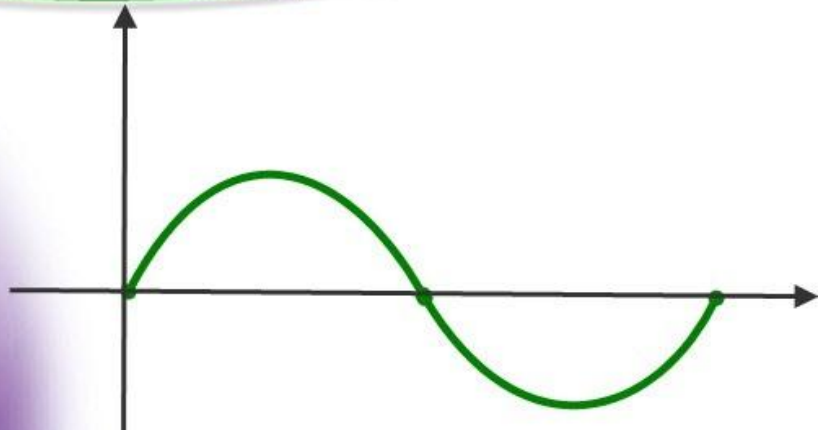


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



موضوع پروژه:

نیروگاه خورشیدی

فرستنده : محمد محمدی

برای خرید فایل **word** این پروژه [اینجا کلیک کنید](#).

(شماره پروژه = 83)

شماره جهت ارسال پیام : 09354634650

09355405986



فهرست مطالب

- فصل 1-1** تاریخچه انرژی خورشیدی..... 1
- 1-1-1 تولید نیرو از نور خورشید 2
- فصل 2-2** گرد آورنده حرارتی با دمای پائین..... 6
- 1-2-1 گرد آورنده مسطح 6
- 2-2-1 کارآیی غیرفعال یک پانل حرارتی خورشیدی 9
- 3-2-1 ثابت زمانی یک جمع کننده در شرایط غیرفعال 14
- 4-2-1 ویژگی های عملیاتی یک جمع کننده تخت 16
- فصل 3-3** تبدیل ترمودینامیکی انرژی خورشیدی..... 26
- 1-3-1 حرارت و کار - قانون دوم ترمودینامیک 28
- 2-3-1 حد کارنو و ماشینهای حرارتی 32
- 3-3-1 ماشینهای حرارتی 37
- 4-3-1 فرایند آدیاباتیک (بی دررو) 38
- 1-4-3-1 فرایند با دمای ثابت..... 39
- 2-4-3-1 فرایند با فشار ثابت..... 39
- 3-4-3-1 فرایند با حجم ثابت..... 39
- 5-3-1 سیکل کارنو 40
- 6-3-1 سیکل رانکاین و ماشین بخار 42
- 7-3-1 نیروگاه بخاری خورشیدی - بازده کلی 46
- 8-3-1 ماشینهایی که با هوای داغ کار می کنند - سیکل استرلینگ 49
- فصل 4-4** نیروگاه های فتوولتایی..... 54
- 1-4-1 اجزای نیروگاههای فتوولتاییک 54
- 1-1-4-1 آرایه خورشیدی..... 55
- 2-4-1 سرمایه‌ش و جمع آوری انرژی حرارتی 66
- 4-3-1 مکانیسم تلف در سلولها 67
- 1-3-4-1 تلفات نوری 68



- 68 تلفات الکتریکی 2-3-4
- 70 تلفات ناشی از فرایند های تنزل کارآیی 3-3-4
- 70 تنظیم کننده نقطه حداکثر توان 4-4
- 73 واحد ذخیره سازی انرژی 5-4
- 76 اینورتر ولتاژ 6-4
- 78 نیروگاههای خورشیدی در مدار زمین 7-4
- 78 تولید توان توسط ماهواره های (sps) 1-7-4
- 81 انتقال نیروگاه به زمین 2-7-4
- 82 نوع سلولهای مورد استفاده در طرحهای (sps) 3-7-4
- 83 خطر تشعشعات امواج میکروویو 4-7-4
- 84 محاسبه ابعاد نیروگاههای فتوولتایی 8-4
- 85 انرژی تولیدی نیروگاه در طول یک شبانه روز 1-8-4
- 88 معایب و مزایای نیروگاههای فتوولتاییک 2-8-4
- فصل 5 - نیروگاههای خورشیدی هلیواستاتی (دریافت کننده مرکزی) 89**
- 90 سیستمهای تولید برق 1-5
- 91 هوا به عنوان سیال دریافت کننده مرکزی 1-1-5
- 92 آب به عنوان سیال دریافت کننده مرکزی 2-1-5
- 93 سدیم به عنوان سیال دریافت کننده مرکزی 3-1-5
- 94 نمک نیترات به عنوان سیال دریافت کننده مرکزی 4-1-5
- 94 اجزای اصلی نیروگاههای خورشیدی هلیواستاتی 2-5
- 94 هلیواستاتها 1-2-5
- 97 کنترل مکانیکی 2-2-5
- 97 کنترل هیدرولیکی 3-2-5
- 97 کنترل مرکزی توسط سیستم کامپیوتری 4-2-5
- 100 طول لوله های دریافت کننده 5-2-5
- 100 سطح هلیواستاتها 6-2-5
- 100 نوع سیال 7-2-5
- 100 ساختار دریافت کننده 8-2-5
- 101 بازده حرارتی 3-5



- 4-5- بررسی تلفات دریافت کننده ها 101
- 1-4-5- تلفات ناشی از پراکنش پرتوهای نور رسیده از میدان (spillage) 101
- 2-4-5- تلفات حرارتی ناشی از بازتابش 102
- 3-4-5- تلفات ناشی از انتقال حرارت جابه جایی 102
- 4-4-5- تلفات حرارتی ناشی از تشعشع 103
- 5-4-5- تلفاتی حرارتی ناشی از هدایت 103
- 5-5- اطلاعات پایه نیروگاههای هلیواستاتی 104
- 1-5-5- معیارهای مهم در انتخاب محل نیروگاهها 104
- 2-5-5- زمان مرجع طراحی نیروگاه 105
- 3-5-5- ضریب ظرفیت و مدت زمان بهره برداری موثر 106
- 4-5-5- مساحت زمین مورد نیاز نیروگاه 107
- فصل 6- دریافت کننده های نور خورشید..... 109**
- 1-6- متمرکز کننده ها 109
- 2-6- آینه های سهموی و مدور 111
- 3-6- آینه های کروی: 113
- 4-6- زاویه پذیرش: 118
- 5-6- متمرکز کننده های آبخوری (استوانه ای) 121
- 6-6- نیروگاههای با گرد آورنده های بشقابی 125
- 7-6- نیروگاههای با گردآورنده سهموی دراز 128
- فصل 7- برجهای نیرو..... 133**
- 1-7- برجهای نیرو با هوای گرم 133
- 2-7- برج های نیرو با هوای سرد 137
- فصل 8- تخلیه انرژی از گرمای آب دریاها و اقیانوسها..... 139**
- 1-8- نیروگاههای استخر خورشیدی 139
- 2-8- بهره برداری از گرمای اقیانوسها 145
- 3-8- نیروگاههای شناور 147
- 4-8- حمل نیرو از نیروگاه شناور به ساحل 148
- 5-8- تأسیسات صنعتی بر روی نیروگاههای شناور 149



- فصل 9- ترموالکتریک..... 151
- 1-9- تولید ترموالکتریکی 151
- 2-9- تبدیل از راه ترمیونی 164
- فصل 10- بازدهی انرژی و دیدگاههای اقتصادی..... 165
- 1-1-10- تکنولوژی در زمان انتقال..... 172
- 2-1-10- کلاس کلکتورهای و سیکل حرارتی..... 172
- 3-1-10- پارامترهای اقلیمی..... 172
- 4-1-10- بهره برداری از سیستم و نیروی انسانی 173
- 5-1-10- نقش واحد درزمینه تولید انرژی 173





مقدمه

سالها پیش از این شاید چوب و زغال سنگ مهم ترین منبع تأمین انرژی بشمار می رفتند. به تدریج با کشف و بهره برداری از نفت و مشتقات آن، این ماده سوختنی جایگاه ویژه ای برای تأمین انرژی مورد نیاز بشر پیدا کرد.

شاید بشر سالها پیش از این بدلیل کمی جمعیت و مصرف انرژی و زیادی این ذخایر فکر نمی کرد روزی فرا رسد که این منابع تمام شود تا در فکر سوخت دیگری باشد اما با ازدیاد جمعیت و مصارف بالای صنعتی و همچنین خطری که سوخت های فسیلی برای محیط زیست انسان فراهم نموده، بشر را به فکر استفاده از یک سوخت تمیزتر و لایتنهای انداخته است.

انرژی های تجدید پذیر مزیت های فراوانی نسبت به انرژی های تجدید ناپذیر دارند از جمله اینکه برای محیط زیست جانداران آلودگی ایجاد نمی کنند و با یک هزینه اولیه می توان برای سالها از آن بهره برداری کرد در صورتی که مثلاً برای گرفتن توان الکتریکی از یک نیروگاه فسیلی نیاز به سوزاندن سوخت داریم و باید هزینه آنرا بپردازیم اما ما به طبیعت هزینه ای را پرداخت نمی کنیم تنها برای تأسیساتی که استفاده از آنرا میسر می کند بهایی پرداخت می کنیم. با همه این احوالات در حال حاضر استفاده از اکثر انرژی های تجدید پذیر بدلیل تکنولوژی پیشرفته تأسیسات اولیه و در نتیجه هزینه بالای آنها توجیه اقتصادی ندارد، اما دانشمندان امید دارند که پیشرفت دانش و تکنولوژی این هزینه ها را کاهش و انرژی های تجدید پذیر را در آینده منبع اصلی تأمین انرژی مورد نیاز بشر باشد.



فصل 1- تاریخچه انرژی خورشیدی

اولین بار که از انرژی خورشید به منظور تسهیل کارهای روزمره استفاده شد و عملاً مورد استفاده بشر قرار گرفت در سال 1615 میلادی بود. در این سال مهندس فرانسوی با استفاده از گرمای انرژی خورشیدی یک پمپ آب را به کار انداخته و آب را از نقطه ای به نقطه دیگر جابه جا نمود، یعنی توسط این دستگاه عملاً انرژی خورشیدی به انرژی مکانیکی تبدیل می‌شد.

پس از آن در بین سالهای 1860 تا 1878 فردی به نام ماچوت در فرانسه روی انرژی خورشیدی تحقیق می نمود. او در ضمن تحقیقات خود توانست توسط یک آینه هرمی شکل که انرژی خورشید را بر روی محور خود متمرکز می کرد مقدار زیادی آب را که در محفظه ای در روی محور هرم قرار گرفته بود به جوش آورده و به بخار تبدیل کند. در سال 1870 « پیفر » در فرانسه و « اریکسون » سوئدی که در آمریکا زندگی می کرد و هر کدام با استفاده از آینه و محفظه های بخار که نور خورشید روی آن منعکس می شد توانستند موتورهای قوی تری اختراع کنند.

بعدها در هند، روسیه، آمریکا و بسیاری از کشورهای اروپائی تحقیقات وسیعی روی انرژی خورشیدی و طرق استفاده از آن انجام شد. هر چه زمان می گذشت روشهای مختلفی برای استفاده بهتر از انرژی خورشیدی ابداع می شد تا بالاخره در سالهای اخیر با کشف نیمه رساناهای سیلیکونی استفاده از این نوع دستگاهها برای تبدیل مستقیم نور خورشید به انرژی



الکتریکی و سپس انرژی مکانیکی بسیار مرسوم شده و اینک از چند روش مختلف برای استحصال انرژی خورشیدی استفاده می شود.

1-1- تولید نیرو از نور خورشید

در سال 1816 یک کشیش اسکاتلندی به نام رابرت و برادرش جیمز ، موفق به ساختن یک موتور دو سیلندری شدند که با هوا کار می کرد. اگر چه این موتور طوری طراحی نگردیده بود که با نور خورشید کار کند، اما برای این کار کاملاً مناسب بود.

جان اریکسون، مخترع سوئدی موتوری را که با هوای گرم کار می کرد در سال 1826 اختراع نمود. این موتور با تولید نیرویی برابر سیصد اسب بخار چرخ پایی را به حرکت در می آورد. بعدها این موتور به عنوان مدل برای دستگاه موتورهای خورشیدی مورد استفاده قرار گرفت.

اوگوست موشو، با پشتیبانی ناپلئون سوم از سال 1866 تا 1872 یک موتور بخاری درست نمود که از خورشید نیرو می گرفت و این موتور ابتدا در شهر « تور » و بعداً در الجزیره برای پمپ نمودن آب به معرض آزمایش گذاشته شد. شش سال بعد نوع بزرگتر این موتور را ساخت که دستگاه جوش آورنده نیز به آن اضافه شده بود. این موتور مدت 6 ماه در قسمت تصفیه آب آزمایش گردید.

اما دولت بعثت اینکه موتور ساخت موشو از نظر اقتصادی مقرون به صرف نبود، از ادامه کار آن جلوگیری نمود. در این ضمن جان اریکسون به ایالات متحده رفت و در زمان جنگ های داخلی آمریکا بسیار معروف شد. اریکسون موتورهای زیادی که با هوای گرم کار می



نیروگاه خورشیدی

کردند ساخت و مغز مخترع و کوششهای او که در راه استفاده از نیروی خورشید گام بر می داشت عاقبت الامر او را نایل به دریافت دکترای افتخاری از دانشگاه لاند فرانسه نمود.

موتورهای ساخت اریکسون که از خورشید نیرو می گرفتند، اکنون درموزه تاریخ علوم سوئد و آمریکا در فیلادلفیا وجود دارند. در سال 1875 اریکسون موفق به ساخت هشت نوع مختلف موتور خورشید گردیده بود. اگر چه اریکسون ادعا می کرد که همه آنها بازده عالی خواهند داشت، ولی هیچ کدام آنها عملاً قادر به استفاده نشدند.

در حدود سال 1880 آبل پیفر در فرانسه یک موتور خورشیدی برای مصارف تجاری ساخت. این موتور برای به کار انداختن ماشین چاپ مورد استفاده قرار گرفت و روزنامه ای که با آن چاپ گردید به اسم روزنامه خورشید تابان نام گذاری شد.

مدت کمی بعد از این موفقیت، فرانسوی دیگری به نام شارل آلبر تلیه، موتور خورشیدی دیگری ساخت که از خیلی جهات منحصربه فرد بود. تلیه بر خلاف گذشتگان خود که از منبع ذخیره مجتمع استفاده کرده بودند یک منبع پهن بکار بود.

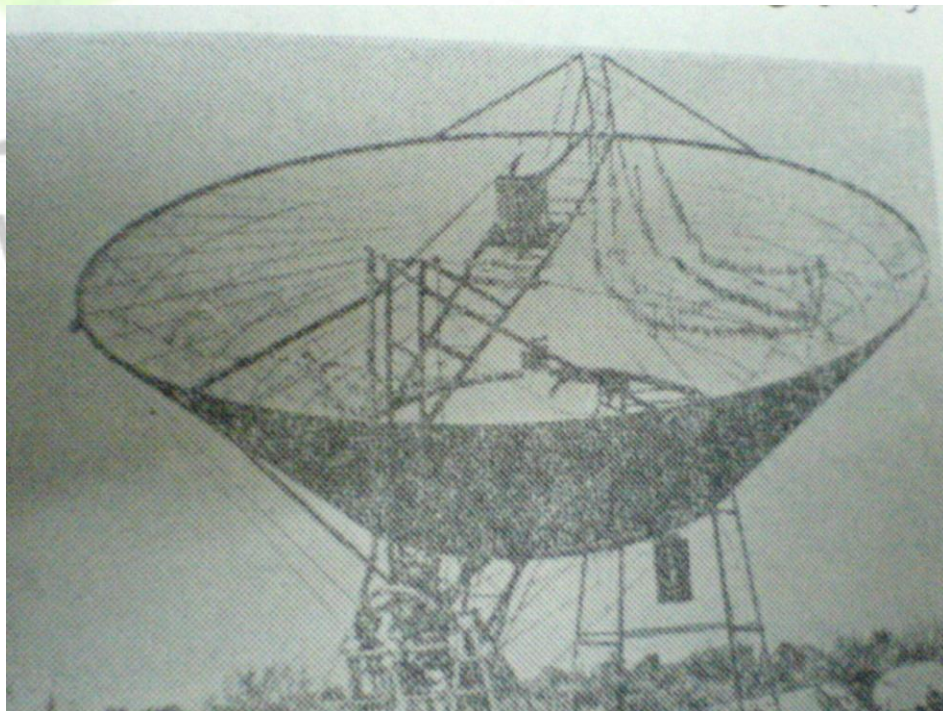
طی مسافتی در حدود 215 فوت مربع موتوری را که به جای بخار آب یا هوا با آمونیاک کار می کرد به کار می انداخت. مقاله ای که در مجله علمی آمریکا در سال 1885 چاپ شد ضمن تأیید این روش خاطر نشان ساخت که از سقف کارخانه ها نیز میشود بعنوان صفحه پهن جمع کننده گرما استفاده نمود و به این ترتیب می توان مقدار زیادی از هزینه این دستگاه کاست.



نیروگاه خورشیدی

نمونه های دیگری از موتور خورشیدی در سیستم های آبیاری به کار گرفته شد. این موتور از 2500 تا 3000 هزار دلار هزینه بر می داشت، اما مشکلات مکانیکی ، ناراحتی های گوناگون در نصب و نیز طوفان ها ، دست آخر مدلهایی را که برای نمایش طرز کار ساخته شده بودند را از بین برد.

در سال 1905 و سیلی بویل به سرزین آفتاب آمریکا ، یعنی نیدلز کالیفرنیا رفتند. این دو نفر زمینی به مساحت 600 فوت مربع را به عنوان جمع کننده نور در نظر گرفتند. موتور ساخت آنها از نوع پیستونی بود که یک پمپ آب و یک کمپرسور (دستگاه تراکم هوا) را به کار می انداخت. در سال 1908 یک نیروگاه دیگر که از اولی بزرگتر بود در نیدلز ساخته شد.



عکس 1-1 پمپ آب خورشیدی که در نیدلز کالیفرنیا ساخته شد.

برای قسمت ذخیره کننده این دستگاه زمینی به مساحت 1000 فوت را در نظر گرفته بودند. این دستگاه می توانست گرما را برای استفاده های بعدی به عنوان ذخیره نگهداری



نیروگاه خورشیدی

کند. نور خورشیدی فشاری برابر 215 پوند در مخزن جوش به وجود می آورد که به وسیله آن یک موتور اکسید سولفور که می توانست نیرویی برابر 15 اسب بخار تولید کند به حرکت در می آمد.

هزینه ای که برای این دستگاه تخمین زده شده بود چیزی حدود 4 برابر هزینه موتورهای بخار معمولی بود. در نتیجه استفاده از انرژی ارزانی مانند خورشید هنوز از نظر اقتصادی بعلت ناقص بودن وسائل موجود مقرون به صرفه نبود.





فصل 2- گرد آورنده حرارتی با دمای پائین

در سیستم های حرارتی، گرد آورنده مسطح و نیز تمرکز پائین بیش از هر نوع گرد آورنده خورشیدی دیگر مورد استفاده قرار می گیرد. از آنجایی که گرد آورنده های مسطح در طیف وسیع تری از کاربردهای بالقوه حرارتی استفاده می گردند، در ذیل ساختار این گرد آورنده تشریح می گردد.

2-1- گرد آورنده مسطح

در شکل 2-1 یک جمع کننده تخت ساده از نوع مایع نشان داده شده است. این جمع کننده شامل یک صفحه جذب کننده سیاه رنگ است که قابلیت جذب آن برای تابش خورشیدی نزدیک به یک است. یک روکش جذب کننده انتخابی با قابلیت گسیل حرارتی کم بر روی این صفحه رسوب داده شده است.

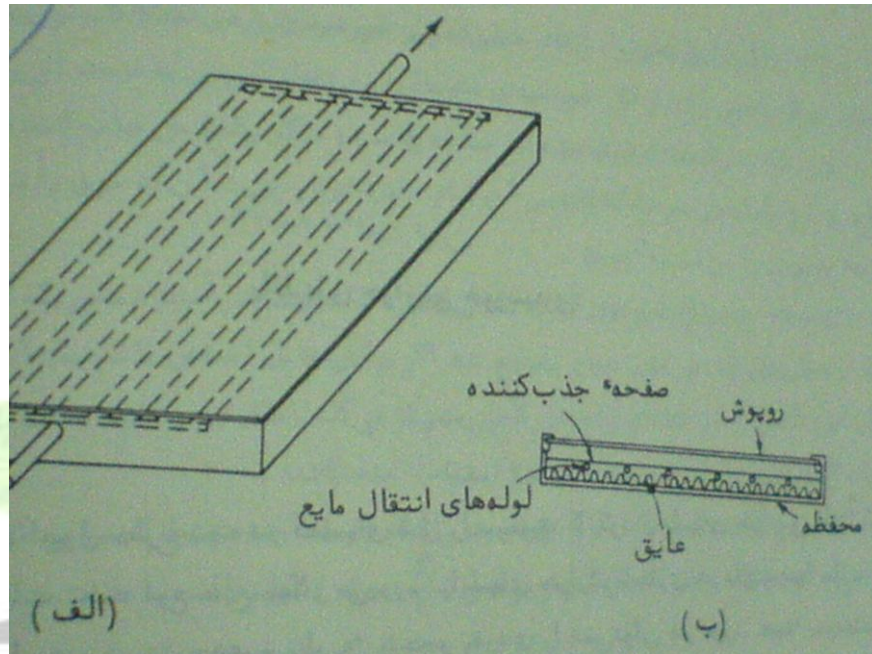
صفحه مذکور به لوله یا کانالهایی متصل است تا مایع انتقال دهنده بتواند حرارت تولید شده در صفحه را به هنگام جذب انرژی خورشیدی از آن اخذ کند. در جمع کننده های نوع هوایی، پره یا مجراهایی به این صفحه متصل شده است و هوا از طریق همرفت طبیعی یا همرفت اجباری در آن به گردش در می آید. صفحه، درون یک محفظه عایق بدون راهی برای ورود یا خروج هوا قرار داده شده و یا یک روپوش پوشیده شده است.

تلفات حرارتی پشت و کناری محفظه در مقایسه با تلفات حرارتی جلو آن که از طریق روپوش صورت می گیرند قابل اغماض است. پانلهای فعال یا غیر فعال تقسیم بندی می



نیروگاه خورشیدی

شوند و تقسیم بندی به این بستگی دارد که برای گردش سیال از تلمبه (یا دمنده) استفاده کنیم یا از همرفت طبیعی، در این جا خود را به صفحات تخت از نوع فعال که مایع از درون آنها می گذرد محدود می کنیم.



شکل 1-2 الف) یک جمع کننده تخت نوعی که در آن لوله های انتقال دهنده (خط چین ها) در زیر

صفحه جذب کننده قرار دارند. ب) برش عرضی همین صفحه تخت

بازده کلی پانل حرارتی خورشیدی به صورت زیر تعریف می شود:

$$\eta = \frac{J_e}{F_{inc}} \quad (1-2)$$

که در آن :

J_c = توان حرارتی جمع آوری شده

مساحت جمع کننده



و:

شار خورشیدی دریافت شده توسط جمع کننده = F_{inc}

بهتر است بازده در معادله 1-2 را به دو قسمت تفکیک کنیم، یک قسمت برای مشخص کردن کارایی نوری و دیگری برای تعیین موثر بودن از نظر حرارتی. معادله 1-2 را به شکل زیر می نویسیم:

$$\eta = \frac{J_e}{F_{inc}} = \frac{F_{abs}}{F_{ijnc}} \times \frac{J_c}{F_{abs}} = \eta_{ops} \times \eta \quad (2-2)$$

که در آن:

$$\eta = \frac{F_{abs}}{F_{ijnc}}, \eta = \frac{J_c}{F_{abs}}$$

در اینجا F_{abs} شار خورشیدی است که واقعاً جذب شده و بنابراین معادل توان حرارتی به ازای واحد مساحت است که در صفحه جذب کننده تولید شده است.

ثابت شده است که بازده نوری از فرمول تقریبی زیر به دست می آید:

$$\eta = A_p \times T_k \quad (3-2)$$

نوری که A_p ضریب جذب خورشیدی صفحه T_g قابلیت عبور از روپوش را بیان می کنند. بازده نوری می تواند حتی در یک پانل نسبت ساده از 85 درصد بیشتر شود. به شرط آن که زاویه تابش مستقیم خورشیدی زیاد بزرگ نباشد.



عامل محدود کننده در اکثر صفحات تخت ساده، بازده حرارتی یا حرارتی η است. تلفات حرارتی به محیط، خصوصاً هنگامی که دمای خروجی زیادی لازم باشد و پانل در یک محیط سرد و بادخیز کار می کند زیاد است. در این فصل موضوع بحث ما اساساً کارایی حرارتی است.

2-2- کارایی غیرفعال یک پانل حرارتی خورشیدی

هنگامی که انرژی خورشیدی بر روی یک پانل حرارتی بتابد ولی حرارت از آن اخذ نشود، بازده حرارتی صفر است و تمام حرارت تولید شده صفحه در محیط اطراف تلف می شود. عاقبت صفحه جذب کننده به دمای یکنواختی $T_{p,s}$ می رسد که دمای استاتیک یا دمای غیرفعال خوانده می شود. در یک جمع کننده با طراحی و زاویه میل معین، دمای غیرفعال صفحه تابع شار خورشیدی جذب شده و شرایط محیطی است و می توانیم بنویسیم:

$$T_{p,s} = T_{p,s}(F_{abs}, f_{amb}) \quad (4-2)$$

علامت f_{amb} تمام پارامترهای محیطی مربوطه را نشان می دهد مانند دمای هوا، دمای آسمان و سرعت باد، بر اثر بیشتر شدن تابش جذب شده، F_{abs} ، دمای صفحه افزایش و یا حادث شدن شرایط محیطی (یعنی سرما و باد)، کاهش می یابد.

برای برقرار شدن رابطه (معادله 2-4) توجه می کنیم که در شرایط غیرفعال - یعنی هنگامی که هیچ حرارت مفیدی اخذ نمی شود - حالت دائمی هنگامی فرا می رسد که شار خورشیدی جذب شده مساوی شار حرارتی تلف شده باشد یعنی :

$$F_{abs} = J_{loss} \text{ (شرایط غیرفعال)} \quad (5-2)$$



اگر دمای آسمان تقریباً مساوی دمای هوا باشد، تلف شار را می توان به شکل زیر نوشت:

$$J_{loss} = \bar{U}_c (T_{p.s} - T_a) \quad (6-2)$$

که در آن \bar{U}_c ضریب کلی برای انتقال حرارت از صفحه جذب کننده به محیط است. اگر تابع را خطی شده فرض کنیم و \bar{U}_c را ثابت بگیریم، معادله های 2-5 و 2-6 را می توان به شکل زیر حل کرد:

$$T_{p.s} - T_a = \frac{F_{abs}}{\bar{U}_c} \quad (7-2)$$

اگر از چندین روپوش و جذب کننده های انتخابی استفاده شود، \bar{U}_c کوچک بوده و $T_{p.s}$ به نحو چشمگیری با افزایش شار خورشیدی جذب شده افزایش خواهد یافت.

می توان رابطه مشابه معادله 2-7 را در مورد دمای روپوش جمع کننده ای که فقط یک روپوش داشته باشد به کار برد. چون انتقال شار از صفحه به روپوش و از روپوش به محیط باید مساوی یکدیگر و هر یک از آنها مساوی F_{abs} باشد، داریم:

$$T_{g.s} - T_a = \frac{F_{abs}}{\bar{U}_{g-a}} \quad (8-2)$$

که \bar{U}_{g-a} ضریبی برای انتقال حرارت از روپوش به هوای محیط است.

انتقال کلی حرارت یا ضریب تلف با استفاده از فرمول زیر به دست می آید:



$$\frac{1}{\bar{U}_c} = \frac{1}{\bar{U}_{p-g}} + \frac{1}{\bar{U}_{g-a}} \quad (9-2)$$

که در آن U_{p-g} انتقال حرارت از صفحه به روپوش را نشان می دهد . برای پانلهای خورشیدی با یک روپوش که کیفیت عالی داشته باشند، معمولاً $\bar{U}_{p-g} < \bar{U}_{g-a}$ است، یعنی اختلاف درجه حرارت بین روپوش و هوای محیط عموماً خیلی کمتر از اختلاف بین صفحه و روپوش است.

مثال: با استفاده از معادله 7-2 رابطه بین شار جذبی و دمای غیر فعال صفحه جذب

کننده را در صورتی به دست آورید که ضرایب انتقال آنها $\bar{U}_{p-g} = 10W / m^2 - ^\circ C$

و $\bar{U}_{g-a} = 15W / m^2 - ^\circ C$ باشد. هوا T را 10 درجه سانتی گراد فرض کنید. با

استفاده از معادله 8-2 رابطه بین دمای روپوش و شار جذب شده را بیابید. تجزیه و تحلیل

فوق را برای حالتی که در آن یک پوشش انتخالی بر روی صفحه رسوب داده شده و ضریب

صفحه به روپوش را به مقدار $5W / m^2 - ^\circ C$ تقلیل می دهد. تکرار کنید.

در حالت اول:

$$\frac{1}{\bar{U}_c} = \frac{1}{10} + \frac{1}{15}$$

یا:

$$\bar{U}_c = 6W / m^2 - ^\circ C$$



نیروگاه خورشیدی

از معادله 2-7 داریم:

$$T_{p.s} = \frac{F_{abs}}{6} + 10 = 0/167 F_{abs} + 10$$

برای روپوش داریم:

$$T_{g.s} = \frac{F_{abs}}{15} + 10 = 0/067 F_{abs} + 10$$

در مورد دوم (یعنی جذب کننده انتخابی):

$$\frac{1}{\bar{U}_c} = \frac{1}{5} + \frac{1}{15}$$

یا:

$$\bar{U}_c = 3/75 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ \text{C}$$

بطوری که:

$$T_{p.s} = \frac{F_{abs}}{3/75} + 10 = 0/0267 F_{abs} + 10$$

برای روپوش داریم:

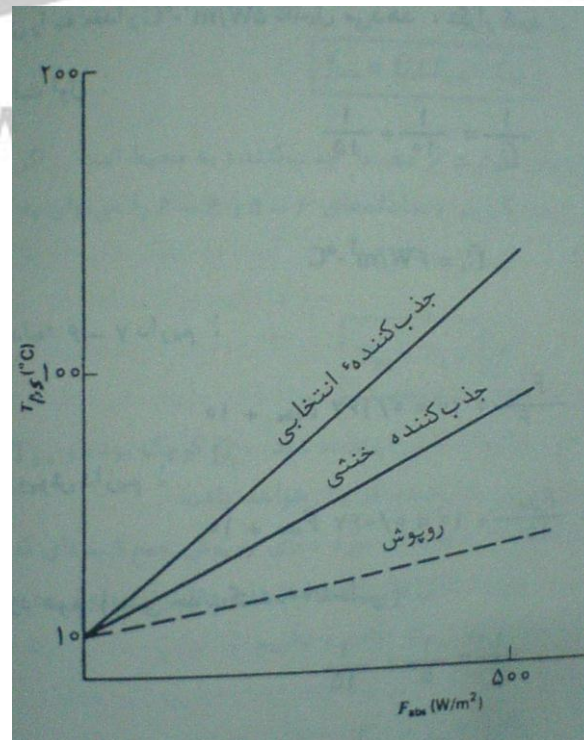
$$T_{g.s} = \frac{F_{abs}}{15} + 10 = 0/067 F_{abs} + 10$$



نیروگاه خورشیدی

توجه کنید که هر چند دمای غیر فعال در اثر استفاده از پوشش انتخابی افزایش می یابد اما دمای غیر فعال روپوش هیچ تغییری نمی کند. نتایج مثال قبل در شکل 2-2 ترسیم شده اند.

منحنی های نوعی در شکل 2-2 برای تجزیه و تحلیل عملکرد جمع کننده بسیار مناسبند. چون دمای غیرفعال نمایانگر حد بالای دمایی است که می توان از یک جمع کننده گرفت. نمودارهای $T_{p.s} - T_a$ بر حسب حداکثر دمایی را به دست می دهند که برای سطوح معین تابندگی آفتاب و شرایط محیط به دست می آید. این منحنی ها همچنین برآورد هایی از تلفات حرارتی هنگامی که جمع کننده حرارت تولید کرده و دمای صفحه آن کمتر از $T_{p.s}$ است به دست می دهند.



شکل 2-2



2-3- ثابت زمانی یک جمع کننده در شرایط غیرفعال

ثابت زمانی یک جمع کننده، تخمین مدت زمانی است که طول می کشد تا دمای جذب کننده به تغییرات آفتاب گیری پاسخ گوید. هنگامی که حرارتی از جمع کننده اخذ نشود، توازن انرژی در شرایط حالت غیردائمی عبارت است از:

$$C_A \frac{dT_p}{dt} = F_{abs} - F_{loss} = F_{abs} P - \bar{U}_c (T_p - T_a) \quad (10-2)$$

که در این فرمول C_A ظرفیت حرارتی در واحد مساحت صفحه است که بر حسب $J / ^\circ C - m^2$ اندازه گیری می شود. جمله سمت چپ، آهنگ جذب حرارت در صفحه است.

فرض کنید اصلاً تابش خورشید بر روی جمع کننده نمی تابد و صفحه یا محیط تعادل حرارتی دارد. یعنی $(T_p = T_a)$ بعلاوه، فرض کنید که آفتاب گیری بسرعت تغییر می کند بطوری که شار جذب شده، ثابت و معادل مقداری معین مثلاً F_{abs} است، افزایش دمای صفحه به عنوان تابعی از زمان t از حل معادله 2-10 به دست می آید:

$$(T_p - T_a) = \frac{F_{abs}}{\bar{U}_c} [(1 - \exp)(-\bar{U}_c t / C_{A0})] \quad (11-2)$$

توجه کنید که وقتی $t \rightarrow \infty$ ، حالت دائمی به دست می آید که در آن:

$$(T_p - T_a) \rightarrow \frac{F_{abs}}{\bar{U}_c}$$



همان طور که از معادله 2-7 انتظار می رود ثابت زمانی برای افزایش دما عبارت است از:

$$\bar{T} = \frac{F_{abs}}{U_c}$$

پس از مدت زمانی معادل \bar{T} جمله داخل پرانتز سمت راست معادله 2-11 به 0/63 مقدار نهایی خود خواهد رسید. بعد از دو و سه ثابت زمانی، جمله فوق در معادله 2-11 به ترتیب به 0/86 و 0/95 مقدار نهایی خود می رسد.

هر چه مقدار بیشتر باشد، جمع کننده غیر فعال تر خواهد بود. نتیجه این است که جمع

کننده ای با ضریب تلف حرارتی، \bar{U}_c کوچک و ظرفیت گرمایی بزرگ دارای ثابت زمانی طولانی خواهد بود.

مثال: ثابت زمانی یک جمع کننده (در شرایط غیرفعال) را در صورتی که ضریب تلف حرارت آن $\bar{U}_c = 6W/m^2 - ^\circ C$ و صفحه آن دارای ظرفیت گرمایی در واحد

مساحت $C_a = 2000J / ^\circ C - m^2$ باشد برآورد کنید. با استفاده از مقادیر فوق داریم:

$$\bar{T} = \frac{C_a}{U_c} = \frac{2000}{6} = 333 \quad \text{دقیقه } 5/55 = \text{ثانیه}$$

هنگامی که پانل در حال کار باشد، تعیین ثابت زمانی به مراتب مشکلتر است زیرا حرارت

علاوه بر هدر رفتن در محیط، درسیال انتقال دهنده نیز تلف می شود.



2-4- ویژگی های عملیاتی یک جمع کننده تخت

به یک پانل حرارتی خورشیدی هنگامی عملیاتی اطلاق می شود که حرارت مفید از آن اخذ شود. معادله توازن انرژی در حالت دائمی به قرار زیر است:

$$F_{\text{abs}} - J_{\text{loss}} = J_c \quad (12-2)$$

که در آن J_c شار حرارت جمع آوری شده، یعنی مقدار حرارت مفید در واحد زمان در واحد مساحت صفحه است که واقعا از پانل اخذ می شود. اگر سیال انتقال دهنده در دمایی مانند $T_{f,i}$ وارد و در دمایی مانند $T_{f,e}$ خارج شود، شار جمع آوری شده برابر است با:

$$J_c = \sigma_c (T_{f,e} - T_{f,l}) \quad (13-2)$$

که در آن $\dot{Q} = \frac{\dot{m}}{A_p}$ دبی جرمی سیال انتقال دهنده تقسیم بر مساحت صفحه C_f گرمای ویژه سیال است. در دستگاه mks ، مقدار C_f بر حسب $\text{J/kg} \cdot \text{C}$ است.

تجزیه و تحلیل یک جمع کننده عملیاتی بسیار پیچیده تر از یک جمع کننده غیر فعال است زیرا برای تشریح کارایی آن به متغیرهای زیادی نیاز است. بعلاوه، هنگامی که یک جمع کننده در حال کار است، صفحه آن دیگر در دمای یکنواختی قرار ندارد. نبودن یک دمای خاص و کاملا تعیین شده برای صفحه، عمل تعیین تلف حرارتی از جمع کننده را مشکل می کند.

پروفیل دمای صفحه به قابلیت هدایت حرارتی آن و نیز به نحوه قرار گرفتن کانال های حامل سیال بستگی دارد. چون طرح جمع کننده ها با مهم متفاوت است، هیچ گونه تجزیه و



تحلیل ساده ای را نمی توان در مورد همه جمع کننده های تخت به کار برد. لیکن، می توان تشریحی به نسبت کیفی برای عملکرد جمع کننده ها ارائه کرد.

یک جمع کننده تخت را در نظر بگیرید که انرژی خورشیدی را به آهنگ ثابت در شرایط محیطی بدون تغییر دریافت و جذب می کند. حال فرض کنید یک سیال انتقال دهنده با دمای ثابتی (مثلاً $T_{t,i}$) به جمع کننده وارد می شود. اگر دبی جرمی در واحد سطح \dot{O} متغیر باشد دمای خروجی (یعنی $T_{t,e}$) و شار حرارتی جمع آوری شده مفید (یعنی J_c) نیز تغییر خواهند کرد. برای مثال، اگر دبی جرمی جریان خیلی کم باشد، سیال حرارت بسیار کمی اخذ خواهد کرد. البته، دمای سیالی که از جمع کننده خارج می شود زیاد خواهد بود. در نتیجه، دمای متوسط صفحه نیز زیاد و تلفات حرارتی زیاد و بازده جمع کننده اندک است. در واقع، وقتی که \dot{O} به سوی صفر میل کند دمای صفحه به حد غیر فعال نزدیک و تمام حرارت به محیط پراکنده و بازده جمع کننده به صفر نزدیک می شود. از سوی دیگر، اگر \dot{O} زیاد شود سیال، جمع کننده را با دمایی اندک بیشتر از دمای آن هنگام ورود ترک می کند. سیال که بسرعت جریان وارد صفحه را سرد می کند و از این رو تلفات حرارتی اندک هستند. بنابراین، گر چه دمای خروجی خیلی زیاد نیست، اما میزان اخذ حرارت و بازده حرارتی هر دو افزایش می یابد.

دمایی که در آن حرارت اخذ می شود گاهی تحت نام درجه خوانده می شود. هنگامی که یک پانل خورشیدی در آهنگ ثابتی از آفتاب گیری و وضع محیطی ثابت کار می کند، معمولاً بازده آن با افزایش درجه حرارت اخذ شده کاهش می یابد. دبی جرمی کم، گرما با



نیروگاه خورشیدی

درجه زیاد و بازده کم به دست می دهد، در حالی که دبی جرمی زیاد ، گرما با درجه کم و بازده زیاد به وجود می آورد.

در یک جمع کننده تخت از نوع مایع، دسته ای از کانالها به قسمتی از صفحه جذب کننده متصل می شوند یا قسمتی از آن صفحه را تشکیل می دهند، مقداری از حرارت موجود در صفحه از طریق مایع انتقال دهنده گرفته می شود. مایع به نوبه خود صفحه را سرد می کند لذا دمای آن را از حد غیرفعال پایین تر می آورد. البته، دمای صفحه یکنواخت نیست بلکه در سرتاسر صفحه، به صورت تابعی $T_p(x,y)$ تغییر می کند. نقاطی که بر روی صفحه جذب کننده در مجاورت کانالها قرار دارند تا اندازه ای از نقاط بین کانالها سردترند (شکل 2-2) ، دما نیز در امتداد جریان سیال افزایش می یابد به این صورت که در محل ورودی کمترین و در محل خروجی بیشترین مقدار خود را دارد. هر چه نحوه قرار گرفتن کانالها حساب شده تر باشد، الگوی $T_p(x,y)$ پیچیده تر خواهد بود. کارآیی حالت دائمی جمع کننده را می توان با سه معادله زیر توصیف کرد:

$$J_c = F_{abs} - J_{loss}(T_p(x,y), f_{abm}) \quad \text{(توازن انرژی) (14-2 الف)}$$

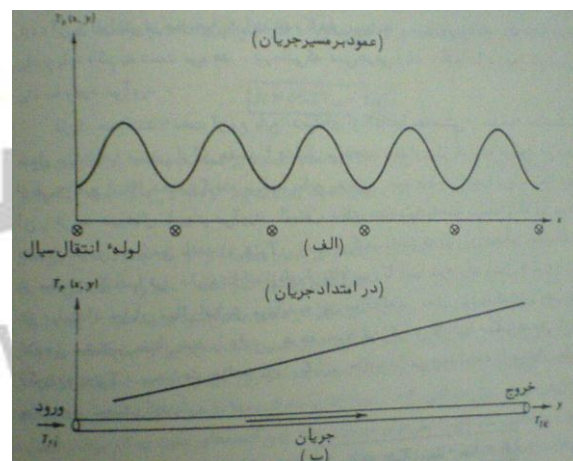
$$T_{f,e} = T_{f,e}(\dot{Q}, T_{f,i}, T_p(x,y)) \quad \text{(مبدل حرارتی) (14-2 ب)}$$

$$J_c = \dot{Q} C_f [T_{f,e} - T_{f,i}] \quad \text{(کالری متری) (14-2 ج)}$$

معادله 14-2 الف بیان برای بقای انرژی و لازمه آن است که حرارت جمع آوری شده مفید با اختلاف درجه حرارت تولید شده در صفحه و حرارت هدر رفته به محیط برابر باشد. (توجه کنید که محاسبه تابع J_{loss} متشکل است زیرا دمای صفحه یکنواخت نیست) معادله



14-2 (ب) رابطه مربوط به مبدل حرارتی است و دمای سیال خروجی از پانل را به عنوان تابعی از دبی جریان، دمای سیال در محل ورود و پروفیل دمای صفحه را بیان می کند. این معادله را صرفاً پس از معلوم شدن پارامترهای جمع کننده طراحی شده به دست آورد. توجه کنید که \dot{Q} و $T_p(x,y)$ مستقل از هم نیستند. با افزایش دبی جریان، دمای متوسط صفحه همگام با تقلیل کاهش می یابد. معادله 14-2 (ج) یک معادله گرماسنجی است که آهنگ جمع آوری حرارت را به دماهای ورودی و خروجی و نیز به دبی جرمی سیال مربوط می سازد.



شکل 2-3 الف) پروفیل دما در جهت عمود بر مسیر جریان

ب) پروفیل دما در جهت جریان

در معادله 14-2 عجلتاً فرض می کنیم که سطح آفتاب گیری F_{abs} ، پارامترهای محیطی (f_{abm}) و دمای سیال ورودی ($T_{f,i}$) همگی پارامترهای ثابتی باشند. متغیرها را \dot{Q} ، $T_p(x,y)$ ، $T_{f,e}$ ، T_c فرض می کنیم. در عمل، باید بتوان این معادله ها را حل کرد تا هر یک از سه متغیر آخر به عنوان تابعی از \dot{Q} قابل بیان باشد. به این ترتیب برای یک سطح ثابت



آفتاب گیری و دمای ورودی ثابت سیال، و شرایط محیطی ثابت، دبی جریان \dot{Q} تعیین کننده پروفیل دمای صدمه، دمای سیال به هنگام خروج، و آهنگ اخذ حرارت مفید است.

حل معادله 2-14 مشکل است و به این بستگی دارد که چگونه کانالها در صفحه قرار گرفته باشند. برای این که تجزیه و تحلیل تا حدی ساده شود و بطور کمی نشان دهیم چگونه متغیرها به معادله 2-14 مربوطند. یک صفحه تخت خورشیدی کاملا ایده آل در نظر می گیریم که شامل یک صفحه جذب کننده از نوع هادی حرارتی کامل باشد. دمای چنین صفحه ای همواره بدون تغییر باقی خواهد ماند، و این به نحوه اخذ و دریافت حرارت بستگی ندارد. کار با صفحه همدمای میسر است زیرا نظریه انتقال حرارت را می توان مستقیما در مورد آن اعمال کرد. بعلاوه، صفحه به شکل یک حمام با دمای یکنواخت T_p برای سیال انتقال دهنده عمل می کند. برای یک صفحه همدمای به شکل معادله 2-14 می توان نوشت:

$$J_c = F_{abs} - \bar{U}_c (T_p - T_a) \quad \text{الف (15-2)}$$

$$T_{f,e} = T_{f,i} + (p - T_{f,i}) [1 - \exp(-H / \dot{Q} C_f)] \quad \text{ب (15-2)}$$

$$J_c = \dot{Q} C_f (T_{f,e} - T_{f,i}) \quad \text{ج (15-2)}$$

در معادله 2-15 (الف) فرض شده است که $T_{هوای} = T_{آسمان}$ و شار حرارتی تلف شده از جمع

کننده را می توان توسط شکل خطی شده ای با ضریب \bar{U}_c تقریب کرد. معادله از (2-

15)ب معادله مبدل حرارت تک جریان به دست می آید. با وجود این، توجه داشته باشید

که صفحه جذب کننده یک حمام حرارتی حقیقی نیست زیرا با زیاد شدن آهنگ اخذ



حرارت، دمای کاهش می یابد. ضریب انتقال حرارت از صفحه ها به سیال با ثابت H مشخص شود. در این مدل ساده، جمع کننده با دو پارامتر یعنی ضریب تلف حرارت \bar{U}_c و ضریب مبدل حرارت H مشخص می شود. جمع کننده ای موثر است که \bar{U}_c آن کم و H آن زیاد باشد. \bar{U}_c کوچک سبب تلفات حرارتی کم می شود، در حالی که H بزرگ در تبادل موثر حرارت به سیال انتقال دهنده، تأثیر می گذارد.

حذف دمای صفحه (T_p) از معادله (2-15) کار آسانی است. پس از چندین مرتبه ساده کردن معادله، می توان نشان داد که بازده حرارتی به صورت زیر قابل بیان است.

$$\eta = \frac{J_c}{F_{abs}} = \left[1 + \frac{\bar{U}_c}{\dot{C}_f [1 - \exp(-H / \dot{C}_f)]} \right]^{-1} \left[1 - \frac{\bar{U}_c (T_{f.i} - T_a)}{F_{abs}} \right] \quad (16-2)$$

محاسبه مشابه با استفاده از معادله (2-15) نشان میدهد که:

$$\frac{\Delta T_f}{F_{abs}} = \frac{(T_{f.e} - T_{f.i})}{F_{abs}} = \frac{1}{\dot{C}_f} \left[1 + \frac{\bar{U}_c}{\dot{C}_f [1 - \exp(-H / \dot{C}_f)]} \right]^{-1} \left[1 - \frac{\bar{U}_c (T_{f.i} - T_a)}{F_{abs}} \right] \quad (17-2)$$

هنگامی که دبی جرمی سیال ثابت نگه داشته شود، بازده حرارتی در معادله (2-16) تابع

$$\frac{(T_{f.e} - T_{f.i})}{F_{abs}}$$

خطی از متغیر خواهد شد. این تابعیت در شکل 2-4 (الف) نشان داده

شده است.

$$\frac{\Delta T_f}{F_{abs}} = \frac{(T_{f.e} - T_{f.i})}{F_{abs}} \quad \text{تابع}$$



نیروگاه خورشیدی

در معادله 2-17 نیز تابع خطی همین متغیر بوده و در شکل 2-4 (ب) ترسیم شده است کاربرد معادله های 2-16 و 2-17 مخصوصاً هنگامی ساده است که دبی جرمی جریان گذرانده از پانل ثابت نگه داشته شود. بازده و درجه حرارت خروجی پانل را می توان به مجرد این که مقادیر F_{abs} , T_a , $T_{f,i}$ معلوم شوند مستقیماً از روی منحنیهایی مانند شکل های 2-4 (الف) و 2-4 (ب) به دست آورد.

مثال: یک پانل حرارتی خورشیدی با پارامترهای $\bar{U}_c = 6W/m^2 - ^\circ C$ و

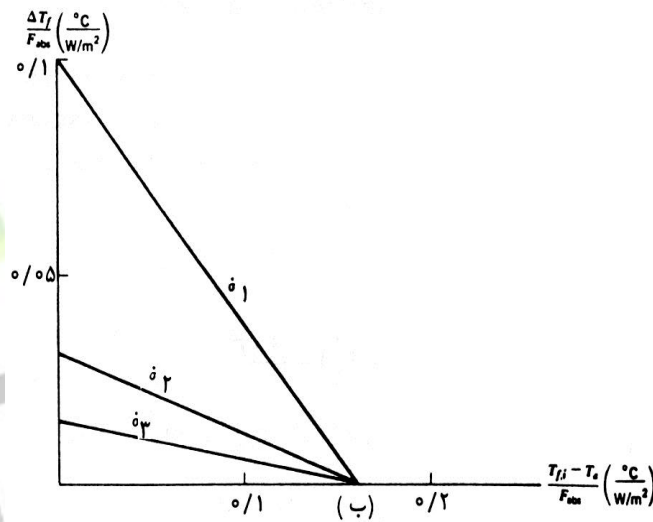
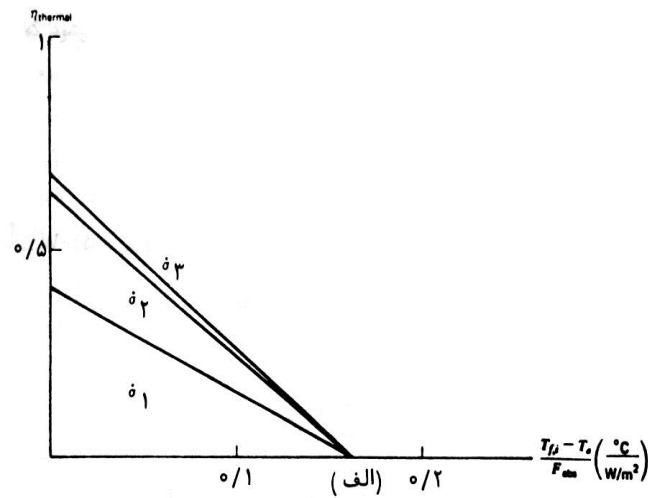
$H = 15W/m^2 - ^\circ C$ مشخص می شود. سیال انتقال دهنده آب ($C_f = 4186 J/kg$)

(\dot{C}) است که با دبی $\dot{\sigma} = 0/001kg\ sec - m^2$ جریان داشته و دمای ورود آن

$T_{f,i} = 25^\circ C$ است. وقتی که دمای محیط 10 درجه سانتیگراد و شار خورشیدی جذب شده

$150W/m^2$ باشد، بازده حرارتی پانل و دمای خروجی سیال را به دست آورید.

معادلات 2-16 و 2-17 به شکل زیر در می آیند:



شکل 4-2

$$\eta = 0.404 \left[1 - \frac{6(T_{f.i} - T_a)}{F_{abs}} \right] \text{ و}$$

حرارتی

$$\frac{\Delta T_f}{F_{abs}} = 0.097 \left[1 - \frac{6(T_{f.i} - T_a)}{F_{abs}} \right]$$



چون $F_{abs} = 510W / m^2$ ، $T_a = 10^\circ C$ ، $T_{f.i} = 25^\circ C$ است می بینیم که:

$$\eta = 0/33 = \%33$$

حرارتی

$$\frac{\Delta T_f}{F_{abs}} = 0/08$$

و:

بنابراین :

$$T_{f.e} = (0/08)(510) + 25 = 66^\circ C$$

مثال: با توجه به مثال قبل، بازده و دمای آب خروجی را به شرطی که دبی جرمی تا

$$\dot{\sigma} = 0/001 kg sec^{-m^2}$$

افزایش یافته باشد به دست آورید.

برای دبی جرمی جدد معادلات 16-2 و 17-2 به شکل زیر در می آیند:

$$\eta = 0/016 \left[1 - \frac{6(T_{f.i} - T_a)}{F_{abs}} \right]$$

حرارتی

و:

$$\frac{\Delta T_f}{F_{abs}} = 0/016 \left[1 - \frac{6(T_{f.i} - T_a)}{F_{abs}} \right]$$

با استفاده از مقادیر $F_{abs} = 510W / m^2$ ، $T_a = 10^\circ C$ ، $T_{f.i} = 25^\circ C$ به دست می آوریم:



$$\eta = 0/56 = \%56$$

حرارتی

$$\frac{\Delta T_f}{F_{abs}} = 0/013$$

و:

$$T_{f,e} = (0/013)(510) + 25 = 32^\circ\text{C}$$

بنابراین:

از مقایسه این مثالها در می یابیم که ده برابر شدن دبی جرمی سبب می شود که بازده حرارتی از 33 درصد به 56 درصد افزایش ولی دمای خروجی از 66 درجه به 32 درجه کاهش یابد.

نتایجی که در اینجا ارائه شد از یک مدل نسبتاً ساده شده پانل حرارتی به دست آمده اند. در یک جمع کننده عملیاتی حقیقی، جذب کننده یک هادی حرارتی کامل نیست. از این رو، دمای کاملاً معین منحصر بفردی برای صفحه جذب کننده وجود ندارد. برای برخی از کاربردها بهتر است از یک مقدار متوسط یا موثر برای نشان دادن دمای صفحه استفاده شود. با افزایش دبی جرمی سیال انتقال دهنده، دمای متوسط صفحه و دمای خروجی سیال کاهش می یابند. اگر چه این مسئله درجه حرارت کاهش می دهد ولی تلف حرارت را نیز تقلیل می دهد بطوری که بازده جمع کننده افزایش می یابد.

عموما ویژگی های واقعی عملیاتی پانلهای حرارتی با استفاده از راههای تجربی تعیین می شود. این راهها علاوه بر اندازه گیری آفتاب گیری، شامل اندازه گیری دما و دبی جرمی در داخل پانل نیز هست.



فصل 3- تبدیل ترمودینامیکی انرژی خورشیدی

در بسیاری از موارد، شکل انرژی مورد نیاز کار است نه حرارت. در واقع، فرایندهای طبیعی علاوه بر تولید حرارت بطور مداوم انرژی حرارتی را به کار تبدیل می کنند. گرمایش حرارتی اقیانوسها سبب تبخیر و سرانجام بارش نزولات آسمانی می شود. اثر خالص پدیده فوق این است که آب از سطح دریا به ارتفاعهای بیشتر صعود می کند، یا بطور معادل، انرژی خورشیدی به انرژی پتانسیل گرانشی تبدیل می شود. با بازگشت آب به اقیانوسها انرژی پتانسیل آن را می توان مانند آنچه که در ژنراتورهای هیدروالکتریک انجام می شود به انرژی الکتریکی تبدیل کرد. گرمایش خورشیدی زمین و جو آن، عامل پیدایش بادهای نیز هست. این فرایند انرژی خورشیدی را به انرژی جنبشی جوی تبدیل می کند. در این شکل، از انرژی می توان برای چرخاندن آسیابهای بادی استفاده و کار مفید تولید کرد.

تاکنون مهمترین شکل کار مفید تولید شده توسط طبیعت، تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی شیمیایی از طریق فرایند فتوسنتز بوده است. گیاهان سبز با جذب نور خورشید، مواد خام (مانند CO_2 , H_2O) را از حالتی با انرژی شیمیایی کم به حالتی با انرژی بیشتر (مثلا هیدروکربنها) تبدیل می کنند.

حیوانات و انسان این مواد را مصرف و کار مفید تولید می کنند. مواد آلی که طی میلیونها سال از فساد و تلاشی مواد گیاهی تولید شده اند به سوختههای فسیلی شناخته شده یعنی نفت، زغال سنگ و گاز طبیعی تبدیل شده اند که از همگی آنها می توان برای ایجاد کار استفاده کرد. متأسفانه، تبدیل انرژی خورشیدی به کار توسط طبیعت بسیار کندتر از آن



نیروگاه خورشیدی

است که بتواند احتیاجات یک جامعه صنعتی پیشرفته را برآورده کند. قسمت اعظم سوخته‌های فسیلی که طی میلیون‌ها سال تولید شده اند در چند صد ساله اخیر توسط بشر به مصرف رسیده اند.

فقط در همین اواخر بشر شروع به توجه به تکنولوژیی کرده که به جای مصرف کار حاصل از انرژی خورشیدی آن را ایجاد می کند.

برای تبدیل انرژی خورشیدی به کار، دو روش متمایز وجود دارد: تبدیل ترمودینامیکی و تبدیل مستقیم. در شیوه نخست، ابتدا انرژی خورشیدی که توسط جمع کننده های خورشیدی به حرارت تبدیل می شود.

سپس این حرارت تا اندازه ای به کار تبدیل می شود. همان طور که بعدا خواهیم دید، نمی توان حرارت را به کار تبدیل کرد بلکه قسمتی از آن باید به محیط برگردانده شود. برخلاف آنچه در مورد تبدیل انرژی خورشیدی به حرارت دیدیم. در اینجا یک حد بالای نظری کاملا مشخص برای بازده هر فرایند که حرارت را به کار تبدیل می کند وجود دارد.

در شیوه تبدیل مستقیم، انرژی خورشیدی مستقیما و بدون تبدیل نور خورشید به حرارت، به کار تبدیل می شود.

هر چند که این شیوه دارای محدودیتهای عملی خاص خود است، ولی همان حد نظری تحمیل شده بر تبدیل ترمودینامیکی را ندارد. در این فصل تبدیل ترمودینامیکی را بررسی و بحث در مورد تبدیل مستقیم را به فصل بعد موکول می کنیم.



3-1- حرارت و کار – قانون دوم ترمودینامیک

حرارت و کار هر دو شکلهایی از انرژی هستند ولی از دید ترمودینامیک دو شکل متمایزند برای نشان دادن تفاوت آن دو، برخی از مفاهیم اصلی علم ترمودینامیک را مورد توجه قرار می‌دهیم.

موقتا تصور کنید که جهان به چندین سیستم فرعی تقسیم شده است و فرض کنید که هر سیستم در یک حالت تعادل قرار دارد و هر سیستم توسط مجموعه ای از متغیرهای ترمودینامیکی مانند دما، فشار، حجم و غیره مشخص می‌شود. یکی از این متغیرهای حالت، آنترופی S خوانده شده و بی‌نظمی سیستم فرعی $S_{\text{ام}}$ را نشان می‌دهد. آنترופی کل یا بی‌نظمی کل جهان S_u مجموع آنترופی سیستمهای فرعی آن است.

حال فرض کنید سیستمهای فرعی با هم واکنش متقابل دارند بطوری که یک فرایند اجرا می‌شود. در یک فرایند ممکن است کار انجام گیرد و حرارت از یک سیستم فرعی به سیستمی دیگر منتقل شود. در پایان فرایند، بطور کلی حالت هر سیستم فرعی تغییر خواهد کرد، یعنی آنترופی برخی از سیستمهای فرعی ممکن است کاهش یابد و آنترופی سایر سیستمها افزایش یابد. با وجود این، در نتیجه این فرایند، تغییر خالص آنترופی جهان بر اساس قانون زیر محدود شده است.

قانون دوم ترمودینامیک (بیان آنترופی) اظهار می‌کند:

در خلال هر فرایند، آنترופی (بی‌نظمی) جهان ممکن است افزایش یابد یا ثابت بماند ولی هیچ‌گاه تقلیل نخواهد یافت.



نیروگاه خورشیدی

از نظر ریاضی داریم: $\Delta S_u \geq 0$

با استفاده از قانون دوم، می توانیم یک فرایند را به بازگشت پذیر یا بازگشت ناپذیر تقسیم کنیم. یک فرایند در صورتی بازگشت پذیر است که سبب شود آنتروپی جهان افزایش یابد. این امر موقعی آشکار می شود که فرض کنیم برای برگرداندن جهان به حالت اولیه اش هیچ راهی به جز کاهش آنتروپی آن و در نتیجه بر هم زدن قانون دوم وجود ندارد. یک فرایند فقط و فقط در صورتی بازگشت پذیر است که آنتروپی کیهان را تغییر ندهد. بنابراین فرایندها را به شکل زیر تقسیم بندی می کنیم:

بازگشت ناپذیر $\Delta S_u > 0$

بازگشت پذیر $\Delta S_u = 0$

غیر ممکن! $\Delta S_u < 0$

حال فرض کنید که جهان فقط از دو سیستم فرعی تشکیل شده باشد یک سیستم به نام «دستگاه» و دیگری به نام «محیط اطراف» نامیده می شود. تصور کنید که محیط اطراف شامل مخزن چنان بزرگ و حجیمی باشد که هر مقدار حرارت که در آن ذخیره یا از آن اخذ شود دمای آن را تغییر ندهد. دمای این به اصطلاح منبع حرارت را با T نشان می دهیم. هرگاه مقداری حرارت مثلا q از یک منبع حرارت اخذ شود، آنتروپی آن به اندازه $\frac{Q}{T}$ کاهش می یابد (T برحسب درجه کلوین است) و هرگاه همان مقدار حرارت اضافه بشود، مقدار آنتروپی به همان اندازه افزایش می یابد. انتقال کار تغییری در آنتروپی به وجود نمی آورد.



نیروگاه خورشیدی

فرض کنیم که دستگاه ما وسیله ای است که در خلال یک رشته فرایند، کار انجام می دهد و حرارت را به محیط اطراف پس می دهد یا از آن حرارت دریافت می کند، اما در انتهای رشته به حالت ترمودینامیکی اصلی خود باز میگردد. می گوئیم چنین دستگاهی در یک سیکل کار می کند. فرض کنید در پایان یک سیکل، مقدار حرارت Q توسط دستگاه از محیط اطراف اخذ شده و دستگاه نیز به نوبه خود مقداری کار، w ، بر روی محیط اطراف انجام داده باشد.

در نتیجه اخذ حرارت، آنتروپی محیط خارج به اندازه $\frac{Q}{T}$ تقلیل می یابد اما چون دستگاه در یک سیکل کار می کند، تغییر خالص آنتروپی آن صفر است. از این رو در پایان فرایند، تغییر خالص آنتروپی جهان برابر با:

$$\Delta S_u = \Delta s_{\text{محیط اطراف}} - \frac{Q}{T} = 0 \quad (1-3)$$

چون این امر به وضوح بیان آنتروپی قانون دوم ترمودینامیک را نقض می کند، وقوع این فرایند غیر ممکن است. به این ترتیب، به دومین شکل قانون دوم ترمودینامیک که معادل آن است دست می یابیم.

قانون دوم ترمودینامیک (بیان کلوین - پلانک):

نمی توان دستگاهی ساخت که در یک سیکل کار کند و کار آن فقط اخذ مقداری حرارت از یک منبع منفرد و تبدیل آن حرارت به کار باشد.



نیروگاه خورشیدی

قانون دوم، به این شکل محدودیت های شدیدی را بر تکنولوژی فرایندهای ترمودینامیکی اعمال می کند. اگر بدلیل وجود این قانون نبود، از لحاظ نظری می توانستیم یک دستگاه تهویه بسازیم که نه به برق نیاز داشته باشد و نه حرارت از دست بدهد بلکه توسط حرارت اخذ شده از اتاق، کار تولید بکند.

همچنین یک کشتی می توانست حرارت از اقیانوس بگیرد و آن را بطور کامل به کار تبدیل کند و آن را به حرکت اندازد. در واقع، بر اساس قانون دوم ترمودینامیک هیچ کدام از این فرایندها ممکن نیستند.

ما نتایج به دست آمده برای فرایندهای سیکلی را به شکل زیر خلاصه می کنیم:

تبدیل کار به گرما که به نوبه خود به یک منبع منفرد داده می شود - با 100 درصد بازده ممکن است ولی بازگشت ناپذیر است.

تبدیل کامل حرارت اخذ شده از یک منبع منفرد به کار غیر ممکن است.

تبدیل حرارت به کار با استفاده از دو منبع ممکن ولی بازده آن محدود است.

بر اساس نتیجه (1) می توان انرژی خورشیدی را بطور کامل به حرارت تبدیل کرد. ولی بر طبق نتیجه (3) وقتی این حرارت تولید شد فقط کسری از آن را می توان به کار تبدیل کرد.

بعدا ثابت خواهیم کرد که بازده تبدیل هر ماشین حرارتی که بین دو منبع حرارتی کار می کند به وسیله فرمول کارنو محدود می شود.



3-2- حد کارنو و ماشینهای حرارتی :

پربازده ترین ماشینی که بین دو منبع حرارتی حرارتی کار می کند ماشینی است که از فرایند های بازگشت پذیر استفاده می کند. بازده هر ماشین حرارتی که بین دو منبع ذخیره حرارتی کار می کند طبق فرمول زیر محدود شده است:

$$\eta = \frac{W}{Q_2} = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2} \leq \frac{T_2 - T_1}{T_2} \quad (2-3)$$

یک ماشین بازگشت پذیر که بین دو منبع حرارتی کار می کند یک بازده حدی دارد که با رابطه زیر به دست می آید:

$$\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_2} \quad (\text{t بر حسب کلوین}) \quad (3-3)$$

کارنو چنین ماشینی را یک ماشین کارنو و معادله 3-6 را فرمول کارنو می خوانند. معادله 3-5 بیان می کند که هیچ ماشینی، که بین دو منبع حرارتی کار می کند، نمی تواند بازدهی بیش از یک ماشین کارنو که بین همان دو منبع حرارتی کار می کند داشته باشد.

مثال: یک ماشین بخار حرارت خود را از یک منبع داغ (دیگ بخار) در دمای 477 (درجه کلوین) اخذ می کند و حرارت را در دمای 38 °C (311) درجه کلوین به یک منبع سرد (کندانسور) پس می دهد. حداکثر بازده ممکن چنین ماشینی را بیابید.

برطبق فرمول کارنو (معادله 3-3) بازده محدود است به :

$$\eta = \frac{477 - 311}{477} = 35\%$$



بخار (بازده ماشین های بخار واقعی که در این دماها کار می کنند عموماً کمتر از 15 درصد است.)

بازده کارنو با افزایش دمای منبع داغ و نیز کاهش دمای منبع سرد افزایش می یابد. لیکن ، فرمول کارنو یک حد بالای واقع بینانه برای کارکرد ماشین حرارتی واقعی در اختیار نمی گذارد. در واقع، بازده غالب ماشینهای عملی خیلی پایینتر از مقداری است که توسط فرمول کارنو برآورده می شوند. از این رو، ماشین کارنو را نیز علاوه بر مدل‌های واقع بینانه تر برای سایر ماشینها مورد بحث قرار خواهیم داد. اما در اینجا، کمی از بحث اصلی خود دور شده و یک شکل دیگر قانون دوم ترمودینامیک را بررسی می کنیم که مربوط به یخچالها است.

قانون دوم ترمودینامیک و دستگاههای مبرد:

دستگاه نشان داده شده در شکل 3-1 (الف) را در نظر بگیرید. دستگاه مذکور بین دو منبع ذخیره کار می کند و مقدار حرارت Q را از منبع سرد (T_1) می گیرد و آن را به منبع داغ (T_2) منتقل می کند. تغییر خالص آنتروپی جهان عبارت است از :

$$\Delta S_U = \frac{Q}{T_2} - \frac{Q}{T_1} = Q \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (4-3)$$

از آنجا که طبق فرض $T_2 > T_1$ است : معادله 3-4 نیاز دارد که $\Delta S_U < 0$ باشد. در نتیجه شکل 3-1 (الف) یک فرایند غیر ممکن را نشان می دهد. بنابراین به بیان جدید دیگری از قانون دوم دست می یابیم.



نیروگاه خورشیدی

قانون دوم ترمودینامیک (بیان کلازیوس) به قرار زیر است:

غیر ممکن است بتوان دستگاهی ساخت که با کار در یک سیکل هیچ اثری جز اخذ حرارت از یک منبع سرد و ذخیره آن حرارت در یک منبع داغ به وجود نیاورد.

فرایندی که در شکل 1-3 (ب) نشان داده شده شامل انتقال Q واحد حرارت از منبع داغ به منبع سرد است. این فرایند یک افزایش خالص در آنتروپی جهان به وجود می آورد و لذا امری ممکن ولی بازگشت ناپذیر است. در نتیجه، اگر اثر دیگری در کار نباشد، حرارت می تواند بطور بازگشت ناپذیر از یک منبع داغ به یک منبع سرد جریان یابد.

برای انتقال حرارت از یک منبع سرد به یک منبع داغ اثر دیگری لازم است. این تأثیر همان طور که در شکل 1-3 (ج) نشان داده شده است، ممکن است به استفاده از کار باشد. چنانچه کار به دستگاه داده شود، در این صورت طبق اصل بقای انرژی، حرارت داده شده به منبع داغ برابر خواهد بود:

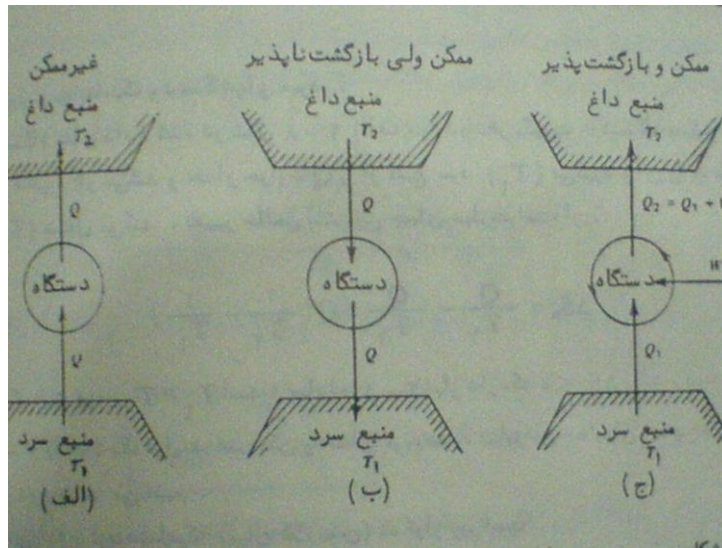
$$Q_2 = W + Q_1 \quad (5-3)$$

که Q_1 حرارت اخذ شده از منبع سرد است. تغییر خالص آنتروپی جهان برابر است با:

$$\Delta S_U = \frac{Q_2}{T_2} - \frac{Q_1}{T_1} \quad (6-3)$$

چون $Q_1 < Q_2$ است، تغییر در آنتروپی جهان ممکن است نامنفی باشد و این باعث می

شود فرایند، ممکن و حتی بازگشت پذیر باشد.



شکل 3-1

دستگاهی که در یک سیکل کار می کند و برای انتقال حرارت از یک منبع سرد به یک منبع داغ از کار استفاده می کند به اصطلاح یخچال نامیده می شود و ضریب کارایی (COP) آن به شکل زیر تعیین می شود:

$$COP = \frac{Q_1}{W} = \frac{\text{حرارت اخذ شده در هر سیکل}}{\text{یخچال}} \quad (7-3)$$

کار مورد نیاز در هر سیکل

از ترکیب معادله های 8-8 ، 9-8 و 10-8 در می یابیم که ضریب کارایی COP یک یخچال طبق رابطه زیر محدود می شود:

$$COP \leq \frac{T_1}{T_2 - T_1} = COP \quad (8-3)$$



نیروگاه خورشیدی

این تساوی برای یخچالی صادق است که بین دو منبع کار کند و فرایند های بازگشت پذیر را به کار برد. چنین یخچالی با سیکل بازگشت پذیر را یخچال کارنو می نامند، ولذا حد مطرح شده در معادله (3-8) حد کارنو نامیده می شود. معادله (3-8) را می توان به صورت زیر توضیح داد: هیچ یخچالی که بین دو منبع حرارتی مشغول به کار باشد نمی تواند ضریب کارآیی (COP) بزرگتری از یک یخچال کارنو داشته باشد که بین همان دو منبع کار می کند. ضریب کارآیی معمولاً ولی نه ضرورت از یک بیشتر است. ضریب کارآیی دستگاههای تهویه مطبوع عموماً بین دو وسه است.

فرایندهای پیشین را می توان چنین خلاصه کرد:

فرایندی که اثر آن فقط انتقال حرارت از یک منبع داغ به یک منبع سرد باشد ممکن ولی بازگشت ناپذیر.

فرایندی که اثر آن فقط انتقال حرارت از یک منبع سرد به یک منبع داغ باشد غیرممکن.

استفاده از کار برای انتقال حرارت از یک منبع سرد به یک منبع داغ - ممکن ولی ضریب کارآیی آن توسط معادله (3-8) محدود شده است.

مثال: حداکثر ضریب کارآیی ممکن برای یک دستگاه تهویه مطبوع را به دست آورید که حرارت را از یک اتاق با دمای 21°C (294 درجه کلوین) اخذ می کند و آن را با دمای 38°C (211 درجه کلوین) به هوای خارج پس می دهد. اگر ضریب کارآیی واقعی $2/5$ باشد و دستگاه به 1000 وات نیروی الکتریسیته نیاز داشته باشد، آهنگ اخذ حرارت را از اتاق به دست آورید.



نیروگاه خورشیدی

با استفاده از معادله (3-8) داریم:

$$COP_{MAX} = \frac{294}{311 - 294} = 17$$

آهنگ واقعی اخذ حرارت برابر است با:

$$Q_1 = (COP) \times P = (2/5)(1000) = 2500W = 8500Btu/hr$$

3-3- ماشینهای حرارتی :

یک ماشین حرارتی واقعی اصطلاحاً از یک عامل درسیکلی که شامل یک رشته فرایندهای ترمودینامیکی است استفاده می کند. این ماده می تواند جامد، مایع یا گاز باشد. حرارت در خلال فرایندهای معین از منبعهای داغ اخذ و در خلال سایر فرایندها به منبعهای سرد پس داده می شود. کار را می توان در طی بخشهایی از سیکل بر روی ماده یا توسط ماده انجام داد. اثر خالص بعد از اتمام هر سیکل این است که اختلاف بین حرارت جذب شده و حرارت پس داده شده برابر کار انجام شده است.

برای این که یک فرایند بازگشت پذیر باشد و بنابراین آنتروپی جهان را افزایش ندهد ، شرایط خاصی باید وجود داشته باشد. عامل باید پیوسته با محیط خارج در حال تعادل باشد، یعنی فرایند باید خیلی آرام صورت گیرد. چون اکثر ماشینها سیکل خود را به سرعت انجام می دهند، فرایندها بازگشت ناپذیر هستند. بازگشت پذیری لازم می دارد که دمای عامل در خلال انتقال حرارت مجازاً مساوی دمای محیط اطراف باشد. این تساوی تضمین می کند که



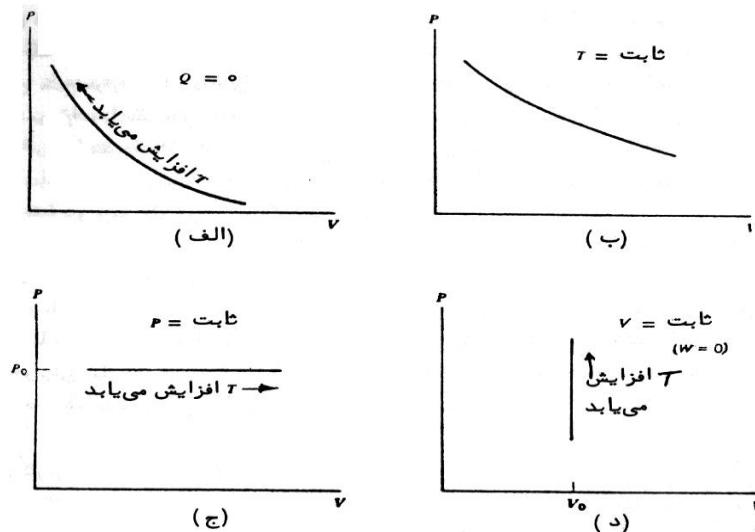
نیروگاه خورشیدی

انتقال حرارت به آرامی صورت بگیرد. در ماشین های واقعی، انتقال حرارت هنگامی رخ می دهد که اختلاف درجه حرارت عامل و منبعهای حرارتی چشمگیر باشد.

برای تجسم سیکلهای بازگشت پذیر، چهار فرایند زیر را در نظر می گیریم و فرض می کنیم که ماده کار، یک گاز ایده ال باشد. این فرایندها در نمودارهای **P-V** شکل 2-3 نشان داده شده اند.

3-4- فرایند آدیباتیک (بی درو)

ماده کار نسبت به محیط خارج عایق شده است بطوری که حرارت نه به آن وارد و نه از آن خارج میشود. در خلال یک تراکم آدیباتیک، حجم کاهش، و فشار دما افزایش می یابد و کار بر روی ماده صورت می گیرد. عکس این حالت برای یک انبساط آدیباتیک صادق است. فرایند آدیباتیک به منبع های حرارتی نیاز ندارد.



شکل 2-3



3-4-1- فرایند با دمای ثابت

سیستم در معرض یک منبع حرارتی منفرد قرار دارد. دما ثابت و مساوی دمای منبع باقی می ماند. در خلال یک تراکم با دمای ثابت، فشار با کاهش حجم افزایش می یابد. حرارت به منبع پس داده می شود و لذا کار بر روی ماده انجام می شود. عکس این حالت برای یک انبساط با دمای ثابت صادق است.

3-4-2- فرایند با فشار ثابت

در خلال فرایند با فشار ثابت، مقدار فشار ثابت باقی می ماند. در یک تراکم با فشار ثابت حجم و دما هر دو کاهش می یابند. حرارت، پس داده شده و کار بر روی ماده صورت می گیرد. عکس این موارد برای یک انبساط با فشار ثابت صادق است.

برای این که یک فرایند با فشار ثابت برگشت پذیر باشد، باید حین انتقال حرارت، ماده در مجاورت چندین منبع حرارتی با دماهای مختلف قرار بگیرد. از این رو یک فرایند بازگشت پذیر با فشار ثابت نمی تواند با یک منبع حرارتی منفرد به انجام برسد.

هر سیکل یک ماشین بازگشت پذیر که در آن فرایند با فشار ثابت وجود دارد به چندین منبع حرارتی با دماهای متفاوت نیاز دارد. بالعکس، هر سیکل ماشین با گاز ایده آل که از یک فرایند با فشار ثابت استفاده کرده و بین فقط دو منبع کار می کند بازگشت ناپذیر است.

3-4-3- فرایند با حجم ثابت

در خلال این فرایند حجم ثابت نگهداشته می شود و کار توسط ماده یا بر روی ماده صورت نمی گیرد. در گرمایش با حجم ثابت، حرارت جذب می شود و فشار و دما هر دو



افزایش می یابند. عکس این مطلب برای سرمایه‌ش با حجم ثابت صادق است. فرایند با حجم ثابت بازگشت پذیر مانند یک فرایند با فشار ثابت بازگشت پذیر به چندین منبع حرارتی نیاز دارد. بعلاوه، هر سیکل گاز ایده آل که از یک فرایند با حجم ثابت استفاده و بین فقط دو منبع کار می کند ضرورت بازگشت ناپذیر است.

3-5- سیکل کارنو:

سیکل کارنو شامل چهار فرایند بازگشت پذیر است: دو منحنی آدیاباتیک و دو منحنی با دمای ثابت (بطور یک در میان). در این سیکل فقط دو منبع لازم است (هر یک از آنها برای یک منحنی با دمای ثابت). در شکل 3-3 یک سیکل کارنو که با یک گاز ایده آل به عنوان عامل استفاده می کند ترسیم شده است. بر روی منحنی با دمای ثابت داغ، حرارت بطور بازگشت پذیر در دمای T_2 از منبع جذب و بر روی منحنی سرد با دمای ثابت، حرارت در دمای T_1 به منبع پس داده می شود. همه ماشین های کارنو که بین دو منبع حرارتی یکسان کار می کنند صرف نظر از نوع عامل ، بازده یکسانی دارند. بازده از رابطه زیر به دست می آید:

$$\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

کارنو البته، هیچ ماشین واقعی وجود ندارد که در آن بتوان سیکل کارنو را به عنوان یک مدل در نظر گرفت. اکثر مدل‌های بازگشت پذیر که ماشین های حرارتی عملی بر آنها متکی هستند نه حرارت را از یک منبع با دمای T_2 می گیرند و نه حرارت را به یک منبع دیگر با

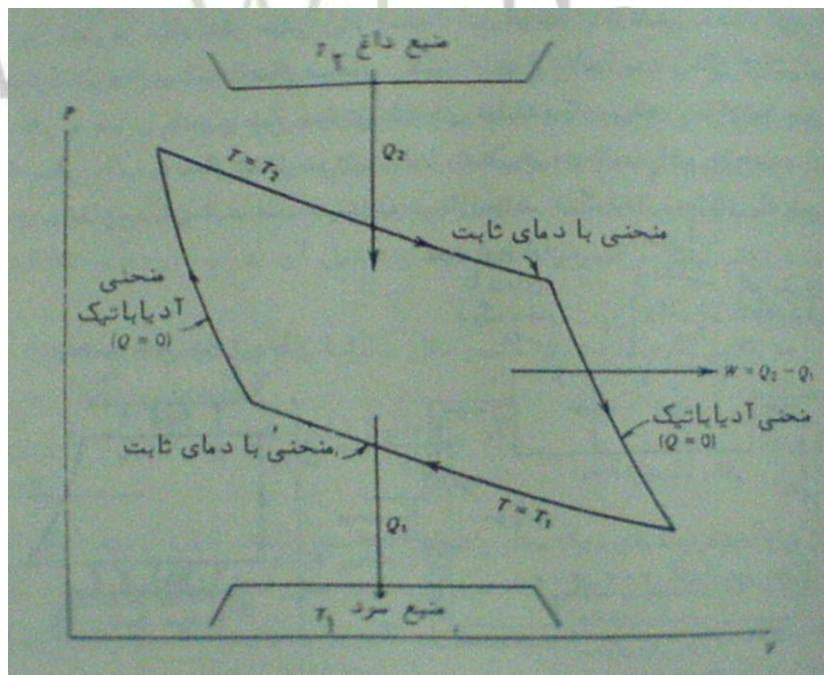


نیروگاه خورشیدی

دمای T_1 پس می دهند. بطور معادل، انتقال حرارت ضرورت در خلال یک فرایند با دمای ثابت رخ نمی دهد.

در عوض اکثر ماشین ها حرارت را هنگامی جذب کرده یا پس می دهند که دمای ماده عامل تغییر کند. به همین دلیل، ماشینها باید توسط یک سیکل بازگشت پذیر که شامل چندین منبع حرارت است تحریک شوند.

این سیکلها حد نظری بالایی برای بازده سیکلهای عملی ارائه می کنند که مقادیری کمتری دارند و بنابراین منطقی تر از مقادیری هستند که از فرمول کارنو به دست می آید. برای مثال، سیکل رانکاین به عنوان یک مدل نظری برای ماشین به بخار محسوب می شود و سیکل استرلینگ به عنوان مدلی برای یک نوع ماشین هوای داغ به کار می رود. در اینجا تجزیه و تحلیل سیکل رانکاین و قابلیت کاربرد آن را در ماشین بخار آغاز می کنیم.



شکل 3-3



3-6- سیکل رانکاین و ماشین بخار:

هر چند که ماشینهای بخار معمولی با سوخت فسیلی کار می کنند اما اظهار شده است که این ماشینها را میتوان با انرژی خورشیدی نیز به کار انداخت، عامل برای یک ماشین بخار مخلوطی از بخار و آب است. چون در اینجا دو فاز مطرح است، نمونه نظری تا اندازه ای پیچیده تر از نمونه مربوط به یک گاز ساده است. در شکل 3-4 (الف) فرایندهایی که در یک ماشین واقعی بخار انجام می شود نشان داده شده است.

آب سرد از یک کندانسور در فشار کم P_c و دمای کم T_c خارج می شود. آب بطور آدیاباتیک توسط یک تلمبه (پمپ) تا فشار بالایی که فشار دیگ بخار P_B نام دارد، متراکم می شود. چون آب، اصولاً ماده ای غیر قابل تراکم است، حجم آن صرفاً کاهش یافته و دمای آن بطور اسمی افزایش می یابد، در تمام موارد عملی، کاری که توسط تلمبه بر روی آب انجام می شود قابل اغماض است.

آب سرد تحت فشار، به دیگ بخار وارد و در آن جا تا نقطه جوش حرارت می بیند. دما در این نقطه خیلی بالاتر از نقطه جوش عادی (100 درجه سانتیگراد) است زیرا فشار در دیگ بخار خیلی زیاد است. این فرایند، گرمایش با فشار ثابت است زیرا حرارت در فشاری ثابت اعمال می شود. البته، چون دمای آب در حال افزایش است، دیگ بخار به عنوان چندین منبع حرارتی با دمای فزاینده کار می کند.

با ادامه عبور آب از دیگ بخار، آب به بخار تبدیل می شود و دما و فشار هر دو ثابت باقی می ماند. این، فرایندی با فشار و دمای ثابت است در نتیجه در حال حاضر دیگ به بخار به



عنوان یک منبع داغ منفرد در نقطه جوش آب عمل می کند. وقتی بخار به نقطه خروجی دیگ بخار می رسد تا دمای معروف به دمای دیگ بخار، داغ شده است (بخار فوق داغ). این فرایند نیز در فشار ثابت انجام می شود ولی شامل چندین منبع است. پس از آن، بخار فوق داغ بصورت آدیاباتیک در جلو پره های یک توربین یا یک پیستون متحرک منبسط می شود. در انتهای فرایند بخار، متراکم و به مخلوطی از بخار و آب با فشار و دمای کم تبدیل می شود. سپس بخار به کندانسور وارد و در آنجا حرارت در دمای ثابت از آن گرفته و بخار باقیمانده متراکم می شود. سپس آب سرد کم فشار مجدداً سیکل خود را آغاز میکند. این شش فرایند بازگشت پذیر که مشخص کننده سیکل رانکاین هستند در اینجا به اختصار بیان و بر روی یک نمودار $P-V$ در شکل 3-4 (ب) نشان داده شده اند:

2 → 1 تراکم آدیاباتیک (و در نتیجه تراکم با حجم و دمای ثابت) آب مایع تا فشار دیگ

بخار (P_a).

3 → 2 گرمایش آب تحت فشار تا نقطه جوش در حجم ثابت.

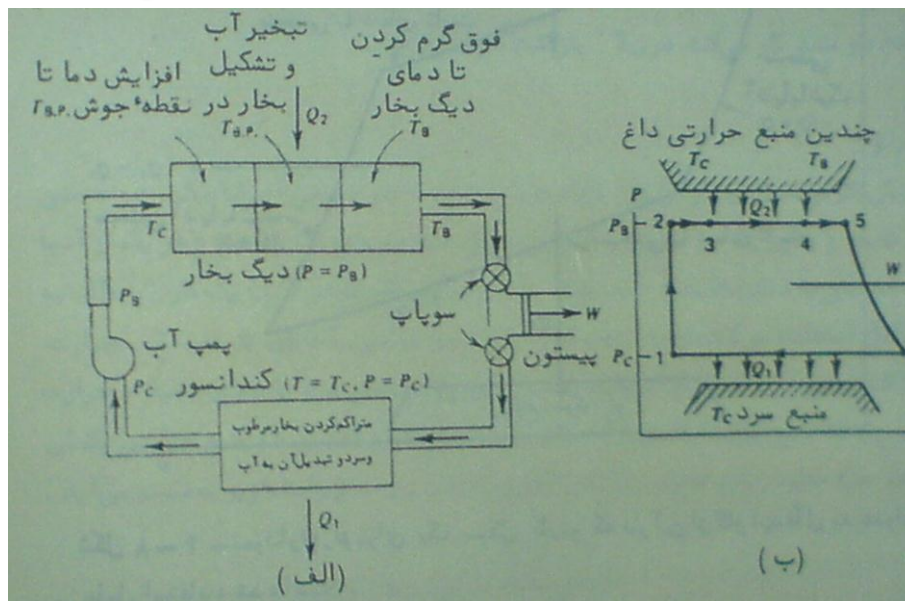
4 → 3 گرمایش در فشار و دمای ثابت برای تبدیل شدن آب به بخار

5 → 4 فوق گرم شدن بخار تا دمای دیگر بخار (T_B) در فشار ثابت.

6 → 5 انبساط آدیاباتیک بخار به بخار سرد مرطوب (بخار به اضافه آب).

1 → 6 تراکم بخار در فشار و دمای ثابت و تبدیل آن به آب در دما و فشار کندانسور

(P_c, T_c)



شکل 3-4

حد بالایی نظری بازده یک ماشین بخار، بر اساس فرمول کارنو عبارت است از:

$$\eta_{\text{کارنو}} = \frac{T_B - T_C}{T_B} \quad (10-3)$$

که T_C ، T_B به ترتیب دمای دیگ بخار و دمای کندانسور است. لکن از روی سیکل رانکاین می توان یک حد پایینتر و منطقی به دست آورد. در متون استاندارد مهندسی در مورد علم ترمودینامیک ثابت شده است که بازده سیکل رانکاین را می توان به شکل زیر بیان کرد.

$$\eta = \frac{w}{Q_2} = \frac{h_5 - h_6 - (p_B - p_C)v_w}{h_5 - h_1 - (p_B - p_C)v_w} \quad (11-3)$$

رانکاین که v_w حجم ویژه آب (تقریباً 0/018 فوت مکعب برپاوند یا 0/0625 متر مکعب بر کیلوگرم) به هنگام خروج از کندانسور و h خصوصیتی از آب است که به آنتالپی ویژه موسوم است. اگر دما و فشار جوش و کندانسور معلوم باشند، مقدار h در نقاط 1 و 5 و 6 در



نیروگاه خورشیدی

سیکل را می توان با استفاده از جدولهای معروف بخار به دست آورد (شکل 3-4 (ب) را ملاحظه کنید)

اینک کاربرد معادله 3-11 را برای دو وضعیت متفاوت دیگ بخار با استفاده از واحدهای مهندسی نشان می دهیم.

$$\text{مورد اول: } T_B = 260^\circ\text{C}, \quad P_B = 300 \text{ lb/ft}^2$$

$$\text{مورد دوم: } T_B = 149^\circ\text{C}, \quad P_B = 30 \text{ lb/in}^2 \text{ (4320 lb/ft}^2\text{)}$$

شرایط موجود در کندانسور در هر دو مورد $T_c = 39^\circ\text{C}$ و $P_c = 1 \text{ lb/in}^2$ (144 lb/ft²) است.

از جدولهای بخار در می یابیم که آنتالپی ها و بازدههای ویژه عبارتند از:

$$\text{مورد اول: } h_5 = 1256 \text{ Btu/lb} \quad \text{مورد دوم: } h_5 = 1190 \text{ Btu/lb}$$

$$h_6 = 876 \text{ Btu/lb} \quad H_6 = 966 \text{ Btu/lb}$$

$$h_1 = 70 \text{ Btu/lb} \quad h_1 = 70 \text{ Btu/lb}$$

$$(P_B - P_c) v_w = 0/1 \text{ Btu/lb}$$

$$(P_B - P_c) v_w = 1 \text{ Btu/lb}$$

$$\eta_1 = \frac{1265 - 876 - 1}{1265 - 70 - 1} = \%32$$

$$\eta_2 = \frac{1190 - 966 - 0/1}{1190 - 70 - 0/1} = \%20$$

همچنان که انتظار می رفت کاهش دمای دیگر بخار موجب تنزل بازده سیکل رانکاین می

شود.



اگر در معادله (3-10) از درجه حرارت کلوین استفاده کنیم در می یابیم که بازده کارنو برای این دو مورد به ترتیب 41 و 26 درصد است. بازده های واقعی ماشین بخار بندرت حتی از نصف حد رانکاین متناظر آن بیشتر می شود.

برای این که بازده یک ماشین بخار بیشتر از 15 درصد باشد، دمای دیگر بخار آن باید خیلی بیشتر از نقطه جوش عادی آب باشد. دمای دیگ بخار کارخانه های بخار معمولی که با سوخت فسیلی کار می کنند خیلی بیشتر از 204 درجه سانتیگراد است.

3-7- نیروگاه بخاری خورشیدی - بازده کلی:

یک ماشین بخار را نیز می توان توسط یک دیگ بخار که با نیروی خورشید داغ می شود به حرکت درآورد. به این شرط که بتوانیم به دماهایی خیلی بالاتر از نقطه جوش عادی آب دست یابیم. از آنجا که غالب جمع کننده های تخت خورشیدی (با هر بازده عملی) نمی توانند به چنین دماهایی برسند، عموماً از رشته های متمرکز کننده استفاده می شود.

انرژی متمرکز شده خورشیدی، بطرف گیرنده سیاه شده یک جمع کننده خورشیدی هدایت می شود که خود به طور گرمایی با آب درون دیگ بخار بستگی و پیوند دارد.

مقداری از حرارت توسط جمع کننده در محیط اطراف تلف می شود و در نتیجه میزان واقعی حرارت داده شده به دیگ بخار برابر است با:

$$\dot{Q}_2 = \eta_c \dot{Q}_{inc} \quad (12-3)$$



که η_c بازده جمع کننده و \dot{Q}_{inc} توان خورشیدی دریافت شده است. در واقع، η_c در برگیرنده بازده حرارتی و نیز بازده نوری است. بازده کلی ماشین که با انرژی خورشید به حرکت در می آید (ماشین خورشیدی) برابر است با:

$$\eta = \frac{P}{\dot{Q}_{inc}} = \frac{\dot{Q}_2}{\dot{Q}_{inc}} \cdot \frac{P}{\dot{Q}_2} = \eta_c \cdot \eta_E \quad (13-3)$$

که $\eta_E = \frac{P}{\dot{Q}_2}$ ترمودینامیکی ماشین بخار است. با زیاد شدن دمای کار رشته، دمای دیگ بخار و در نتیجه بازده ماشین افزایش می یابد، اما بازده رشته به علت افزایش تلفات حرارتی، تقلیل می یابد. در نتیجه، باید یک دمای کار وجود داشته باشد که در آن بازده کلی بهترین مقدار خود را داشته باشد.

کل توان تولید شده توسط ماشین خورشیدی عبارت است از:

$$P = \eta \dot{Q}_{inc} = \eta \cdot A \cdot F_{inc} \quad (14-3)$$

که F_{inc} شار دریافت شده و A مساحت موثر رشته است. برای یک بازده کلی، قدرت خروجی کارخانه با اندازه رشته متناسب است. یک نیروگاه خورشیدی مرکزی که 5 مگاوات توان و با بازده 15 درصد تولید می کند باید 33/2 مگاوات توان از خورشید دریافت کند. به فرض این که شار تابیده $F_{inc} = 1000 \text{ w/m}^2$ باشد، حداقل مساحت رشته که توان دریافت می کند باید 33300 مترمربع باشد. ساخت یک متمرکز کننده واحد که مساحتی به این بزرگی داشته باشد غیر عملی و غیر ممکن است. در عوض، می توان با به کار بردن رشته ای



نیروگاه خورشیدی

آینه های تخت عمل تمرکز را انجام داد، بطوری که هر یک از آینه ها طوری قرار داده شوند که انرژی خورشیدی تابیده شده به طرف قسمت گیرنده دیگ بخار منعکس شود.

قسمت گیرنده در بالای یک برج و آینه ها در اطراف آن، روی زمین قرار دارند. توجه کنید که فاصله آینه ها باید چنان باشد که آینه هایی که به برج نزدیکترند مانع رسیدن نور خورشید از آینه های پشت خود نشوند. از این رو، به یک محل باز و گسترده که از کل مساحت آینه ها وسیعتر باشد نیاز است. بعلاوه، به علت مایل بودن پرتوهای خورشیدی مساحت موثر هر آینه کوچکتر از مساحت واقعی آن است. توان هدایت شده توسط N آینه، که مساحت هر یک برابر A است، برابر است با:

$$A \cdot \sum_{i=1}^N \cos \theta_i \leq N \cdot A \cdot I_{\text{مستقیم}} \quad (15-3)$$

$$\dot{Q}_{inc} = I_{\text{مستقیم}}$$

که $I_{\text{مستقیم}}$ شدت پرتو مستقیم خورشیدی و زاویه تمایل (کجی) هر آینه است.

حتی برای به کار انداختن یک نیروگاه بخاری متوسط که با انرژی خورشیدی کار می کند به تعداد زیادی آینه تخت و زمین خیلی وسیع نیاز است. البته، تنها عامل مهمی که کاربرد این نیروگاههای مرکزی را محدود می کند نیاز آنها به ردیاب است. برای این که نیروگاه با بازده خوبی کار کند، تمام آینه ها باید در خلال روز خورشید را دنبال کنند تا مطمئن شویم پرتوهای خورشیدی بطور پیوسته متوجه قسمت گیرنده دیگ بخار هستند. عمل تعقیب به دستگاه پرهزینه و پیچیده ای نیاز دارد. چنین رشته های بزرگی به راحتی می توانند در اثر



نیروگاه خورشیدی

وزش باد، خطای ردیابی داشته باشند. بعلاوه، گرد و غبار و امثال آن که همراه باد هستند سطح آینه ها را فرسایش می دهند مگر آن که برای جلوگیری از آن از قبل تدابیر احتیاطی خاصی صورت می گیرد.

هزینه های اولیه پروژه نیروگاه بارستو در کالیفرنیا، که در آن برای تولید (حداکثر) 10 مگاوات توان از این روش استفاده می کند بیش از 130 میلیون دلار بود. هزینه های نهایی حتی از این نیز می توانند بیشتر باشند و خروجی متوسط کمتر از مقدار تخمین زده باشد.

با وجود این، باید تذکر داد که دریک سیستم انرژی خورشیدی هزینه ها به ساخت قطعات و نصب و نگهداری سیستم مربوطند. چون انرژی لازم برای به کار انداختن نیروگاه توسط خورشید تولید می شود، افزایش هزینه های سوخت ممکن است نیروگاه بخاری با سوخت خورشیدی را مقرون به صرفه کند.

3-8- ماشینهایی که با هوای داغ کار می کنند - سیکل استرلینگ:

یک نوع ماشین کوچک که به نظر می آید برای کاربردهای غیرمرکزی انرژی خورشیدی مفید باشد ماشین هوای داغ است. ماشین هوای داغ ماشینی است که از هوا به عنوان عامل استفاده می کند.

چنین ماشینی از سیکلی استفاده می کند که می توان آن را توسط چهار فرایند بازگشت پذیر گاز ایده آل به نام سیکل استرلینگ مشابه دانست. این سیکل شامل منحنیهایی در دمای ثابت و حجم ثابت، به طور یک در میان است.



ابتدا در مرحله اول هوای سرد با حجم V_a که در سیلندر سرد T_c قرار دارد از طریق یک شبکه سیمی بزرگ به نام بازیاب به سیلندر داغ T_H رانده می شود و هوا حرارت را از شبکه سیمی جذب می کند. به این ترتیب، بازیاب به عنوان چند منبع حرارتی عمل می کند که بتدریج با وارد شدن به سیلندر داغ دمای هوا را از دمای T_c به T_H افزایش می دهد.

در این عمل حجم هوا تغییر نمی کند و معادل V_a است. بنابراین، این فرایند را می توان با گرمایش بازگشت پذیر در حجم ثابت شبیه سازی کرد که در آن دما و فشار افزایش می یابد ولی حجم ثابت می ماند. مقداری از حرارت Q' جذب می شود بی آنکه کاری انجام شود. در حالی که هوا در درون سیلندر داغ است حرارت Q_2 را در دمای ثابت T_H جذب می کند. در اثر این کار، هوا در دمای ثابت تا v_b منبسط می شود و فشار آن کاهش می یابد.

در خلال این انبساط با دمای ثابت، هوا کار انجام می دهد. سیلندر داغ از خورشید انرژی

می گیرد و دمای آن در T_H ثابت می ماند، البته میزان انرژی گرفته شده همان حرارت Q_2 است. پس از آن گاز به درون سیلندر سرد رانده می شود. با عبور گاز از شبکه سیمی،

حرارت به بازیاب برگشت داده می شود و گاز مذکور قبل از ورود به سیلندر سرد تا دمای T_c سرد می شود (حجم ثابت و در مقدار V_b باقی می ماند).

به این ترتیب، فرایند را می توان با فرایند سرمایش بازگشت پذیر با فشار ثابت شبیه سازی کرد. فشار با دما تقلیل می یابد ولی کار انجام نمی شود. در طی فرایند نهایی گاز بصورت فرایند دمای ثابت در دمای T_c متراکم می شود. با رسیدن حجم به مقدار اصلی خود



V_a فشار افزایش می یابد. کار بر روی هوا صورت می گیرد و حرارت Q_1 به یک منبع سرد - که معمولاً هوای محیط است - پس داده می شود.

می توان ثابت کرد که اگر هوا مانند یک گاز ایده آل عمل کند، حرارت جذب شده از بازیاب در خلال گرمایش با حجم ثابت، دقیقاً معادل حرارت پس داده شده در خلال سرمایش با حجم ثابت است. در واقع، پس از یک سیکل کابل، حالت ترمودینامیکی منبع بازیاب بدون تغییر باقی می ماند. در نتیجه، در محاسبه بازده، حرارت داده شده به بازیاب و حرارت گرفته شده از آن را می توان نادیده گرفت. (پروفیل دمای بازیاب در واقع، توسط هوای داغی که به جلو و عقب رانده می شود، تولید و حفظ می شود). محاسبه مستقیم سیکل بازگشت پذیر استرلینگ ثابت می کند که بازده این سیکل برابر است با:

$$\eta = \frac{T_H - T_C}{T_H} \quad (16-3)$$

استرلینگ از این رو، بازده سیکل بازگشت پذیر استرلینگ عیناً مانند سیکل کارنو است. به این شرط که عامل مانند یک گاز ایده آل عمل کند. چون هوا کاملاً شبیه یک گاز ایده آل عمل می کند، حد نظری برای بازده یک ماشین استرلینگ تا آنجا می تواند افزایش یابد که قانون دوم ترمودینامیک اجازه می دهد. البته مسئله این است که آیا می توان فرایندهای ماشین هوای گرم واقعی را در یک حالت تقریباً بازگشت پذیر انجام داد یا نه. برای مثال، چون هوا یک هادی حرارتی خوب نیست، مشکل است در سیلندر داغ به صورتی به آن حرارت داد که شباهتی به یک منحنی بازگشت پذیر با دمای ثابت داشته باشد. از کارهای



نیروگاه خورشیدی

دیگر مانند هلیوم و هیدروژن که هادیهای حرارت مناسبتری هستند نیز استفاده می شود. متأسفانه ، احتمال نشت این گازها به خارج از ماشین وجود دارد.

سیکلهای بازگشت پذیر دیگری برای ماشینهای هوای داغ وجود دارد که بازده آنها را می توان به بازده سیکل کارنو نزدیک کرد. یکی از این سیکلها، سیکل اریکسون است که در آن منحنیهای با حجم ثابت سیکل استرلینگ جای خود را به منحنی های فشار ثابت می دهد. در روی این منحنی های با فشار ثابت است که فراین دبازیابی به کار می رود . از ماشین اریکسون عموماً برای چرخاندن توربینها استفاده می شود نه برای به حرکت درآوردن پیستونها.

کار در هر سیکل ماشین استرلینگ برابر است با:

$$W = wR(T_H - T_C) \ln \frac{V_b}{V_a} \quad (17-3)$$

سیکل که **N** تعداد مولهای گاز عامل و **R** ثابت گاز ایده آل است. با بزرگ شدن اندازه ماشین مقدار کار در هر سیکل زیادتر می شود. توان خروجی یک ماشین حرارتی عبارت است از :

$$P = W \times F \quad (18-3)$$

که **F** سرعت موتور (بر حسب سیکل ثانیه) است. توان خروجی با بیشتر کردن سرعت ماشین قابل افزایش است. البته، یک حد علمی برای سرعت کار یک ماشین وجود دارد. در نتیجه توان خروجی بزرگ به مقدار زیادی کار در هر سیکل نیاز دارد و این به معنای آن



نیروگاه خورشیدی

است که اندازه فیزیکی ماشین باید بزرگ باشد. ماشین های هوای داغ ساخته شده اند که در دماهای پایین تر از دمای ماشین های بخار کار کنند و بازده کاری گزارش شده آنها معادل 70 درصد حد کارنو است. در عین حال این ماشین ها نسبتاً کوچک هستند و برای تولید نیروی الکتریسیته غیرمتمرکز بسیار مناسب هستند.



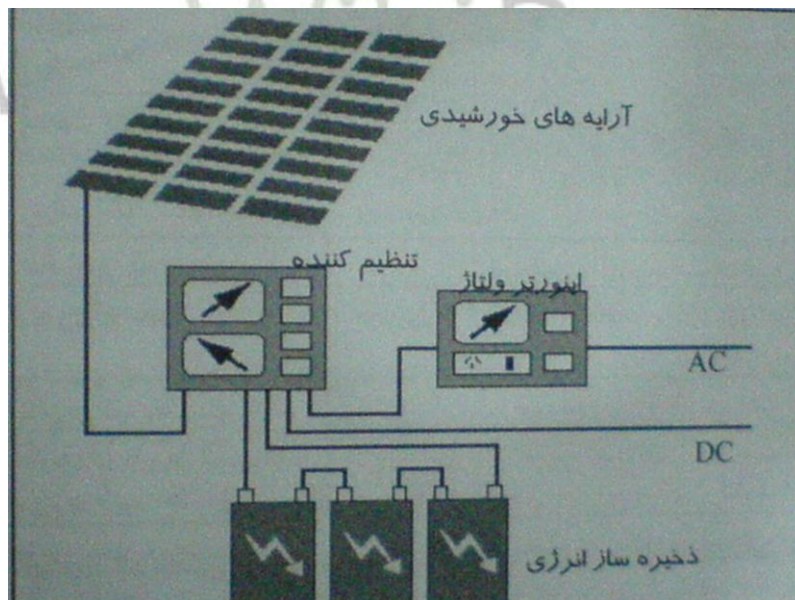
www.WikiPower.ir



فصل 4- نیروگاه های فتوولتایی

4-1- اجزای نیروگاههای فتوولتاییک

یک نیروگاه فتوولتاییک، به طور کلی از چهار قسمت اصلی آرایه خورشیدی، تنظیم کننده (تنظیم کننده نقطه توان حداکثر، تنظیم کننده ولتاژ، میزان شارژ و (شارژ باطری)، واحد ذخیره سازی انرژی و اینورتر ولتاژ (در صورت نیاز به ولتاژ متناوب) تشکیل می گردد. اگر چه با توجه به نیاز مصرف کننده ها و هم چنین برای کاهش هزینه این سیستمها، می توان در بعضی از کاربردها مثلاً از باتری یا اینورتر ولتاژ صرف نظر کرده ولی سیستم های اصولی، تمامی اجزای فوق را دارا می باشند. (شکل 4-1) طرح یک سیستم فتوولتاییک خارج از شبکه را نمایش می دهد.



شکل (4-1) طرح یک سیستم فتوولتاییک خارج از شبکه



4-1-1- آرایه خورشیدی

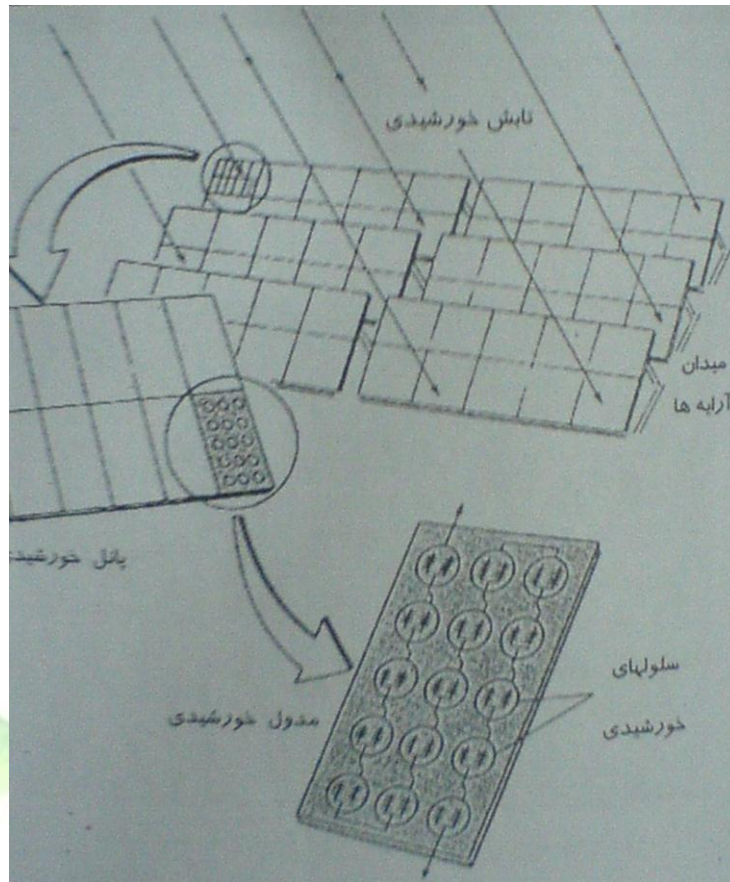
کوچکترین و اساس ترین قسمت یک آرایه خورشیدی را سلول های خورشیدی تشکیل می دهند. این سلولهای زمانی که در مقابل نور قرار دارند، مثل یک باتری کوچک تولید برق عمل می کنند. یک سلول فتوولتاییک معمولاً به ضخامت 300 میکرون و از صفحات دایره ای با قطر 3 تا 9 سانتیمتر ساخته می شود.

مساحت سلول ها تأثیری روی ولتاژ تولید شده توسط آنها ندارد و معمولاً هر سلول دارای ولتاژی برابر با 0/5 ولت می باشد، اما شدت جریان حاصل در سلول ها تابع مساحت سلول و شدت تشعشع خورشید می باشد.

با ازدیاد درجه حرارت، قدرت تولید سلول ها کاهش پیدا می کند. برای افزایش جریان دو ولتاژ ، سلول ها را به طور گروهی با اتصال سری و موازی در یک واحد بزرگتر نصب می نمایند. به این واحد بزرگتر مدول می گویند.

با نصب تعداد از مدول های خورشیدی بر روی یک صفحه نگهدارنده واحدی بزرگتری به دست می آید، که پانل خورشیدی نامیده می شود. با اتصال تعدادی پانل به یکدیگر، زیر آرایه ها ایجاد می گردند.

میدانی که در آن تعداد زیر آرایه در کنار هم قرار می گیرند، میدان آرایه ها نامیده می شود. شکل (4-2) نمای شماتیک سلول ، مدول، پانل و آرایه خورشیدی را نمایش می دهد.



شکل (2-4) نمای شماتیک سلول ، مدول پانل و آرایه خورشیدی

4-1-1- سلولهای خورشیدی

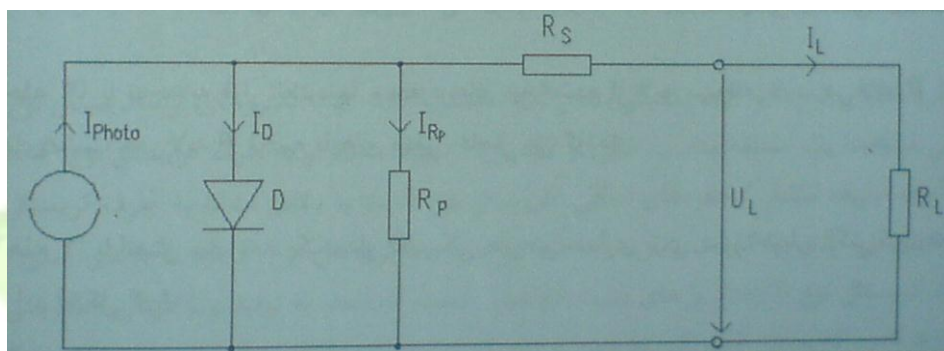
سلولهای خورشیدی به عنوان جزء اساسی یک نیروگاه فتوولتائیک بدون استفاده از سیکل ترمودینامیک یا سیال عامل، انرژی تشعشعی فوتون های نور خورشید را مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می کنند.

این سلولها می توانند خودشان جمع کننده نور باشند و یا از متمرکز کننده های نوری مانند آینه یا عدسی محدب استفاده کنند. سلولهای خورشیدی می توانند با بازدهی بین 5 تا 25 درصد عمل تبدیل انرژی را انجام دهند. امروزه موثرترین و ارزان ترین سلولهای خورشیدی از سیلیسیم ساخته می شوند.



الف - 1) تعاریف و مشخصه های الکتریکی سلولهای خورشیدی

مدار معادل: یک سلول خورشیدی را زمانی که در مقابل تشعشعات خورشیدی قرار گرفته است و به آن باری متصل می باشد، می توان از نظر الکتریکی به طور ساده مطابق با شکل (3-4) مدل نمود. این مدار ترکیبی از یک منبع جریان ، یک دیود ، یک مقاومت سری و یک مقاومت موازی می باشد.



شکل (3-4) مدار معادل یک سلول خورشیدی در وضعیت تولید انرژی و بارگیری

مقاومت ها در مدار معادل، معرف تلفات در سلول می باشند. تلفات در سلول معلول مواردی نظیر انعکاس نور خورشید در سطح سلول، جذب فرتونها بدون ایجاد الکترون و حفره های آزاد ، ترکیب مجدد الکترون و حفره های آزاد شده و ... می باشد. با صرف نظر نمودن از مقاومت موازی داخلی، معادله مشخصه سلول خورشیدی به شکل زیر قابل بیان می باشد:

$$I_L = I_{photo} - I_{sat} \left\{ \exp \left[\frac{q}{A.K.T} (U_L + I_L.R_S) \right] - 1 \right\} \quad (1-4)$$

که در آن I_{photo} معرف جریان تولید شده توسط تابش نور، I_{sat} مصرف جریان اشباع معکوس، A معرف ضریب وابسته به همجنس نیمه هادی ، q معرف بار یک الکترون، k معرف



ثابت بولتزمان، معرف ثابت بولتزمان، T معرف دمای سلول بر حسب درجه کلوین و R_s معرف مقاومت سری سلول می باشد.

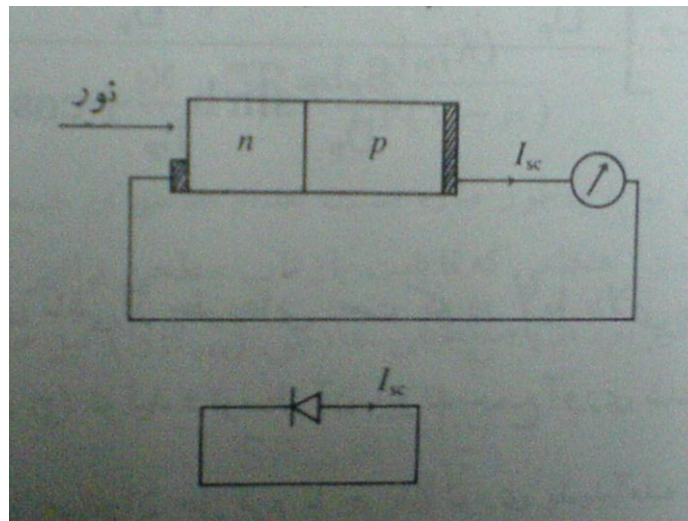
معادله ولتاژ خروجی سلول ، مطابق رابطه ذیل قابل بیان می باشد:

$$U_L = -I_L \cdot R_S + \frac{A \cdot K \cdot T}{q} \cdot \ln \left[\frac{I_{photo} - I_L + I_{sat}}{I_{sat}} \right] \quad (2-4)$$

4-1-1-2- شدت جریان اتصال کوتاه:

اگر دو انتهای یک دیود را به وسیله یک هادی اتصال کوتاه کنیم هیچ جریانی در مدار مذکور جاری نخواهد شد، زیرا ولتاژ دو سر دیود صفر است. بین تمایل جریان حاصل به علت عمل انتشار و اثر باز دارندگی مانع پتانسیل موجود در محل پیوند توازن حساس وجود دارد.

همانطور که در شکل (4-4) نشان داده شده ، با تابش نور بر روی دیود این توازن به هم می خورد و جریانی که آن را بدرستی جریان اتصال کوتاه I_{sc} ، نامیده انداز انتهای طرف P به انتهای طرف n در مدار جاری می شود.



شکل (4-4) نمای کلی جهت جریان اتصال کوتاه که توسط نور تولید شده است. لایه جلو که در این شکل

نوع n است. معمولاً یک ناحیه پخش است و ناحیه p بدنه یا پایه است.

مناسب ترین راه تجزیه و تحلیل جریان اتصال کوتاه، تقسیم طیف خورشیدی است به چندین بخش، که هر یک از آنها گسترده باریکی از طول موج را در بر می گیرد و سپس یافتن جریان ناشی از هر یک از این بخش های طیفی، چون هر یک از این بخش های طیفی اساساً تک رنگ هستند می توان از یک طول موج منفرد λ و یک ضریب جذب α استفاده کرد. چنانچه $F(\lambda)$ تعداد فرتونهای تأیید شده در این بخش طیفی بر سانتی متر مربع بر ثانیه باشد، میزان تولید حاصل (برحسب $\text{cm}^{-3}\text{s}^{-1}$) به قرار زیر است.

$$G_{(X)} = \alpha F(1 - R)e^{-\alpha x} \quad (3-4)$$

که R مقدار باز تابندگی سطح سلول خورشیدی بوده و به طور کلی تابعی از λ است.

معادلات پیوستگی حامل اقلیت عبارتند از:

$$\frac{djn}{dx} = \frac{np - np_0}{q^{TP}} + G(X) = 0 \quad \text{برای الکترونها در ماده نوع p} \quad (4-4)$$



$$n \frac{djn}{dx} = \frac{P_n - P_{n0}}{q^{TP}} - G(X) = 0 \quad \text{برای حفره ها در ماده نوع} \quad (5-4)$$

که در فرمول های بالا J_n و J_p از رابطه های زیر به دست می آیند:

$$J_n = q\mu_n n_p E + \mathcal{D}_n \frac{dnp}{dx} \quad (6-4)$$

$$J_p = q\mu_p n_n E - \mathcal{D}_p \frac{dnp}{dx} \quad (7-4)$$

که در روابط بالا J چگالی جریان، μ قابلیت تحرک و $D = \frac{KT\mu}{q}$ ضریب انتشار است.

اندیسهای n, p بر الکتروونها و حفره ها دلالت دارند به جز در مورد n_p, p_n که به ترتیب تراکم

الکترون در طرف p و تراکم حفره ها در طرف n است. اندیس 0 معرف حالت تقارن است.

به فرض اینکه میدان های الکتریکی خارج از ناحیه ی تخلیه صفر باشد، پاسخ کلی معادله

(5-4) به قرار زیر است:

$$p_n(x) - p_{n0} = A \cosh \frac{x}{L_p} + B \sinh \frac{x}{L_p} - \frac{\alpha F(1-R)\tau p}{\alpha^2 L_p^2 - 1} e^{-\alpha x} \quad (8-4)$$

مقادیر A, B را می توان از روی شرایط مرزی تعیین کرد معادلات شرایط مرزی عبارتند

از :

$$P_n = P_{n0} e^{9v/KT} \quad x = x_j \quad (9-4)$$

$$N_p = n_{p0} e^{9v/KT} \quad x = x_j + w \quad (10-4)$$



$$s_p (p_n - p_{n0}) = D_n \frac{dp_n}{dx} - \mu_p p_n R_p x = 0 \quad (11-4)$$

$$s_n (n_p - n_{p0}) = D_n \frac{dn_p}{dx} - \mu_n n_p E_n x = H \quad (12-4)$$

در معادلات بالا s سرعت ترکیب مجدد سطحی می باشد.

شرایط مرزی قابل اعمال هستند مگر در حالتی که در معادلات (9-4) و (10-4) باشد (یعنی اتصال کوتاه باشد).

جریان نوری پدید آمده حفره در محل پیوند ، $x=x_j$ عبارت است از :

$$J_p = \left[\frac{9F(1-R)\alpha L_p}{\alpha^2 L P^2 - 1} \right] \frac{\frac{S_p L_p}{D_p} + \alpha L P - e^{-\alpha x_j} \left(\frac{S_p L_p}{D_p} \cosh \frac{x_j}{L_p} + \sinh \frac{x_j}{L_p} \right)}{\frac{S_p L_p}{D_p} \sinh \frac{x_j}{L_p} + \cosh \frac{x_j}{L_p}} - \alpha L p e^{-\alpha x_j} \quad (13-4)$$

این جریان نوری ناشی از حفره‌هایی است که در لایه بالایی یک سلول خورشیدی با پیوند

$\frac{n}{p}$ تولید و توسط آن پیوند جمع آوری شده است. به طور مشابه ، معادله (4-4) را نیز می

توان حل کرد تا جریان نوری پدید آمده از الکترون‌ها، که از لایه p پشت پیوند در محل پیوند جمع دشته اند ، به دست آید.

میدان الکتریکی ناحیه تخلیه به قدری قوی است که تقریباً همه حامل های پدید آمده از

نور قبل از آنکه فرصت یابند دوباره با هم ترکیب شوند، از ناحیه تخلیه رانده میشوند.



بنابراین، جریان نوری حاصل از ناحیه تخلیه (J_{d2}) برابر تعداد فوتونهای جذب شده ضرب در q است:

$$J_{dr} = qF(1-R)e^{-\alpha x_j}(1-e^{-\alpha w}) \quad (14-4)$$

که در معادله فوق مقدار w برابر است با:

$$w = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q}}(v_d - v) \frac{N_a + N_d}{N_a N_d} \quad (15-4)$$

که در آن ϵ_s نفوذ پذیری نیمه هادی را نشان می دهد.

کل جریان نوری اتصال کوتاه (J_{sc}) برابر مجموع جریان پدیده از حفره ها و جریان پدید آمده از الکترونها و جریان پدید آمده از ناحیه تخلیه است. اگر در معادله های (4-13) و (4-14) به جای اندیس n ، اندیس p و بالعکس قرار دهیم، می توانیم آنها را برای سلول های $\frac{p}{n}$ بنویسیم. جریان اتصال کوتاه تابعی از طرح سلول بوده و متناسب با شارفتونی است.

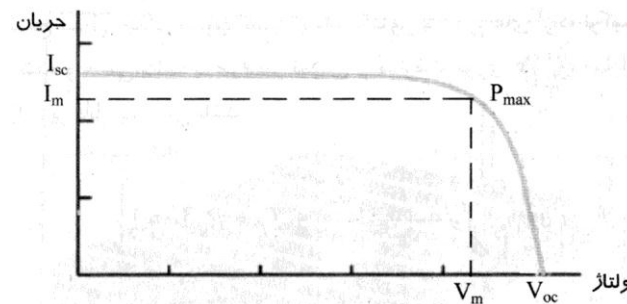
ولتاژ مدار باز: ولتاژ دو سر یک سلول را هنگامی که بار خارج به آن متصل نباشد، ولتاژ مدار باز می نامند توان خروجی یک سلول خورشیدی: حاصلضرب ولتاژ دو سر سلول و شدت جریان عبوری از مدار، را هنگامی که یک بار به سلول متصل شده باشد، توان خروجی سلول می نامند.



نیروگاه خورشیدی

مشخصه ولتاژ - جریان : ارتباط میان ولتاژ دو سر یک سلول و شدت جریان الکتریکی به

ازای بارهای مختلف در شکل (4-5) نمایش داده شده است:



شکل (4-5) : مشخصه ولتاژ - جریان یک سلول خورشیدی

همانطور که در این شکل مشهود استفاده مشخصه ولتاژ جریان سلولهای خورشیدی شدیداً غیر خطی می باشد نقطه ای که در آن حاصلضرب ولتاژ و جریان بیشترین مقدار خود را داشته باشد و نقطه توان حداکثر **MPP** ، سلول نامیده می شود. این نقطه در شکل با P_{max} و ولتاژ و جریان متناظر با آن به ترتیب با V_m ، I_m نمایش داده شده اند. در این شکل **Voc** معرف ولتاژ مدار باز و I_{sc} معرف شدت جریان اتصال کوتاه است.

میزان مستطیلی بودن: منحنی مشخصه ولتاژ - جریان در نظر شکل ظاهری تا حدودی به مستطیل نزدیک می باشد، که این میزان نزدیکی را به فاکتوری موسوم به فاکتور پرکنندگی **FF** نمایش می دهند و مطابق رابطه زیر محاسبه می نمایند:

$$FF = \frac{V_m \cdot I_m}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (16-4)$$

هر قدر مقدار فاکتور پرکنندگی به عدد یک نزدیکتر باشد، سلول از نوع مرغوبتری است.

مقدار این فاکتور برای سلولهای تجاری موجود بین 0/6 تا 0/8 می باشد.



بازدهی سلولهای خورشیدی: همانطور که ذکر گردید ، حداکثر توان قابل استخراج از سلول خورشیدی که در صورت بارگیری مناسب از آن حاصل می شود ، نقطه توان حداکثر سلول نامیده می شود.

نسبت میزان حداکثر توان حاصله از سلول P_{max} به میزان کل توان دریافتی توسط آن P_t ، به عنوان بازدهی سلول خورشیدی η در نقطه توان حداکثر محسوب می گردد و مطابق رابطه ذیل محاسبه می گردد:

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_t} = \frac{P_{max}}{P_s \cdot A} = \frac{v_m \cdot I_m}{P_s \cdot A} = \frac{V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF}{P_s \cdot A} \quad (17-4)$$

در رابطه فوق A بیانگر سطح مفید سلول و P_s معرف شدت تابش خورشید می باشد.

3-1-1-4- عوامل تأثیر گذار بر منحنی مشخصه ولتاژ - جریان:

منحنی مشخصه ولتاژ - جریان همزمان با دو فاکتور میزان تابش خورشید و دمای محیط تغییر می کند. افزایش دما، اثرات نامطلوبی بر عملکرد سلولها دارد و به طور کلی بازدهی آنها را کاهش می دهد.

میزان افت ولتاژ مدار باز سلولها حدود 0/3 تا 0/4 درصد برای هر درجه افزایش دمای محیط می باشد، در حالی که افزایش جریان اتصال کوتاه تنها حدود 0/025 تا 0/075 درصد باری هر درجه افزایش دما است، و نتیجه کلی کاهش بازدهی سلول به اندازه 0/05 درصد بازای هر درجه سانتیگراد افزایش های محیط می باشد.



الف - 2) مدار تشکیل دهنده سلولهای خورشیدی

متداول ترین سلولهای مورد استفاده خورشیدی از نوع سیلیکون می باشند. دلیل اصلی این امر، توسعه سریع، و تولید صنعتی سیلیکون، به صورت انبوه، هزینه کم و بازدهی بالای آن در مقایسه با سایر نیمه هادی ها می باشد. در سالهای اخیر سلولهای گالیوم - آرسناید (**GaAs**) بصورت جدی مطرح و مورد استفاده قرار گرفته اند. کاربرد سلولهای چند طبقه ای (متشکل از چند نیمه هادی) در مراحل تحقیقاتی می باشند و هنوز به صورت صنعتی تولید نشده اند.

از جمله مزایای گالیوم آرسناید در مقایسه با سلولهای سیلیکونی بازدهی بیشتر، عملکرد بهتر در شرایط تغییر دما و مقاومت بیشتر آنها در مقابل تشعشعات خورشیدی می باشد و از جمله محدودیتهای آنها وزن و قابلیت های شکنندگی بیشتر می باشد.

در حال حاضر بعلت تولیدات محدود قیمت سلولهای گالیوم - آرسناید در مقایسه با سلولهای سیلیکونی بیشتر می باشد.

جدول (w/kg) (1-4) نیمه هادیهای مورد استفاده در سلولهای خورشیدی

توان خروجی	ضخامت (mm)	بازدهی (%)	نوع سلول
75	503	15%	سیلیکون
85	2003	21%	گالیوم آرسناید



-	-	30٪	چند طبقه ای
---	---	-----	-------------

4-1-1-4- مدوله‌های خورشیدی

انرژی خورشیدی بسیار محدود می باشد، بنابراین برای به دست آوردن ولتاژ جریان بالا، سلولهای خورشیدی به صورت سدی و موازی استفاده می گردند. هنگامی که سلولها تنها بصورت سری استفاده شوند، خروج یک سلول از مدار باعث خرابی یا عدم تابش نو بدلیل خورشید گرفتگی با سایه باعث قطع انرژی کل سیستم خواهد شد. ترکیب سری - موازی سلولها در بهبود عملکرد سیستم هنگام خرابی یا خروج یک یا تعدادی از سلولها از سیستم کمک می کند و از تغییرات ناگهانی توان خروجی بعثت خروج یک یا تعدادی از سلولها از مدار جلوگیری می نماید.

در نتیجه اتصال سری و یا موازی سلولها، منحنی مشخصه آنها در محور ولتاژ (حالت سری) و یا در محور جریان (حالت موازی) با یکدیگر جمع می شوند. بدین ترتیب همواره یک منحنی واحد برای مجموع سلولها پدید می آید، که در ظاهر شبیه منحنی مشخصه یک سلول منفرد است.

4-2- سرمایه‌ش و جمع آوری انرژی حرارتی :

تمرکز نور خورشید مسلماً باعث بالا رفتن دمای سلول می شود. برای حفظ حداکثر بازده سلول باید از سرد کننده فعال یا غیر فعال استفاده کرد و این خود موجب افزایش هزینه سیستم خواهد شد.



از طرف دیگر، انرژی حرارتی به محصولی فرعی از سیستم های فتوولتایی متمرکز کننده تبدیل می شود که از لحاظ اقتصادی موجب افزایش هزینه خواهد شد.

دمای سلول از روی نفوذ توان حرارتی و مقاومت حرارتی مسیر گرما، R_o تعیین می شود.

$$\text{مساحت پیل} \times R_o (^{\circ}c/kw) \times (1-\eta) \quad (18-4)$$

$$T_c \approx T_a + 1(kw/m^2) \times X \times (m^2)$$

در این فرمول T_c دمای سلول T_a دمای هوا یا مایع سرد کننده محیطی ، X نسبت تمرکز

و η بازده سلول است. افزایش X سبب بالا رفتن می شود. با افزایش دمای سلول ، I_{sc}

شروع به بالا رفتن می کند که این به علت اصلاح طول عمرهای حاصل است ، اما عامل پر

کنندگی و ولتاژ مدار باز کاهش می یابند. تأثیر کلی این مطلب این است که بازده سلولهای

خورشیدی سیلیکونی عبارت است از :

$$\eta (T_c) = \eta (25^{\circ}c) \cdot [1 - 0.004(T_c - 25)] \quad (19-4)$$

واضح است که با به حداقل رسیدن T_c مقدار η به حداکثر می رسد و این خود باعث

خواهد شد هزینه مبدل حرارتی به حداکثر برسد.

3-4- مکانیسم تلف در سلولها :

در این بخش تلفاتی را مورد بررسی قرار می دهیم که در سلول های حقیقی می توانند

سبب کاهش بازده به اندازه کمتر از سطوح نظری (تا 24 درصد) شوند .



نیروگاه خورشیدی

4-3-1- تلفات نوری

این تلفات بر دو نوع اند:

- افت های بازتاب
- جذب خارجی غیر سودمند توسط لایه ها یا فصول مشترک

تلفات نوری ممکن است بین 5 تا 25 درصد متغیر باشد که از صفر تا ده درصد این رقم مربوط به جذب خارجی است. افت های بازتاب چندین سطح مشترک از حداقل 5 درصد تا 18 درصد متفاوت است که در مرز بین هوا و محفظه سلول (صفر تا 3 درصد) کنتاکت شفاف (5 تا 10 درصد با اختلاف اندک رنگ؛ اگر یک اکسید هادی به کار رود میزان تلفات بین صفر تا 2 درصد خواهد بود). سطوح مشترک نیمه هادی (صفر تا 5 درصد) و در محل کنتاکت (کمتر از 2 درصد) صورت می گیرند.

4-3-2- تلفات الکتریکی

این تلفات معمولاً به سه دسته تقسیم می شوند:

تلفات جریان که ناشی از حاملهای اقلیتی است که جمع آوری نشده و به حاملهای اکثریت تبدیل نگشته اند.

تلفات ولتاژ که تقلیل، V_{oc} به کمتر از ولتاژ حداکثر احتمالی است و از تحریک حاملها به باند هدایت درون نیمه هادی جذب کننده - تولید کننده ناشی می شود.



تلفات مقاومت که ناشی از مقاومت سری و موازی و نیز مشخصه نامطلوب دیود است و همگی اینها عامل پرکنندگی (**ff**) را در نقطه حداکثر توان کاهش می دهند.

سلول های مناسب، تلفات جریان ناشی از ترکیب مجدد حاملها در حجم سلول ممکن است از 5 تا 20 درصد، ترکیب مجدد سطحی از صفر تا 5 درصد است. تلف جریان ناشی از ترکیب مجدد در سطح مشترک یک سلول با پیوند ناهمگن قابل توجه است.

تلفات ولتاژ در سلولهای مسدود کننده شاتکی و سلولهای نوع پیوند pn با عوامل تعیین کننده V_{oc} مانند طول عمر ترکیب مجدد حجمی یا نرخ ترکیب مجدد سطحی و فصل مشترکی، و همچنین با شکاف انرژی و سطوح ناخالصی در طرفین مخالف پیوند کنترل می شود. در سطوح ناخالصی زیاد، کم شدن فاصله نوارها، اثرات نزول و ترکیب مجدد سبب افزایش میزان تلفات ولتاژ می شوند.

تلفات مقاومت سری از عبور جریان در مسیرهای مقاومتی درون لایه جلو سلول پیوند pn ناشی می شود و بنابراین به مواد زیر بستگی دارد:

فاصله بندی شبکه، ضخامت لایه مذکور و وجود هر گونه نقصان که باعث پراکندگی حاملها در آن لایه میشود. مقاومت موازی محدود ممکن است از نشت سطحی پیوند یا مسیرهای هدایت کننده ای ناشی شود که توسط انتشار ناخالصی ها در امتداد مرزهای دانه یا احتمالاً با ایجاد دالان هایی در میان پیوند به وجود می آیند که در آن دالانها ناخالصی نامتجانسی هست که میدان الکتریکی را متمرکز می کنند.



4-3-3- تلفات ناشی از فرایند های تنزل کارآیی

به چند دلیل ممکن است خروجی سلولهای خورشیدی به تدریج از مقادیر اولیه شان کمتر گردند. گرد و غبار بر روی پیل ها جمع می شوند ولی به تناوب می توان آن را پاک کرد. فرایندهای غیر قابل برگشت تنزل کار آیی درونی عبارتند از پراکندگی ناخواسته مواد اتصال یا ناخالصیها و حتی فرایند جدا سازی الکتریکی ماده در مناطقی که چگالی جریان زیاد است.

فرآیند های غیر ذاتی عبارتند از اکسیداسیون لایه های نیمه هادی، فساد اتصال یا پوشش ضد بازتاب و تیرگی محفظه به علت تشعشع ماورای بنفش و قرار گرفتن آنها در شرایط جوی مختلف و اثرات دوره ای دمای شدید در زمانی که سلول در حین کار است. در سایه قرار گرفتن یک مجموعه یکپارچه سری ممکن است پیل هایی که در سایه واقع می شوند را خراب کند. بر اثر ولتاژ بایاس معکوس پیل های تحت نور در صورتی که دیویدهای محافظ برسد راه آنها تعبیه نشده باشد صورت می گیرد.

4-4- تنظیم کننده نقطه حداکثر توان

هنگامی که یک آرایه خورشیدی در معرض تابش خورشید قرار می گیرد و باری تغذیه می نماید، لزوماً بارگیری بر نقطه توان حداکثر منطبق نمی باشد. لذا با توجه به قیمت زیاد آرایه خورشیدی ضروری است که همواره نقطه کار آن در نقطه توان حداکثر قرار گیرد تا بیشترین توان ممکن از آرایه جذب شود. حال سوال این است که درباره این عدم انطباق چه باید کرد؟

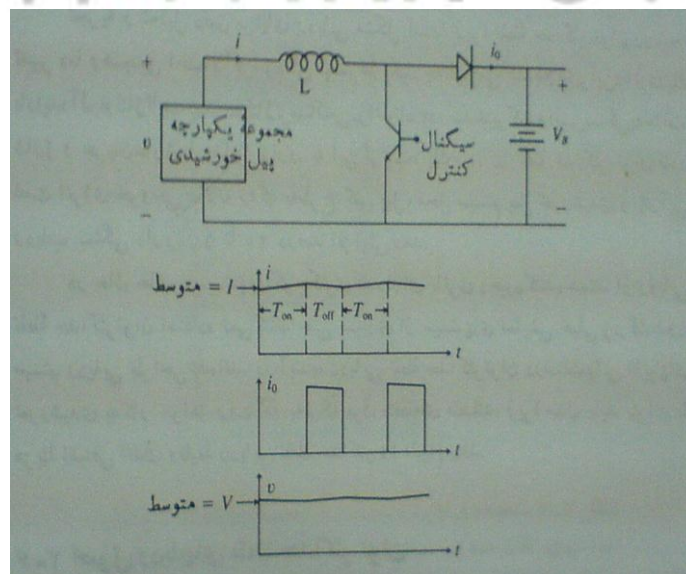


نیروگاه خورشیدی

آنچه واضح است این است که یک ترانسفورماتور **dc** مورد نیاز است. عمل تبدیل ولتاژ **dc** توسط مداری صورت می گیرد که به برش کننده یا کندرتور **dc** به **Dc** موسوم است.

در شکل 4-5 چنین مداری ترسیم شده . ترانزیستور مدار در حالت کلید زنی عمل می کند. این ترانزیستور یا قطع است (مدار باز) یا در ناحیه اشباع کار می کند. و تقریباً یک اتصال کوتاه را (با حداکثر چند ولت افت ولتاژ) تشکیل می دهد. هنگامی که این ترانزیستور وصل استفاده دیود بایاس معکوس است و جریان از خود عبور نمی دهد و جریان مجموعه یکپارچه سلول خورشیدی از سلف و ترانزیستور می گذرد. در این مدت جریان افزایش می یابد و انرژی ذخیره شده در سیم پیچ $(1/2Li^2)$ زیاد می شود .

هنگامی که ترانزیستور قطع است ، جریان مجموعه یکپارچه پیل از سلف و دیود می گذرد و به باتری می رسد. در این مدت، تفاوت بین V_B, V (نشان داده خواهد شد که V_B از V بزرگتر است) سبب کاهش جریان سلف می شود.



شکل (4-6) مدار ردیابی نقطه حداکثر توان



در یک دوره زمانی، انرژی خروجی مجموعه یکپارچه میباید در انرژی داده شده به باتری برابر باشد. با نادیده گرفتن تلفات انرژی در سلف، ترانزیستور و دیود خواهیم داشت:

$$V \cdot I \cdot (T_{on} + T_{ovv}) = V_B \cdot I \cdot T_{off} \quad (20-4)$$

در صورت حذف I از دو طرف معادله داریم:

$$V = \frac{T_{off}}{T_{on} + T_{off}} V_B \quad (21-4)$$

به این ترتیب فقط با تنظیم نسبت $\frac{T_{on}}{T_{off}}$ ، مجموعه یکپارچه می تواند با هر ولتاژی

کمتر از ولتاژ V_B کار کند.

چگونه می توانیم دریابیم که I, V چه موقع در نقطه حداکثر توان تنظیم شده اند؟

احتمالاً ساده ترین روش تشخیص آن است که در نقطه حداکثر توان، مشتق نسبت به V یا i معادل صفر باشد.

$$\frac{d(v \cdot i)}{dv} = v \frac{di}{dv} + i = 0 \quad (22-4)$$

$$\frac{di}{dv} = -\frac{i}{v} \approx -\frac{I}{V} \quad (23-4)$$



چون i, v به طور پیوسته تغییر می کنند (شکل 4-6) مشتق $\frac{di}{dv}$ را می توان در هر

سیکل حساب کرد و با $\frac{I}{V}$ مقایسه کرد. هرگاه آنها با هم برابر باشند، نقطه حداکثر توان به دست آمده است.

معادله (4-23). اگر $\frac{di}{dv}$ بزرگتر از $-\frac{I}{V}$ باشد، در این صورت v بزرگتر از ولتاژ نقطه

حداکثر توان است و باید افزایش $\frac{T_{on}}{T_{off}}$ آن را کاهش داد و برعکس.

برای جلوگیری از انحراف بیش از حد از نقطه حداکثر توان باید با استفاده از اندوکتانس (ضریب خودالقایی) زیاد یا مدت کم $T_{on} + T_{off}$ و یا هر دو، تغییرات i, v را محدود کرد. ترانزیستورهای وجود دارند که تا 100 آمپر و 500 ولت قابلیت تحمل دارند. برای دارا بودن توان بیشتر از ترانزیستور استفاده می کنیم.

4-5- واحد ذخیره سازی انرژی

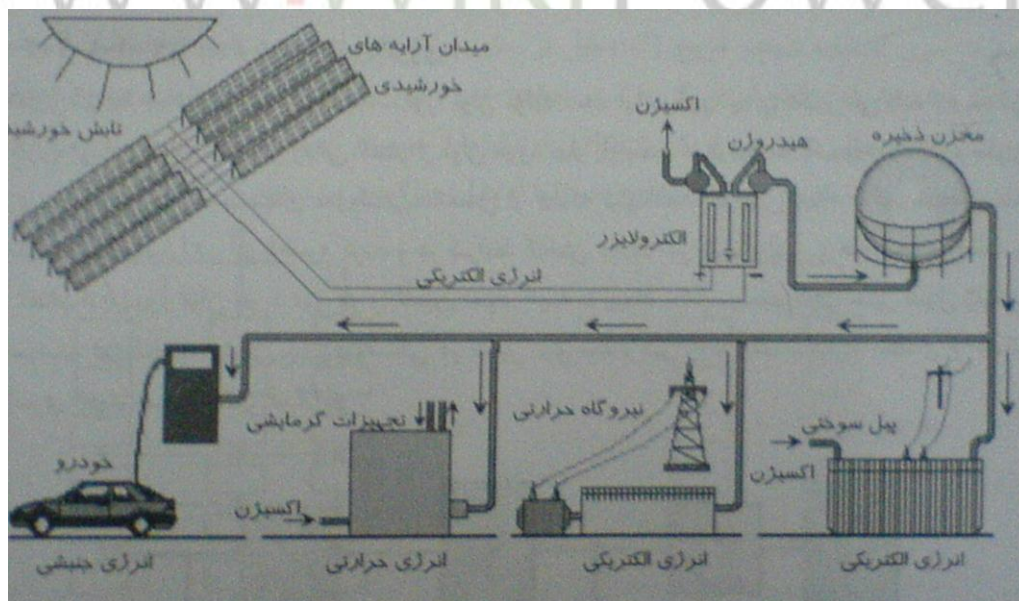
با تغییر شرایط محیط مانند دما و شدت نور، توان تولید شده آرایه خورشیدی تغییر می کند، که ممکن است زمانی این توان بیشتر و زمانی کمتر از توان مورد نیاز باشد. بنابراین به یک واحد ذخیره سازی انرژی به خصوص در سیستم های فتوولتایی منفصل از شبکه نیاز است، تا توان مازاد تولید شده توسط مبدل فتوولتاییک را در آن ذخیره کرده و در شرایط کاهش تولید، کمبود توان مورد نیاز بار را تأمین نماید. البته با پیوند یک سیستم مجزا و نظیر



نیروگاه خورشیدی

دیزل ژنراتور به سیستم فتوولتایی، نیز می توان پیوستگی در تأمین برق مشترکین را در یک سیستم منفصل از شبکه سراسری ایجاد نمود.

در مواردی که سیستم به شبکه متصل می باشد، الزاماً نیازی به ذخیره سازی انرژی تولیدی سیستم نمی باشد. در سالیان اخیر در کشورهای پیشرفته، از سیستم های متشکل از الکترولایزر و پیل سوختی جهت پشتیبانی از سیستم های فتوولتایی برای تولید بدون وقفه انرژی الکتریکی استفاده می گردد. در این سیستم ها، انرژی الکتریکی مازاد تولیدی در پانلهای خورشیدی، در دستگاه الکترولایز آب، جهت تولید هیدروژن مورد استفاده قرار می گیرد. هیدروژن حاصل در مخازنی ذخیره می گردد و در مواقع نیاز در پیل های سوختی تولید برق می نماید. از هیدروژن ذخیره شده، همچنین می توان در نیروگاههای متداول حرارتی برای تولید برق، در تجهیزات گرمایشی برای تولید گرما و حتی در خودروها به عنوان سوخت استفاده نمود.



شکل 4-7: تولید و ذخیره سازی هیدروژن توسط آرایه های خورشیدی و موارد کاربرد آن



نیروگاه خورشیدی

در حال حاضر، روش معمول جهت ذخیره سازی انرژی الکتریکی مازاد سیستم های فتوولتایی، استفاده از باتری های الکتروشیمیایی با قابلیت شارژ مجدد می باشد. انرژی ذخیره شده در باتریها، در مواقع مورد نیاز در دسترس مصرف کنندگان قرار می گیرد. باتری ها در انواع مختلف با سطوح ولتاژ، جریان ، ظرفیت و مدت زمان و شارژ متنوع طراحی و ساخته می شوند. جهت فراهم آوردن ظرفیت و ولتاژ مورد نظر، باتری ها از یک مجموع سری و موازی سلول که به سلول باتری معروف می باشند، استفاده می نمایند. هر سلول باتری از سه قسمت اصلی به نام های آند ، کاتد ، الکترولیت تشکیل می گردد.

در هنگام شارژ باتری الکترونها از آند با طرف بار جاری می شوند. این عمل باعث اکسید شدن آند و هم چنین احیاء مواد تشکیل دهنده کاتد (به علت جذب الکترونها) می گردد. در الکترولیت ، آنیون ها (یونهای منفی) به سمت آند و کاتیونها یا همان یونهای مثبت به سمت کاتد جاری می شوند. روند دشارژ باتری مشابه حالت شارژ می باشد. با این تفاوت که الکترودی که در حالت شارژ نقش آند را به عهده دارد، در حالت دشارژ نقش کاتد را به خود می گیرد.

در کاربرد باتری ها در سیستم فتوولتایی جهت ذخیره انرژی ، مسائلی مانند عمر باتری (حداکثر تعداد دفعات شارژ و دشارژ باتری) ، زمان شارژ و دشارژ ، دمای مناسب ، میزان تلفات انرژی هنگام شارژ و دشارژ و میزان دشارژ خود به خودی باتری باید در نظر گرفته شود. نوع باتری به کاربرد مبدل فتوولتاییک بستگی دارد. به عنوان مثال، در کاربردهای فضایی عمدتاً از باتری نیکل - کادمیم و یا نیکل - هیدروژن استفاده می شود. این باتری ها دارای ظرفیت بالایی می باشند. و در مقایسه با باتری های اسید - سرب نیاز به نگهداری



نیروگاه خورشیدی

کمتری دارند، اما گرانتز می باشند. برخی از مزایا و معایب باتری نیکل - کادمیم به شرح

زیر است:

مزایا:

- توانایی شارژ شدن بیش از حد مجاز بدون صدمه دیدگی
- توانایی باقی ماندن باشارژ ناچیز در مدت زمان زیاد بدون صدمه دیدن
- بالا بودن امکان حمل و نقل به دلیل تحمل مکانیکی بیشتر
- توانایی تحمل سرمای زیاد بدون صدمه دیدن

معایب:

- قیمت زیاد (در یک ظرفیت برابر باتری اسید - سرب، حدود سه برابر بیشتر است).
- بازدهی ذخیره انرژی کم (55 تا 60 درصد برای کاربرد فتوولتاییک)
- کاهش قابل توجه ظرفیت هنگام دشارژ کم در کاربرد فتوولتاییک

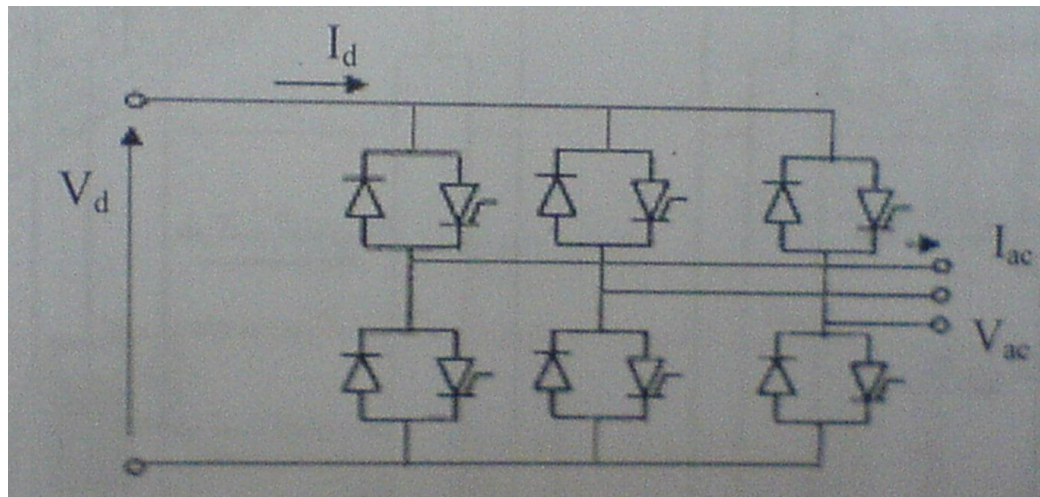
4-6- اینورتر ولتاژ

اگر خروج **Ac** برای مبدل مورد نظر باشد، به عنوان مثال در صورتی که می بایست انرژی تولیدی مبدل فتوولتاییک به شبکه قدرت تزریق شود، لازم است که ولتاژ خروجی **Dc** تولید شده مبدل، توسط یک مدار الکترونیکی، به ولتاژ متناوب تبدیل شود که بسته به نوع کاربرد می تواند تک فاز یا سه فاز باشد. مدار الکترونیکی مورد استفاده در تبدیل **Ac, Dc**، اینورتر نامیده می شود. ولتاژ **Dc** ورودی به اینورتر در یک نیروگاه فتوولتایی می تواند از



نیروگاه خورشیدی

خروجی آرایه های خورشیدی و یا خروجی باتری مورد استفاده در سیستم فتوولتاییک ، به وجود آمده باشد. در شکل (8-4) مدار یک اینورتر سه فاز **Dc** به **Ac** نمایش داده شده است.



شکل (8-4) اینورتر ولتاژ

ولتاژ فاز به زمین (V_{ph}) خروجی اینورتر در فرکانس پایه مطابق رابطه ذیل با ولتاژ **Dc** ورودی به اینورتر **Vc** در ارتباط می باشد.

$$V_{ph} = \frac{2\sqrt{2}}{\eta} \cos\left(\frac{\pi}{6}\right) \cdot v_d \quad (24-4)$$

ولتاژ خط به خط **Ac** خروجی اینورتر برابر $\sqrt{3} \cdot V_{ph}$ است. در حالت پایدار، مقدار توان **Dc** ورودی اینورتر (P_{DC}) مطابق رابطه ذیل برابر مجموع تلفات و توان **Ac** خروجی اینورتر (P_{ac}) می باشد.

$$P_{DC} = P_{AC} / \eta \quad (25-4)$$

در رابطه فوق η معرف بازدهی اینورتر می باشد.



4-7-1- نیروگاههای خورشیدی در مدار زمین

4-7-1-1- تولید توان توسط ماهواره های (sps)

این سیستم برای اولین بار توسط دکتر گلاسر در سال 1968 پیشنهاد شد و توسط سازمان ملی هوانوردی و فضایی ایالات متحده آمریکا (NASA) از سال 1972 مورد بررسی و تحقیق قرار گرفت.

4-7-1-1-1- جمع آوری نیرو:

به طور مسلم اولین مرحله کار نیروگاههای فضایی جمع آوری اشعه خورشیدی می باشد. سلولهای خورشیدی بعنوان یک وسیله ثابت و بدون احتیاج به تعمیرات و نگهداری وسیله خوب و مطلوبی برای این کار می باشند.

یک سلول خورشیدی فقط در حدود نصف ولت نیرو تولید می کند. اما اتصال تعداد زیادی از این سلولها صدها کیلو وات نیرو تولید می کند. در حالی که سیستم های فتوولتایی غیر متداول سعی در افزایش بازده تبدیل انرژی یا ذخیره انرژی دارند، سیستم تولید الکتریسیته توسط ماهواره ها تابش خورشیدی را بر روی جمع کننده خورشیدی افزایش می دهد و نیاز به ذخیره سازی انرژی را حذف می کند.

نیروی تولید شده را می توان توسط سیم به آنتن مرکزی ماهواره منتقل داد تا از آنجا به زمین فرستاده شود. برای انتقال نیرو به آنتن مرکزی می توان از سیمهای هادی بسیار قوی برای کاهش و جلوگیری از هدررفتن نیرو استفاده نمود. سرد بودن فضا عامل موثری برای نگهداری درجه حرارت در سطح خیلی پایین خواهد بود.



نیروگاه خورشیدی

سلولها صرف نظر از اوضاع جوی یا دوره شب و روز بیش از 99 درصد از زمان، تابش کامل AMO (عدد توده هوا که نشان دهنده شدت نور خورشید در سطح زمین **air mass**) دریافت می کنند. مقدار تابندگی آفتاب بر روی سلولها 32 kwh/m^2 در روز خواهد بود. برای مقایسه بهتر است بگوئیم که میزان تابندگی دراز مدت آفتاب در یک محل بیابانی بر روی زمین تنها حدود 6 kwh/m^2 در روز، بدون سیستم ردیابی خورشید $7/5 \text{ kwh/m}^2$ در روز با سیستم ردیابی خورشید است.

برای تولید 10 گیگاوات (100000 مگاوات) الکتریسیته در روی زمین و بازده کلی حدود 7 درصد به پانل خورشیدی که حدود 110 کیلومتر مربع وسعت دارد نیاز است.

برای تقلیل هزینه حمل و نقل مواد، ماهواره تولید کننده توان را می توان در مداری نزدیک زمین ساخت و پس از تکمیل خود خواهد توانست به دسته ای از موشک های رانشی - یونی نیرو دهد. این موشکها که برای مدت چندین ماه قادر به کار هستند ماهواره را در مدار ژئوسنکرون به فاصله 35700 کیلومتری بالای استوا خواهند راند. در این مدار ماهواره نسبت به زمین ثابت می ماند. ماهواره تولید کننده توان در فضا در نقطه ای ثابت در صفحه استوایی قرار گرفته و فاصله اش تا زمین حدود سه برابر قطر زمین است.

بدیهی است که پانل خورشیدی باید هر روز یک بار بچرخد تا بتواند خورشید را ردیاب کند (این در حالی است که آنتن موج مایکروویوی در همه حال رو به زمین است). پانل خورشیدی تمام تابش خورشیدی AMO را دریافت می کند به جز هنگامی که توسط سایه زمین پوشیده و تاریک می شود. این گرفتگی ها روزی یک بار در خلال 22 روز قبل و بعد



نیروگاه خورشیدی

از روزهای اعتدال بهاری (اول فروردین ماه) و اعتدال پاییزی (اول مهرماه) رخ می دهند. این گرفتگیها که همواره حوالی نیمه شب رخ می دهند، بیش از یک ساعت و 12 دقیقه طول نمی کشد و نتیجه دوره متوسطه سالانه کار بیش از 99 درصد است.

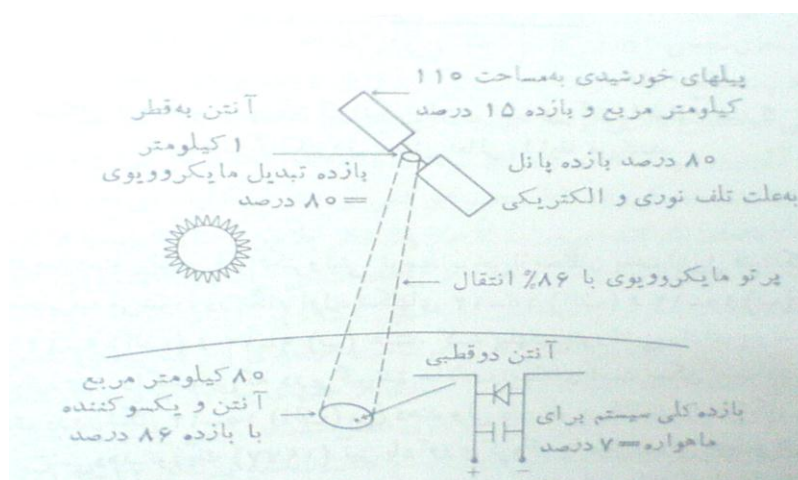
برای جلوگیری از هدر رفتن انرژی هنگام سایه شدن خورشید به وسیله زمین می توان از چند روش استفاده کرد

1- از دو ماهواره همزمان بفاصله 21 درجه جدا از هم استفاده نمود. چنین زاویه ای دو ماهواره را به اندازه 12640 کیلومتر از هم جدا می کند. این هر دو ماهواره در یک خط مستقیم و رو به یک نقطه معین نیست به زمین قرار می گیرند.

2- استفاده از یک رشته ماهواره که همه آنها به جز یکی می تواند متوالیاً به نیروگاه زمینی انرژی بفرستند.

3- استفاده از یک دسته ماهواره که هر کدام از آنها دارای ایستگاههای مختلف بر روی

زمین بر اساس زمان تعیین شده برای هر کدام هستند



شکل (4-9): پیلها



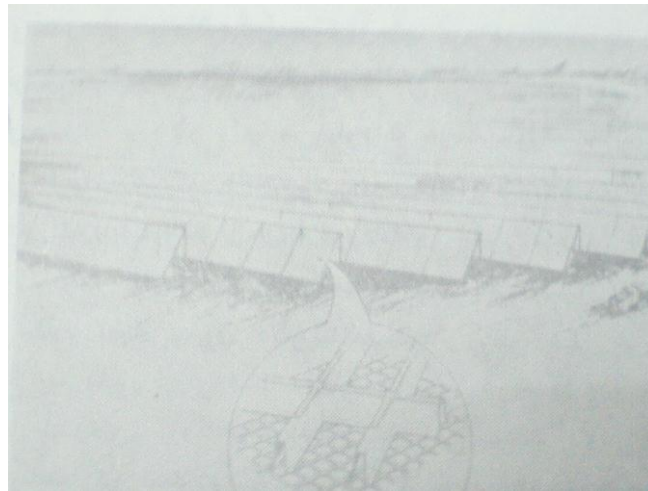
4-7-2- انتقال نیروگاه به زمین

مرحله بعدی پس از جمع آوری نیرو در دستگاههای انتقال دهنده مرکزی فرستادن این نیروی الکتریسیته به زمین می باشد. این نیرو به صورت کاملاً متفاوت یا از اشعه خورشیدی یا انرژی الکتریکی تولید شده به وسیله سلولهای خورشیدی به زمین فرستاده می شود، زیرا برای جلوگیری از هدررفتن انرژی و پائین آوردن درصد « افت » به حداقل ممکن از امواج میکروویو - که موجهای خیلی کوچک الکترومغناطیس می باشند. برای انتقال نیرو به زمین استفاده می شود.

امواج میکروویو شبیه امواج رادار هستند و درمورد استفاده و مشخصات و عملکرد این امواج الکترومغناطیس، دانشمندان اطلاعات وسیعی دارند.

انتقال درست و دقیق امواج میکروویو به زمین مشکلات زیادی دارد. دستگاه فرستنده باید برای حفظ کارایی سیستم انتقال و تأمین محیط زیست، امواج را مستقیماً به آنتن بی سیم در زمین منتقل کند.

زیرا در اجرای این کار اگر انحراف بیش از 500 فوت شود، نه تنها گیرنده زمین قادر به گرفتن امواج نمی شود، بلکه امواج میکروویو هر چیزی را که به آن برخورد نمایند به خاکستر تبدیل خواهند نمود در نتیجه آنتن های قوی و دقیق برای این کار لازم است.



شکل (4-10) آنتن گیرنده برای دریافت امواج میکروویو از ماهواره

4-7-3- نوع سلولهای مورد استفاده در طرحهای (sps)

آن دسته از سلولهای خورشیدی سلیسیومی را معمولاً در طرحهای تولید توان در فضا (sps) استفاده می کنند که بدون سیستم تمرکز خورشیدی با 15 درصد بازده کار می کنند.

مواد ویژه سلول و نحوه آرایش آن با ملاحظات متداول هزینه و بازده و نیز نیازمندیهای اضافی وزن کم و مقاومت در مقابل تابش ذرات پرانرژی تعیین می شود. الکتریسیته جریان مستقیم به وسیله میلیونها نوسان ساز و تقویت کننده با لامپ خلاء به امواج ماکروویو 2/45 گیگا هرتز (طول موج 12 سانتی متر) تبدیل می شود.

این فرکانس انتخاب شده است زیرا فرکانسهای پایین تر به آنتنهای بزرگتری نیاز دارند و فرکانسهای بالاتر سبب افزایش تلفات انرژی در تقویت کننده های مایکروویو و بالا رفتن تلف انتقال در جو می شود. آنتن انتقال دهنده دارای قطر یک کیلومتر است و باید سطح موجی تولید کند که نسبت به یک چهارم طول موج (3 سانتیمتر) صاف باشد؛ این امر از طریق اعمال دقت زیاد و یا کنترل الکترونیکی فازهای قسمتهای فرعی آنتن حاصل می شود. آنتن



مذکور باید دقت خود را در حفظ جهت که بر حسب ثانیه قوسی اندازه گیری می شود همچنان نگه دارد و به سوی مجموعه آنتن گیرنده در سطح زمین معطوف باشد، قطر منطقه ای که توسط مجموعه آنتن گیرنده اشغال می شود تقریباً 10 کیلومتر است که این شامل تعداد زیادی آنتن دو قطبی است که هر یک از آنها توان امواج مایکروویو را به یک سد کننده مجزای آرسنیدگالیوم ارسال می کنند که در آنها توان بطور موثری به الکتریسیته جریان مستقیم تبدیل می شود. به این ترتیب با به کار بردن یک اینورتر (مبدل) می توان الکتریسیته جریان مستقیم را به شبکه انتقال برق متصل کرد.

4-7-4- خطر تشعشعات امواج میکروویو

بسیاری از مردم از خطر بالقوه ای که توسط مایکروویو پر قدرت پیش می آید در اضطرابند شدت پرتو مایکروویو در مرکز حوزه آنتن گیرنده حدود 23 میلی وات بر سانتی متر مربع است که با نزدیک شدن به کناره حوزه مذکور مقدار آن بتدریج تقلیل می یابد. در خارج کناره منطقه حفاظتی دور حوزه آنتن شدت امواج مایکروویو 0/1 میلی وات بر سانتی متر مربع است که 100 بار کمتر از میزان استاندارد جاری ایالات متحده در معرض پرتو قرار گرفتن (10 m w/cm^2) است ولی باز هم 10 برابر بیشتر از استاندارد شغلی اتحاد جماهیر شوروی ($0/01 \text{ m w/cm}^2$) است.

مزایا:

- هدر رفتن انرژی بعلت وجود ابر و باد و موانع دیگر
- در فضا در مدت 24 ساعت می شود از نور خورشید استفاده نمود.



- احتیاج به مساحت کمتر نسبت به نیروگاه های زمینی
- نیازی به ذخیره سازی جداگانه انرژی گرمایی وجود ندارد.

معایب:

- خطر استفاده از امواج مایکروویو
- اندازه و پیچیدگی سیستم تولید توان در فضا

4-8- محاسبه ابعاد نیروگاههای فتوولتایی

یکی از معایب نیروگاههای خورشیدی که ناشی از بازدهی کم سلولهای خورشیدی و چگالی کم انرژی خورشیدی می باشد، نیاز آنها به مساحت زیاد جهت تولید برق در توانهای بالاست.

در این مبحث میزان سطح زمین مورد نیاز و نیز مشخصات برخی از اجزای یک نیروگاه فتوولتاییک 200 کیلوواتی مستقل از شبکه به طور ساده محاسبه می گردند.

مطابق فرضیات، نیروگاه مورد طراحی می بایست به طور پیوسته و در تمامی بیست و چهار ساعت شبانه روز توان ثابتی معادل 200 کیلووات را در خروجی خود تحویل مصرف کنندگان دهد.

جهت تحقق این امر، می بایست الزاماً نیروگاه در طول روز علاوه بر تأمین انرژی مورد نیاز مصرف کنندگان، باتری های ذخیره کننده انرژی را نیز برای استفاده در شب شارژ نماید. برای روزهای ابری جهت ساده نمودن محاسبات هیچ پیش بینی صورت نپذیرفته است.



4-8-1- انرژی تولیدی نیروگاه در طول یک شبانه روز:

جهت ساده نمودن محاسبات ، طول روز و شب در تمامی ایام سال برابر با 12 ساعت در نظر گرفته می شود با فرض آنکه بازدهی باتری های مورد استفاده در نیروگاه برابر با 60 درصد باشد ، میزان کل انرژی تولیدی نیروگاه E_g ، که برابر با حاصل جمع میزان انرژی مصرفی E_v و میزان انرژی مورد نیاز برای شارژ باتری ها E_{bg} می باشد ، مطابق با رابطه زیر برابر با 7040 کیلووات ساعت می شود.

$$E_g = E_v + E_{bg} = (12h \times 22 : kw) + \left(\frac{(12h \times 220kw)}{0/6} \right) = 2640 + 4400 = 7040kwh$$



تعداد و مساحت کل پانلها

جهت انجام محاسبات، میزان توان حداکثر هر یک از پانلهای انتخابی P_{max} برابر با 150 وات و مساحت هر یک از آنها برابر 1/25 متر مربع در نظر گرفته می شود. با فرض آنکه توان متوسط هر پانل برابر با 50 درصد توان حداکثر آن باشد، هر پانل مطابق محاسبات ذیل در طول یک شبانه روز قادر به تولید 900 وات ساعت انرژی خواهد بود.

$$P_m = P_{max} \cdot 0/5 = 75w$$

$$E_p = 75w \cdot 12h = 900wh$$

تعداد پانل ها N_p و مساحت کل پانل ها A_{pg} از روابط ذیل محاسبه می شوند:

$$N_p = \frac{E_g}{E_p} = \frac{17040 \times 1000 wh}{900 wh} = 7822$$

$$A_{pg} = N_p \cdot A_p = 7822 \times 1/25 m^2 = 9777/5 m^2$$

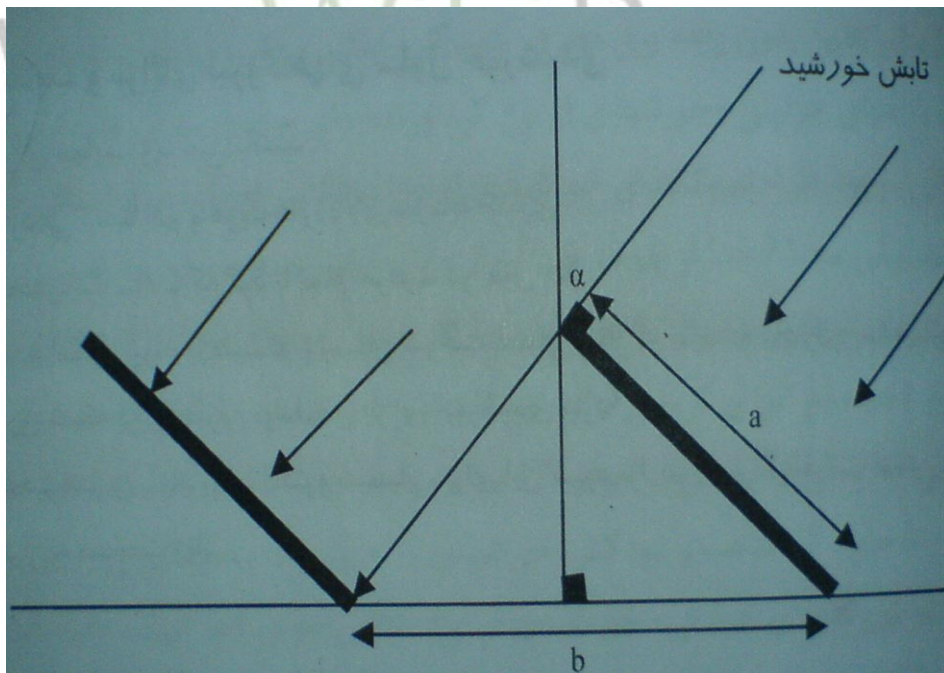


نیروگاه خورشیدی

مساحت میدان آرایه ها:

جهت حداکثر استفاده از مساحت پانل ها، می بایست در هنگام نصب آنها در میدان آرایه ها، با قرار دادن فاصله میان آنها، از سایه اندازی آنها بر روی یکدیگر جلوگیری نمود. بیشترین مقدار سایه اندازی پانلها بر روی یکدیگر در فصل زمستان، که خورشید کاملاً مایل به سطح زمین می تابد، مشاهده می گردد. شکل (4-11) نحوه قرار گیری پانل ها و میزان سایه اندازی آنها بر روی یکدیگر را نمایش می دهد. با توجه به شکل، از آنجایی که در فصل زمستان زاویه α در حدود 48 درجه می باشد. فاصله b مطابق رابطه ذیل برابر با (1.5a) می باشد.

$$b = \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) = \left(\frac{a}{\cos 48} \right) = 1.5a$$



شکل 4-11 نحوه قرار گرفتن پانل ها و میزان سایه اندازی آنها بر روی یکدیگر



نیروگاه خورشیدی

بنابراین هر پانل وقتی روی زمین سایه می اندازد، مساحتی معادل $1/5$ برابر مساحت خود را اشغال می کند. با حاصلضرب مساحت کل پانلها در عدد $1/5$ مساحت میدان آرایه ها به دست می آید:

$$A_{array} = 1/5 A_{pg} = 1/5 * 9777/5 = 14666 m^2$$

با اضافه نمودن مساحت های مورد نیاز برای نصب تجهیزات و ادوات نیروگاه ، اتاق پرسنل، انبار، محوطه و غیره به مساحت میدان آرایه ها ، مساحت کل نیروگاه تعیین می گردد.

تعداد باتری ها:

برای محاسبه تعداد باتری ها فرض می شود، که در نیروگاه مورد طراحی از باتری ها سرب - اسید (24 ولت ، 60 آمپر ساعت) برای ذخیره انرژی استفاده می گردد. انرژی ذخیره شده در باتری ها تنها برای شب هنگام مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به مشخصات باتری های مورد استفاده ، هر باتری قادر به ذخیره 1440 وات ساعت انرژی می باشد.

$$E_b = 60Ah * 24v = 1440wh$$

از آنجایی که کل انرژی ذخیره شده در باتری ها برابر با 4400 کیلووات ساعت می باشد، لذا تعداد باتری های مورد نیاز N_b با توجه به رابطه ذیل برابر 3055 عدد می باشد.

$$N_b = \frac{E_{bg}}{E_b} = \frac{4400 * 1000}{1440} = 3055$$



4-8-2- معایب و مزایای نیروگاههای فتوولتاییک

این نیروگاهها دارای معایب زیر می باشند:

- بازدهی نسبتاً کم و هزینه های بالای سرمایه گذاری
- محدودیت ساعت کارکرد به تمام ظرفیت در طول سال
- عدم امکان پیوند با سیستم پشتیبان سوخت فسیلی (نیاز به سیستم مجزای پشتیبانی یا برق شبکه ای برای جبران نوسانهای انرژی خورشیدی دارد)
- ذخیره سازی با باتری های الکتروشیمیایی برای این شیوه تولید، بسیار گران قیمت است.

- نیاز به مساحت زیاد

از مزایای این نیروگاهها می توان موارد ذیل را برشمرد:

- قطعات متحرک ندارند
- عمر مفید طولانی دارند
- به تعمیر و نگهداری اندکی نیاز دارند.
- امکان تولید متمرکز یا پراکنده با این سیستمها وجود دارد.



فصل 5- نیروگاههای خورشیدی هلیواستاتی (دریافت

کننده مرکزی)

در این نیروگاهها، هلیواستاتها (آینه های مسطح و متحرک تعقیب کننده خورشید) با تعداد زیاد، نور خورشید را بر روی یک دریافت کننده مرکزی که بر بالای برج بلندی نصب شده است، منعکس و متمرکز می کنند. این دریافت کننده انرژی خورشید را به انرژی حرارتی تبدیل می کند و حرارت ایجاد شده را به سیالی که در آن جریان دارد، انتقال می دهد.

سیال پس از دریافت گرما، یا خود تبدیل به بخار می گردد و در یک سیکل رانکین تولید برق می نماید و یا با انتقال حرارت خود در یک مبدل حرارتی به سیال دیگری. آن سیال را بخار می نماید و برای تولید انرژی الکتریکی مورد استفاده قرار می دهد. در این نیروگاهها، تنها تابش مستقیم خورشید قابل استفاده است، زیرا تابشهای پراکنده قابل متمرکز کردن نمی باشند. بدین دلیل احداث چنین نیروگاههایی در مکانهایی که دارای سهم بسیاری از تابش خورشید می باشند، پیشنهاد می گردد.

ضریب تمرکز تابش خورشیدی در این نیروگاهها بین 100 تا 100000 میباشد و درجه حرارتهایی تا 1000 درجه سانتی گراد در دریافت کننده مرکزی حاصل می گردد. برای افزایش میزان انرژی الکتریکی تولیدی در این نیروگاهها معمولاً یک سیستم ذخیره گرمایی مورد استفاده قرار می گیرد. پیوند یک سیستم پشتیبان با سوخت نفت یا گاز طبیعی به



نیروگاه خورشیدی

نیروگاه خورشیدی هلیواستانی نیز به عنوان یک راهکار برای تولید مستمر و بدون وقفه برق امکان پذیر است.

از مزایای شیوه تولید دریافت کننده مرکزی می توان مواردی نظیر بازدهی نسبتاً بالای نیروگاه دمای بالای بخار تولید شده پیوند ساده با سیستم پشتیبان سوخت نفت یا گاز طبیعی، توان تولید بالا، امکان تولید انبوه قطعات خورشیدی مشابه، فرایند ساده کاری و قابلیت تولید همزمان گرما و برق را برشمرد.

از معایب آن می توان از اتلافهای انرژی گرمایی، بازدهی نسبتاً کم در سیستمهای پیوندی با سوخت فسیلی، نیاز به پایه های بسیار با دوام برای آینه ها، ضرورت نصب سیستم ردیاب خورشیدی و نیاز به آب در پروسه نیروگاهی و نیز برای تمیز کردن آینه ها نام برد.

در نیروگاههای هلیواستانی، تعداد هلیواستاتها می تواند تا چندین هزار نیز برسد. البته به دلیل فاصله بسیار زیاد میان هلیواستاتها انتهای نیروگاه و دریافت کننده مرکزی، حداکثر توان نامی چنین نیروگاهی محدود می باشد.

جهت ایجاد یک مجموعه نیروگاهی با ظرفیت بالاتر، می توان چندین واحد نیروگاهی هلیواستانی را در کنار یکدیگر احداث نمود.

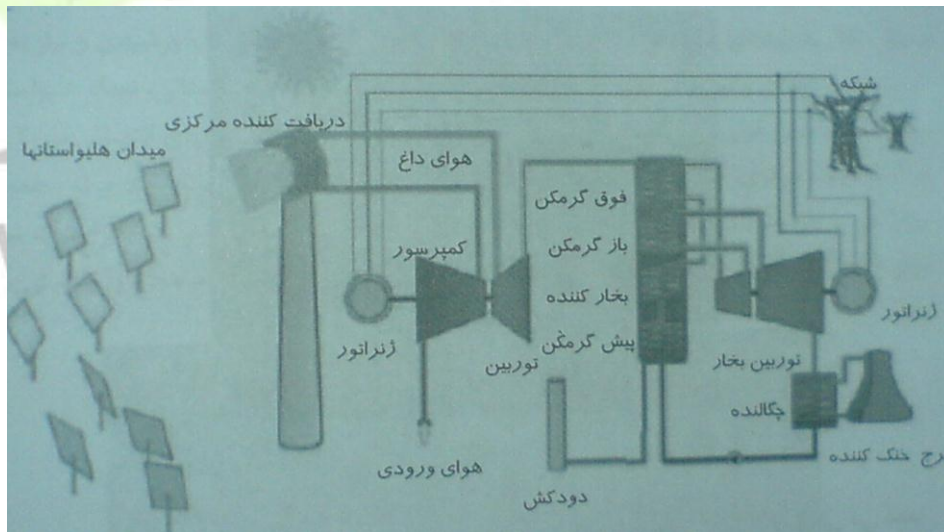
5-1- سیستمهای تولید برق

با توجه به نوع سیال جاری در دریافت کننده مرکزی، در مجموع چند سیستم تولید برق با فن آوریهای مختلف برای استفاده در نیروگاههای خورشیدی هلیواستانی وجود دارند که عبارتند از:



5-1-1- هوا به عنوان سیال دریافت کننده مرکزی:

در این سیستم هوا پس از دریافت گرما در دریافت کننده مرکزی، می تواند خود به عنوان شارژ کارکن مورد استفاده قرار گیرد و با ورود بر فشار خود به توربین گازی و انبساط در آن، توربین را به گردش درآورد و در ژنراتور کوپل شده به توربین تولید برق نماید، همچنین می توان با بازیافت حرارت گاز خروجی از آگروز توربین گازی، اقدام به تولید بخار و در نهایت تولید برق در یک واحد نیروگاه بخاری نمود: شکل (5-1) دیاگرام کاری یک نیروگاه سیکل ترکیبی را که انرژی حرارتی مورد نیاز آن، توسط هوای گرم شده در دریافت کننده مرکزی تامین می شود، نمایش می دهد.

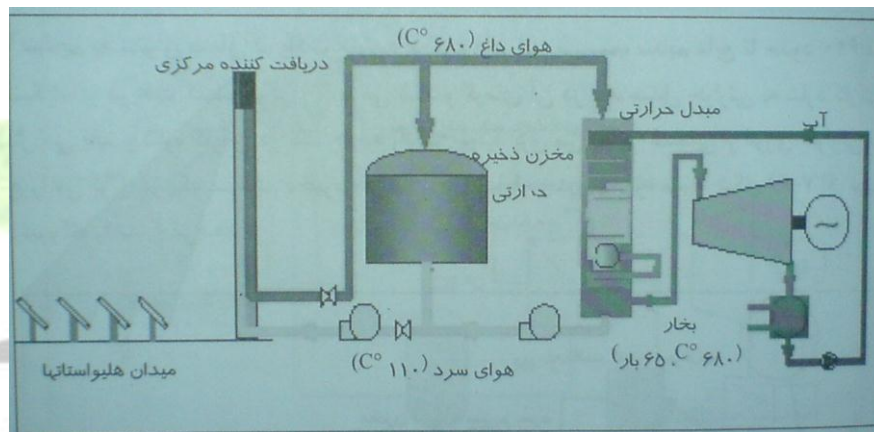


شکل (5-1) دیاگرام کاری یک نیروگاه سیکل ترکیبی هلیواستانی با سیکل هوا

در ضمن می توان با انتقال حرارت هوای گرم در یک مبدل حرارتی به شارژ کارکن آب، دریک چرخه رانکین تولید برق نمود. نمونه چنین نیروگاهی، نیروگاه 10 مگاواتی PS10 واقع در 15 کیلومتری غرب شهر سویل اسپانیا می باشد. شکل (5-2) دیاگرام نیروگاه هلیواستانی با سیکل هوا PS10 را نمایش می دهد. در این نیروگاه 981 هلیواستات که هر



کدام دارای 91 متر مربع مساحت هستند، در یک میدان شمالی نور خورشید را به سمت یک دریافت کننده مرکزی که دارای ظرفیت حرارتی معادل 55 مگاوات و سطح 172 متر مربع می باشد و در بالای برجی به ارتفاع 90 متر قرار گرفته است، منعکس می نمایند. این نیروگاه دارای یک مخزن ذخیره حرارتی با قابلیت ذخیره انرژی گرمایی معادل 33 مگاوات ساعت نیز می باشد، تا در مواقع ابری بودن هوا و یا در شبها، انرژی گرمایی مورد نیاز پروسه نیروگاهی را فراهم آورد.



شکل (2-5) دیاگرام یک نیروگاه بخاری هلیواستاتیکی با سیکل هوا ps10

5-1-2- آب به عنوان سیال دریافت کننده مرکزی:

در این سیستم، آب تحت فشار حدود 100 بار و درجه حرارت 500 درجه سانتیگراد در دریافت کننده مرکزی تبدیل به بخار داغ می گردد. بخار داغ به صورت مستقیم در توربین، که پایین برج نصب شده است، مورد استفاده قرار می گیرد و برق تولید می شود. مازاد انرژی حرارتی بخار داغ را می توان در یک سیستم ذخیره حرارت برای مصارف بعدی ذخیره کرد، بدین ترتیب که حرارت بخار در تانکی پر از شن و سنگ به لوله های روغن مخصوص

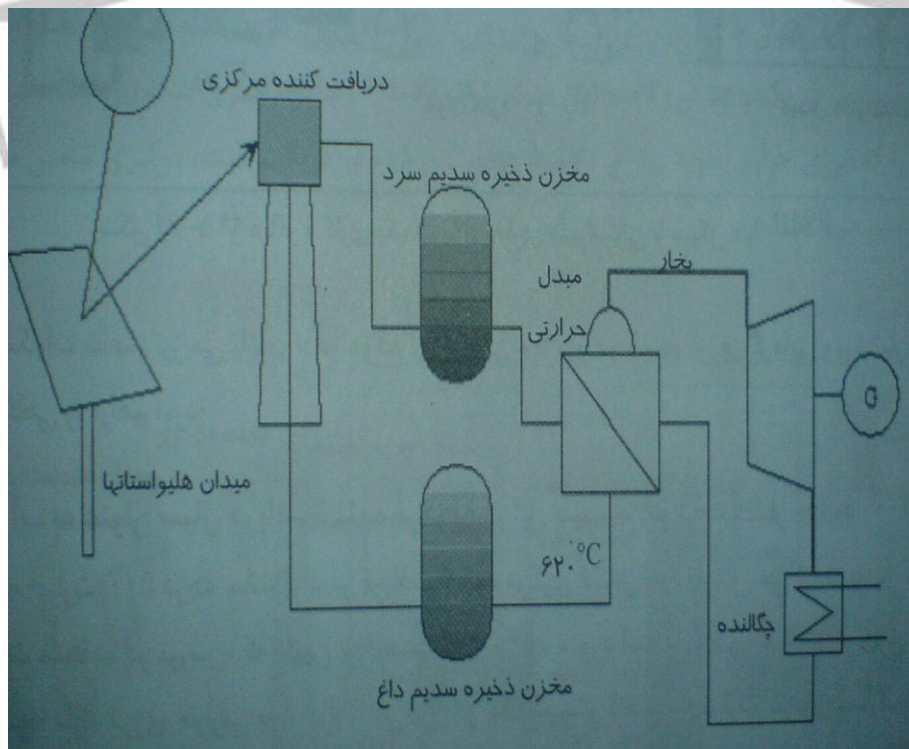


حرارتی انتقال و در آنها ذخیره می شود، تا نیروگاه بتواند در ساعت ابری و شبها به کار خود ادامه دهد. در ضمن سیستم ذخیره حرارت می تواند مقداری حرارت برای قسمتهای داخلی نیروگاه فراهم کند، تا راه اندازی مجدد دستگاهها سریعتر انجام شود.

5-1-3- سدیم به عنوان سیال دریافت کننده مرکزی :

در این سیستم، سدیم مایع تا حدود 620 درجه سانتیگراد در دریافت کننده مرکزی گرم می شود و گرمای آن در یک مبدل حرارتی به شاره کارکن آب انتقال می یابد و شاره کارکن در یک چرخه رانکین تولید برق می نماید.

قسمتی از انرژی حرارتی سدیم مایع را می توان در یک سیستم ذخیره حرارت برای مصارف بعدی ذخیره نمود. شکل (3-5) دیاگرام این نیروگاه را نشان می دهد.



شکل (3-5) دیاگرام یک نیروگاه هلیواستانی باسیکل سدیم مایع



5-1-4- نمک نیترات به عنوان سیال دریافت کننده مرکزی:

در این سیستمها از نمک نیترات مذاب به عنوان سیال انتقال حرارت در دریافت کننده مرکزی استفاده می شود. نمک نیترات دارای نقطه ذوب در حدود 320 درجه سانتیگراد می باشد و نسبت به مایعات، نظیر آب و روغن، حرارت بیشتری را در خود نگه می دارد. در این نوع نیروگاهها که به عنوان مثال می توان از نیروگاه **Solar -2** نام برد، نمک تا حدود 566 درجه سانتی گراد داغ می گردد. پس از اینکه حرارت نمک برای فوق گرم کردن بخار در مبدل حرارتی گرفته شد، نمک با دمای حدود 288 درجه سانتیگراد در یک مخزن ذخیره می گردد تا در مواقع مناسب به برج مرکزی فرستاده شود. استفاده از نمک نیترات دارای این مزیت می باشد، که نمک را می توان به صورت داغ در یک مخزن ذخیره کرد و در مواقع نیاز از حرارت آن استفاده نمود. نمک داغ می تواند حرارت خود را تا 13 ساعت حفظ نماید.

5-2- اجزای اصلی نیروگاههای خورشیدی هلیواستاتی

نیروگاههای خورشیدی هلیواستاتی، علاوه بر اجزای مرتبط به سیل رانکین و تولید انرژی الکتریکی، به طور کلی از چهار قسمت اصلی که شامل هلیواستاتها، دریافت کننده مرکزی، سیستم انتقال حرارت و سیستم ذخیره حرارت می باشند، تشکیل می گردند.

5-2-1- هلیواستاتها

هلیواستاتها، آینه های قابل کنترلی هستند که می توانند در تمام ساعات روز خورشید را دنبال کنند و با زاویه خاصی که هر کدام از آنها با امتداد جهت اشعه خورشید دارند، تشعشع خورشیدی را به سمت دریافت کننده ثابت مرکزی در بالای برج منعکس کنند. این زاویه



نیروگاه خورشیدی

بستگی به زمان روز، طرز قرارگرفتن، فاصله و موقعیت هر هلیواستات نسبت به دریافت کننده مرکزی دارد.

هلیواستاتها بطور کلی از پنج قسمت عمده که شامل آینه ها، سازه، فونداسیون، سیستم محرک و سیستم کنترل کننده خورشیدی می باشد، تشکیل می گردند.

5-2-1-1- آینه ها:

آینه ها مهمترین بخش هلیواستاتها می باشند، که وظیفه انعکاس پرتوهای خورشید بر روی دریافت کننده مرکزی را بر عهده دارند. برای ساخت آینه باید سطحی در نظر گرفته شود، که بتوان پوشش دهی به وسیله فلزات را بر پشت و یا روی آن انجام داد. جنس این سطح باری آینه هایی که فلز پشت آنها پاشیده می شود، شیشه یا پلیمرهای شفاف و برای آینه هایی که فلز روی آنها پاشیده می شود، پلیمرهای کدر می باشد. آینه های یک هلیواستات به وسیله قاب فلزی روی سازه نگهداری کننده نصب می شوند و در قاب خود تا حدودی قابل تنظیم می باشند، تا بتوان تقعر کمی به سطح هلیواستات داد.

5-2-1-2- سازه:

وظیفه سازه ها نگهداری آینه ها می باشد. در ساخت هلیواستاتهای کوچک و متوسط از سازه هایی، که از یک ستون و چند تیر متقاطع تشکیل می شوند، استفاده می شود. این مدل سازه ها دارای قابلیت حرکت بسیار زیاد به منظور ردیابی خورشید توسط آینه ها می باشد. در هلیواستاتهای بزرگ برای نگهداری مجموعه آینه ها از یک ستون اصلی و خرپاهای فضایی استفاده می شود.



نیروگاه خورشیدی

5-2-1-3- فونداسیون:

فونداسیون واسطه نصب هلیواستات به زمین می باشد، که معمولاً از نوع بتونی است و حفره هایی دارد که ستون سازه درون آن قرار می گیرد.

5-2-1-4- سیستم محرک:

به دلی ضرورت تمرکز نور خورشید بر روی یک نقطه (دریافت کننده مرکزی،) می بایست حرکت هلیواستاتها در دو جهت افقی و عمودی امکان پذیر باشد. این امر توسط سیستم محرک هلیواستات صورت می پذیرد. علاوه بر لزوم ردیابی خورشید که مهمترین دلیل وجود سیستم حرکتی را ایجاب می نماید.

5-2-1-5- سیستم کنترل کننده خورشیدی:

برای به دست آوردن بازدهی بهتر در استفاده از انرژی خورشیدی باید هلیواستاتها تا حد امکان با ردیابی صحیح خورشید، بیشترین تشعشعات خورشیدی را به نیروگاههای دریافت کننده مرکزی منعکس نمایند.

در نیروگاههای هلیواستاتی که در آنها حرارتهای معادل نیروگاههای حرارتی متداول برای تولید الکتریسیته نیاز میباشد، می بایست بدلیل حرکت دورانی زمین به دور خود و به دور خورشید سیستمی ایجاد گردد، تا ردیابی خورشید توسط هلیواستاتها در طول روز امکان پذیر باشد.

سیستمهای کنترل کننده خورشیدی دارای انواع گوناگون می باشند، که در ذیل برخی از آنها معرفی می گردند.



نیروگاه خورشیدی

5-2-2- کنترل مکانیکی :

در این سیستم، یک دینامو موتور متصل به یک گیربکس محاسبه شده، متناسب با سرعت حرکت خورشید موجب حرکت هلیواستاتها در جهت تعقیب خورشید می گردد. در هنگام شروع حرکت در صبح و پایان فعالیت در عصر یک دستگاه کنترل الکترونیکی در نظر گرفته می وشد.

5-2-3- کنترل هیدرولیکی

در این روش کنترلی حرکت هلیواستاتها توسط یک سیلندر هیدرولیکی انجام می پذیرد در طول روز، مقداری روغن که میزان آن محاسبه شده است به داخل سیلندر پمپ می گردد و با فشاری که پمپ در سیلندر ایجاد می کند. هلیواستات در طول روز به آرامی به دنبال خورشید می گردد.

5-2-4- کنترل مرکزی توسط سیستم کامپیوتری:

از این سیستم پرخرج، ولی مطمئن در اغلب نیروگاههای خورشیدی استفاده می شود. در این روش کنترلی برای هر آینه یک برنامه جداگانه به کامپیوتر داده می شود. بدین صورت که موقعیت جغرافیایی آینه (فاصله آن تا برج)، نسبت سایه اندازی هلیواستاتها و روی یکدیگر و بعضی اطلاعات دیگر در اختیار کامپیوتر قرار می گیرد و سپس سیستم کنترل مرکزی برای هر هلیواستات یک برنامه گردشی سالیانه طرح ریزی کند.



5-2-4-1- دریافت کننده مرکزی

دریافت کننده مرکزی برای جمع کردن، جذب کردن و انتقال بیشترین مقدار انرژی دریافتی، به سیال انتقال دهنده حرارت طراحی می شود. دریافت کننده های مرکزی در بالای برجهای بلندی قرار می گیرند و در معرض حداکثر جریانات انرژی تشعشعی که حدوداً بین 300 تا 700 کیلووات بر مترمربع می باشد، قرار دارند. دیواره این دریافت کننده ها از یک سری لوله های موازی که در کنار هم قرار گرفته اند و در داخل آنها سیالی جریان دارد، تشکیل می شوند. انرژی خورشیدی به سطح خارجی لوله ها تابیده و انرژی جذب شده توسط لوله ها، به سیال داخل آنها منتقل می شود. این لوله ها از قسمت فوقانی مسدود شده اند و در نتیجه انبساط حرارتی در قسمت پایین آنها اتفاق می افتد.

به منظور افزایش مدت زمان بهره برداری از نیروگاه برای تولید انرژی الکتریکی، دریافت مرکزی علاوه بر تامین انرژی حرارتی مورد نیاز پروسه نیروگاهی، انرژی مازاد خود در طول روز را به منبع ذخیره انرژی حرارتی منتقل می نماید. مجموع توان ورودی به پروسه نیروگاهی و منبع ذخیره در ساعت روز مرجع، ظرفیت حرارتی دریافت کننده را تشکیل می دهد. با تعیین ظرفیت حرارتی دریافت کننده می توان پارامترهای دیگر نیروگاه از قبیل مساحت سطح دریافت کننده، ارتفاع برج و مساحت هلیواستاتها را بدست آورد.

5-2-4-2- ظرفیت حرارتی دریافت کننده مرکزی :

جهت تعیین ظرفیت حرارتی دریافت کننده، نیاز به اطلاعات مربوط به توان نامی نیروگاه P ، بازدهی پروسه نیروگاهی η_p ، بازدهی سیستم انتقال سیال از دریافت کننده به



توربین η_s ، ضریب خورشیدی f_s^9 و ضریب اطمینان k می باشد. با توجه به این اطلاعات ظرفیت حرارتی دریافت کننده P_R از رابطه ذیل محاسبه می گردد.

$$P_R = \frac{k \cdot f_s \cdot P}{\eta_s \cdot \eta_p} \quad (1-5)$$

به عنوان مثال چنانچه توان نامی نیروگاه برابر 1 مگاوات، بازدهی پروسه نیروگاهی برابر 27 درصد، بازدهی سیستم انتقال سیال از دریافت کننده به توربین 99 درصد، ضریب خورشیدی 1/15 و ضریب اطمینان 1/20 باشد، ظرفیت دریافت کننده با توجه به رابطه فوق قابل محاسبه می باشد.

$$P_R = \frac{1.2 \cdot 1.15 \cdot 1}{0.99 \cdot 0.27} = 5.7 MW_{th}$$

با در نظر گرفتن ضریب خورشیدی بالا در هنگام طراحی نیروگاه قابلیت ذخیره انرژی گرمایی در مخزن ذخیره بیشتر می گردد و در نتیجه تعداد ساعات کارکرد با تمام ظرفیت نیروگاه در سال افزایش می یابد.

3-4-2-5- پارمترهای موثر در تعیین حد ظرفیت حرارتی دریافت کننده

پارمترهای بسیاری در تعیین حد ظرفیت حرارتی دریافت کننده مرکزی موثر می باشند، که در ذیل به اختصار در مورد آنها توضیح داده می شود.



5-2-5- طول لوله های دریافت کننده :

یکی از عوامل محدود کننده ظرفیت حرارتی دریافت کننده ، طول لوله های دریافت کننده می باشد، که نمی تواند از حداکثر 30 متر تجاوز نماید. این محدودیت باعث محدود نمودن قابلیت جذب دریافت کننده می گردد و تاثیر بسزایی در تعیین ظرفیت حرارتی دریافت کننده می گذارد.

5-2-6- سطح هلیواستاتها:

این عامل نیز از عوامل محدود کننده ظرفیت حرارتی محسوب می گردد، زیرا توجه به سطح هلیواستاتها، سطح فعال دریافت کننده و در نتیجه ظرفیت حرارتی آن مشخص می گردد.

5-2-7- نوع سیال :

سیالهای عامل دریافت کننده، با توجه به اینکه هر کدام دارای پارامترهای فیزیکی خاصی میباشند، شار حرارتی مجزا هر یک از آنها نیز محدود است. در نتیجه این محدودیت ، ابعاد دریافت کننده نیز محدود می گردد. و بنابراین بر تعیین ظرفیت حرارتی دریافت کننده تاثیر می گذارد .

5-2-8- ساختار دریافت کننده :

ساختار دریافت کننده نیز بر روی ظرفیت حرارتی آن تاثیر می گذارد، زیرا تلفات با توجه به ساختار هر کدام از دریافت کننده ها متفاوت می باشد.



5-3- بازده حرارتی

بازده حرارتی در یک دریافت کننده ، عامل مهمی در انتخاب و ارزیابی آن است. بازده حرارتی یک دریافت کننده نسبت «انرژی جذبی توسط سیال عامل» به انرژی ارسالی توسط میدان آینه ها است. اختلاف بین این دو انرژی ناشی از تلفات حرارتی در دریافت کننده می باشد. تلفات حرارتی در یک دریافت کننده به علت افت های ناشی از عوامل پراکنش پرتوهای نور رسیده از میدان، تشعشع، بازتابش، انتقال حرارت بر اثر جابه جایی ، انتقال حرارت توسط هدایت می تواند رخ دهد.

5-4- بررسی تلفات دریافت کننده ها

5-4-1- تلفات ناشی از پراکنش پرتوهای نور رسیده از میدان (spillage) :

انرژی منعکس شده توسط میدان آینه ها با احتساب تلفاتی ناشی از جذب توسط اتمسفر در فاصله بین آینه ها تا دریافت کننده، کاملاً به دریافت کننده برخورد نمی نماید. این افت می تواند بعنوان افت مستقیم جمع کننده (آینه) در نظر گرفته شود و یا به عنوان افت دریافت کننده محسوب گردد این پدیده می تواند در اثر عدم دیده شدن کامل دریافت کننده توسط پرتوهای نور و یا واقع شدن آنها در خارج دهانه دریافت کننده حفره ای رخ می دهد. این مسائل ناشی از اندازه دریافت کننده یا خط های هدف گیری آینه ها (هلیواستات) می باشد. دریافت کننده ها معمولاً طوری طراحی می شوند تا پراکنش پرتوهای نور رسیده به آنها کمتر از 5 درصد باشد.



5-4-2- تلفات حرارتی ناشی از بازتابش:

قسمتی از انرژی نورانی ارسالی از طرف هلیوستاتها با توجه به ضریب جذب پوشش دریافت کننده در آن ساطع می شود. برای کاهش این انعکاس پرتوهای نور، می باید از پوشش رنگ با ضریب جذب بالا بر روی سطوح جاذب حرارت دریافت کننده استفاده نمود.

اتلاف حرارتی ناشی از بازتابش عموماً برای سطوحی که با تازگی رنگ آمیز شده باشند حدود پنج درصد یا کمتر می باشد. ولی باید در نظر داشت که هر چه از بهره برداری واحد و در نتیجه طول عمر رنگ گذشته باشد این اتلاف بعلت کاهش کیفیت پوشش رنگ افزایش می یابد.



5-4-3- تلفات ناشی از انتقال حرارت جابه جایی:

در اثر انتقال حرارت به هوای مجاور دریافت کننده از طریق جابجایی بخشی از انرژی به وسیله دریافت کننده هدر می رود این اتلاف انرژی ترکیبی از اتلاف حرارت در اثر جابه جایی آزاد (انتقال حرارت بر اثر اختلاف دمای سطح با دمای محیط) و اتلاف حرارت در اثر جا به جایی اجباری (انتقال حرارت بر اثر وزش باد) رخ می دهد.

مولفه اتلاف حرارت در اثر جابه جایی آزاد معمولاً بزرگتر می باشد. مقدار این تلفات حرارتی می بایستی به صورت تحلیلی برای هر طرح محاسبه شده و با توجه به شرایط محیط مورد ارزیابی قرار گیرد. واضح است که این تلفات در دریافت کننده های خارجی بیشتر از دریافت کننده های حفره ای است و در دریافت کننده های حفره ای بزرگتر شدن دهانه این تلفات بیشتر می شود.



5-4-4- تلفات حرارتی ناشی از تشعشع:

تلفات انرژی حرارتی در اثر تشعشع و انتشار امواج نورانی تابعی از دمای دریافت کننده است هر دو تلفات ناشی از انتقال حرارت جا به جایی و تشعشع و تابعی از دما و شکل دریافت کننده (حفره ای یا خارجی) می باشند.

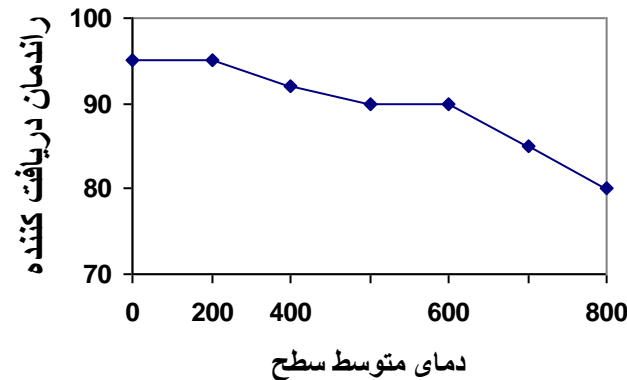
معمولاً مجموع این تلفات حرارت ناشی از جابجایی و تشعشع بین پنج تا پانزده درصد با توجه به شرایط محیط می باشد.

5-4-5- تلفاتی حرارتی ناشی از هدایت

تعدادی از انرژی دریافت کننده در اثر انتقال حرارت به طریق هدایت از عایق ها و اتصالات و اجزاء سازه دریافت کننده تلف می گردد مقدار این تلفات حرارتی برای حالتی که عایق کاری به خوبی صورت گرفته باشد کمتر از یک درصد است.

کاهش تلفات حرارتی دریافت کننده خورشیدی بسیار مهم می باشد. طراحی بهینه دریافت کننده می باید بر اساس به حداقل رساندن قیمت واحد انرژی تولید شده توسط کل سیستم ارزیابی انجام شده و با توجه به آن کاهش تلفات حرارتی صورت گیرد زیرا این مسئله بر روی قیمت و عملکرد کلیه اجزاء سیستم اثر می گذارد.

اصولاً راندمان دریافت کننده با افزایش دما کاهش می یابد. شکل نمودار زیر تقریبی این تغییر را نشان می دهد.



نمودار راندمان دریافت کننده بر حسب دمای متوسط سطح دریافت کننده

5-5- اطلاعات پایه نیروگاههای هلیواستاتی

5-5-1- معیارهای مهم در انتخاب محل نیروگاهها

در انتخاب محل مناسب برای نصب یک نیروگاه خورشیدی علاوه بر فاکتورهای متداول در انتخاب محل برای یک واحد نیروگاهی بایستی نکات ویژه دیگری را نیز مد نظر داشت. بطور کلی پارامترهای مهم در انتخاب محل نیروگاه را می توان به دو دسته پارامترهای اساسی و پارامترهای محدود کننده تقسیم بندی کرد. عواملی نظیر میزان تابش آفتاب ، تعداد روزهای آفتابی ، کشش و نیاز منطقه به تولید برق، وجود خطوط و پستهای انتقال نیرو ، مناسب بودن هزینه زمین، دسترسی به سوخت (در صورت تجهیز به سیستم پشتیبان) و دسترسی به آب مورد نیاز، پارامترهای اساسی در انتخاب محل برای نصب یک نیروگاه خورشیدی می باشند. امکانات مناسب در زمینه ساختمان سازی، دسترسی به پرسنل مورد



نیاز، شرایط محیطی و اقلیمی و پارامترهایی نظیر آنها، پارامترهای محدود کننده در انتخاب محل مناسب برای نصب یک نیروگاه خورشیدی محسوب می شوند.

5-2-5- زمان مرجع طراحی نیروگاه:

در طراحی اصولی یک نیروگاه خورشیدی مهمترین موضوع جمع آوری بیشترین انرژی خورشیدی و تبدیل آن به انرژی الکتریکی با کمترین هزینه می باشد. این نیروگاه نیز مانند تمامی نیروگاهها باید در بار نامی آن طراحی گردد. جهت بهره برداری در بار نامی، نیروگاه باید قادر به جذب میزان تابش مشخصی در طول سال با توجه به تغییرات سالیانه و روزانه تابش خورشید باشد.

لحظه ای خاص از زمان، که طراحی نیروگاه از نظر تولید انرژی و هزینه بهینه خواهد بود. زمان مرجع طراحی در نظر گرفته می شود و بر اساس تابش در آن لحظه، نیروگاه برای ظرفیت نامی طراحی می گردد. تعیین زمان مرجع طراحی با توجه به اثرات مختلفی که در ابعاد اندازه ها، هزینه احداث و عملکرد نیروگاههای خورشیدی دارد، از اهمیت بسزایی برخوردار می باشد.

زمان دقیق مرجع طراحی با توجه به پارامترهایی نظیر میزان تابش در محل نیروگاه، شکل میدان هلیوستاتها و اهداف طراحی نیروگاه تعیین می شود. در صورتی که زمان مرجع طراحی یک نیروگاه خورشیدی در ساعات و روزی با تابش خیلی زیاد انتخاب شود، اگر چه نیروگاه قادر خواهد بود. در شرایط مشابه با تابش مذکور، در ظرفیت نام انرژی تولید نماید ولی در سایر مواقع که میزان تابش کمتر از این مقدار می باشد، نیروگاه توان کمتری داشته



و انرژی کمتری تولید خواهد نمود و بنابراین از سرمایه صرف شده برای احداث نیروگاه حداکثر استفاده نمی شود و تولید انرژی گران خواهد بود. در صورتی که لحظه مشخصی از سال که تابش نسبتاً کم می باشد، به عنوان زمان مرجع طراحی انتخاب شود، مدت زمان بهره برداری نیروگاه در ظرفیت نامی زیاد تر می شود، ولی با عدم استفاده از انرژی خورشیدی در زمانی که تابش از حد مذکور فراتر می رود، باعث اتلاف انرژی خورشیدی می گردد. تعیین زمانی از سال بعنوان زمان مرجع طراحی، به شکل میدان هلیواستاتها نیز وابسته می باشد.

در نیروگاههای خورشیدی با میدان هلیواستاتی شمالی، زمان مرجع طراحی معمولاً بین اول دی ماه تا اول فروردین ماه و در میدان هلیواستاتی احاطه ای معمولاً بین فروردین ماه تا اول تیر ماه انتخاب می گردد. علت انتخاب محدوده های زمانی مذکور به دلیل عملکرد بهتر میدان شمالی در زمستان و عملکرد بهتر میدان احاطه ای در تابستان از جهت تولید انرژی الکتریکی بیشتر می باشد.

3-5-5- ضریب ظرفیت و مدت زمان بهره برداری موثر:

ضریب ظرفیت C برابر با نسبت مقدار انرژی تولید شده واقعی در طول سال E به مقدار انرژی که یک نیروگاه در مدت یکسال کار دائم با ظرفیت نامی خود P تولید می کند، می باشد و از رابطه زیر حاصل می گردد. در این رابطه 8760 تعداد ساعات یک سال می باشد.

$$C_f = \frac{E}{P \cdot 8760} \quad (2-5)$$



مدت زمان بهره برداری موثر سالیانه نیروگاه T_e از حاصلضرب ضریب ظرفیت در 8760 حاصل می گردد. T_e معیاری برای میزان بهره برداری از نیروگاه می باشد. هر چه مقدار آن بیشتر باشد. نشان دهنده بهره برداری بهینه تر از نیروگاه می باشد و نشان می دهد که ساعات بیشتری در طول سال از حداکثر ظرفیت تولیدی بهره برداری شده است.

5-4-5- مساحت زمین مورد نیاز نیروگاه

در تعیین میزان مناسب سطح زمین مورد نیاز نیروگاه، نحوه استقرار هلیواستاتها نقش بسیار مهمی دارد. اگر هلیواستاتها طوری کنار هم قرار بگیرند، که بر روی هم سایه ایجاد کنند، بازدهی میدان کاهش می یابد. از طرف دیگر با افزایش سطح زمین نیروگاه و ایجاد فاصله بیشتر بین هلیواستاتها، هزینه زمین نیروگاه افزایش می یابد. بنابراین برای به دست آوردن بیشترین بازدهی ممکن با کمترین هزینه اولیه، باید مقدار بهینه مساحت مورد نیاز در نظر گرفته شود. مساحت کل هلیواستاتها بر حسب متر مربع، تعداد هلیواستاتها N و مساحت زمین مورد نیاز نیروگاه A_L بر حسب متر مربع، طبق روابط زیر محاسبه می گردند.

$$A_C = \frac{P_R}{P_S \cdot \eta_R} = \frac{K \cdot f_s \cdot p}{p_s \cdot \eta_r \cdot \eta_s \cdot \eta_p}$$

$$N = \frac{A_C}{A_M}$$

(3-5)

$$A_L = \frac{A_C}{\tau}$$

در روابط فوق A_m معرف مساحت یک هلیواستات بر حسب متر مربع و τ معرف ضریب پوشش می باشد. با لحاظ نمودن پوشش از سایه اندازی هلیواستاتها بر روی یکدیگر جلوگیری می گردد.





فصل 6- دریافت کننده های نور خورشید

6-1- متمرکز کننده ها

در عمل ، دماهای حالت دائم جمع کننده های تخت ساده، حتی در شرایط ایده آل ، بسیار بندرت از 100 درجه سانتیگراد تجاوز کند. در سرمای سخت زمستان، دماهای کارکرد به میزان قابل ملاحظه ای زیر 100 درجه سانتی گراد است زیرا تلفات حرارتی به محیط حداکثر مقدار خروجی را ممکن می کند.

هر چه ضریب انتقال حرارت کلی به محیط کوچکتر باشد، دما بیشتر خواهد بود. در نتیجه دماهای ایجاد شده در صفحات تخت که درون آنها خلاء نسبی بوده و دارای روکشهای جذب کننده انتخابی هستند، در مقایسه با صفحات تخت ساده بیشتر است. چون هر سه شیوه انتقال حرارت از یک سطح گرم شده با مساحت سطح مذکور متناسبند، اگر این مساحت کوچک باشد تلف حرارت بطور متنابهی کم خواهد بود.

از این رو، اگر توان خورشیدی رسیده را بتوان متمرکز و بر روی مساحت کوچک جذب کننده متوجه ساخت، دمای خیلی زیادی به دست خواهد آمد.

با جمع کننده های خورشیدی متمرکز کننده می توان دماهای بیشتری نسبت به جمع کننده تخت ایجاد کرد و آنها را با تلفات حرارتی کمتر و بازده حرارتی بیشتر به کار انداخت. اما، متمرکز کننده دارای چندین عیب بزرگ هستند. اول اینکه ، آنها فقط از انرژی مستقیم یا تک جهتی تابش خورشیدی می توانند استفاده کنند. چون اغلب مولفه پخشی



نیروگاه خورشیدی

بیش از 20 درصد کل شار تابیده را در بر می گیرد. عموماً بازده نوری یک متمرکز کننده کمتر از بازده یک جمع کننده تخت است. محدودیت متمرکز کننده ها این است که یک متمرکز کننده ساده فقط هنگامی می تواند کار کند که بطور صحیح در جهت پرتو مستقیم خورشیدی قرار گرفته باشد.

در نتیجه، نوعی دستگاه ردیاب را باید به کار برد که این خود بر پیچیدگی و هزینه سیستم می افزاید. بنابراین، عمده در جاهایی که دماهای خیلی زیاد مورد نیاز باشد. از متمرکز کننده ها استفاده می شود. متمرکز کننده ها معمولاً در سیستمهای گرمایش ساختمانها و تولید آب داغ به کار برده نمی شوند.

کانونی کردن تابش مستقیم خورشیدی را می توان با آینه ها یا عدسیها انجام داد. عدسیها چند عیب مشخص دارند. عموماً ساخت آنها، خصوصاً برای سیستمهای جمع کننده بزرگ، پرهزینه است و بعلاوه خیلی سنگین هستند و نصب آنها بسیار دشوار است. وقتی تابش از یک عدسی عبور می کند. مقداری از انرژی آن جذب می شود و در نتیجه بازده نوری آن کاهش می یابد.

در مقابل، هزینه آینه ها کمتر و وزن آنها سبکتر است. چون آینه ها از طریق بازتابش تابش را متمرکز می کنند. حداقل انرژی را جذب می کنند. در این فصل موارد نوری آینه های متمرکز کننده را بررسی خواهیم کرد. نتایجی را که در این جا برای آینه ها به دست می آید می توان با اصلاحاتی کوچک درباره عدسیها به کار برد.



6-2- آینه های سهموی و مدور

برای درک این که یک آینه منحنی شکل چگونه انرژی مستقیم خورشید را متمرکز می کند، یک آینه دو بعدی سیموی شکل را در نظر می گیریم. معادله ریاضی سهمی به قرار زیر است:

$$x^2 = 4fy \quad (1-6)$$

منحنی این معادله در شکل 1-6 (الف) ترسیم شده است.

خط تقارن (در این مورد محور y است) را به نام محور سهمی و هر پرتوی را که خط سبز آن موازی این محور باشد پرتو پیرامحوری می نامند. نقطه f بر روی محور ، کانون سهمی نامیده می شود. یک نقطه مشخص را بر روی سهمی در نظر بگیرید. می توان ثابت کرد زاویه ای که یک خط پیرامحوری که به آن نقطه کشیده شده باشد با زاویه ای که خط رسم شده از آن نقطه به کانون با آینه می سازد برابر است. در نتیجه، جهت تمام پرتوهای پیرامحوری تابیده بر روی یک آینه سهموی پس از بازتابش به سوی کانون یا نقطه کانونی خواهد بود.

نسبت تمرکز CF یک جمع کننده کانونی کننده عبارت است از نسبت شار تابیده بر روی یک سطح واقع بر نقطه کانونی به شار دریافت شده. در واقع اگر یک متمرکز کننده می توانست تمام شار دریافتی را متوجه یک نقطه کند. نسبت تمرکز نامحدود می بود، زیرا توان تابشی بر سطحی با مساحت صفر متوجه می شد. البته ، عملاً عوامل بسیاری وجود دارد که مانع می شود نسبت تمرکز نامحدود گردد. عامل نخست اینکه انحنای یک آینه هیچ گاه



نیروگاه خورشیدی

کامل و دقیق نیست ، دوم اینکه پرتوهای خورشیدی تابیده کاملاً هم جهت نیستند و اندکی واگرایند. عامل آخرین این است که حتی اگر انحنای آینه کامل و پرتوهای خورشیدی کاملاً یک جهتی می بودند، پدیده ای به نام پراش ذاتاً سبب کمی تاری می شد. پدیده پراش به این دلیل رخ می دهد که تابش از امواج الکترومغناطیسی تشکیل شده است.

مدلی که در این جا برای نشان دادن تابش خورشیدی به کار برده شد صرفاً یک مدل تقریبی است. از این رو، قانون بازتاب که در مورد پرتوها دقیقاً صادق است در مورد امواج فقط بطور تقریبی صادق است. اگر ابعاد آینه نسبت به طول موج تابشی خورشیدی بزرگ باشد، که معمولاً همین طور است، تاری ناشی از پراش قابل اغماض خواهد بود.

در اکثر کاربردهای اساسی متمرکز کننده خورشیدی، انحرافهای ناشی از پراش مشکلی ایجاد نمی کنند. تابش خورشیدی را نمی توان در یک نقطه متمرکز کرد. چون اصولاً پرتوهای خورشید واگرا هستند، علت دیگر آن است که آینه ها را نمی توان بصورت سهمی های دقیق شکل داد.

چون انحرافهای خارج از محور یک آینه سهموی را به دشواری می توان کم کرد. یک باز تابش کننده ساده تر، یعنی آینه مدور، را مورد بررسی قرار خواهیم داد. جدا از ساده بودن آینه مدور به لحاظ نظری، ساخت آن از آینه سهموی آسانتر است.

آینه مدور عبارت است از آینه ای که شکل انحنای آن دایروی باشد. معادله دایره چنین است. (شکل 6-1 ب):

$$X^2 + (y-R)^2 = R^2 \quad (2-6)$$

$$X^2 = 2Ry [1 - (y / 2R)]$$



نیروگاه خورشیدی

این ، معادله دایره ای است به شعاع R که مرکز آن بر نقطه $(R, 0)$ واقع است. معادله 6-
2 را به شکل زیر نیز می توان نوشت :

$$x^2 = 2Ry \left[\cos^2 \frac{\theta}{2} \right]$$

که در آن θ زاویه بین محور منحنی و خطی سات که از c به یک نقطه واقع بر منحنی
 (x, y) کشیده شده است. اگر آینه بصورت قطاعی از دایره باشد، در این صورت θ در همه جا
در امتداد قوس، کوچک خواهد بود و می توانیم مقدار $\left[\cos^2 \frac{\theta}{2} \right]$ را تقریباً برابر یک قرار دهیم

و بنویسیم:

$$x^2 = 2Ry$$

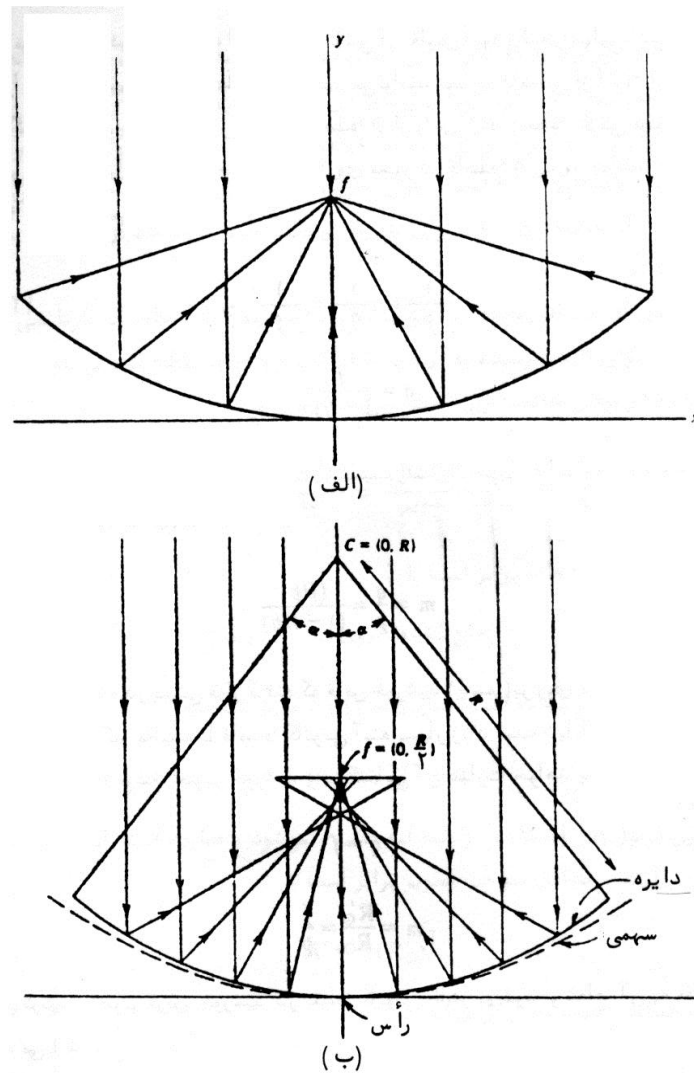
(3-6)

از مقایسه معادله های (3-6) و (1-6) در می یابیم که یک آینه مدور تقریباً مشابه یک
آینه سهموی با طول کانونی $f = \frac{R}{r}$ رفتار می کند، با این شرط که فقط قطاع کوچکی از
دایره به کاربرده شود. در آینه‌هایی که بصورت قطاعهای بزرگی از دایره ساخته می شوند
عیب کج‌نمایی کروی وجود دارد.

3-6- آینه های کروی:

دو شکل سه بعدی واضح آینه مدور عبارت است از آینه های کروی و استوانه ای. آینه
کروی مقعر (همگرا) یا باز تابش کننده بشقابی قسمت کوچکی از یک کره به شعاع R و طول
کانونی $f = \frac{R}{2}$ است. در این آینه پرتوهای پیرامحوری پس از بازتاب تقریباً در نقطه کانونی

متمرکز می شوند. در صورتی که انحرافهای ناشی از نقایص آینه و انحرافهای ناشی از پدیده پراش را نادیده بگیریم، آینه های کروی مقعر می توانند تصاویر واضحی از اشیاء ایجاد کنند.



شکل 6-1

اگر یک جسم بر روی محور آینه در فاصله p از راس آینه (نقطه تلاقی محور و آینه را رأس می گویند) قرار گیرد. تصویر آن بر روی محور در فاصله q پدید خواهد آمد که q از معادله آینه به دست می آید:



$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

$$q = \frac{f}{1 - f/p}$$

بزرگنمایی m طبق تعریف عبارت است از نسبت اندازه تصویر به اندازه جسم و مقدار آن از رابطه زیر به دست می آید:

$$m = \frac{q}{p} = \frac{(f/p)}{(1 - f/p)} \quad (5-6)$$

حال فرض کنید آینه در جهتی قرار گرفته که قرص خورشید (جسم) بر روی محور آینه واقع باشد. چون فاصله جسم درمقایسه با فاصله کانونی آینه بسیار زیاد است. با استفاده از معادلات 4-6 و 5-6 موضع تصویر خورشید و بزرگنمایی آن عبارت خواهد بود از :

$$q \approx f$$

$$m = \frac{R'_o}{R_o} \approx \frac{f}{p}$$

به این ترتیب تصویر قرص خورشید در نقطه کانونی ظاهر می شود و شعاع آن به مقدار زیر تقلیل می یابد:

$$R'_o = f \frac{R_o}{p} \approx (0/0046)f \quad (6-6)$$

نسبت شعاع خورشید را به فاصله آن از زمین 0/0046 فرض کرده ایم. در یک آینه معمولی با فاصله کانونی $f = 10\text{cm}$ شعاع تصویر خورشید عبارت است از $R'_o = 0/046\text{cm}$ به این شرط که هیچ گونه انحرافی وجود نداشته باشد. در واقع ، معادله 6-6



حداقل اندازه تصویر خورشید را که کمتر از آن امکان ندارد به دست می دهد. نمی توان تصویری نقطه ای از خورشید ایجاد کرد زیرا پرتوهای آن کاملاً موازی نیستند. در عمل ، حتی انحرافهای ناچیز، تصویر تاری را به وجود خواهند آورد که مقدار آن دو یا سه برابر مقدار ارائه شده در معادله 6-6 است. چون تجزیه و تحلیل تاری تصاویر از حوصله کتاب خارج است. از معادله 6-6 برای تشریح نیمه کمی خصوصیات متمرکز کننده ها استفاده خواهیم کرد.

هنگامی که انحرافی وجود نداشته باشد وسطح آینه کاملاً خاصیت بازتابشی داشته باشد. تمام توان تابشی رسیده به آینه به طرف تصویر واقع بر نقطه کانونی متوجه خواهد بود. با به کار بردن معادله زیر نسبت تمرکز به دست می آید:

$$A = \text{مساحت قطع شدگی} = \text{شار درون تصویر} = cr$$

$$A' = \text{مساحت تصویر} = \text{شاررسیده}$$

مساحت قطع شدگی یا دهانه برابر است با:

$$A = \pi s^2 \quad (\text{جمع کننده کروی})$$

در این فرمول s شعاع دهانه است (شکل 6-2) می توانیم بنویسیم:

$$s = R \sin \alpha = 2fx \sin \alpha \quad (7-6)$$

که در این فرمول 2α اصطلاحاً زاویه لبه نامیده می شود و عبارت است از زاویه مرکزی

مقابل قوس آینه . حداقل مساحت تصویر برابر است با:

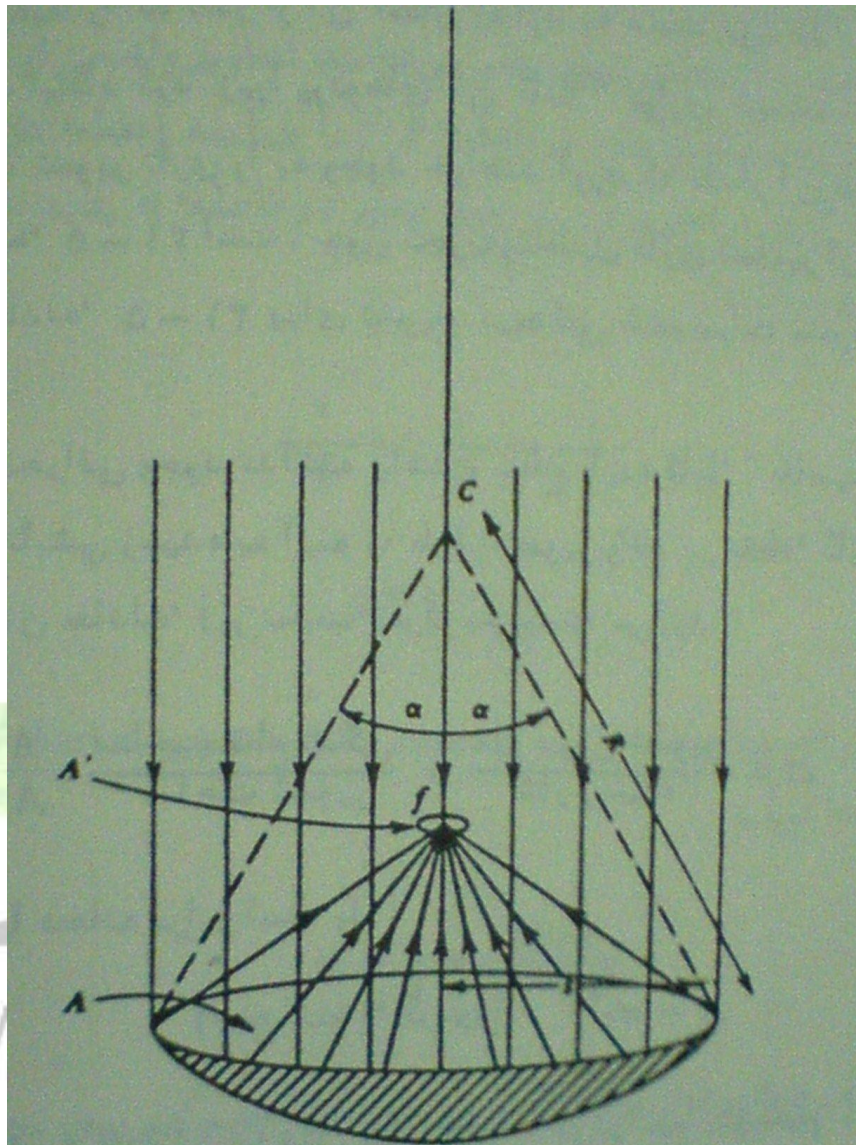
$$A' = \pi(R'_o)^2$$

در نتیجه حداقل نسبت تمرکز برابر است با:

$$cr_{\max} = \frac{\pi s^2}{\pi(R_o)^2} = \left(\frac{2 \sin \alpha}{0.0046} \right)^2 \quad (\text{جمع کننده کروی}) \quad (8-6)$$

به این ترتیب حداکثر نسبت تمرکز ممکن برای یک آینه کروی با افزایش زاویه ای که آینه آن را می پوشاند افزایش می یابد. اما معادله 6-8 فقط هنگامی صادق است که α خیلی بزرگتر نباشد بطوری که بتوان از کج نمایی کروی چشم پوشید.





شکل 2-6 یک آینه بشقابی کروی به شعاع R و زاویه لبه 2α . مساحت دهانه آن برابر است با

یک قرص جذب کننده با مساحت A' در نقطه کانونی آن قرار داده شده است. $A' = \pi R^2 \sin^2 \alpha$

4-6- زاویه پذیرش:

اگر یک آینه کروی در جهتی قرار داده شود که خورشید بر روی محور آن واقع شود، تصویر خورشید تقریباً در نقطه کانونی بر روی محور آن ظاهر خواهد شد . البته، اگر حرکت خورشید سبب شود که خورشید از محور آینه فاصله بگیرد، تصویر آن نیز از محور فاصله



نیروگاه خورشیدی

خواهد گرفت، چون آینه کروی است، تصویر بر روی قوسی به شعاع $f = \frac{R}{2}$ حول مرکز انحنای آینه حرکت می کند (شکل 6-3) اگر خورشید به اندازه زاویه ϕ از محور دور شود، فاصله تصویر آن تا محور چنین خواهد بود:

$$\delta = f\phi$$

در این رابطه ϕ بر حسب رادیان است.

فرض کنید جذب کننده، قرصی است به شعاع b و به قسمی بر روی آینه قرار داده شده که مرکز آن منطبق بر نقطه کانونی واقع بر محور آینه باشد. تصویر خورشید روی جذب کننده می افتد. بشرطی که: $\delta < b$

از رابطه فوق نتیجه می شود که:

$$\phi < \phi_{\max} = \frac{b}{f}$$

(9-6)

فرض می کنیم تصویر خورشید خیلی کوچکتر از اندازه جذب کننده باشد (شکل 6-3)، لذا از معادله 6-9 نتیجه می گیریم که زاویه پذیرش با کاهش اندازه جذب کننده تقلیل می یابد این امر به نوبه خود عمل تعقیب خورشید را مشکل می کند.

مثال: یک آینه کروی با فاصله کانونی 25 سانتی متر دارای قرص جذب کننده ای به شعاع 0/5 سانتی متر است که در نقطه کانونی و بر روی محور آن قرار گرفته است. مطلوب

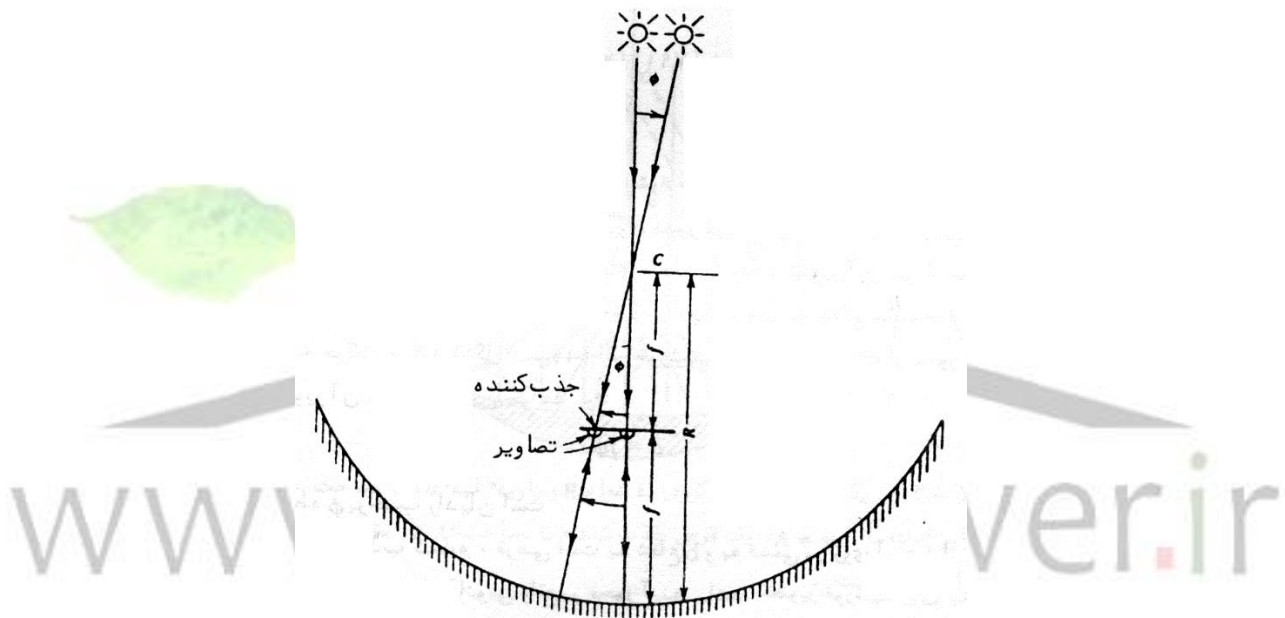


نیروگاه خورشیدی

است محاسبه حداکثر زاویه بین پرتوهای خورشیدی و محور آینه، بطوری که تصویر خورشیدی بر روی جذب کننده بیفتد. (انحرافها را در نظر نگیرید).

با استفاده از معادله 6-9 داریم:

$$\phi_{\max} = \frac{0/5}{25} = 0/02 \text{ رادیان } 1/15^\circ$$



شکل 3-6: این شکل نشان می دهد که چگونه در اثر حرکت خورشید و دور شدن آن از محور، تصویر

خورشید روی قرص جذب کننده به اندازه زاویه θ حرکت می کند.

هر چند برای افزایش زاویه پذیرش می توان سیستمهای نوری چند جزئی را به کاربرد، ولی مشکل اصلی همچنان باقی می ماند. برای اینکه این زاویه را افزایش دهیم، باید مساحت جذب کننده را زیاد کنیم. این مطلب خود میزان جذب متمرکز کننده را کم می کند زیرا با افزایش مساحت جذب کننده تلفات حرارتی نیز افزایش می یابد. در سیستمهای پشت سر



هم (پیکانی) ثابت لازم است برای این که جمع کننده ها به مدت طولانی تری از روز قادر به کار باشند این مطلب را نادیده بگیریم.

6-5- متمرکز کننده های آبخوری (استوانه ای):

اصول نوری آینه های مدور در مورد متمرکز کننده های بشقابی نیز صادق است و بعلاوه می توان آنها را در متمرکز کننده های آبخوری (استوانه ای) نیز به کاربرد (شکل 6-4).

اصول ریاضی آن نیز کاملا مشابه است بجز اینکه تصویر خورشید بر روی خط کانونی بصورت نواری به عرض و طول L ظاهر خواهد شد (L طول آبخور است). طبق معادله 6-6 حداقل عرض تصویر برابر است با:

$$W' = 2(0/0046)f$$

در نتیجه مساحت تصویر معادل است با:

$$A' = W' L = 2(0/0046) fL \quad (10-6)$$

مساحت دهانه یا مساحت دریافت کننده برابر است با:

$$A = WL \quad (\text{جمع کننده استوانه ای}) \quad (11-6)$$

عرض آبخور $W = 2s$ است که در آن s بر طبق معادله 6-7 برابر است با:

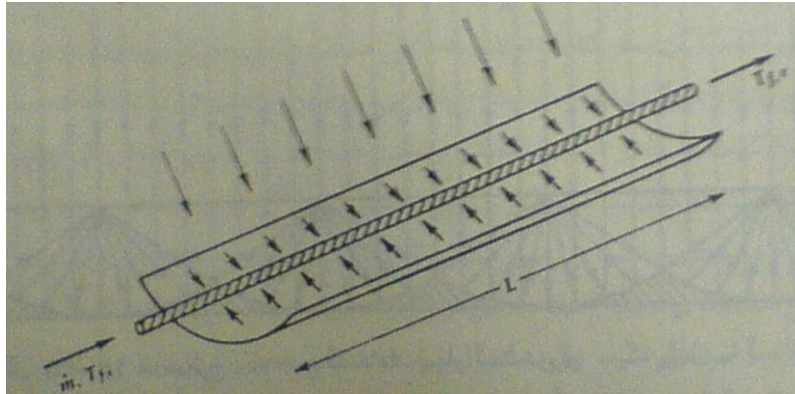
$$s = 3f \sin \alpha \quad (13-6)$$

و 2α زاویه لبه است. با ترکیب معادله های 6-10، 6-11، 6-12 حداکثر نسبت تمرکز

را به دست می آوریم:



$$\text{cr حداکثر} = \frac{A}{A'} = \frac{2 \sin \alpha}{0/0046} \quad (\text{جمع کننده استوانه ای})$$



شکل 6-4) یک جمع کننده تغاری با لوله جذب کننده که در امتداد خط کانونی واقع است. سیال جاری در درون لوله توسط شار متمرکز شده داغ می شود.

از مقایسه معادله های 6-8 و 6-13 در می یابیم که حداکثر نسبت تمرکز نظری برای یک تغار استوانه ای برابر است با ریشه دوم حداکثر نسبت تمرکز یک بشقاب کروی با زاویه لبه یکسان. به دلایل عملی، معمولاً نسبت تمرکز یک متمرکز کننده حداکثر 3600 است. در نتیجه حداکثر نسبت تمرکز یک آبشخور (استوانه ای) تقریباً 60 است. متمرکز کننده

های آبشخوری با وجود این که نسبت تمرکزشان کم است، ولی مزایای واضحی دارند.

نخستین مزیت آنها این است که کاربرد آنها در پانلهای حرارتی از متمرکز کننده های بشقابی بهتر است زیرا لوله های جذب کننده حامل سیالات را می توان در امتداد خطوط کانونی آنها قرار داد. دوم، این که تأثیر خطای ردیابی در کاهش بازده آبشخورهای (استوانه ای) نسبت به جمع کننده های بشقابی کمتر است.



نیروگاه خورشیدی

پس از آنکه یک بار آنها را بطور مستقیم در جهت خورشیدی نشانه روی کردیم فقط حرکت خورشید در جهت عمود بر خط کانونی آبخور باعث محدود شدن کارایی آن می شود. هر چند مایل بودن پرتوهای خورشید مقدار شار دریافتی را کاهش می دهد، حرکت خورشید در جهت موازی با خط کانونی آبخور همچنان وضعیت کانونی بودن تصویر را حفظ می کند.

برای مثال، فرض کنید یک آبخور(استوانه ای) چنان نصب شده باشد که محور آن با محور چرخش زمین موازی باشد. این آبخور فقط به ردیابی روزانه نیاز دارد تا زاویه ساعتی خورشید را دنبال کند. آبخور مذکور پرتوهای خورشیدی را بدون در نظر گرفتن متمم میل متمرکز می کند و در نتیجه نیازی به تنظیم فصلی ندارد. گر چه این قبیل تنظیمات به دلیل این که شار دریافت شده را به حداکثر می رسانند مطلوبند ولی برای حفظ وضعیت کانونی بودن تصویر به آنها نیاز نیست. اما، یک بشقاب کروی هم به ردیابی فصلی دائم و هم ردیابی روزانه احتیاج دارد.

به کاربردن یک جمع کننده آبخوری منفرد در یک پانل حرارتی با مقطع عرضی کوچک مشکل است. طبق معادله 6-13 به ازای مقدار ثابت α عرض آبخور متناسب است با فاصله کانونی. حال برای اینکه طول کانونی را کاهش دهیم (بنابراین مقطع عرضی را کوچک کنیم) باید عرض آبخوری آینه را تقلیل دهیم. معمولاً مجموعه ای از آبخورهای موازی را در یک پانل حرارتی منفرد به کار می برند تا یک مقطع عرضی کوچک به دست آید.



نیروگاه خورشیدی

مثال: می خواهیم در یک پانل حرارتی به عرض $1/2$ متر و ضخامت 30 سانتی متر مجموعه از چهار آبشخور استوانه را به کار ببریم. اگر خط کانونی هر آبشخور درست زیر روپوش قرار داشته باشد. زاویه لبه آبشخور یعنی 2α و نیز حداکثر نسبت تمرکز ممکن سیستم را به دست آورید.

چون عرض آبشخور $w = 2s = 30\text{cm}$ مقدار $15s$ سانتی متر است.

با جایگزین کردن این مقدار در معادله 6-13 خواهیم داشت:

$$2\alpha = 29^\circ$$



از معادله 6-13 نتیجه می گیریم که :

$$cr_{\max} = \left(\frac{2}{0/0046} \right) \sin 14/5^\circ = 109$$

انواع مختلفی از جمع کننده های کانونی کننده وجود دارد که در برخی از آنها مجموعه ای از آینه و عدسی به کار می رود. هر چند متمرکز کننده ها جالب توجهند، اما عیب اصلی آنها این است که به نوعی ردیابی فصلی یا روزانه نیاز دارند.

هر چه اندازه مجموعه جمع کننده بزرگتر باشد، دستگاه ردیابی پیچیده تر و پرهزینه تر خواهد بود. علاوه بر این، متمرکز کننده ها قادر نیستند تابش پخشی خورشید را کنترل کنند. از طرفی، مزایای عمده آنها این است که قادرند دماهای خیلی زیادی پدید آورند و تلفات حرارتی آنها اندک است.



6-6- نیروگاههای با گرد آورنده های بشقابی

گرد آورنده این نیروگاه از نظر شکل ظاهری مانند یک بشقاب ماهواره ای یم باشد که سطح آن از مواد منعکس کننده پوشیده گردیده است. دریافت کننده در کانون این بشقاب، کوچک نقطه می باشد، تعبیه می گردد. ضریب تمرکز گردآورنده های بشقابی بین 100 تا 10000 می باشد و درجه حرارتی تا حدود 1000 درجه سانتی گراد در نقطه کانونی آن حاصل می گردد.

در نیروگاههای با گردآورنده بشقابی وجود یک تعقیب کننده دو محوری برای ردیابی اشعه مستقیم خورشید توسط گردآورنده ها ضروری می باشد. با ردیابی صحیح، میزان بیشتری از تابش خورشیدی بر روی نقطه کانونی گردآورنده ها متمرکز می شود و در نتیجه کارایی سیستم افزایش می یابد.

گرمای حاصل در دریافت کننده را می توان با کمک یک سیال مناسب به یک سیکل ترمودینامیکی جدا از گرد آورنده منتقل نمود و بدین ترتیب انرژی الکتریکی تولید کردو یا در موتور استرلینگ کوچک که در پشت نقطه کانونی آن قرار گرفته مورد استفاده قرار داد.

با انتقال گرمای دریافت کننده با شاره کار کن موتور استرلینگ که معمولاً هیدروژن و یا هلیوم می باشد، موتور به حرکت در می آید و در نهایت به ژنراتور کوپل شده به آن تولید انرژی الکتریکی می گردد. شکل (6-5) طرح یک نیروگاه برق بشقابی : استرلینگ را نمایش می دهد.



شکل (5-6) نمایی از یک نیروگاه برق بشقابی - استرلینگ

جدول (1-6) مشخصات برخی از نیروگاههای بشقابی - استرلینگ موجود در جهان را

نشان می دهد.

جدول (1-6) مشخصات برخی از نیروگاههای بشقابی - استرلینگ

دوره کارکرد	گاز	نوع منعکس کننده	دیافراگم (M ²)	توان (MW)	کشور	نوع یا نام نیروگاه
1985-1984	هیدروژن	آئینه صاف شیشه ای	91	25	آمریکا	ونگوارد
1988-1984	هیدروژن	آئینه صاف شیشه ای	91	325	آمریکا	مک دونالد
1988-1984	هیدروژن	شیشه با پوشش نقره روی فولاد	227	52/5	عربستان	SBP
1991 تاکنون		پلاستیک با پوشش آلومینیوم	4/2	9	اسپانیا آلمان	SBP
1992 تاکنون	هلیوم	----	41/5	7/5	آمریکا	کامپسن CSP

1992 تاکنون	هلیم		44	8/5	ژاپن	ایسین میاکو
1993 تاکنون	هلیم		---	2/5	آمریکا	STM - PCS

موتورهای استرلینگ دارای بازدهی بالا، انتشار آلودگی کم، طول عمر زیاد و کارکرد آرام هستند. هر واحد نیروگاه بشقابی : استرلینگ به تنهایی قادر به تولید 10 تا 15 مگاوات الکتریسیته می باشد.

از مزایای نیروگاههای بشقابی - استرلینگ می توان مواردی نظیر امکان تولید مستقل برای مناطق دورافتاده، امکان اتصال به شبکه، بازدهی بالا، نصب، بهره برداری و نگهداری ساده و امکان تولید انبوه آنها را برشمرد.

از معایب این نیروگاه ها نیز موارد ذیل قابل ذکر می باشند.

- سیستم پشتیبان سوخت فسیلی پیوندی هنوز در دسترس نیست.
- تعداد ساعاتی از سال که سیستم با ظرفیت کامل کار می کند، کم است.
- ضرورت نیاز به پایه های پایدار و سیستم ردیاب خورشیدی دو محوره، موجب افزایش هزینه احداث آن می گردد.



6-7- نیروگاههای با گردآورنده سهموی دراز:

نیروگاههای تولید برق با گردآورنده های دراز در ظرفیت های بین 30 تا 150 مگاوات طراحی می شوند و دارای بازدهی کلی در حدود 15 درصد می باشند. این نیروگاهها دارای گردآورنده های سهموی شکل و دراز می باشند، که با توجه به ساختار خاص خود، تابش مستقیم خورشید را بر روی کانون خطی و دراز خود منعکس می نمایند.



شکل (6-6) نمایی از گردآورنده سهموی دراز

ضریب تمرکز تابش خورشیدی در چنین نیروگاهی بین 2 تا 40 می باشد و درجه حرارتهایی تا 400 درجه سانتی گراد در کانون گردآورنده ها، حاصل می گردد. در این کانون این گردآورنده ها لوله فلزی درازی به رنگ سیاه را در داخل لوله شیشه ای خلاء قرار می دهند.

یک سیستم تک محوری ردیاب خورشیدی سبب می شود، که تابش خورشید در تمام طول روز بر روی لوله جاذب در خط کانونی گردآورنده انعکاس یابد. با اتصال موازی و یا سری تعداد بسیاری از لوله های جاذب حرارت به یکدیگر، یک میدان وسیع برای دریافت انرژی خورشیدی ایجاد می گردد.

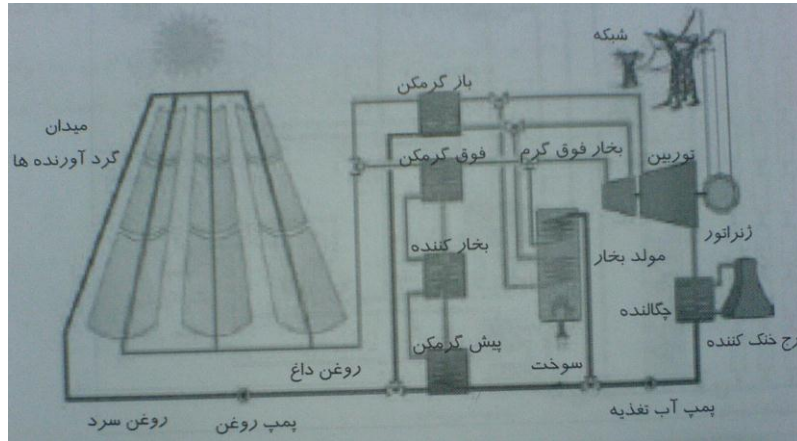


نیروگاه خورشیدی

در داخل لوله های فلزی روغن جریان دارد، که این روغن پس از چرخش در مسیر لوله ها تا حدود 400 درجه سانتی گراد داغ می گردد. روغن داغ به مبدل‌های حرارتی می رود و آب را به بخار فوق گرم تبدیل می کند و این بخار توربین را به حرکت در می آورد. علت استفاده از روغن به جای آب در این نوع نیروگاه ها بدین دلیل است ، که روغن در درجه حرارت‌های بسیار بالا هنوز به صورت مایع باقی می ماند و این امر موجب کاهش ابعاد لوله ها می گردد. نمایی از یک میدان گردآوردن سهموی دراز نمایش داده شده است. در حال حاضر این نوع نیروگاه یکی از توسعه یافته ترین فن آوریهای موجود جهت تولید برق از انرژی خورشیدی محسوب می گردد و دارای مزایای بسیاری نظیر زمان کوتاه نصب، فن آوری قابل اعتماد، توان تولید بالا، امکان تولید انبوه قطعات خورشیدی مشابه و امکان تولید همزمان گرما و برق می باشد.

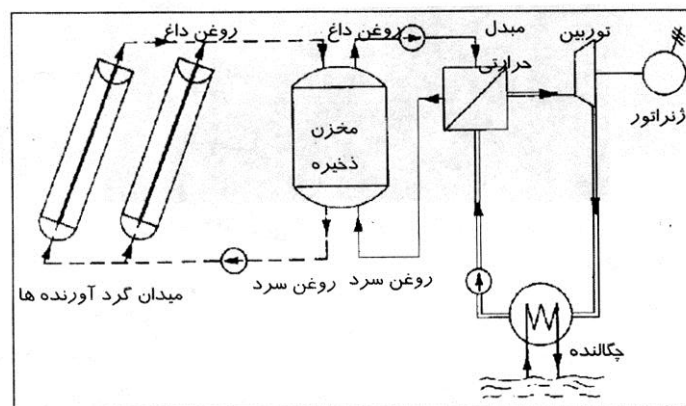
از معایب این روش تولید نیز می توان مواردی نظیر محدودیت دمای کارکرد بخش خورشیدی به 400 درجه سانتیگراد، محدودیت دمای بخار تولید شده به 370 درجه سانتی گراد و در نتیجه بازدهی کم نیروگاه، نیاز به پایه های پایدار برای گرد آورنده ها ، ائتلافهای قابل ملاحظه بدلیل خطای ردیابها و نیاز به آب برای تمیز کاری و پروسه نیروگاهی را برشمرد. جهت بالا بردن مدت زمان بهره برداری از این نیروگاهها، وجود یک سیستم مکمل برای پشتیبانی نیروگاه در مواقع ابری بودن هوا و اوقات شب، به خصوص در نیروگاههایی با گستره تولید مگاوات، ضروری می باشد. این سیستم پشتیبان شامل یک مولد بخار با سوخت فسیلی، معمولاً از نوع گاز طبیعی و یا نفت، است. با استفاده از گاز طبیعی و نفت بعنوان سوخت سیستم پشتیبان ، سیستم قادر به پاسخ سریعتر در برابر نوسانات تولید می گردد. در

شکل (6-6) طراحی از یک نیروگاه سهموی دراز مجهز به یک مولد بخار پشتیبان با سوخت فسیلی نمایش داده شده است.



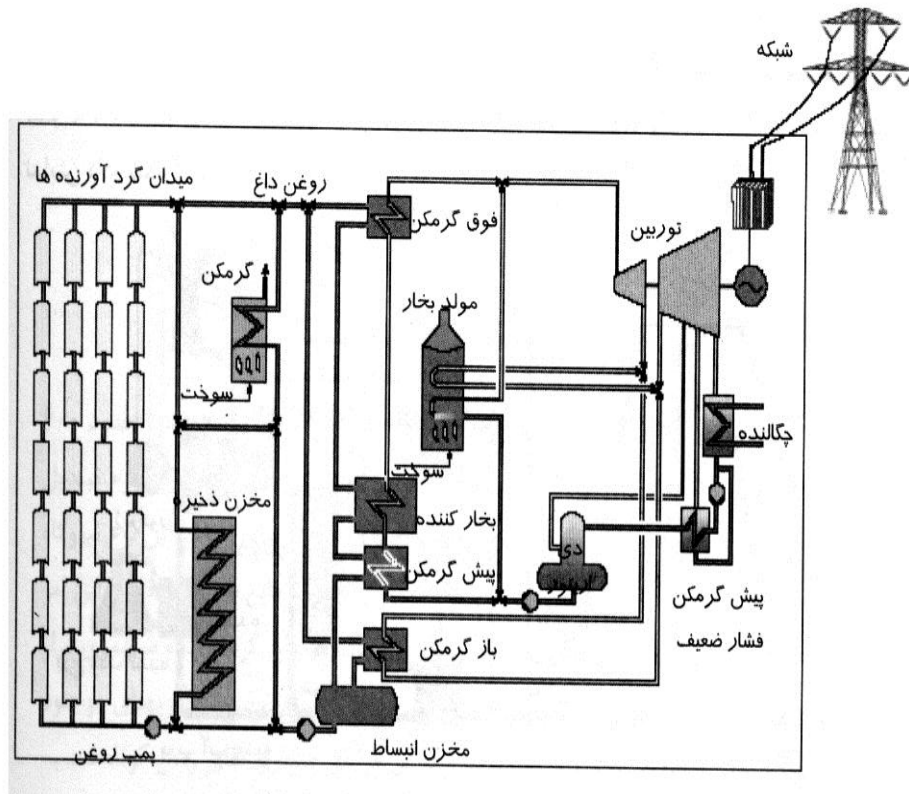
شکل (6-7) طرح یک نیروگاه سهموی دراز مجهز به مولد بخار پشتیبان

با در نظر گرفتن یک سیستم ذخیره گرمایی در ساختار نیروگاه، نیز می توان مدت زمان بهره برداری موثر از نیروگاه را بیشتر نمود، زیرا نیروگاه در ساعاتی که تابش مستقیم خورشید وجود ندارد، با استفاده از انرژی ذخیره شده خورشیدی، قادر به تولید برق می باشد. (شکل 6-8) طراحی از یک نیروگاه سهموی دراز مجهز به سیستم ذخیره گرمایی را نشان می دهد.



شکل (6-8) طرح یک نیروگاه سهموی دراز مجهز به سیستم ذخیره گرمایی

در برخی از طرحهای نیروگاهی سهموی دراز، نیروگاه در کنار یک سیستم مکمل سوخت فسیلی مجهز به سیستم ذخیره گرمایی نیز می باشد. شکل (6-9) طرحی از چنین نیروگاهی را نمایش می دهد.



شکل (6-9) طرح یک نیروگاه سهموی دراز مجهز به سیستم ذخیره گرمایی و سیستم بخار پشتیبان

در برخی از طرحهای نیروگاهی، گرمای حاصل در گردآورنده های سهموی دراز، به عنوان منبع گرمای کمکی در قسمت بازیافت حرارتی یک نیروگاه سیکل ترکیبی مورد استفاده قرار می گیرد.

شکل (6-10) طرحی از چنین نیروگاهی را نمایش می دهد.

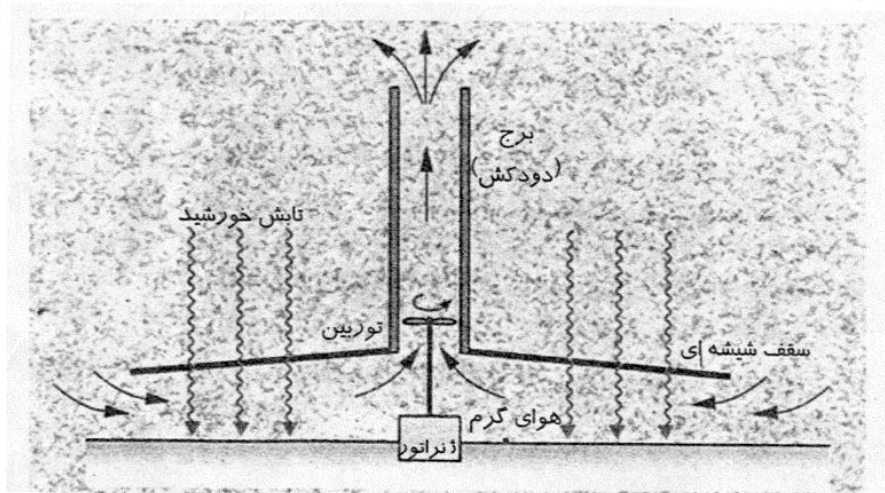


فصل 7- برجهای نیرو

7-1- برجهای نیرو با هوای گرم

ساختار و طرز عملکرد این نوع نیروگاه از سه اصل شناخته شده علمی مربوط به طرز کار گلخانه های خورشیدی، توربین های بادی و دودکش بلند سرچشمه گرفته است. در این نیروگاه هوای گرمی که به وسیله نور خورشید در یک گرم خانه خورشیدی تولید می شود، از اطراف به سمت دودکش بلندی که در مرکز گرم خانه قرار دارد هدایت می گردد.

این هوای گرم در دودکش با سرعت و فشار بالایی صعود می کند و در حین صعود باعث چرخش توربینی که در پایین دودکش نصب شده است، می گردد و بدین ترتیب در ژنراتور کوپل شده به توربین، برق تولید می شود. شکل (7-1) نمایی شماتیک از این نوع نیروگاه را نمایش می دهد.



شکل (7-1) نمایی شماتیک از نیروگاه برج نیرو با هوای گرم



نیروگاه خورشیدی

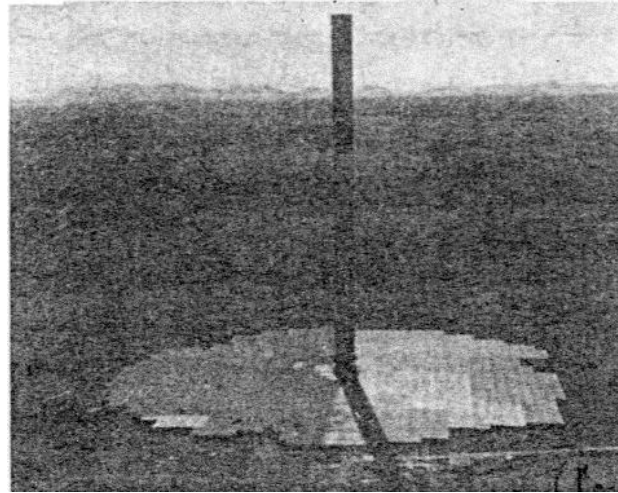
این نیروگاهها هنوز در مرحله آزمایشی هستند و توسعه چندانی نیافته اند. یک نمونه از این نیروگاهها در دشت لامانشا در 160 کیلومتری جنوب مادرید قرار دارد، که دارای برجی به ارتفاع حدود 200 متر و قطر 10 متر می باشد. این برج از ورق های گالوانیزه به ضخامت 1/2 میلیمتر ساخته شده است. گرمخانه به صورت یک ساختمان آهنی ساده است و از هزاران ستون نازک فولادی با ارتفاع های 2 تا 6 متر تشکیل شده است. بر روی این ستونها پرده های مربع شکل پلاستیکی انداخته شده است. پوشش شیشه ای مانع از خروج امواج بلند تابش خورشید از محوطه گرمخانه به بیرون از آن می گردد و بدین ترتیب بطور متوسط در حدود 50 درصد از انرژی خورشیدی تابیده شده به سطح گرمخانه بصورت گرما در زیر پوشش شیشه ای ذخیره می شود. ارتفاع ستونهای گرمخانه از اطراف به سمت محل استقرار دودکش، که در مرکز میدان گرمخانه واقع شده است، افزایش می یابد، تا هوای گرم داخل گرمخانه با کمترین تلفات اصطکاک به سمت بالای دودکش هدایت شود. قطر میدان گرمخانه در حدود 240 متر می باشد.

کف گرمخانه را با رنگ سیاه مخصوصی که حرارت را بهتر جذب می کند، رنگ کرده اند. در قسمت پایین دودکش و در وسط آن بر روی یک ساختمان فلزی 8 متری، توربین و ژنراتور قرار گرفته اند. هرگاه سرعت باد به حدود 4 متر برثانیه برسد. توربین شروع به حرکت می نماید. سرعت دوران توربین توسط یک رگولاتور همواره بر روی 150 دور در دقیقه ثابت نگه داشته می شود، تا فرکانس بر روی 50 هرتز ثابت بماند. توان این نیروگاه در شرایط خوب جوی معادل 40 کیلو وات می باشد. محاسبات نشان می دهد که برای ساختن



نیروگاه خورشیدی

یک نیروگاه بزرگ 40 مگاواتی باید برجی به ارتفاع 760 متر و گرمخانه ای به شعاع 5 کیلومتر ساخته شود. شکل (2-7) نمایی از نیروگاه لاماشا را نمایش می دهد.



(شکل 2-7) نمایی از یک نیروگاه برج نیرو با هوای گرم در دشت لامانشا

مطابق بررسی های انجام یافته در کشور آلمان، تولید برق در این نیروگاهها از نظر اقتصادی و فنی، از جمله طرحهای مناسب در جهت استفاده از انرژی خورشیدی می باشد. از مزایای نیروگاههای برج بلند می توان موارد زیر را برشمرد:

- امکان استفاده از تشعشع پراکنده و مستقیم خورشید برای تولید برق وجود دارد.
- خاک زیر شیشه به عنوان منبع ذخیره گرمایی عمل می کند و تا حدودی از تغییرات شدید در میزان انرژی تولیدی نیروگاه جلوگیری می نماید.
- عدم آلودگی محیط زیست
- به دلیل عدم نیاز به آب، نیروگاه را می توان در هر محلی حتی در زمین های موات و کویری نصب نمود.



- به دلیل عدم وجود دماهای بالا در این نیروگاهها، طول عمر آنها بالا می باشد.
- هزینه ویژه احداث برج های نیرو بالا میباشد، ولی با توجه به عمر زیاد برج های نیرو و هزینه های کم تعمیرات و نگهداری و عدم نیاز های به سوخت در آن ها، هزینه تولید انرژی الکتریکی در این نیروگاه ها قابل رقابت با دیگر نیروگاههای متداول می باشد.

از معایب این نوع نیروگاهها، موارد زیر قابل بیان می باشند:

- بازدهی کم نیروگاه
- پیوند با سیستم پشتیبان سوخت فسیلی ناممکن است.
- مدت زمان بهره برداری موثر سالیانه نیروگاه محدود می باشد.
- مقادیر زیادی مواد اولیه و سطح بزرگی زمین برای ساخت دودکش و گرم خانه مورد نیاز است.
- برای تولید توانهای بالا به دودکش بسیار بلند نیاز است.
- امکان پاره شدن پوشش های پلاستیکی گرمخانه بر اثر بادهای داخلی و خارجی وجود دارد(البته با سرمایه گذاری اولیه بیشتر می توان از پوشش های شیشه ای استفاده کرد)
- کثیف شدن سطوح گرمخانه باعث کاهش بازدهی می گردد و باید شستشو گردد.



7-2- برج های نیرو با هوای سرد

پروسه تولید برق در این نوع نیروگاهها تا حدودی شبیه به پروسه تولید برق در نیروگاههای آبی می باشد. در این نیروگاهها، هوای سرد و سنگین از ارتفاع بالا به طرف پایین حرکت می نماید و پس از برخورد با پره های توربین، آنرا به حرکت درمی آورد و با چرخش توربین در ژنراتور کوپل شده به آن تولید برق می گردد. ساختمان و طرز کار این برجها به صورت زیر است:

برج بلندی را با دهانه نسبتاً بزرگ در میان کویری خشک در نظر می گیریم. آب با پمپهای قوی به بالای برج پمپ گردیده و توسط پخش کن هایی به صورت گرد به داخل برج تزریق می شود. بدین ترتیب هوای گرم و خشک کویری که رطوبت جذب کرده و خنک تر شده است، سنگین می گردد و تحت تاثیر نیروی جاذبه زمین در داخل برج به طرف پایین حرکت می کند.

به دلیل ارتفاع زیاد برج سرعت هوای سرد در پایین برج بسیار افزایش می یابد. در پایین برج توربین ها قرار دارند که به حرکت در می آیند و باعث به حرکت درآمدن ژنراتورها و تولید برق می گردند. هر چه هوا داغتر و خشک تر باشد، میزان توان تولیدی نیروگاه بیشتر است. توان تولید شده در این نیروگاه مشابه نیروگاههای آبی متناسب با حاصل ضرب حجم در وزن مخصوص ماده سیال است. وزن مخصوص هوا در حدود یک هزارم وزن مخصوص آب است، با توجه به این اصل، به ازای حجم معینی از آب در نیروگاه آبی، به حداقل 1000 برابر همان حجم از هوا در برج سرد نیازمندیم تا توان یکسانی را به دست



نیروگاه خورشیدی

آوریم، که این امر باعث بزرگی حجم و ارتفاع برج می گردد. محاسبات نشان می دهد که در حدود هشت برابر انرژی که برای پمپ کردن آب به بالای برج مصرف می شود، انرژی تازه حاصل می گردد. این نیروگاهها محیط خود را آلوده نمی کنند، بلکه باعث لطافت هوا نیز می گردند. هوای خروجی از برج چندین درجه سانتی گراد خنک تر از دمای محیط میباشد و دارای رطوبت بسیار زیادی می باشد، که شب ها به صورت شبنم سنگینی روی زمین می نشیند، لذا می توان باغات و مزارع خرمی در اطراف برج به وجود آورد. با این وجود از نظر فنی احداث این نیروگاهها برای استفاده در کشور دارای چند عیب عمده می باشد که عبارتند از:

- نیاز به آب، که در ایران تامین چنین آبی فقط از دریا به دریاچه ممکن است.
- برای حمل آب تا پای برجها نیز به پمپ های قوی داریم، که خود هزینه قابل توجهی دارد.
- برای شروع به کار به موتورهای دیزل اضافی برای رساندن آب به بالای برج نیاز می باشد، که این امر سرمایه گذاری و هزینه نگهداری بیشتر و نیز نیاز به سوخت را تحمیل می کند.
- وقتی هوا مرطوب باشد(مثلا کنار دریا) این برجها بازدهی کمی دارند، زیرا هوای مرطوب کمتر از هوای گرم و خشک ، آب را به خود جذب می نماید.

فصل 8- تخلیه انرژی از گرمای آب دریاها و اقیانوسها

8-1- نیروگاههای استخر خورشیدی

در یک استخر آب شور، اگر آب مدتی بی حرکت در مقابل آفتاب قرار بگیرد. بر اثر تابش خورشید و تبخیر آب به تدریج لایه ای از آب گرم و غلیظ در سطح استخر تشکیل می گردد، این لایه به دلیل جرم حجمی بیشتر که نسبت به لایه های زیرین استخر دارد، آهسته به پائین نزول می کند و به تدریج و ته استخر جمع می گردد. با طراحی های صحیح و تحت شرایط خاص، می توان قطر لایه آب گرم و غلیظ را در ته استخر زیاد نمود و بدین ترتیب در ته استخریک لایه ذخیره حرارتی ایجاد کرد. از این لایه ذخیره حرارتی می توان در کاربردهای گرمایش و تولید برق استفاده نمود. استخرهای آب شور و برخی از نقاط جهان نظیر مجارستان و آمریکا به طور طبیعی وجود دارند که در بعضی از آنها درجه حرارت آب گرم و غلیظ لایه زیرین استخر در حدود هفتاد درجه سانتی گراد است. درجه حرارت لایه سنگین و گرم ته استخرهای ساخته دست بشر ممکن است به درجه جوش آب نیز برسد و این در حالی است که درجه حرارت آب در سطح حدود 25 درجه سانتی گراد می باشد. استخرهای آب شور در عمق خود به طور کلی به سه ناحیه مجزا با غلظتهای مختلف نمک تقسیم می شوند.

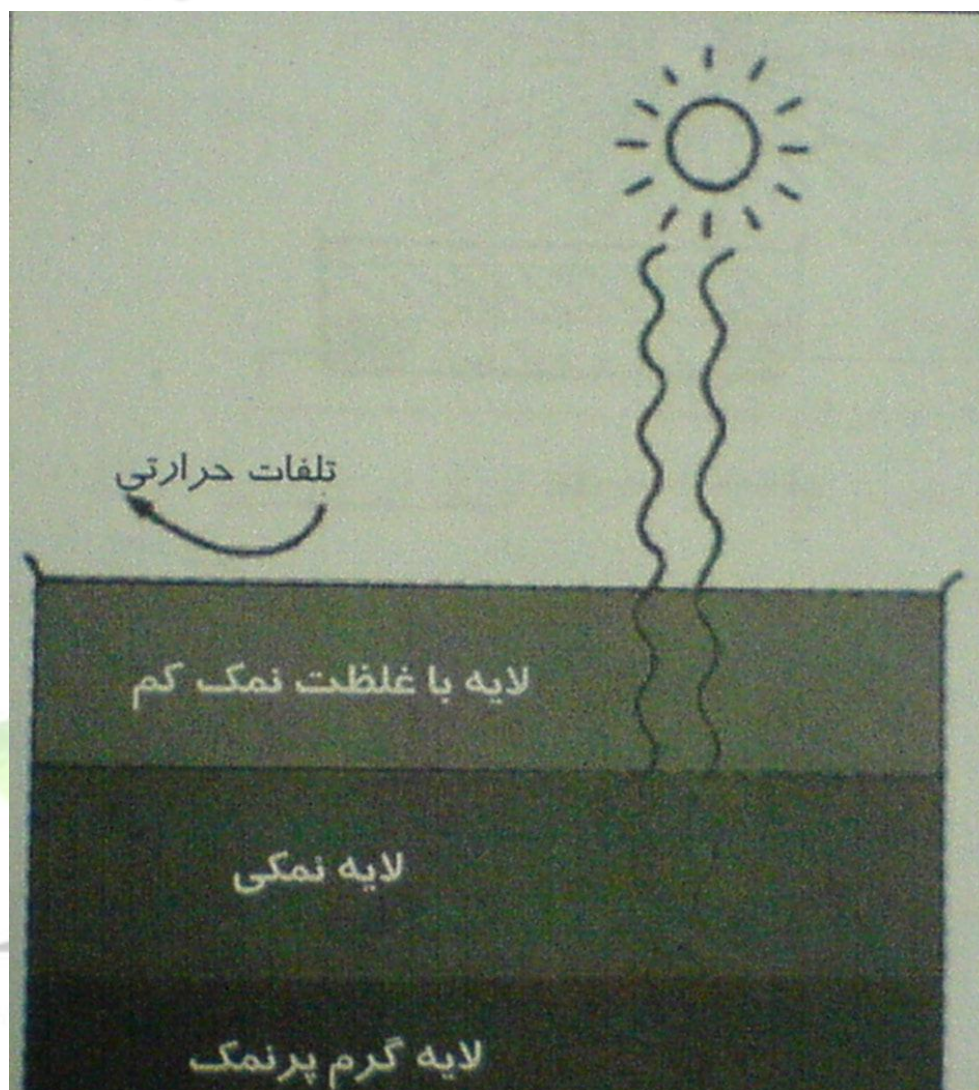
ناحیه اول: یک ناحیه باریک انتقال گرمای جابه جایی که دارای غلظت کم نمک می باشد و در بالای استخر قرار دارد. انتقال گرمای جابه جایی، از این لایه توسط باد و اتلاف سطحی انجام می گیرد.



نیروگاه خورشیدی

ناحیه دوم: یک ناحیه بدون انتقال گرمای جابه جایی به عمق یک تا یک نیم متر که هر چه به سمت عمق می رود غلظت نمک آن بیشتر می شود. تغییر غلظت نمک باعث می شود که لایه های گرمتر آب به سمت بالا حرکت نکنند. بنابراین، این لایه مانند یک عایق شفاف عمل می کند ، یعنی به اشعه خورشید اجازه عبور به سمت لایه های پائین تر را می دهد ولی از انتقال گرمای جابه جایی به لایه های بالایی جلوگیری می کند.

ناحیه سوم: لایه زیرین استخر که دارای عمق بین دو تا چهار متر و غلظت بالای نمک تا حد اشباع است. وزن مخصوص آب این لایه بسیار بالا می باشد، بنابراین هنگامی که گرم می شود به سمت بالای استخر حرکت نمی کند. غلظت نمک در این لایه ، یکنواخت است، بنابراین به دلیل انتقال گرمای جابه جایی ، دمای همه نقاط این لایه یکنواخت است. ضخامت این لایه، تعیین کننده میزان ظرفیت ذخیره گرمایی استخر است.



شکل (8-1) نواحی مختلف یک استخر آب شور

نیروگاههای استخر خورشیدی با سیکل ترمودینامیکی رانکین کار می کنند و شیوه تولید برق در آنها بدین صورت است، که از حرارت لایه زیرین استخر برای تبخیر یکی از سیالات آلی نظیر فریون استفاده می کنند. بخار فریون با فشار بالا وارد توربین می شود و آن را به حرکت در می آورد و بدین ترتیب در ژنراتور کوپل شده به توربین تولید انرژی الکتریکی می گردد. بخار کم فشار خروجی از توربین به چگالنده می رود و در چگالنده تکرار می گردد.



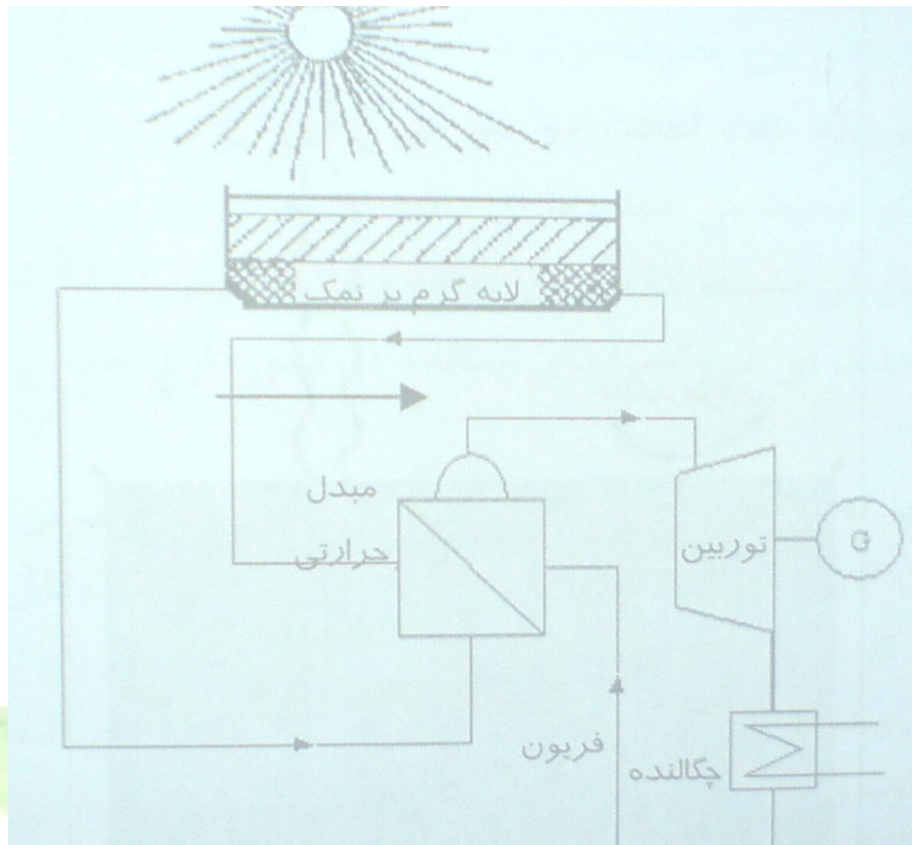
نیروگاه خورشیدی

این نیروگاهها برای تأمین بدون وقفه برق به یک سیستم پشتیبانی جدا از چرخهای خود نیاز دارند. شکل (8-2)

شکل (8-2) طرح یک نیروگاه با استخر آب شور را نمایش می دهد. اولین نیروگاه از این نوع در سال 1979 در کشور آمریکا با توانی حدود 230 کیلو وات و دریاچه ای به مساحت 7300 متر مربع مورد بهره برداری قرار گرفت.

شکل (8-3) نمایی از نیروگاه استخر خورشیدی ال پاسو واقع در کشور آمریکا را نشان میدهد.

بر اساس مطالعات انجام یافته در کشور آمریکا نصب هر کیلو وات نیروگاه استخر خورشیدی در حدود 2000 دلار و تولید هر کیلو وات ساعت برق در حدود 5 سنت، برآورد شده است.



(شکل 8-2) طرح یک نیروگاه با استخر آب شور



(شکل 8-3) نمایی از نیروگاه استخر خورشیدی ال پاسو



از مزایای نیروگاههای استخر خورشیدی می توان موارد زیر را برشمرد .

- انرژی گرمایی در لایه های زیرین استخر ذخیره می گردد و بنابراین نیازی به ذخیره سازی جداگانه انرژی گرمایی وجود ندارد .
- تولید برق در این نیروگاهها برای پوشش بار پایه، میانی و نیز بار پیک مناسب است.
- برای تولید همزمان الکتریسیته و گرمای مناسب است.

معایب:



- تیره شدن آب استخرها بر اثر جلبکها یا کثیف شدن آب
 - دشواری کنترل غلظت و درجه حرارت
 - مخلوط شدن آب استخر بر اثر باد و امواج
 - نفوذ آبهای زیرزمینی به داخل استخر
 - انتخاب لوله های مناسب برای استخراج انرژی حرارتی آب
 - بازدهی پائین جهت تبدیل انرژی خورشیدی به برق (نیاز به سطح زیاد زمین)
 - نیاز به مقادیر قابل ملاحظه ای آب و نمک با کیفیت مرغوب
 - طولانی بودن دوره ساخت و دشواری در تعمیرات و نگهداری سیستم لوله کشی
- غوطه ور در استخر



8-2- بهره برداری از گرمای اقیانوسها

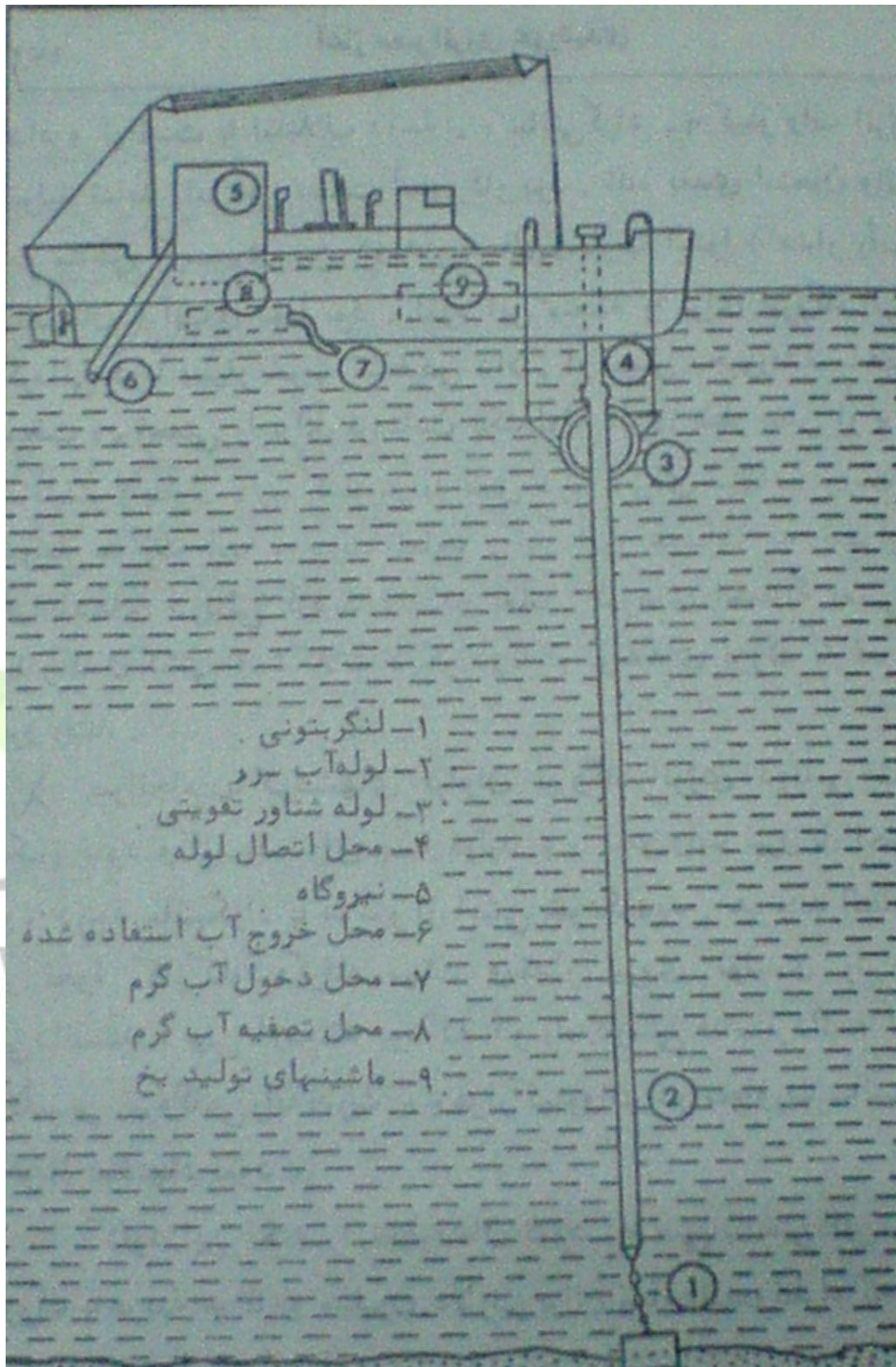
از سال 1926 کلود کاملاً در فکر این بود که بتواند از آب دریاها و اقیانوسها بنوعی نیرو تولید نماید اساس کار بدین ترتیب بود که بنحوی از اختلاف درجه حرارت سطح آب نیروی مکانیکی تولید کننده کلود، در این مورد به استفاده از اختلاف درجه سطح آب و عمق سه هزار فوتی اشاره می کند.

درجه حرارت سطح آب معمولاً بین 21 تا 25 سانتی گراد و درجه حرارت عمق سه هزار فوتی بین صفر تا 4 درجه سانتی گراد می باشد، در نتیجه اختلاف درجه ای برابر 20 درجه بوجود می آید.

در اینجا اساساً همان عملیاتی که در مورد استخرهای خورشیدی شرح داده ایم وجود دارد اما با یک اختلاف بزرگ و حیاتی.

استخرهای خورشیدی بعلت حجم کم می باید متناوباً خالی و با آب تازه پر می شدند.

اما دریا نه تنها سه چهارم از گرمای خورشید را دریافت می کند و حجم بسیار زیادی دارد، بلکه این انرژی را سالها در خود ذخیره و نگه داری نیز می کند.



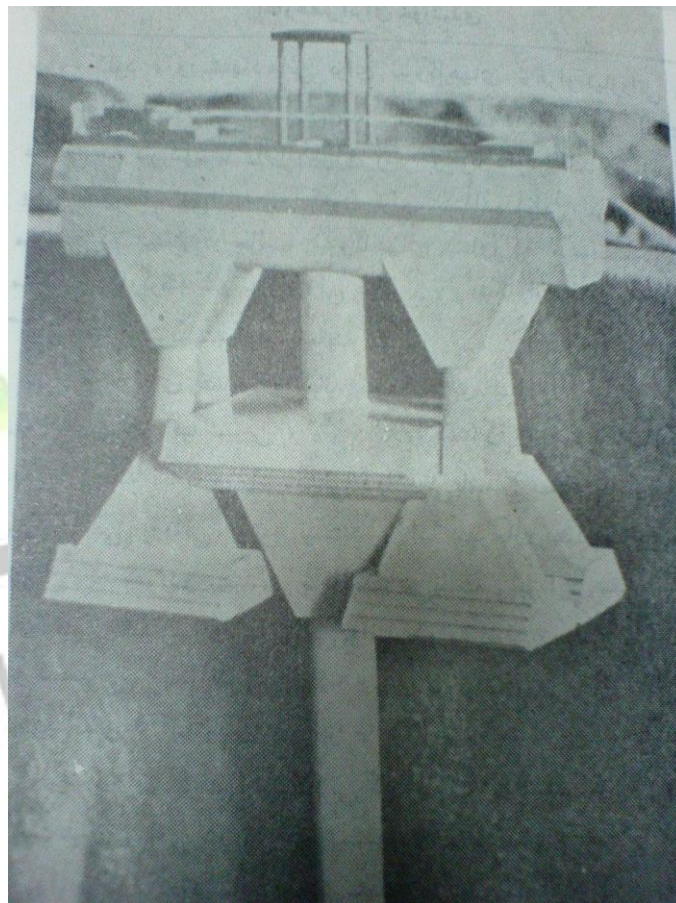
شکل (4-8) نیروگاه شناور برای تهیه انرژی از گرمای آب دریا در تونس

با آزمایش های انجام شده با اختلاف درجه 20 سانتی گراد می توان 60 کیلووات انرژی

تولید کرد.

این نیروگاهها را می توان در مناطق گرمسیری بین دو مدار شمال و جنوب استوا(مدار رأس السرطان) تأسیس کرد.

8-3- نیروگاههای شناور :



شکل (8-5): مدل نیروگاه شناور برای تهیه انرژی از آب گرم دریاها

نیروگاههای شناور می توانند در نقاط مناسب به کار گرفته شوند و نیرویی برابر 100 مگاوات یا 100 هزار کیلووات الکتریسیته تولید نمایند .

از مزایای عمده این گونه نیروگاههای شناور، تولید روزانه 60 میلیون گالن آب شربین ، 115 تن اکسیژن و محصولات با ارزش دیگر از جمله نمک و مواد معدنی دیگر می باشد.



نیروگاه خورشیدی

در توربین نیروگاه های شناور به جای آب، گاز پروپان بعنوان حدواسط بکار گرفته می شود. پروپان گازی است ارزان، فراوان، و غیر قابل حل و فاسد نشدنی در آب. توربینی که با گاز پروپان کار می کند کوچکتر و ساخت آن هم ارزانتر از توربینهای بخاری می باشد.

نیروگاههای شناور برای رسیدن به عمق لازم به لوله های بسیار کمتری نیاز دارند. زیرا به علت شناور بودن آنها می توان بهر جایی که آب گرم وجود دارد حرکت داده و همیشه از ذخیره آب گرم استفاده نمود. قسمت جوش و قسمت متراکم کننده را نیز می توان در زیر این نیروگاه برای ساده تر کردن دستگاهها و بهتر شدن اجرای کار نصب کرد.

قرار دادن اکثر دستگاهها و وسایل در قسمت زیرین نیروگاه ، آن را استوارتر و متعادل تر می سازد و حتی در طوفانهای شدید نیز نیروگاه قادر به کار خواهد بود.

کار این نیروگاه ها بدین ترتیب است که آب گرم را از سطح دریا جمع می کند بعد از گذراندن آن از یک صافی - برای گرفتن مواد خارجی به قسمت جوش آورنده که در عمق 290 فوتی قرار دارد برای اینکه پروپان به صورت بخار دربیاید پمپ می شود سپس پروپان بخار شده برای تولید الکتریسیته به یک توربین مولد برق فرستاده می شود و از این دستگاه توربین، پروپان به قسمت متراکم شونده هدایت می شود. در اینجا پروپان بوسیله آب سردی که از عمق 2000 فوتی به بالا پمپ می گردد سرد می شود.

8-4- حمل نیرو از نیروگاه شناور به ساحل

انتقاد منطقی که به سیستم نیروگاههای شناور می گیرند این است که در وسط دریاها و اقیانوسها به چنین نیرویی کمتر احتیاج است. در نتیجه در این سیستم هزینه حمل انرژی



تولید شده برای مصرف کننده نیز باید به مخارج تولید اضافه شود. این نیروگاه ها کیلومترها از ساحل فاصله دارند و از این رو بدون تردید کابلهای زیر دریایی برای این منظور باید بکار گرفته شود. این کار بدون استفاده از سیم هم امکان پذیر است. زیرا می توان از امواج میکروویو برای انتقال نیرو استفاده نمود، با جوشاندن آب گرم شور در خلاء که برای جوشاندن پروپان به کار می رود سپس متراکم نمودن آن، آب شیرین تولید می شود.

8-5- تأسیسات صنعتی بر روی نیروگاههای شناور

کار نیروگاههای شناور صرفاً تولید الکتریسیته و تهیه آب شیرین تمام نمی شود، بلکه می توان آب را قبل از اینکه از قسمتهای جوش آورنده بگذرانیم تحت تأثیر هوای فشرده قرار داده و اکسیژن تولید نمائیم. از این طریق می توان (115) تن اکسیژن در روز تولید نمود که محصولی با ارزش و پرفایده می باشد. بدین ترتیب نیروگاههای شناور قادر به تولید آب شیرین، برق و اکسیژن می باشند و این سه از عوامل مهم برای تولید فولاد هستند. تولید آلومینیوم از امکانات دیگر نیروگاههای شناور می باشد.

مزایای اقتصادی دیگری علاوه بر آنچه گفته شد در این سیستم وجود دارد، مانند:

- نبودن مشکل یخبندان
- نبودن مشکل وجود درجه حرارت زیاد در عملیات
- نبودن مشکل کمبود سوخت
- احتیاج نداشتن به حمل و نقل سوخت

معایب:

- کم بودن اختلاف درجه حرارت سطح اقیانوسها و عمق آن و کم بودن بازده کارنو
- وجود مشکلات فنی زیاد بخاطر جدا بودن منبع حرارتی از لحاظ حرارتی از هم
- مشکل انتقال نیروی الکتریسیته به ساحل





فصل 9- ترموالکتریک

9-1- تولید ترموالکتریکی

یکی از عواملی که بازده یک ماشین حرارتی مکانیکی را تقلیل می دهد اصطکاک بین قسمت‌های محرک آن است. می توان حرارت را به طور مستقیم با یک ماشین حرارتی که فاقد قسمت‌های متحرک باشد به شکل کار غیر مکانیکی مانند الکتريسته تبدیل کرد.

یکی از این ماشین‌های مولد ترموالکتریک است. معروف است که هر گاه سر و ته دو فلز نامتشابه را به هم وصل کنیم و محل‌های اتصال را در دو درجه حرارت مختلف قرار دهیم ، جریان الکتریکی در مدار پدید خواهد آمد.

وجود جریان بر این امر دلالت دارد که یک نیروی موثر محرکه الکتریکی (emf) در مدار وجود دارد. وجود نیروی محرکه الکتریکی نیز به نوبه خود به این معنی است که ترموکوپل مانند یک منبع انرژی الکتریکی عمل می کند.

همانطور که بعداً خواهیم دید، این کار از منبع های حرارتی اخذ می شود. بنابراین، فرایند از نوع ترمودینامیکی و تابع محدودیت های قانون دوم ترمودینامیک است.

در سال 1065 ایوف قادر به ساختن یک تبدیل کننده ترموالکتریکی شد که از خورشید نیرو می گرفت و نیرویی برابر 140 وات تولید می نمود.

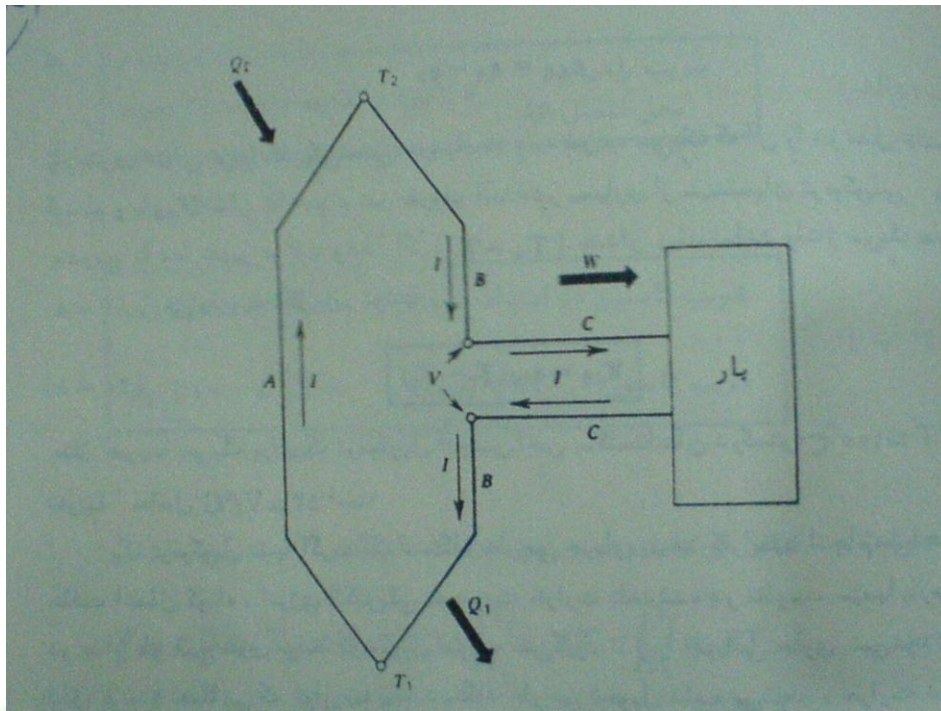


شکل (9-1) یک نیروگاه که کمپانی جنرال الکتریک برای تأسیسات خود در فونیکس آریزونا ساخته بود

نظریه تولید ترمو الکتریک کاملاً پیچیده است و ما فقط خصوصیات اساسی و عمده آنها را بررسی خواهیم کرد. یک سیم فلزی را در نظر بگیرید که دو سر آن در دماهای T_1, T_2 قرار دارد. به این صورت که $T_1 > T_2$ باشد شکل (9-2). در نتیجه وجود گرادیان حرارتی در طول سیم، تعدادی از الکترونها از ناحیه گرمتر به ناحیه سردتر به راه می افتند این نقل مکان را میت وان ناشی از یک نیروی حرارتی بر روی الکترونها دانست. نقل مکان تا وقتی ادامه می یابد که تجمع بار یک نیروی الکترواستاتیک مخالف تولید و نیروی حرارتی را متوازن کند. نیروی حرارتی تقسیم بر بار الکترون، میدان ترموالکتریکی حرارتی E نامیده می شود. »

طبق فرمول زیر به گرادیان دما $\frac{dt}{dx}$ مربوط است.

$$E = \varepsilon_A(T) \frac{dt}{dx}$$



شکل (2-9)

کمیت $(\mathcal{E}_A)(T)$ یک پارامتر وابسته به دما (مربوط به سیم A) است که ترموالکتریک مطلق نامیده می شود. با انتگرال گیری بر روی طول سیم A به رابطه زیر دست می یابیم:

$$eA = \int_0^L E dx = \int_0^L \varepsilon_A \frac{dT}{dx} = \int_{T_1}^{T_2} \varepsilon_A dT \quad (1-9)$$

کمیت eA در معادله 1-9 نیروی محرکه الکتریکی حرارتی القا شده در طول سیم نامیده می شود. توجه کنید که این **emf** مستقل از طول و پروفیل دمای سیم است و از روی تغییر (\mathcal{E}_A) نسبت به T و توسط دماهای دو سر سیم تعیین می شود.

حال فرض کنید سر سیمیهای A,B به یکدیگر متصل دشه و مانند شکل 1-9 یک ترموکوپل تشکیل داده اند. **emf** حرارتی خالص در کل مدار برابر است با:



$$e_{AB} = e_A - e_B = \int_{T_1}^{T_2} \varepsilon_{AB} dT \quad (2-9)$$

$$(\varepsilon_{AB}) = \varepsilon_A - \varepsilon_B \quad \text{که:}$$

پارامتر (ε_{AB}) توان ترموالکتریکی نسبتی سیمهاست و به ضریب سی بک نیز معروف است. در بسیاری از سیستمهای ترموکوپلی، (ε_{AB}) بتدریج با دما تغییر می کند و لذا اگر $(T_2 - T_1)$ چندان زیاد نباشد ولتاژ سی بک معادله 2-9 را می توان به شکل زیر نوشت:

$$e_{AB} = (\varepsilon_{AB}) (T_2 - T_1) \quad (3-9)$$

مثلاً ضریب سی بک برای یک ترموکوپل از جنس آهن - کنستانتان در گستره $0^\circ\text{C} \leq T \leq 100^\circ\text{C}$ تقریباً معادل $53 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ است.

یک ترموکوپل تنها اگر به یک دستگاه خارجی جریان بدهد کار مفید انجام می دهد، در حالت اتصال کوتاه، انرژی الکتریکی به صورت حرارت تلف شده در مقاومت سیمها در می آید. در مدار باز هیچ کاری توسط ترموکوپل صورت نمی گیرد، زیرا جریانی جاری نمی شود. طبق شکل 2-9 هنگامی که توان به یک دستگاه خارجی تحویل داده می شود، حرارت در نقاط معینی از طول سیم ترموکوپل جذب و در سایر نقاط پس داده می شود. این اختلاف، به کار الکتریکی تبدیل و به دستگاه اعمال می شود.

تبدیل ترمودینامیکی حرارت به کار، در واقع شامل چهار فرایند جدا از هم است که تنها دو تای آن بازگشت پذیر است. این فرایندهای بازگشت پذیر اثرات پلتیه و تامسون هستند. فرایندهای بازگشت پذیر، اثر فوریه (هدایت حرارت) و اثر ژول (گرمایش توسط مقاومت



الکتریکی) است. برای این که اصول اولیه ترمودینامیک را در خصوص سیستم ترموالکتریکی پیاده کنیم، باید فرایندهای بازگشت ناپذیر را نادیده بگیریم. اگر فرض کنیم سیمها قابلیت هدایت حرارتی صفر داشته باشند غیر ممکن است حرارت بطور بازگشت ناپذیر بین منبعهای داغ و سرد از طریق هدایت جاری شود. بعلاوه، اگر سیمها نیز دارای مقاومت الکتریکی صفر باشند، فرایند بازگشت ناپذیر گرمایش ژول وجود نخواهد داشت. به این ترتیب، اثرات بازگشت پذیر پلتیه و تامسون باقی می ماند و ما هم اکنون آنها را تشریح خواهیم کرد.

از معادله 9-2 می توان با روش جزء بجز انتگرال گیری کرد:

$$e_{AB} = \int_{T_1}^{T_2} (\varepsilon_A - \varepsilon_B) dT = (\varepsilon_A - \varepsilon_B) T \Big|_{T_1}^{T_2} - \int_{T_1}^{T_2} T \left\{ \frac{d}{dT} (\varepsilon_A - \varepsilon_B) \right\} dT \quad (4-9)$$

حال روابط زیر را که همگی توابعی از دمای کلین هستند، تعریف خواهیم کرد:

(9-5الف) ضریب پلتیه در محل اتصال AB

$$\pi_{AB}(T) = (\varepsilon_A - \varepsilon_B) T = \varepsilon_{AB} T$$

و:

(9-5ب)

ضریب تامسون در امتداد سیم A.

B. ضریب تامسون در امتداد سیم

$$\sigma_A(T) = -T \frac{d\varepsilon_A}{dT}$$



$$\sigma_B(T) = -T \frac{d\varepsilon_A}{dT}$$

اکنون معادله 4-9 را می توان بر حسب این ضرایب بیان کرد:

$$eAB = \Pi_{AB}(T_2) - \Pi_{AB}(T_1) \int_{T_1}^{T_2} \sigma_A dT - \int_{T_1}^{T_2} \sigma_B dT$$

توان الکتریکی اعمال شده به یک دستگاه از ضرب کردن معادله 5-9 در جریان جاری I

به دست می آید:

$$P = IeAB = I\Pi_{AB}(T_2) - I\Pi_{AB}(T_1) + I \int_{T_1}^{T_2} \sigma_A dT - \int_{T_1}^{T_2} \sigma_B dT \quad (6-9)$$

از معادله 6-9 می توان دید که توان الکتریکی ای که توسط ترموکوپل تولید می شود

مساوی اختلاف بین دو اثر پلتیه و دو اثر تامسون است.

هرگاه یک جریان الکتریکی از یک اتصال غوطه ور در یک منبع حرارتی با دمای T بگذرد،

حرارت بر طبق جهت جریان جذب یا پس داده می شود. این حرارت به حرارت پلتیه موسوم

است و به این شکل بیان می شود:

$$\dot{Q} = \Pi_{AB} I \quad (\text{حرارت پلتیه}) \quad (7-9)$$

مثال: ضریب سی بک یک اتصال در دمای 373k مقدار 55μV/K و در دمای 273K بین

این دو منبع حرارتی کار می کند و جریان به اندازه 10 میلی آمپر تولید می کند به دست

آورد.

با استفاده از معادله 5-9 (الف) ضرایب پلتیه در این اتصالها برابر است با:



$$\Pi_{AB}(373K) = (55 \times 10^{-6})(373) = 2/05 \times 10^{-2} W / amp$$

و:

$$\Pi_{AB}(273K) = (50 \times 10^{-6})(273) = 1/37 \times 10^{-2} W / amp$$

مقادیر حرارت‌های پلتیه جذب شده و پس داده شده با توجه به معادله 7-9 عبارتند از:

$$\dot{Q}_2 = (10 \times 10^{-3})(2/05 \times 10^{-2}) = 205 \mu W$$

و:

$$\dot{Q}_1 = (10 \times 10^{-3})(1/37 \times 10^{-2}) = 137 \mu W$$

اگر انتقال حرارت دیگری دخیل نباشد، اختلاف بین این مقادیر یعنی $68 \mu W$ به شکل

توان الکتریکی ارائه خواهد شد.

علاوه بر حرارت پلتیه که در پیوندها منتقل می شود یک حرارت تامسون نیز وجود دارد که در طول سیمها به محیط اطراف داده شده و از آن گرفته می شود. این میزان حرارت در

واحد طول سیم برابر است با:

$$\frac{d\dot{Q}}{dx} = I \sigma_A \frac{dT}{dx}$$

در نتیجه کل حرارت منتقل شده در طول سیم **A** برابر است با:

$$\dot{Q} = I \int_{T_1}^{T_2} \sigma_A dT \quad (\text{حرارت تامسون}) \quad (8-9)$$

مثال: توان ترموالکتریکی مطلب یک سیم بطور خطی با دما به میزان زیر افزایش می یابد:



$$\frac{d\varepsilon_A}{dT} = 5/4 \times 10^{-9} V / K^2$$

سرهای سیم در دماهای 273k و 373k نگه داشته شده اند. وقتی جریان 10 میلی آمپر در سیم جاری شود، حرارت تامسون منتقل شده به محیط اطراف را به دست آورید.

بر طبق معادله 5-9 (ب)، ضریب تامسون طبق رابطه زیر بر حسب دما تغییر می کند.

$$\sigma_A = -T \frac{d\varepsilon_A}{dT} = (-5/4 \times 10^{-9} T) V / K$$

با استفاده از معادله 8-9 در می یابیم که حرارت تامسون برابر است با:

$$\dot{Q} = (10 \times 10^{-3}) (5/4 \times 10^{-9}) \int_{273}^{373} T dT = 1/74 \mu W$$

با توجه به معادله 6-9 توان الکتریکی تولید شده را می توان به شکل زیر نوشت:

$$P = \dot{Q}_2 - \dot{Q}_1 + \dot{Q}' - \dot{Q}'' \quad (9-9)$$

که

Q1 حرارت پلتیه جذب شده در اتصال داغ است .

Q2 حرارت پلتیه پس داده شده در اتصال سرد است.

Q' حرارت تامسون جذب شده در طول سیم **A** و

Q'' حرارت تامسون پس داده شده در طول سیم **B** است.

چون حرارت تامسون به طور بازگشت پذیر در طول چندین منبع با دماهای مختلف T_1

تا T_2 منتقل می شود، سیستم ضرورت بازده کارنو نخواهد داشت. اما، مورد بسیار ایده آلی را



در نظر بگیرید که در آن توان ترموالکتریکی هر سیم از دما مستقل است، بطوری که بر اساس معادله 5-9 (ب) ضریب تامسون صفر است و در نتیجه حرارت تامسون از بین می رود.

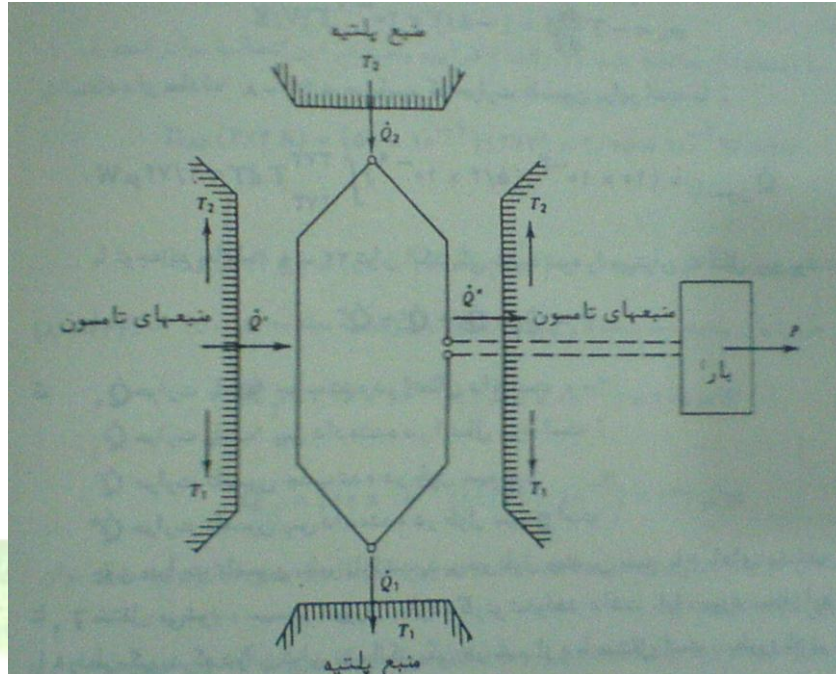
در آن حالت سیستم مبدل به یک ماشین حرارتی بازگشت پذیر می شود که بین دو منبع یکی در هر اتصال کار می کند. با استفاده از معادله های 3-9 و 6-9 بازده این ماشین عبارت خواهد بود از:

$$\eta = \frac{P}{\dot{Q}_2} = \frac{Ie_{AB}}{\Pi_{AB}(T_2)} = \frac{I\varepsilon_{AB}(T_2 - T_1)}{I\varepsilon_{AB}T_2} = \frac{(T_2 - T_1)}{T_2} \quad (10-9)$$

معادله 9-10 همان طور که انتظار می رود، به بازده کارنو منجر می شود. فرایندهای ترمودینامیک برای یک سیستم ترموالکتریک بازگشت پذیر در شکل 3-9 نشان داده شده اند.

در عمل، فرایندهای بازگشت ناپذیر هدایت حرارت در طول سیمها و گرمایش ژول در درون سیمها بازدهها را تا سطوحی خیلی کمتر از حد کارنو تقلیل می دهد، فرایند هدایت، حرارت را بطور تلفی از منبع داغ خارج می کند و بدون انجام کار به منبع سرد تحویل می دهد. از کل توان الکتریکی تولید شده مقدار I^2r ، که R مقاومت کل سیم هاست. به شکل حرارت در درون خود سیمهای ترموکوپل تلف می شود. اگر سیمهای دارای عایق مناسب باشند بطوری که انتقال حرارت ژولی به هوای محیط صورت نگیرد و نیز اگر حرارت تامسون قابل اغماض باشد. نیمی از حرارت ژولی تولید شده در هر سیم به هر منبع باز خواهد گشت. از این رو، آهنگ حرارتی خالصی که واقعا از منبع داغ می شود برابر است با:

$$\dot{Q}_2 = \varepsilon_{AB} T_2 I + \bar{U}_K (T_2 - T_1) - \frac{1}{2} I^2 R \quad (11-9)$$



شکل (3-9)

که \bar{U}_K ضریب انتقال حرارت ویژه برای هدایت حرارتی در طول سیمهای ترموکوپل است. عبارتهای سمت راست معادله (11-9) به ترتیب عبارتند از حرارت پلتیه اخذ شده، حرارت خروجی از منبع داغ توسط فرایند هدایت حرارتی و نصف حرارت ژولی بازگشته به منبع.

توان الکتریکی واقعی ارائه شده به یک دستگاه خارجی برابر است با:

$$P = e_{AB} I - I^2 R \quad (12-9)$$

این توان خالص، اختلاف بین کل توان تولید شده و توانی است که در سیمهای ترموکوپل به علت گرمایش ژولی هدر رفته است. با استفاده از معادله های 11-9 و 12-9 بازده واقعی عبارت است از:

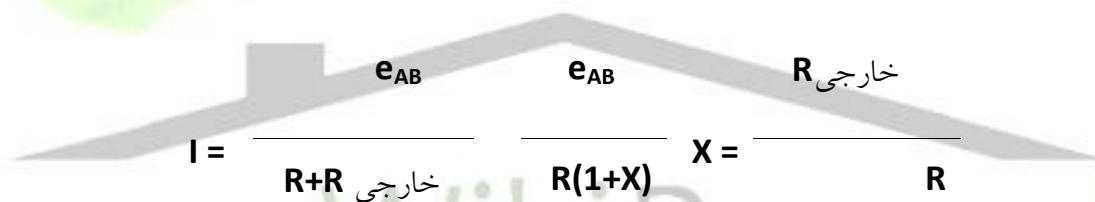


$$\eta = \frac{P}{\dot{Q}_2} = \frac{\varepsilon_{AB}(T_2 - T_1)I - I^2 R}{\varepsilon_{AB} T_2 I + \bar{U}_K (T_2 - T_1) - \frac{1}{2} I^2 R} \quad (13-9)$$

برای به دست آوردن معادله 9-11 از رابطه تقریبی 9-3، برای ε_{AB} استفاده کردیم.

توجه کنید که بازده، برای یک ترموکوپل معین (یعنی برای ε_{AB} ، \bar{U}_K و R ثابت) که بین منبعهای حرارتی در دماهای T_1 ، T_2 کار میکند، به جریانی که از سیستم گرفته می شود بستگی دارد. این جریان به نوبه خود به مقاومت دستگاهی که توسط ترموکوپل کار می کند وابسته است. جریان را می توان بر حسب مقاومت بار خارجی به شکل زیر بیان کرد.

$$(14-9)$$



www.WikiPower.ir که:

بازده بر اثر مقاومت بار تغییر می کند، می توان x را طوری انتخاب کرد که بازده به حداکثر برسد. پس از جایگزین کردن معادله 9-14 در معادله 9-13 و به حداکثر رساندن

بازده (با قرار دادن $\frac{d\eta}{dx} = 0$) و ساده کردن عبارتها در می یابیم که:

$$\eta = \left\{ \frac{(x_0 - 1)}{x_0 + (T_1/T_2)} \right\} \eta_{\text{کارنو}} \quad (15-9)$$



که:

$$x_0 = \sqrt{1 + zT_m}, T_m = \frac{T_1 + T_2}{2}, Z = \frac{(\varepsilon_{AB})^2}{U_k R}$$

کمیت T_m میانگین دمای کارسیستم و پارامتر پارامتر z عدد شایستگی ترموکوپل است. هر چه مقدار z بیشتر باشد. کیفیت کار ترموکوپل بهتر خواهد بود. با میل کردن U_R به سمت سایر مقدار z نیز به سمت بی نهایت میل می کند. بعلاوه، در این وضعیت X_0 در معادله 9-15 نیز به سمت بی نهایت میل می کند. بطوری که:

$$\eta_{\max} \xrightarrow{x_0 \rightarrow \infty} \eta \text{ کارنو}$$

موثر بودن یک ترموکوپل به عدد شایستگی آن بستگی دارد که آن را در معادله 9-15 تعریف کردیم. برای این که z بزرگ باشد. ماده ترموالکتریک باید دارای ضریب سی بک بزرگ، مقاومت الکتریکی کم و قابلیت هدایت حرارتی اندک باشد. هر چند که مقاومت الکتریکی اکثر فلزات کم است. ولی قابلیت هدایت حرارتی آنها زیاد و ضریب سی بک آنها متوسط است. نیمه هادی هایی با اتصال های خاص وجود دارد که قابلیت هدایت الکتریکی آنها زیاد است و با وجود این، قابلیت هدایت حرارتی کم دارند. علاوه بر این، این پیوندها ضرایب سی بک بزرگتری نسبت به فلزات دارند. البته، ساخت ترموکوپلهایی از جنس نیمه هادی خیلی مشکلتر است و از ترموکوپلهای فلزی شکننده ترند. بیشترین مقدار به دست آمده $z = 0/002k^{-1}$ است. اگر دو منبع حرارتی در دماهای 373 و 273 درجه کلون قرار داشته باشند. برطبق معادله 9-13 عدد شایستگی به این بزرگی باز هم به بازده ترمودینامیکی 3 درصدی منجر می شوند. حد کارنو متناظر با این عدد 27 درصد است.



نیروگاه خورشیدی

برای تولید ولتاژ قابل استفاده، چند اتصال ترموکوپلی به نام ترموپیل مورد نیاز است. بازده کلی ترموپیل از بازده ترمودینامیکی آن نیز کوچکتر است. زیرا بیشتر انرژی خورشیدی دریافت شده توسط صفحه جاذب Q_{\max} در محیط به هدر می رود.

تنها بخشی از آن Q_2 به سیستم ترموالکتریک داده می شود. بازده کلی نوعی غالباً از چند درصد تجاوز نمی کند.

مزایا:

- احتیاج نداشتن به قسمت‌های متحرک
- احتیاج به مساحت کم برای تولید نیروگاه
- صرف جویی زیاد در مصرف فلزات و مواد گرانبه‌ای تبدیل کننده
- از آنجایی که سیم پیچی کمی در این سیستم وجود دارد میزان اعتماد و همچنین کارایی سیستم افزایش می یابد.

معایب:

- ترموکوپل‌ها وقتی که اشعه خورشید متمرکز نباشد کاملاً بی مصرف اند.
- مشکل هدر رفتن گرما، بوجود آوردن درجه حرارت کافی بین دو سر گرم و سرد ترموکوپل کار دشواری است.
- پیچیدگی سیستم‌های ترموالکتریک



9-2- تبدیل از راه ترمیونی

روش تبدیل ترمیونی نشر الکترونها از کاتد به آنند می باشد. انتشار ترمیونی اساس عملیات اغلب لوله های تخلیه هوا را تشکیل می دهد که در الکترونها به کار می روند.

کار تبدیل ترمیونی از روشهای دیگر پیچیده تر و جدید تر می باشد. این پدیده اولین بار توسط ادیسون هنگام اختراع لامپ برق مشاهده گردید. شرکت جنرال الکتریک پیش قدم شد و اولین تبدیل کننده ها را از این نوع را ساخت. این تبدیل کننده ها به اندازه یک تومانی نقره ای بودند و می توانستند یک وات الکتریسته تولید کنند. اساس کار ترمیونی بدین صورت است که گرمای وارد شده به کاتد باعث انتشار الکترون ها گردیده و جریان الکتریسته را بوجود می آورد. مشکل اصلی در این شارژ نمودن فضا است، زیرا توده متراکم یونهای شارژ شده منفی، مانع جریان آزاد الکترونها از کاتد به آنند می شود. برای مقابله با این فضای شارژ شده سه روش وجود دارد:

یکی اینکه این تبدیل کننده ها را با دیوهای خلاء دار بسازند و یا اینکه دیوهای هادی گازی، یا تریود مغناطیسی بکار برند.



شکل (9-4) یک نیروگاه ترمیونی که قابلیت تا شدن داشت



فصل 10- بازدهی انرژی و دیدگاههای اقتصادی

انرژی خورشیدی علی رغم کیفیت بالایش درمبدأ پراکنده به سطح زمین می رسد. آیا سیستم های گرد آورنده انرژی خورشید قادر به صید تمرکز و تحویل انرژی با کیفیت بالا و کمیت لازم جهت بازسازی تعویض قسمت های فرسوده صنعتی می باشند؟ و یا به عبارت ساده تر آیا یک وسیله جذب انرژی خورشید قادر خواهد بود که در زمان کار خود انرژی لازم برای تهیه مواد اولیه جهت ساخت یک سیستم مشابه را تأمین نماید؟

این وسایل جذب انرژی نه تنها باید انرژی لازم را برای تولید یک سیستم ثابت تأمین نماید بلکه باید این توانایی را داشته باشند که مقدار انرژی اضافی جهت گسترش صنعت و دیگر نیازمندیهای صنعت را تأمین نماید.

روش پذیرفته شده برای محاسبه زمان بازگشت انرژی عبارت است از تخمین و برآورد مقدار انرژی مورد لزوم برای وسیله جذب انرژی خورشیدی پس مقایسه این انرژی با تعداد صرفه جویی شده ناشی از به کار گیری این وسیله طبیعی است که در اولین مرحله انرژی اولیه مورد لزوم (برای ساخت سیستم) از منابع معمول انرژی مانند نفت ، گاز ، زغال سنگ و ... تأمین می گردد.

فرض کنید که یک بخاری نفتی با راندمان 65٪ با این سیستم جذب انرژی تعویض شود در این صورت خواهیم داشت:

$$3/7Gj = \text{انرژی تحویلی سالیانه}$$



نیروگاه خورشیدی

مقدار حرارت بخاری نفتی با توجه به راندمان بخاری:

$$\text{حرارت اولیه} = \frac{63/7}{0/65} = 98GJ$$

اینک می توان زمان بازگشت انرژی طبق فرمول زیر را به راحتی محاسبه کرد:

$$T_r = \frac{\text{انرژی مورد لزوم برای کار سیستم در سال} + \text{سرمایه گذاری اولیه}}{98}$$

98

T_r و سالهای فعالیت مورد لزوم برای بازگشت سرمایه اولیه می باشد.

$$t_r = \frac{(384 + 13/3t_r)}{98} \quad \text{طول عمر سیستم } 33\% = \text{سال } 4/52$$

فرض می کنیم شرایطی را مطالعه می کنیم که صنعت و اقتصاد ما متکی به انرژی

خورشید می باشد. در این شرایط هر کلکتور تعویض شده می بایستی به وسیله انرژی

پراکنده خورشیدی که به انرژی متمرکز (مورد لزوم جهت تهیه آلومینیوم ، مس و فولاد)

تبدیل شده است ساخته شوند. تحت این شرایط آیا باز هم کلکتورهای خورشیدی قادرند

انرژی مورد لزوم بازسازی خود با انواع بهتر را تأمین نمایند؟

انجام این کار مستلزم این است که انرژی خورجی کلکتورها به انرژی متمرکز با کیفیت

بالا تبدیل شود (منظور در اینجا انرژی حاصله در کلکتور صفحه ای سطح می باشد).

راندمان خالص سیستم فوق برابر $5/7\%$ می باشد. بنابراین از $63/7GJ$ انرژی تولید شده

میتوان $[3/65GJ] = 1/14kwh$ انرژی با کیفیت بالای حرارتی یا الکتریسیته حاصل نمود.



نیروگاه خورشیدی

برای کامل شدن محاسبات مقدار انرژی برای ساخت توربین و ژنراتور در محاسبات وارد می شود.

انرژی برای ساخت توربین و ژنراتور:

$$\text{کل انرژی} = 384 + 130 = 514 \text{ GJ}$$

$$t = \frac{(214 + 13/31)}{3/65}$$

برای معادله فوق ، نمی توان جوابی یافت و این بدان معناست که سیستم مورد نظر جذب

انرژی قادر به عودت انرژی سرمایه گذار نیست.

مطلب فوق از این نقطه نظر اهمیت دارد که در تحلیل سیستم های مولد انرژی می توان

اثرات پارامترهای مختلف را در نظر گرفت.

در روشی که آقای اسلیسه پیشنهاد می دهد و به تحلیل می پردازد ، توجه بیشتری به

سیستم های خورشیدی دما پائین دارد و طبیعی است که در مقایسه با سوخت های فسیلی

به عنوان ورودی اصلی به صنعت سیستم های خورشیدی قابل رقابت نمی باشد. نتیجه

جالبی که آقای اسلیسه از این بحث حاصل می کند این است که استفاده از انرژی

خورشیدی با سیستم های مشابه پیشنهادی دما پائین ($T < 100^\circ \text{F}$) برای تولید انرژی با

کیفیت بالا ($T < 100^\circ \text{F}$) مقرون به صرفه نیست و بالعکس استفاده از انرژی فسیلی برای

تولید گرما ($T < 100^\circ \text{F}$) باز هم مسئله ای غیر اقتصادی است. مسئله دیگری که در روش

آقای اسلیسه قابل بحث است روش به کار گیری محتوی انرژی سیستم ها میباشد و نه به



نیروگاه خورشیدی

کارگیری هزینه های مصرف شده و درآمد عایدی و در واقع نقش پارامترهای اقتصادی بطور صنعتی در محاسبه محتوی انرژی کلکتورها، توربین ها و... گنجانده شده است.

این مسئله هر چند می تواند مدل و یا حتی محاسباتی که تا حدی که مشاهده شده ساده کند ولی در تحلیل و نتیجه گیری پیرامون تغییرات پارامترهای اقتصادی عاجز است. اینک با توجه به این مسائل بحث قبلی خود را دنبال می کنیم. از آنجا که بررسی صنعت ایران با تغییر زیربنای انرژی ورود به آن از حوصله و صلاحیت این پروژه خارج است و از طرفی بدون تحلیلهای اولیه نمی توان این موضوع را بررسی کرد. لذا چنانچه متذکر شدیم چنین در نظر می گیریم که انرژی ورودی به صنعت قبل از تحویل به آن تبدیل به انرژی الکتریکی می گردد. بنابراین اگر لازم است که صنعتی از نظر مکانیزم ها در نتیجه تغییر انرژی ورودی دچار تحول شود، این صنعت صنایع برق را شامل می شود و نه جمیع صنایع را (البته در محدوده دماهای $(T < 100^{\circ}\text{F})$). اگر به روش کاربردی آقای اسلیسه بازگردیم، این روش ثابت می کند که تبدیل انرژی خورشید با سیستم های مسطح به انرژی با کیفیت بالای الکتریکی مقرون به صرفه نیست ولی از تحلیل دیگر مبدلهای خورشیدی سرباز می زند. مدل کاربردی آقای اسلیسه را می توان به صورت زیر نمایش داد:

$$(E_1 + tE_0) / E_{Ho} = t$$

E_1 = سرمایه گذاری اولیه انرژی (بر حسب واحد انرژی)

E_0 = انرژی لازم برای عملکرد سیستم

E_{Ho} = انرژی خروجی با کیفیت بالا (الکتریکی) / در سال



نیروگاه خورشیدی

زمان بازگشت سرمایه اولیه = t

بدیهی است اگر هدف تولید الکتریسیته باشد میدان E_{ho} را می توان به صورت زیر

نمایش داد:

$$E_{HO} = E_C * \eta_{sys}$$

E_C : انرژی حرارتی دکلکتور در سال

η_{sys} = راندمان کلی سیستم معدل الکتریکی

$$*A_c * t_s \eta_c E_c = I_{sc} *$$

E_C انرژی حرارت قبل حصول از کلکتور در طول سال میباشد. بنابراین طبق رابطه فوق

مقدار انرژی را می توان به پارامترهای کلکتور و میزان تشعشعات مربوط ساخت که:

متوسط سالانه تشعشعات: I_{sys}

η_c = راندمان حرارتی کلکتور

سطح کلکتور بر حسب $A_c = m^2$

مقدار ساعت تابش خورشید در سال = t_s

و η_{sys} را می توان بر اساس پارامترهای سیستم یعنی راندمان کارنو و راندمان توربین و

ژنراتور نمایش داد:



$$\eta_{sys} = \eta_{ca} \times \eta_G \times \eta_T$$

با توجه به این روابط خواهیم داشت :

$$(E_1 + t \times E_0) / (I_{sys} \times A_c \times t_s \times \eta_c \times \eta_{ca} \times \eta_G \times \eta_T = t$$

مقدار E_0 را برای هر کلاس از سیستم های خورشیدی می توان بصورت درصدی از E_1 نمایش داد .

$$E_0 = P \times E_1 \quad 0 < P < 1$$

و از طرف دیگر برای هر کلاس از سیستم های در نظر گرفته شده مقدار E_1 را می توان به صورت تابعی از A_c یعنی سطح کلکتور نمایش داد (در محاسبات اقتصادی متداولترین روش محاسبه هزینه بر حسب واحد سطح کلکتور می باشد.) یعنی :

$$E_1 = f(A_c)$$

با توجه به این دو رابطه خواهیم داشت:

$$t = \frac{(1 + p_t) \times f(A_c)}{I_{sc} \times A_c \times t_s \times \eta_c \times \eta_{ca} \times \eta_G \times \eta_T}$$

طبیعی است که مخرج کسر دارای مقدار ثابتی است که مربوط به سیکل (توربین ، ژنراتور ، خطوط اولیه و...) می باشد.

رابطه قبل را می توان به صورت زیر مرتب کرد:

$$t = \frac{f(A_c)}{I_{sys} \times A_c \times t_s \times \eta_{ca} \times \eta_G \times \eta_T - P \times t(A)}$$



رابطه بالا زمان بازگشتی انرژی را برای هر کلاس سیستم به دست می دهد. خوشبختانه برای اکثر سیستم های خورشیدی مبدل انرژی خورشیدی (مانند کلکتورهای مسطح و یا کلکتورهای ردگیر خورشیدی از نوع متمرکز کننده خطی) یک تابع خطی درجه اول از A_c می باشند.

$$F(A_c) = (E_1) A_c + E_z$$

که E_1, E_2 برحسب محتوی انرژی و واحد انرژی بیان می شوند. چنانچه در مثال آقای اسلیسه مشاهده می شود:

$$t = \frac{E_1(A_c) + E_z}{I_{sys} \times A_c \times t_s \times \eta_{ca} \times \eta_G \times \eta_T - P(E_1 A_c + E_z)}$$

یک طرح اپتیمم سیستم مبدل حرارت به الکتریسیته در واقع تابعی است از M, P, T در شیر انسداد این M, P, T از طرف دیگر مربوط می شوند به کلاس سیستم خورشیدی و مقدار کل مسطح رویی کلکتورها یعنی A_c ، بنابراین تحت این شرایط E_z نیز تابعی از A_c می گردد.

$$t = \frac{E_1 \times (A_c)}{I_{sys} \times A_c \times t_s \times \eta_{ca} \times \eta_G \times \eta_T - P(E \times A_c)}$$

$$= \frac{E}{I_{sys} \times A_c \times t_s \times \eta_{ca} \times \eta_G \times \eta_T - PE}$$

بنابراین مشاهده می گردد که زمان بازگشت تابعی از مقدار سطح کلکتور نیست بلکه به پارامترهای زیر بستگی دارد:



10-1-1- تکنولوژی در زمان انتقال:

مقدار E (انرژی سرمایه گذاری شده) تابعی از رشد صنعت و راندمان آن می باشد. هر چه صنعت از راندمان تبدیل بالاتری برخوردار باشد. مقدار E کمتری برای حصول یک سیستم مشخص لازم است. در نتیجه کاهش E، کاهش t را به همراه دارد.

10-1-2- کلاس کلکتورهای و سیکل حرارتی :

هر چه درجه حرارت ماکزیمم سیکل و در نتیجه کلاس حرارتی کلکتورها (بدون افت راندمان) بالاتر باشد در نتیجه مقدار T کاهش نشان می دهد. بنابراین طبیعی است که رفتن از کلاس کلکتورهای سیلندری به نوع کلکتورهای متمرکز کننده نقطه ای، باعث افزایش $\eta_{ca} \times \eta_c$ می گردد.

10-1-3- پارامترهای اقلیمی :

رابطه نشان می دهد که وجود I_{sys} و t_s در مخرج نسبت معکوس با t دارند بدین معنا که افزایش این حاصلضرب باعث کاهش t می گردد.

بنابراین براحتی می توان دید که محل نیروگاههای خورشیدی، اثرات شدیدی روی t دارد. بنابراین نصب واحدهای خورشیدی در محل هایی با پتانسیل خورشیدی بالا (بهترین مناطق کاندید نواحی بین ± 20 عرض جغرافیایی می باشد). باعث کاهش هزینه های برق تولید شده می گردد.



10-1-4- بهره برداری از سیستم و نیروی انسانی :

نحوه بهره برداری از واحد نکته دیگری است که در زمان بازگشت انرژی تأثیر بسزا دارد. مقدار (-PE) در مخرج نشان می دهد که کاهش p باعث کاهش t می گردد. چنانچه می دانیم انرژی عملیاتی سیستم از دو گروه انرژی می تواند تشکیل شده باشد.

1- انرژی برای کار المانهای سیستم (مانند انرژی پمپ، کمپرسور، و یا روشنایی محل

(...)

2- انرژی کیفیت بالا که به صورت لوازم یدکی مورد استفاده قرار می گیرد.

بهره برداری هر چه صحیح تر از سیستم باعث می شود که انرژی عملیاتی در حد معقولی

حفظ شده و از زیانهای ناشی از عدم بهره برداری صحیح جلوگیری شود.

10-1-5- نقش واحد در زمینه تولید انرژی :

از آنجا که طول عمر واحد ثابت است، بنابراین باید دید که چه برنامه ای برای تولید در

نظر گرفته شده است. از آنجایی که این مسئله اهمیت بسیار دارد آنرا با تفصیل بیشتری

بررسی می کنیم. اساساً دو تیپ واحد را می توان تحت بررسی قرار داد:

- واحدهای ایزوله

- واحدهای شبکه قدرت

برای واحد های تیپ اول در واقع مسئله توزیع بار وجود ندارد و در اکثر موارد ساعت

تولید و عمل این واحدها در حدود (t_s) می باشد. بدین معنا که از زمان شروع تشعشعات



نیروگاه خورشیدی

طرح تا زمان قطع، فعالیت داشته و انرژی الکتریکی را تولید می نماید. این واحدها که حتماً منبع ذخیره انرژی حرارتی به همراه دارند (تمام واحدهای خورشیدی دارای منبع ذخیره می باشند.) عموماً تا دو ساعت می توانند اضافه بر t_s تولید انرژی نمایند. به هر حال با تمام این اوصاف میزان تولید در سال و یا ساعت کاری این واحدها مشخص و معین است و بستگی به ظرفیت منبع ذخیره و t_s دارد. برای این واحدها رابطه قبلی بصورت زیر خواهد شد:

$$t = \frac{a \times E}{I_{sys} \times A_C \times t_s \times \eta_c \times \eta_{ca} \times \eta_G \times \eta_T - a.p.E}$$

سیستم ذخیره از طرفی باعث افزایش زمان تولید شده و از طرف دیگر افزایش انرژی سرمایه گذاری شده و انرژی عملیاتی را به همراه دارد. ضریب نشان دهنده نقش ظرفیت منبع ذخیره در اضافه تولید و a بیانگر افزایش سرمایه گذاری در فیلد کلکتورها و منبع ذخیره است.

$$(\lambda, a) > 1$$

بنابراین طبق این رابطه می توان میزان تولید واحد در هر سال را (یا در هر فصل و یا در طول عمر سیستم) محاسبه نمود و مسئله زمان بازگشت را به راحتی پی گیری و محاسبه نمود.

برای واحدهای خورشیدی در شبکه ، مسئله بدین منوال نخواهد بود. بلکه پارامترهای دیگری در نحوه تولید واحد موثر خواهد بود. بدین معنا که برای یک واحد خورشیدی متصل به شبکه، $t_s \times \lambda$ تعیین کننده زمان تولید واحد نیست. بلکه امکان دارد که حتی با وجود



نیروگاه خورشیدی

تشعشعات از واحد خواسته شود تا بار خود را کاهش دهد و یا حتی از مدار خارج گردد.

بنابراین برای واحد های خورشیدی متصل به شبکه باید با دو مسئله روبرو می شویم:

- کاهش بار از ظرفیت اسمی
- خروج سیستم از مدار تحت شرایط وجود تشعشعات و انرژی کافی در منبع

بنابراین می بینیم که پیش بینی تولید و یا در واقع مقدار معادل $t_s \times \lambda$ در فرمول قبلی برای واحدهای متصل به شبکه به راحتی امکان پذیر نیست و با عدم قطعیت بسیار همراه است. برای این مسئله چه می باید کرد؟ بیائیم نقش در نظر گرفته شده برای واحد را مورد بررسی قرار دهیم.

واحدهای موجود در شبکه به سه گروه تقسیم می شوند:

- واحدهای پیک
- واحدهای میانه
- واحدهای پایه

در گروههای مذکور هر چه از پائین به بالا حرکت کنیم عدم قطعیت در برنامه تولید بیشتر می گردد و در واقع انحراف آنها از برنامه از پیش تعیین شده بیشتر است. واحدهای پایه تقریباً بر اساس برنامه در نظر گرفته شده عمل می کنند. نوسانات بار توسط واحدهای پیک تعدیل می گردد. و بنابراین عملکرد آنها یک عملکرد اتفاقی می باشد بویژه برای سیستم قدرت ایران. آیا بهتر نیست واحدهای خورشیدی را به صورت واحد پایه طرح نماییم



نیروگاه خورشیدی

تا اطمینان از فاکتور ظرفیت آن داشته باشیم؟ از نقطه نظر اطمینان از فاکتور ظرفیت شاید ابتکار صحیح این باشد ولی به این نکته باید توجه داشت که سیستم خورشیدی در نهایت با واحدهای پایه دچار زحمت خواهد شد. چرا که هزینه انرژی واحدهای پایه به مراتب کمتر از واحدهای پیک است. بنابراین اولین نقشی که برای واحدهای خورشیدی در نظر گرفته می شود عرضه انرژی آنها در بار پیک است. بنابراین از این نقطه نظر نمی توان صرفاً جهت بار پایه برای واحدها در نظر گرفت.



برای خرید فایل **word** این پروژه [اینجا کلیک کنید](#).

(شماره پروژه = 83)

شماره جهت ارسال پیام : 09354634650

09355405986