته به شكل ريسور و نوع آن (حفره اي يا خارجي)

مي باشد . تركيب تلفات كنوكسيون و تشعشع ، زياد است و بين ۵ تا ۱۵ درصد

است .

۵. **هدايت گرمائي** : اين انرژي بر اساس تلفات از طريق اجزاي ساختمان ، عايق

بندي و . . . از بين مي رود . اين تلفات حداقل تلفات است و كمتر از ۱ درصد

را شامل مي شود .

طراحي بهينه ريسور بسيار مهم است . براي مثال در يك ريسور بزرگ ، تلفات

Spillage بسيار پايين است اما تلفات كنوكسيون و تشعشع زياد است . يك ريسور حفره اي

تلفات بازگشتي كمتر نسبت به يك ريسور خارجي دارد اما تلفات كنوكسيون ريسور

خارجي بخاطر سطح سياه آن كمتر است ولي تلفات هدايت گرمائي آن بيشتر است ، اندازه آن

بزرگتر و پيچيده تر است .

به هر حال ريسورهاي حفره اي نسبت به ريسور از نوع خارجي داراي راندمان

بيشتر هستند . ريسور حفره اي توسط شرکتهای **Honeywell** و **Martin Marietta**

با راندماني در حدود ۹۰ درصد طراحي و ساخته شده اند . ريسور خارجي نيز توسط

شرکت **Mc Donlle Douglas** با راندمان تقریبی ۸۰ درصد ساخته شده است. به بیان دیگر، ریسورهای حفره‌ای بسیار بزرگتر، سنگین‌تر و گرانتر نسبت به ریسورهای خارجی هستند. وزن آنها بیشتر از ۲۵۰ تن است اما وزن یک ریسور خارجی کمتر از ۱۳۶ تن می‌باشد. [۷]

سیستم انتقال گرما

سیستم انتقال گرما از سیال انتقال دهنده گرما (سرد کننده اولیه)، لوله کشی ریسور، لوله کشی بین ریسور و تجهیزات تولید توان و همچنین پمپها تشکیل شده است. سرد کننده اولیه ممکن است همان سیالی باشد که در نیروگاههای معمولی بکار می‌رود و نیز ممکن است از جنس دیگری باشد.

پنج گونه مختلف از سرد کننده‌ها در زیر آمده است:

۱. **بخار آب**: آب ریسور گرما دریافت می‌کند تا به بخار تبدیل شود همانند نیروگاههای سیکل ترکیبی. تغییر فاز در ریسور روش معمولی تولید بخار است. روش دیگر، بویلر استوانه‌ای و یا استفاده از بویلر با سوپر هیتر است. بخار ممکن است در ۵۴۰ تا ۶۰۰ °C و با فشار ۷۰ تا ۱۴۰ bar تولید شود. این سیستم دارای فواید زیادی است از جمله استفاده از حداقل تکنولوژی و در نتیجه کاهش هزینه.

۲. **فلزات مایع**: فلزات مایع بخصوص سدیم (Na) بعنوان یک سیال برای هدایت

گرمایی برای راکتورهای هسته‌ای سریع تولید کننده است. مهمترین فایده آن راندمان بسیار بالایی انتقال گرما است. سدیم در ۹۸ °C منجمد می‌شود و به سیستمی نیاز دارد که در طول خاموش بودن نیروگاه از انجماد آن جلوگیری کند. سدیم نیز بصورت شیمیایی اکتیو است و در هوا یا آب به سرعت اکسید می‌شود. یک گاز پوشاننده مانند آرگون که سنگین‌تر از هواست در راکتورهای هسته‌ای با خنک کننده سدیم استفاده می‌شود برای این که از اکسیداسیون و آتش گرفتن آن جلوگیری شود. سدیم استفاده شده هر چند داغ و یا سرد باشد نیاز به این دارد که اکسیدهای آنرا جدا کنند. سدیم ممکن است در بالاتر از

۵۴۰ °C بصورت مایع، کار انتقال گرمایی خورشید و تولید بخار را انجام دهد. فلزات مایع دارای فشار بخار کمی در دمایی کار هستند و در نتیجه به تجهیزات فشار بالا در نیروگاه نیاز ندارند.

۳. **نمکهای مذاب**: نمکهای مذاب برای انتقال گرما در صنایع شیمیایی استفاده می‌شود

و بصورت آزمایشی نیز بعنوان سیال در راکتورهای هسته‌ای بکار می‌روند. آنها همانند فلزات مایع به تجهیزات فشار بالا در دمایی کار نیاز ندارند بعلاوه ظرفیت گرمایی بالایی دارند. نمکهای مخلوط نیترات برای سیستمهای خورشیدی با ریسور مرکزی پیشنهاد می‌شود. همچنین نمک می‌تواند در دمایی بسیار بالا کار کند و

گرمایش را به سمت تولید بخار در نیروگاه بخار ببرد. آنها همچنین دارای نقطه انجماد بالایی در حدود 140°C تا 220°C است که برای احتیاط به وسایلی برای حفاظت در مقابل جامد شدن در طی خاموشی نیروگاه نیاز دارند.

۴. **گازها:** گازها می توانند در هر دمای مطلوبی که با مواد تشکیل دهنده سازگاری داشته باشند حتی بالاتر از 840°C کار کنند. فشار گاز فقط برای غلبه بر کاهش فشار در سیکل سرد کننده لازم است. ظرفیت گرمایی پایین گازها به حجم زیاد گاز و در نتیجه سرعت بالایی گاز جاری نیاز دارد. فشار بالا، چگالی را افزایش می دهد در نتیجه ظرفیت گرمایی افزایش می یابد ولی سرعت کاهش می یابد. گازهای مورد مطالعه هوا و هلیوم هستند. آنها می توانند بعنوان عامل منتقل کننده گرما که تولید بخار می کند و در یک نیروگاه با سیکل رانکین تولید انرژی می کند استفاده شوند یا مستقیماً در یک نیروگاه با توربین گازی و سیکل برایتون از نوع باز (با هوا) و یا در یک سیکل بسته (با هلیوم) استفاده شوند.

۵. **استفاده از روغن بعنوان عامل انتقال حرارت:** از فواید استفاده از روغنها، فساد پذیری کم با بیشتر مواد است و می توان از آنها در فشارهای بخار کم استفاده کرد. آنها تحت دمای بالا تجزیه می شوند که تجزیه پیرولیتیک

(**Pyrolytic Decomposition**) نامیده می شوند. (در محیطی که تشعشعات رادیو اکتیو وجود دارد تجزیه « رادیو لیتیک » نامیده می شود. نتیجه تجزیه روغن، افزایش فشار در سیستم است. روغنها فقط می توانند در یک رنج کم دمایی کار کنند. دو روغنی که برای سیستمهای ریسور مرکزی پیشنهاد می شود « ترمینول ۶۶ » و « کارولینا HT-43 » است که در رنج دمای 7°C تا 315°C می توانند کار کنند.

لوله کشی برای سیال اولیه از ریسور تا پایین برج و در روی زمین سایت نیروگاه هزینه اصلی را در بر می گیرد. سایز لوله ها برای یک نیروگاه 400 MW از $3/0\text{ m}$ تا $5/0\text{ m}$ برای نمک مذاب، تا $4/2\text{ m}$ برای هوا با فشار 12 bar و بطول بیش از 600 m برای هر دو لوله سیال گرم و سرد است. وزن برای یک ریسور 400 MW از نوع سرد کننده سدیم و خارجی $2/5$ تن است. [۷]

سیستم نگهداری گرمایی

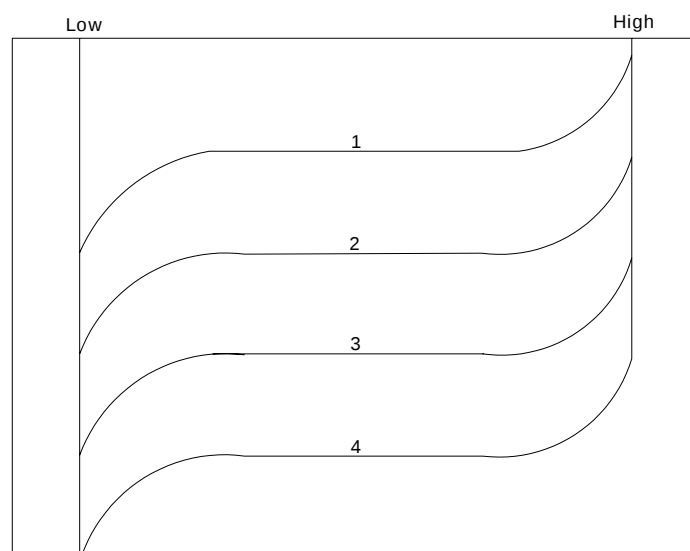
اگرچه چندین سیستم نگهداری انرژی نظیر شیمیایی ، الکتروشیمیایی (باتریها) ، مکانیکی (هوای متراکم شده ، پمپهای هیدرولیکی ، چرخ طیار) و یا سیستم تکفاز یا چند فاز گرمایی وجود دارد اما موقعیت جغرافیایی بیشتر نیروگاههای خورشیدی از هزینه زیادی در این زمینه جلوگیری می کند .

سیستم ذخیره سازی انرژی در نیروگاههای خورشیدی - گرمایی ضروری است چون در شرایط متغیر جوی ، (زمانهایی که خورشید پشت ابر است و یا شبها) به این سیستم نیاز دارند . نیروگاههای سوخت فسیلی معمولی ممکن است در چنین دوره هایی بعنوان سیستمهای هیبریدی مورد استفاده قرار گیرند اما سیستمهای نگهداری گرمایی بعنوان پارامتر دیگری در نیروگاههای خورشیدی استفاده می شوند . دو نوع نگهداری گرمایی در سیستمهای خورشیدی وجود دارد : ۱ - تانک تکی یا ترموکلین (Thermo cline)

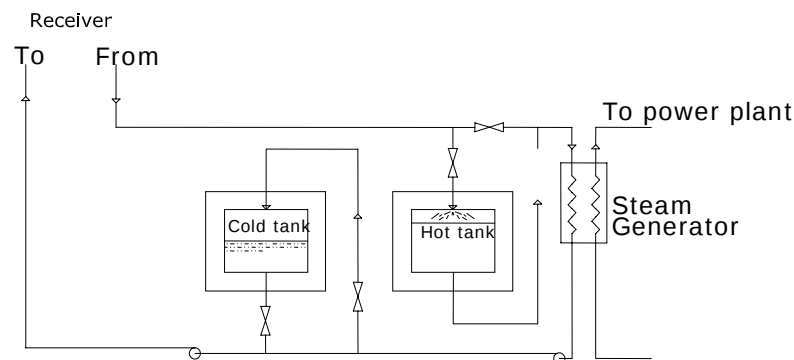
۲ - دو تانک یا سیستمهای داغ - سرد .

تانک تکی بصورت شماتیک در شکل ۴ نمایش داده شده است . شکل ۱۱ مشخصه دما - زمان یک سیستم ترموکلین را نشان می دهد . شکل نشان می دهد که شیب دما کاملاً صاف نیست این فاکتوری است که در چنین سیستمی تاثیر می گذارد (کاهش می دهد) . در چنین سیستمی دما بین ۲۹۰ تا ۵۶۵ °C متغیر است .

شکل ۱۱ مشخصه دما - زمان یک سیستم ترموکلین [۷]



شکل ۱۲ شماتیک یک سیستم دو تانک را نشان می دهد . اندازه سیستمهای نگهداری می تواند برای ذخیره سازی انرژی گرمایی کافی ساخته شود حتی اگر گرما از ریسور برای کارنیروگاه بصورت ۲۴ ساعته گرفته شود . اگر چه اندازه آن به طول روزها بستگی دارد اما ظرفیت آن برای روزهای کوتاه سال کافی نیست .



شکل ۱۲ - شماتیک یک سیستم دو تانک [۷]

تجربه جهانی

سیستمهای ریسور مرکزی در خیلی از نقاط دنیا وجود دارند . در ایالات متحده بزرگترین نیروگاه خورشیدی دارای 10 MW پیک توان است که حدود ۱۴۰ میلیون دلار هزینه در بر داشته است و در ۱۲ مایلی جنوب شرقی بارستو در کالیفرنیا و در بیابان موجاوه قرار دارد . این نیروگاه توسط شرکت ادیسون در کالیفرنیا جنوبی و با حمایت اداره انرژی امریکا (DOE) احداث گردیده است . (شکل ۱۳ - تمام نیروگاه را نشان می دهد .)



شکل ۱۳ [۸]

شرکتهای **Mc Donnell Douglas** و **Martin Marietta** یک نیروگاه خورشیدی که با بخار آب کار می کرد و سیستم نگهداری گرمایی آن از سیال روغن استفاده می کرد ساختند . این نیروگاه در تابستان ۱۹۸۲ شروع بکار کرد و در اکتبر ۱۹۸۲ به توان $10/4 \text{ MW}$ دست یافت . سیستم نگهداری آن به 7 MW می رسید که به هدف نهایی در طراحی نرسید .

در آمریکا در اسپانیا آژانس بین المللی انرژی ، چندین کشور اروپایی و ایالات متحده روی یک نیروگاه **KW ۵۰۰** با سدیم مذاب بعنوان عامل انتقال گرما و سیال سیستم نگهداری ، سرمایه گذاری کردند . این نیروگاه ۹۳ هلیوستات داشت . ریسور آن از نوع حفره ای در بالای یک برج ۴۳ متری قرار داشت . نیروگاه دیگری در همین منطقه در سال ۱۹۸۲ با ۳۰۰ هلیوستات که هر کدام از آنها به زمینی در حدود $40 m^2$ نیاز داشته و ریسور آن از نوع حفره ای بود .

در آدرانوئو سیسیل در ایتالیا یک نیروگاه ریسور مرکزی با توان **MW ۱** که « یورلیوس **Eurelios** » نامیده می شود . در می ۱۹۸۱ شروع بکار کرد . ریسور آن از نوع آن از نوع حفره ای و در بالای برج ۵۵ متری قرار داشت که آبی با دمای $510^{\circ} C$ تولید می کرد .

در فرانسه یک نیروگاه **MW ۲** که « تمیس **Themis** » نامیده می شد ساخته شد و ۲۰۰ هلیوستات با یک ریسور حفره ای با نمک مذاب با دمای $525^{\circ} C$ داشت .

در ژاپن یک نیروگاه **MW ۱** واقع در شهر نیو **Nio** به نام « پروژه طلوع آفتاب **Project Sunshine** » واقع در ناگوا احداث شد . این نیروگاه ۸۰۷ هلیوستات کوچک که برای هر کدام $16 m^2$ مساحت نیاز بود ، داشت . ریسور آن از نوع شبه حفره ای بود. [۷]

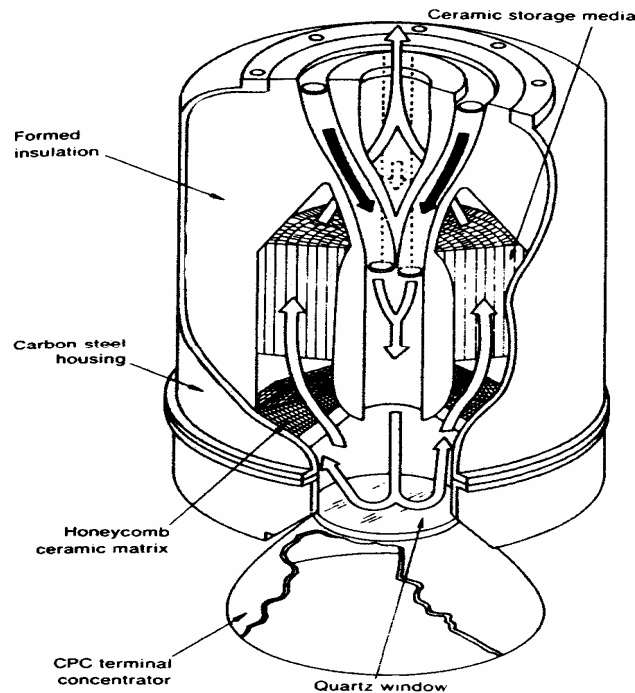
سیستمهای دیگر خورشیدی

نیروگاههای هیبریدی

یک سیستم هیبریدی کمبودهای انرژی خورشیدی را جبران می سازد نه بوسیله سیستم نگهداری بلکه بوسیله خورشید بعنوان یک منبع گرمایی هنگامیکه در دسترس و کافی است و استفاده از سوختهای فسیلی از قبیل نفت با گاز در مواقع دیگر . **DOE** مطالعاتی را در زمینه سیستمهای هیبریدی روی سیکل برایتون بعنوان یک پیشنهاد مهم در دست دارد .

سیال ابتدایی به سمت ریسور رفته و توربین گازی شروع بکار می کند . سیال می تواند : ۱ - هوا ۲ - هلیوم و یا ۳ - مخلوط دیگر گازها باشد . اگر چه سیکل برایتون ساده تر از سیکل رانکین است ولی به دماهای بالاتر برای رسیدن به راندمانهای مطلوب نیاز دارد . بطور معمولی یک نیروگاه سیکل رانکین از نوع خورشیدی یا فسیلی بخاری با دما در حدود $540^{\circ} C$ تا $590^{\circ} C$ و با فشار **70 bar** و حتی بیشتر نیاز دارد . نیروگاههای خورشیدی سیکل برایتون که با گاز کار می کنند با فشار بسیار پایین تر کار می کنند اما برای اینکه قابل رقابت باشد باید در دمای بسیار بالایی کار کنند . طراحی این گونه نیروگاهها و موادی که برای ریسور بکار می رود برای چنین مواردی بسیار سخت است . **DOE** و **EPRI** مطالعاتی را در زمینه طراحی و کار ریسور هایی که با دمای بالا کار می کنند و با آلیاژ های فلزی و قطعات سرامیکی ساخته می شوند را دارند . [۷]

شکل ۱۴ يك ريسور هانب كام سراميكي كه توسط بنياد ساندريز ساخته شده و توسط ادوارد در كاليفرنيا تست شده است را نشان مي دهد .

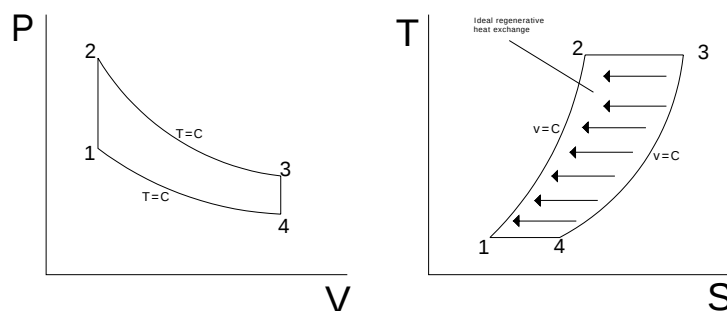


شکل ۱۴ - يك ريسور
هانب كام سراميكي [۷]

تبدیل سیکل استرلینگ

سیستم هیبریدی دیگری که می توان تصور کرد ، سیکل استرلینگ است . سیکل استرلینگ ایده آل يك سیکل باز تولید است که از چهار پروسه برگشت پذیر تشکیل شده است : دو حجم ثابت و دو دمایی ثابت .

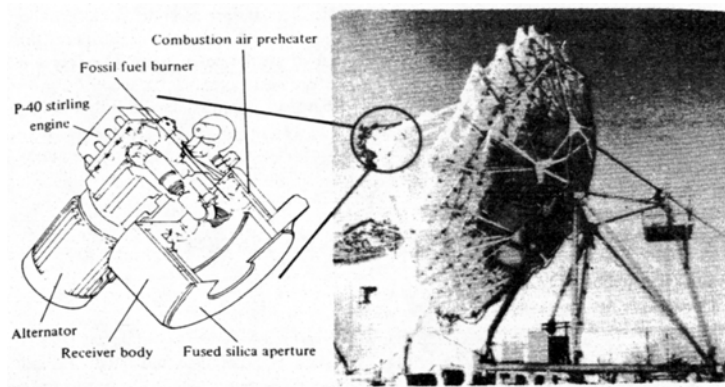
گرما در طول مدت دمایی ثابت ، بترتیب به پروسه های ۳- ۲ و ۱- ۴ داده می شود . گرما بصورت داخلی بین پروسه های حجم ثابت ۲- ۳ و ۲- ۱ مبادله می شود . موتورهای واقعی استرلینگ بر اساس سیکل ایده آل استرلینگ ساخته می می شود (همانطوریکه موتورهای واقعی دیزلی بر اساس سیکل ایده آل دیزلی ساخته می شوند) اگرچه راندمان آنها برابر با سیکل ایده آل نیست ، اما راندمان آنها به ۳۵ تا ۴۰ درصد می رسد .



شکل ۱۵ - سیکل استرلینگ [۷]

يك موتور استرلینگ می تواند يك ژنراتور الكتريكي را بچرخاند . موتور می تواند بطور مستقیم با ريسور خورشیدی كوپل شود . يك نوع از این موتور ها ، سیستمهای تمرکز دهنده هستند که به صورت موازي (الكتريكي) قرار دارند که در مرکز سیستم فوكاس قرار

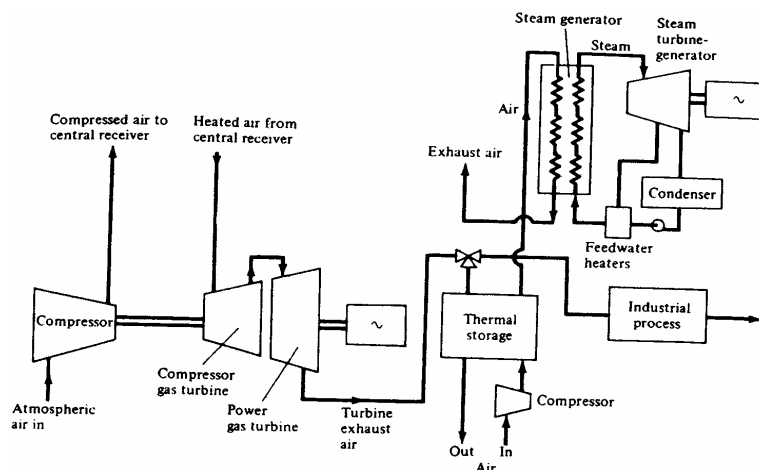
دارند . شکل ۱۶ يك نوع از آنرا با مدل P-40 كه در سوئد ساخته شده را نمایش مي دهد . آن بر روي يك ديش نصب شده است . موتور بصورت مستقیم روي بدنه ریسور قرار گرفته است . موتور با سیال هوا در يك سیكل بسته كار مي كند و دما در آن در حدود 816°C است . راندمان تبدیل آن ۳۵ درصد است .



شکل ۱۶ [۷]

سیستمهای سیكل مركب (بهم پیوسته)

سیكلهای بهم پیوسته در نیروگاههای سیكل برایتون و رانکلین استفاده می شود . در سیكل برایتون از توربین گازی با دمای بالا و در سیكل رانکلین از ژنراتورهای بخاری . شکل ۱۷ يك سیكل مركب با دو شفت توربین گازی و يك سیستم ریسور مركزي را نشان می دهد . هوای جو بوسیله يك كمپرسور فشرده شده و گرم می شود . با دادن گرما دمای آن شاید به 815°C برسد . سپس از طریق توربین ، كمپرسور و توربین قدرت يك



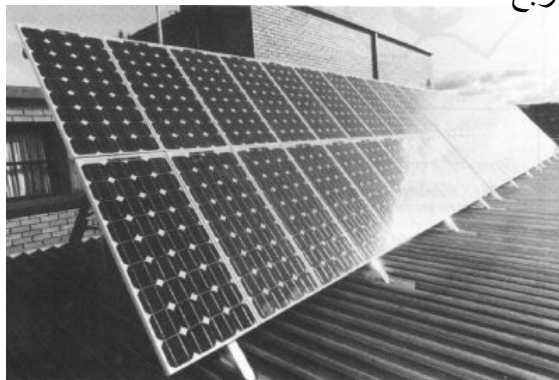
شکل ۱۷- يك سیكل مركب با دو شفت توربین گازی و يك سیستم ریسور مركزي [۷]

ژنراتور الكتريكي به حرکت در می آید . در زمانهایی كه خورشید نیست ژنراتور بخاری توسط سیستم نگهداری گرمایی و توسط يك كمپرسور جدا كار می كند .

تبدیل انرژی فتوولتاییك

تبدیل انرژی فتوولتاییك يك تکنولوژی تبدیل مستقیم است كه بدون استفاده از سیال نظیر بخار یا سیكل مکانیکی نظیر رانکلین یا برایتون از نور خورشید بطور مستقیم

الکتریسیته تولید می کند . سیستمهای فتوولتاییک ، ساده ، مناسب و قابل اعتماد هستند و نیاز به قطعات متحرک ندارند . بعلاوه آنها بصورت ماژول هستند و رشته های یکسان آن در کنار هم قرار گرفته و بر روی سقف نصب می شوند تا یک سیستم مرکزی بزرگ را تشکیل دهند . واحد پایه سیستم فتوولتاییک « سلول خورشیدی » است . سلولهای خورشیدی معمولی از سیلیکون تصفیه شده با غلظت بالا که بصورت شمشهای کریستالی است (که بوسیله سید (دانه) از سیلیکون مذاب تهیه شده) ساخته می شود . شمشها را بصورت ورقه های نازک بریده و صیقل می دهند . مواد تقویتی دیگر به ویفرها اضافه کرده تا به نیمه هادی تبدیل شوند تا از آنها بتوان در تولید سلول خورشیدی استفاده کرد . وقتیکه نور خورشید با سلولها برخورد می کند ، یک اختلاف پتانسیل الکتریکی ایجاد شده و جریان الکتریکی ، وقتی بار خارجی به سلولها متصل باشد ، ایجاد می شود . سلولهای سیلیکونی خورشیدی بصورت ورقه های دایره ای با قطر $7/6 \text{ cm}$ و ضخامت $300 \mu\text{m}$ می باشند . اگر چه ویفرهای مربعی یا مستطیلی باعث افزایش استفاده از فضا بوسیله پهلو به پهلو قرار گرفتن می شود اما ویفرهای دایره ای ارجحیت دارند . یک سلول بطور معمولی توان 1 W با ولتاژ $0/5 \text{ V}$ را تولید می کند . آنها از نظر الکتریکی بصورت سری - موازی قرار گرفته که ماژول نامیده می شوند تا بتوانند جریان و ولتاژ مورد نیاز را تولید کنند . یک ماژول دارای ابعادی در حدود $1/2 \times 1/2 \text{ m}$ است . چند ماژول یک پانل (صفحه) را تشکیل می دهند . طراحی یک پانل برای اسمبل کردن رشته های فتوولتاییک بزرگ است تا تولید توان کنند . شکل ۱۸ یک رشته فتوولتاییک را نشان می دهد که $43560 \times 3/4$ پای مربع



شکل ۱۸

را در بر گرفته و شامل 2366 ماژول است . آن توان 60 KW را برای نیروی هوایی ایالات متحده در « لاگونا » ی در کالیفرنیا را تامین می کند . [۷]

اولین الکتریسیته فتوولتاییک در سال 1985 برای یک فرستنده رادیویی در ماهواره فضایی ونگوارد نصب شد . در آن زمان هزینه آن در مقایسه با سوختهای فسیلی یا هسته ای بسیار بالاتر بود و به 200 دلار برای پیک توان می رسید اما در سال 1976 به 22 دلار و در سال 1982 برای 4 MW پیک توان هزینه آن به کمتر از 10 دلار کاهش یافته است . اما برای اینکه بهینه باشد برای هر وات باید کمتر از $0/7$ دلار هزینه در بر داشته باشد . هزینه تولید الکتریسیته تنها به هزینه ساخت سلولها بستگی ندارد بلکه به تعادل نیروگاه بستگی دارد و هزینه ساخت سلول تنها قسمتی از آن است . قسمتهای غیر فتوولتاییک نیروگاه نظیر

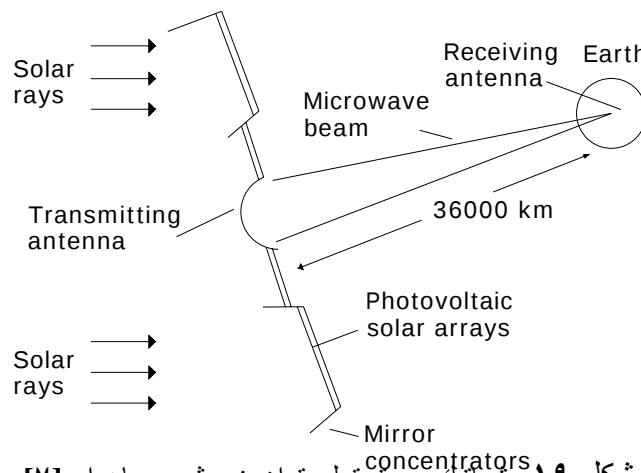
زمین ، فندانسیون ، بناها ، سیم کشی ، تبدیلات DC به ac قدرت ، ارتباط به شبکه و سیستم خنك كننده هم اکنون نزدیک دو سوم هزینه را به خود اختصاص می دهند . بنابراین برای ۱۰ دلار به ازای هر وات ، هزینه نیروگاه به ۳۰۰۰۰ دلار برای هر کیلووات رسیده که این رقم ۱۵ تا ۲۰ برابر نیروگاههای فسیلی و هسته ای است . در ضمن نیروگاه فتوولتاییک برای قسمتهای کوتاهی از روز در پیک خود کار می کند بنابراین مطالعه و بررسی برای کاهش هزینه و تکنولوژی ساخت برای سیلیکون و یا مواد دیگر از قبیل کادمیوم ، سولفید مس ، و سیلیکون غیر کریستالی باید ادامه یابد .

سیستمهای تولید توان خورشیدی ماهواره

سیستم تولید توان خورشیدی ماهواره (Satellite Solar Power System)

(SSPS) بر اساس پیشرفتهای برنامه های فضایی و برای اولین بار، مطالعات در دهه ۱۹۶۰ صورت گرفت . تحقیق شامل نحوه قرار گیری ماهواره های زمینی بصورتیکه انرژی خورشیدی را جمع کند و با مدار زمین سنکرون شود . مدار ماهواره حدود ۳۶۰۰۰ Km طول دارد که با مدار زمین موازی است . ماهواره از شرق به غرب و با همان سرعت زاویه ای زمین حرکت می کند .

شکل ۱۹ شماتیک این طرح را نشان می دهد . ماهواره ها ، سلولهای فتوولتاییک بزرگی برای جمع آوری انرژی خورشیدی دارند . همچنین آنها سیستمهای تبدیل توان تولیدی الکتریکی به توان فرکانسهای میکروویو را دارند . یک آنتن بزرگ برای انتقال تشعشعات مایکروویو از موقعیت تقریباً ثابت آن نسبت به زمین وجود دارد که به ایستگاه زمینی انتقال می دهد . ایستگاه نیز یک آنتن دریافت بزرگ دارد که وظیفه تبدیل امواج مایکروویو را به توان الکتریکی ac دارد . ماهواره ها در ارتفاع بسیار بالایی قرار دارند و در بیشتر ساعات در معرض نور خورشید قرار دارند و به سیستم نگهداری انرژی الکتریکی نیاز دارند .



شکل ۱۹ - شماتیک سیستم تولید توان خورشیدی ماهواره [۷]

(Satellite Solar Power System)