

جهت خرید فایل word به سایت www.kandoo.cn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

فصل اول

انرژی تجدید پذیر چیست؟

در حال حاضر انرژی برق در دنیا به مقدار زیادی بر ذغال سنگ، نفت و گاز طبیعی تکیه دارد. سوخت های فسیلی تجدید ناپذیرند، آنها بر منابع محدود که رفته رفته به پایان می رسند، بسیار گران می شوند و بطور محیطی خسارات زیادی برای بازیافت خواهند داشت، بنا شده اند.

در مقابل تجدید پذیر انرژی مانند باد و انرژی خورشیدی، پیوسته جایگزین می شود و هیچ گاه به پایان نمی رسند. اغلب انرژی های تجدید پذیر به دو صورت مستقیم یا غیر مستقیم از خورشید ناشی می شوند.

نور خورشید یا همان انرژی خورشیدی، می تواند برای گرم کردن و روشنایی خانه ها و سایر ساختمان ها، برای تولید الکتریسیته، برای آب گرم کردن، سرد کردن های خورشیدی و انواع کاربردهای اقتصادی و صنعتی مستقیماً استفاده شود.

همچنین گرمای خورشید موجب وزش باد می شود؛ همان انرژی ای که توسط توربین های بادی گرفته می شود؛ سپس بادهای و گرمای خورشید باعث تبخیر آب می شوند. وقتی این بخار آب به باران یا برف تبدیل می شود و از سرازیرها به رودخانه ها و مسیرهای آب هدایت می شود، انرژی آن می تواند گرفته شده و از توان هیدرو الکتریکی آن استفاده شود.

همراه با باران و برف، نور خورشید باعث می شود گیاهان رشد کنند، ماده ای که آن گیاهان را می سازد، به عنوان توده زنده یا زیست توده می شناسیم.

بیومس می تواند به منظور تولید الکتریسیته، سوخت های حمل و نقل یا موارد شیمیایی استفاده شود. کاربرد بیومس برای هر یک از این اهداف، انرژی بیومس نامیده می شود.

هیدروژن نیز می تواند در بسیاری از ترکیبات اصلی، مثل آب، یافت شود. هیدروژن فراوان ترین عنصر روی زمین است، اما بصورت یک گاز طبیعی موجود نیست. هیدروژن همیشه با دیگر عناصر ترکیب شده است، مثل ترکیب با اکسیژن برای ساخت آب. وقتی هیدروژن از عنصر ترکیبی اش جدا شود می تواند بعنوان سوخت مورد استفاده قرار گیرد.

تمام منابع انرژی تجدید پذیر از خورشید ناشی نمی شوند. انرژی زمین گرمایی دریاچه گرمای درون زمین برای کاربردهای متنوع شامل: تولید توان الکتریکی و گرم و سرد کردن ساختمان هاست، و انرژی جزر و مد اقیانوس ها از نیروی کشش ماه و خورشید بر روی زمین ناشی می شود.

در حقیقت، انرژی اقیانوس از منابع متعددی ناشی می شود. علاوه بر انرژی جزر و مد، انرژی امواج اقیانوس بوسیله هر دو انرژی جزر و مد و باد، بوجود می آید. هم چنین خورشید بیش از آنکه عمق اقیانوس را گرم کند. سطح آنرا گرم می کند، ایجاد یک اختلاف دما می تواند بعنوان یک منبع انرژی بکار گرفته شود. تمامی اشکال انرژی اقیانوسی می تواند برای تولید الکتریسیته اعمال شود.

چرا انرژی تجدید پذیر مهم است؟

اهمیت انرژی تجدید پذیر به خاطر فواید آن است.

فایده های کلیدی آن عبارتند از:

فایده های محیطی: فن آوری های انرژی تجدید پذیر، منابعی پاک از انرژی هستند که

از صنایع انرژی های مرسوم، تماس و آلودگی محیطی بسیار کمتری دارند.

انرژی برای نسل های آینده ما: انرژی تجدید پذیر پایان نخواهد پذیرفت، هرگز. اما

منابع دیگر انرژی محدودند و همین روزها ته می کشند.

مشاغل و اقتصاد: سرمایه گذاری ها بر روی انرژی تجدید پذیر اغلب صرف تهیه مواد

خام (لوازم و کالا) و مصرفی و ساختاری برای ساخت و نگهداری وسایل می شود، تا

سرمایه گذاری بر روی واردات پر خرج انرژی. این بدان معناست که پولی که شما

بابت انرژی می پردازید، به جای اینکه وارد اقتصاد کشوری بیگانه شود، در کشور

خودمان باقی مانده، اشتغال زایی کرده و موجب صرفه جویی اقتصادی در مصرف

سوخت می شود.

۱- فایده های محیطی:

فن آوری های انرژی قابل تجدید از صنایع انرژی موسوم که بر سوخت فسیلی تکیه

دارند، با محیط اطرافش بسیار دوستانه تر عمل می کند.

سوخت های فسیلی در بسیاری از مشکلات زیست محیطی که ما امروزه با آنها مواجه هستیم، سهم قابل توجهی دارند- گازهای گلخانه ای، آلودگی هوا و آلاینش آب و خاک- در صورتیکه متابع انرژی تجدید پذیر در این امر سهم بسیار اندکی داشته یا هیچ نقشی ندارند.

گازهای گلخانه ای، دی اکسید کربن، متان، اکسید نیتروژن، هیدروکربن ها و کلروفلوئورکربن ها، جو زمین را مثل یک پتوی گرم و شفاف احاطه کرده اند، به اشعه های گرم خورشید اجازه داخل شدن می دهند و گرما را در نزدیک سطح زمین به دام می اندازند (نگه می دارند).

اثرات این گلخانه طبیعی، دمای متوسط سطح زمین را حدود ۶۰ درجه فارنهایت (۳۳ درجه سانتیگراد) نگه می دارد. اما افزایش مصرف سوخت های فسیلی، بطور قابل توجهی انتشار (تولید) گازهای گلخانه ای را زیاد کرده است، مخصوصاً دی اکسید کربن، به وجود آورنده افزایش اثر گازهای گلخانه ای که به عنوان گرمای محسوس و یکپارچه زمین شناخته می شود. مطابق نظر آژانس حفاظت محیط ایالات متحده، سهم دی اکسید کربن عهده دار ۱/۲ تا ۲/۳ افزایش عمومی دماست.

با این وجود، فن آوری های انرژی قابل تجدید، گرما و الکتریسیته را با انتشار (تولید) مقدار ناچیز یا صفر دی اکسید کربن، تولید می کند. هم چنین استفاده از انرژی سوخت های فسیلی، منبع مهمی برای آلودگی هوا، آب و خاک می باشد.

آلاینده ها نظیر منوکسید کربن، دی اکسید گوگرد، دی اکسید نیتروژن، ذرات معلق و

سرب- باج غم انگیزی از محیط گرداگرد ما می گیرند!

به عبارت دیگر، اغلب فن آوری های انرژی قابل تجدید، آلودگی ناچیز یا صفر تولید می کنند.

آلودگی و گرمای زمین هر دو، احتمال حتمی خطر بزرگ سلامتی نسل بشر را مطرح می کنند.

مطابق با رای انجمن ریه (آمریکا) آلودگی هوا در امراض ریه، نظیر: تنگی نفس، سرطان ریه و عفونت های نواحی تنفسی، سهمیم است و سالانه قریب به ۳۳۵۰۰۰ نفر در آمریکا به این علل فوت می کنند.

ضمناً ممکن است اثرات طولانی مدت مرتبط با گرمای زمین، مخرب تر نیز باشد. عوارض مرگ و میر با هوای بسیار گرم امکان افزایش دارد و هنگامی که دما بالا می رود، امراض می توانند انرژی نهان قوی تری برای پیشرفت داشته باشند.

نهایتاً فن آوری های انرژی قابل تجدید، می توانند به ما برای تغییر الگوهای مرسوم مصرف انرژی، برای ارتقاء کیفیت محیط پیرامون مان، کمک کنند.

۲- انرژی برای نسل های آینده ما:

مصرف انرژی جهان، در آینده به کدام انرژی متمایل خواهد بود؟

بله، ما به خوبی می توانیم ثابت کنیم که مصرف الکتریسیته، رشدی جهانی خواهد داشت. آژانس بین المللی انرژی مطرح می کند که ظرفیت تولید الکتریسیته جهان تا سال ۲۰۲۰، تقریباً به ۵/۸ میلیون مگاوات، افزایش خواهد یافت. که حدود ۳/۳ میلیون مگاوات، بیش از سال ۲۰۰۰ است.

در این حال، ذخایر سوخت های فسیلی کره زمین منبع اصلی کنونی انرژی مان، طبق نظر بهترین تجزیه و تحلیل گران صنعت نفت، از سال ها ۲۰۲۰ الی ۲۰۶۰ شروع به اتمام خواهند کرد.

ما چگونه احتیاجمان به آن مقدار انرژی را بر طرف خواهیم کرد؟

انرژی تجدید پذیر می تواند بهترین پاسخ ما باشد.

کمپانی بین المللی شل، پیش بینی می کند که در سال ۲۰۶۰، انرژی تجدید پذیر، ۶۰٪ انرژی جهان را تأمین خواهد کرد.

بانک جهانی تضمین میکند که نرخ داد و ستد برای انرژی خورشیدی (الکتریسیته) طی ۳۰ سال، به طور مقطوع به چهار تریلیون دلار خواهد رسید.

همچنین سوخت های بیومس (زیست توده ای) می توانند جانشین گازوئیل شوند. و بر عکس سوخت های فسیلی، منابع انرژی تجدید پذیر، قابل نگهداری می باشند و هیچ وقت تمام نمی شوند عملکرد امروز ما برای مرسوم نمودن فن آوری های انرژی قابل تجدید، نه تنها به نفع حال ماست، بلکه موجب تولید منافع زیادی نیز خواهد شد.

۳- شغل ها و اقتصاد:

قشر گسترده ای از ایالات متحده مجبور به واردات سوخت های فسیلی مانند نفت و گاز طبیعی، برای تولید برق، گرما و سوخت، هستند. هزینه این سوخت های فسیلی می تواند بالغ بر میلیون ها دلای شود و هر دلاری که صرف واردات انرژی شود، یک دلار از اقتصاد محلی کسر می شود.

در این حال، منابع انرژی تجدید پذیر، بطور موضعی (محلی) گسترش یافته، هزینه صرف شده برای انرژی از کشور خارج نمی شود، اشتغال زایی نموده و موجب تقویت اقتصاد می شود. کسر فن اوری های انرژی قابل تجدید، زحمتی سخت می طلبد.

شغل ها به زودی از ساخت و ساز، طراحی، نصب، سرویس و فروش محصولات انرژی تجدید پذیر، سر خواهند زد.

اشتغال هم چنین بطور غیر مستقیم از شغل هایی که کمپانی های انرژی تجدید پذیر را با مواد خام، حمل و نقل، اسباب و لوازم و خدمات تخصصی نظیر محاسبات و خدمات اداری تغذیه می کنند، فراهم خواهد شد.

در نتیجه، دستمزد و حقوق حاصل از شغل هاف درآمد افزوده در اقتصاد محل را موجب می شود. از این گذشته درآمد حاصل از انرژی تجدید پذیر، چیزی بیشتر از اقتصاد محلی را رشد می دهد، یعنی مزایایی برای کل کشور.

بطور مثال در سال ۲۰۰۱، ایالات متحده حدود ۱۰۳ بلیون دلار صرف واردات نفت از خارج کرده است. اما به عنوان یکی از سازندگان بزرگ سیستم های انرژی قابل تجدید جهان، می تواند با افزایش مصرف انرژی تجدید پذیر در سراسر دنیا، سرمایه بیشتری را به کشورش واد کند. در حال حاضر سازندگان سیستم های فتو ولتایی ایالات متحده حدود ۲/۳ کل سازندگان جهان هستند. و حدود ۱۰٪ صادرات این سیستم های PV بیشتر صرف توسعه شده که منجر به فروش سالانه بیش از ۳۰۰ میلیون دلار می شود.

چرا بهینه سازی انرژی اهمیت دارد؟

بهینه سازی یعنی (یعنی معناست که) انرژی کمتری برای انجام یک عمل واحد، صرف کنیم. بهینه سازی مصرف انرژی در کشور، در صرف پول کمتر برای انرژی توسط صاحبان مسکن، مدارس، ادارات دولتی، کارخانه ها و صنایع است. پولی که باید صرف انرژی شود، در عوض می تواند صرف مایحتاج مصرف کنندگان، تحصیلات، خدمات و تولیدات شود. یک اقتصاد بهینه انرژی، می تواند بدون مصرف انرژی اضافی، رشد کند. اقتصادی که کمتر انرژی مصرف کند، کمتر هم آلودگی تولید می کند، چون این دو (مصرف انرژی و آلودگی) بدقت به هم گره خورده اند.

- برای منازل: برای خانه یا مشاغل کوچک و برای سایر ساختمان ها (کارآیی یا) بهینه سازی انرژی، مصرف کمتر انرژی برای گرم کردن، سرد کردن و روشنایی ساختمان معنا میدهد. و هم چنین خرید وسایل کم مصرف از قبیل کامپیوترها و سایر لوازم منزل

می باشد. برای مالکان خانه و صاحبان مشاغل، مصرف کمتر انرژی، ذخیره مالی

محسوب می شود.

- برای ماشین ها: برای ماشین شما و دیگر وسایل نقلیه، بهینه سازی انرژی به معنای ساخت ترن های جدید و دیگر تکنولوژی های وسایل نقلیه است.

ماشین های مجهز به موتورهای دو گانه (دو سوختی) بنزین - الکتریکی یا مجهز به سلول های سوختی، دو مثال از بهینه نمودن انرژی در وسایل نقلیه است.

- برای شرکت های برق: برای شرکت برق و سایر تهیه کنندگان الکتریسیته (برق) بهینه سازی انرژی، اغلب بدن معناست که به مشتریان شان کمک کنند تا انرژی را در

خانه ها و مغازه هایشان ذخیره کنند. البته هم چنین به معنای رساندن و ذخیره موثرتر و بهتر برق نیز هست.

- برای صنایع محلی: برای صنایع محلی (صنایع محدود و کوچک)، بهینه سازی انرژی به معنای یافتن راه کارهایی است که کار یکسانی را با انرژی کمتر، انجام دهند. مثلاً

ریخته گری پیوسته، در صنایع فولاد، پیشرفتی در راه کارایی (بهینه نمودن) انرژی است. بهینه سازی انرژی هم چنین به معنای استفاده بهتر از موتورها، سیستم های

بخار، سیستم های فشرده سازی هوا و سایر ابزار و وسایل صنعتی می باشد.

انرژی نو:

در این جا انرژی های تجدید پذیر را به منظور بررسی، به عنوان های زیر دسته بندی نموده و در صفحات بعد بطور مختصر با توجه به فراوانی آنها در ایران عزیز، به شرح برخی آنها می پردازیم:

• انرژی زنده یا انرژی زیست توده

• سوخت زنده

• انرژی باد

• انرژی خورشید

• انرژی زمین گرمایی

• انرژی هیدروالکتریک

• انرژی هیدروژن

• انرژی اقیانوسی

جایگاه انرژی خورشیدی در تأمین الکتریسته

از جمله سؤال های که در رابطه با انرژی با آن موجه هستیم این است که وضعیت انرژی در چند دهه آینده چگونه خواهد شد اقتصادی ترین منبع انرژی کدام است و آیا خورشید می توان به عنوان منبع انرژی با حرفه اقتصادی مطرح شود. نیاز به انرژی بوضوح بر همگان آشکار است و این نیاز به مرور با افزایش پیشرفت های

تکنولوژیکی و جمعیت جهان بیشتر مشهود است آمارهای موجود نشان دهنده این
ایست که مصرف انرژی در دنیا به نحوی است که به ازای هر ۱۴ سال میزان تقاضا دو
برابر می گردد و تا کنون فقط برای انرژی الکتریکی در هر ۱۰ سال تقریباً تقاضا دو
برابر شده و این رشد میزان تقاضا در کشورهای در حال توسعه با شتاب بیشتری همراه
بوده و تقریباً به ازای هر ۷ سال دو برابر شده است. به طور مثال در اواخر دهه ۱۹۸۰
واردات نفت کشور آمریکا به حدود ۷ میلیون بشکه در روز رسید که تقریباً دو برابر
(۱/۳ میلیون بشکه در روز) واردات آنها در سال ۱۹۸۰ بود این در حالی است که
مقدار نفت مصرفی برای تولید الکتریسیته در آمریکا حدود ۴٪ اکثریت مصرفی در
آمریکا را در بر می گیرد و ۵۲٪ انرژی الکتریکی در آمریکا از ذغال سنگ تولید می
شود. با اینکه اکثریت منابع تأمین الکتریسیته در آمریکا از ذغال سنگ استفاده می گردد
اما قوانین مصوب در رابطه با محیط زیست به جهت ریزش باران های اسیدی ناشی از
آلودگی سوزاندن ذغال سنگ و گرم شدن سطح زمین، آلودگی آب های سطح زمین
و ... مشکلاتی را در صنعت ذغال سنگ آمریکا به وجود آورده است و به همین سبب
انتظار می رود که مصرف نفت و گاز طبیعی که نسبت به ذغال سنگ نسبتاً تمیزتر
می باشد افزایش یابد ولی سوزاندن این مواد نیز سبب ایجاد آلودگی های کربنی
سولفوری می گردد افزایش روز افزود جمعیت و پیشرفت های تکنولوژی که سبب
ارتقاء سطح زندگی گردیده است عاملی است که سبب افزایش تقاضا برای الکتریسیته

خواهد شد. اگر نگاهی به میزان تقاضای تأمین الکتریسیته از منابع موجود در دنیا از سال ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۰ مورد بهره برداری قرار گرفته است بیاندازیم مشاهده می کنیم که مورد بهره برداری از منابع مختلف در تأمین انرژی الکتریکی در جهتی است که بیشتر از منافع فسیلی استفاده شده است.

جدول نشان دهنده در زیر بعد این مطلب است که نفت و گاز سهم بسزایی در ت/دمین الکتریسیته دارند و آمارهای موجود از سال ۱۹۷۴ مقدار انرژی حاصل از منابع فسیلی گشفت شده و به ثبت رسیده اعم از زغال سنگ، نفت و گاز را $10^1 \times 7/1$ کیلو وات ساعت برآورده نموده است.

جدول ۱-۱- بهره برداری از منابع انرژی مختلف برای تأمین انرژی الکتریکی در سال های مختلف (واحد 1. B. BTV)

منابع	۱۹۶۰	۱۹۶۵	۱۹۷۰	۱۹۷۵	۱۹۸۰	۱۹۸۵	۱۹۹۰
زغال سنگ	۶۱/۵	۶۲/۶	۶۶/۸	۶۶/۳	۷۹/۲	۸۵/۷	۹۲
نفت	۴۵/۳	۶۴/۴	۹۶/۹	۱۰۷/۵	۱۳۲/۳	۱۴۷/۲	۱۶۵
گاز طبیعی	۱۸	۲۶/۶	۴۰/۴	۴۵/۸	۵۶/۸	۶۷/۳	۷۷/۱
منابع آبی	۶/۹	۹/۶	۱۱/۸	۱۲/۹	۱۵/۴	۱۷/۱	۱۸/۸
انرژی هسته ای	-	۰/۲	۰/۸	۱/۴	۱۲/۶	۳۳/۶	۶۳/۶
جمع	۱۳۱/۷	۳۱۶/۴	۲۱۶/۹	۲۳۳/۹	۲۹۶/۳	۳۵۰/۶	۶۴۱/۶

اگر نرخ اثر تقاضای الکتریکی را با توجه به جدول فوق ۵ درصد در نظر بگیریم مقدار

نیاز به انرژی که در سال ۱۹۸۷ تقریباً $10 \times 1/2$ کیلو وات ساعت بود در سال ۲۰۰۱

میلادی به دو برابر یعنی $10 \times 2/4$ رسیده است.

بدیهی است که با توجه به این کارها به این منابع چندان هم نمی توان متکی بود و از

طرف دیگر از نظر اقتصادی هم استفاده از آنها به صرفه نخواهد بود در حالیکه در

همین آمار گیری مقدار انرژی تشعشعی قابل جذب خورشید را تقریباً ۱۰۰ برابر انرژی

حاصل از منافع فسیلی موجود برآورد نموده است. بنابراین باید توجه بیشتری به انرژی

خورشیدی در تأمین الکتریسیته شود حال با توجه به این نیازها منابع انرژی و

مشکلات محیطی ناشی از سوخت های فسیل جدید بیشتری برای یافتن منابع انرژی

کم خطرتر را می طلبند هم اکنون در دنیا مراکز تحقیقاتی بزرگی جهت دسترسی به

انرژی های مطلوب تر در حال تحقیق و بررسی می باشد مطالعات و بررسی های

انجام شده منجر به استراتژی های کوتاه مدت و بلند مدت برای تأمین الکتریسیته شده

است که در این استراتژی ها انرژی خورشیدی نقش بسیار مهمی را ایفا می کند زیرا

انرژی خورشیدی عملاً بدون محدودیت و آلودگی قابل دسترسی است و سطح زمین

به مقدار 10×7 کیلو وات ساعت از انرژی خورشیدی را در سال دریافت این مطلب

است که مصرف سوخت های فسیلی جهت تأمین انرژی الکتریکی کاهش و منابع

تأمین انرژی الکتریکی با استفاده از انرژی خورشیدی افزایش می یابد که این منابع

عبارتند از:

انرژی حرارتی خورشید، فتوولتائیک (نورولتی)، ژئوترمال (زمین گرمایی) انرژیو
بیوگاز و

در این سیستم های نورولتی یکی از بهترین روش ها انرژی تجدید شونده است که در

هم نقاط با شرایط آب و هوایی مختلف قابل استفاده هستند. این سیستم ها قابل

استفاده در بیابان جنگل های بارانی و در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه

می باشد سیستم های نورولتی به سیستم هایی اطلاق می شود که نور را مستقیماً به

الکتریسیته تبدیل می کنند. این سیستم ها هم اکنون اکثراً به صورت مستقل از شبکه

برق سراسری مورد استفاده قرار می گیرند ولی برای کاربردهایی که دور از منابع برق

می باشند و به سبب نیاز و حداقل نگهداری توانایی بالا، عدم نیاز به سوخت و عدم

ایجاد آلودگی قابل گسترش و نصب در هر نقطه کارآیی بسیار بالایی دارند و تقریباً

۹۷٪ از سیستم های نورولتی که در سال ۱۹۹۰ به فروش رفته است برای کاربردهای

خارج از شبکه تهیه شده اند. یک سیستم نورولتی عبارتند از:

۱- ماژول های خورشیدی

۲- باتری

۳- شارژ الکترو

۴- مصرف کننده ها

ماژول های خورشیدی

ماژول ها یا صفحات خورشیدی که اصلی ترین قدرت یک سیستم نورلتی را تشکیل می دهند وظیفه تبدیل نور به الکتریسیته را دارند صفحات خورشیدی از اتصال یک سری سلول خورشیدی که به صورت موازی و سری به هم متصل می شوند شکل می گیرد. سلول های خورشیدی که وظیفه تبدیل نور به الکتریسیته را به عهده دارند.

که مواد نیمه هادی ساخته می شوند و انواع مختلف ان عبارتند از:

۱- سلول خورشیدی از مواد سیلیسکونی تک کریستال

۲- سلول خورشیدی از مواد سیلیسکونی چند کریستال

۳- سلول خورشیدی از مواد سیلیسکونی بی شکل

۴- سلول خورشیدی از مواد سیلیسکونی

در اینجا سلول خورشیدی از مواد سیلیسکونی چند کریستال مورد نظر می باشد.

یک صفحه خورشیدی از نوع MA 36/45 که در آن ۳۶ سلول خورشیدی با هم

سری شده اند و دارای مشخصات زیر می باشند نشان داده شده است.

راندمان ۱۱/۵ درصد

جریان ۲/۷ آمپر

ابعاد ۱ × ۰/۵ متر مربع

ولتاژ ۱۶ ولت

تولن ۴/۵ وات پیک در شرایط تست استاندارد

وزن ۵/۵ کیلو گرم

برای مصارف با ولتاژ ماژول ها را می توان به صورت سری و موازی به هم متصل نمود.

باتری

سیستم های نورولتی فقط در صورتی که در معرض نور قرار گیرند انرژی الکتریکی تولید می کنند و به همین سبب در هنگام شب و روزهای ابری که شدت تابش نور خورشید ناچیز است از باتری استفاده می شود و در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه می باشد که باتری ها در زمانی که شدت تابش مناسب است توسط صفحات خورشیدی شارژ می گردند.

شارژ کنترلر

جهت حفاظت باتری ها باید ولتاژ و مقدار شارژ باتری کنترل شود که این عمل توسط دستگاه الکترونیکی پارژ کنترلر انجام می گردد.

مبدل DC به AC

ولتاژ تولید شده توسط صفحات خورشیدی از نوع جریان مستقیم است و در صورتی که مصرف کننده به جریان متناوب نیاز داشته باشد باید از مبدل جریان مستقیم استفاده

نمود. همانطوری که قبلا هم اشاره د مزایای بالای این گونه سیستم ها و کارایی فراوان

آب سبب شده است که مصرف این گونه سیستم ها مورد مورد توجه قرار گیرد.

جدول ۱-۲- رشد فروش سیستم های برق خورشیدی از سال ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۰ نشان داده شده است.

جدول ۱-۲

...	۱۹۹۰	۱۹۸۹	۱۹۸۸	۱۹۸۷	۱۹۷۶	۱۹۸۵	
...	۱۶/۴	۱۴/۱	۱۱/۳	۸/۷	۷/۱	۷/۷	آمریکا
...	۱۶/۸	۱۴/۲	۱۲/۸	۱۳/۲	۱۲/۶	۱۰/۳	ژاپن
	۱۰/۲	۷/۹	۶/۷	۴/۵	۴	۳/۴	اروپا
	۴/۷	۴/۴	۳	۲/۸	۲/۳	۱/۴	کشورهای دیگر
	۴۶/۵	۴۰/۳	۳۳/۸	۲۹/۲	۲۶	۲۲/۸	مجموع

بر آورد هزینه تأمین الکتریسته خورشیدی (فتوولتائیک)

هزینه مورد نیاز برای تأمین الکتریسته خورشیدی (فتوولتائیک) به میزان وات تولیدی

وابسته است برای روشن شدن مطلب هزینه مورد نیاز برای سه وات تولیدی مختلف

۲۲۵ وات و ۴۵۰ وات و ۹۰۰ وات به صورت جداولی آورده شده است.

الف) ۲۲۵ وات

جدول ۱-۳- لیست تجهیزات مورد نیاز همراه با قیمت آنها در جدول زیر آمده است:

جدول ۱-۳

تجهیزات	تعداد	قیمت واحد (ریال)	قیمت کل (ریال)
پنل	۵ عدد	۸۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰۰
باتری آب اسیدی	۵ عدد	۳۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰۰
شارژ کنترلر	۱ دستگاه	۵۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰
پایه نصب پانل و تجهیزات الکتریکی			۶۰۰۰۰۰
هزینه اجرایی			۲۰۰۰۰۰۰
مجموع			۸۶۰۰۰۰۰

ب) ۴۵۰ وات

جدول ۱-۴- لیست تجهیزات مورد نیاز همراه با قیمت آنها در جدول زیر آمده است:

جدول ۱-۴

تجهیزات	تعداد	قیمت واحد (ریال)	قیمت کل (ریال)
پنل	۱۰ عدد	۸۰۰۰۰۰	۸۰۰۰۰۰۰
باتری آب اسیدی	۹ عدد	۳۰۰۰۰۰	۲۷۰۰۰۰۰
شارژ کنترلر 60A/h	۱ دستگاه	۶۰۰۰۰۰	۶۰۰۰۰۰
پایه نصب پانل و تجهیزات الکتریکی			۷۰۰۰۰۰
هزینه اجرایی			۳۰۰۰۰۰۰
مجموع			۱۵۰۰۰۰۰۰

ج ۹۰۰ وات

جدول ۵-۱- لیست تجهیزات مورد نیاز همراه با قیمت آنها در جدول زیر آمده است:

جدول ۵-۱

تجهیزات	تعداد	قیمت واحد (ریال)	قیمت کل (ریال)
پنل	۲۰ عدد	۸۰۰۰۰۰	۱۶۰۰۰۰۰۰
باتری آب اسیدی	۱۲ عدد	۳۰۰۰۰۰	۳۶۰۰۰۰۰
شارژ کنترلر 60A/h	۱ دستگاه	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰
پایه نصب پنل و تجهیزات الکتریکی			۱۰۰۰۰۰۰
هزینه اجرایی			۵۰۰۰۰۰۰
مجموع			۲۶۶۰۰۰۰۰

تذکر:

۱- فاصله بین تولید کننده الکتریسیته خورشیدی تا مصرف کننده کمتر از ۲۰ متر در نظر گرفته شده است.

۲- برق تولید شده DC می باشد بدیهی است برای مصارف AC نیاز به مبدل DC به AC می باشد که در آن صورت هزینه مربوط به مبدل با مبدل های ذکر شده در جدول های شماره ۳ و ۴ و ۵ اضافه خواهد شد.

۳- تجهیزات آمده ساخت داخل است.

طبقه بندی سیستم های خورشیدی

سیستم های خورشیدی، سیستم هایی هستند که به وسیله آنها انرژی خورشیدی در جهت برآوردن نیازهای جوامع بشری به انرژی استفاده می شود.

۱-۱- سیستم های فتوویولوژیکی

۱-۲- سیستم های شیمیایی

۱-۳- سیستم های فتوولتائیک

۱-۴- سیستم های حرارتی

سیستم های فتوویولوژی

فرآیند فتوسنتز قدیمی ترین و گسترده ترین روش استفاده از انرژی خورشیدی است. گیاهان تشعشع خورشیدی را جذب کرده و به کمک آن گاز کربنیک و آب را به مواد قندی تبدیل می کنند. در روند این فعل و انفعالات گیاهان اکسیژن را آزاد و نیتروژن و مواد فسفری را که برای ادامه حیات آنها ضروری است جذب می کنند. نتیجه این فرآیند ذخیره سازی بیولوژیکی انرژی خورشیدی است. انرژی خورشیدی (ذخیره شده در گیاهان) از طریق سوزاندن چوب یا تهیه سوخت هایی از قبیل الکل و متان بازیابی می شود. امروزه تهیه سوخت از مواد گیاهی به علت بازدهی پایین آن به ندرت می شود راندمان این فرآیند بین ۰/۲۵ درصد تا ۰/۵ بوده که به طور قابل ملاحظه ای از بازدهی اشکال دیگر استفاده از خورشید کمتر است حتی با وجود این بازدهی کم

هزینه تولید انرژی از بعضی از گیاهان با هزینه تولید سوخت های فسیلی قابل مقایسه می باشند از سوی دیگر می توان از سلولز که نتیجه مستقیم فرایند فتوسنتز بوده و به مقدار زیادی در مواد مازاد کشاورزی و گیاهی موجود است به عنوان یک منبع انرژی زا برای تهیه مواد غذایی یا مواد شیمیایی مورد نیاز صنایع بهره گرفت.

سیستم های شیمیایی خورشیدی

سیستم های شیمیایی خورشیدی به دو دسته کلی تقسیم می شوند:

الف) سیستم های فتوشیمیایی که در آن از تشعشع خورشید در فرآیندهای شیمیایی استفاده می شود.

ب) سیستم های هلیوترمیک که در آن از خورشید به عنوان منبع حرارت بهره می گیرند. هر دو سیستم در سنتز که بدو انرژی حرارتی و نورانی نیاز دارند به کار رفته و در نتیجه این فرآیند سوخت تولید می شود.

سیستم های فتوولتائیک

روندی که انرژی خورشیدی را بدون بهره گیری از مکانیزم های متحرک به انرژی الکتریکی تبدیل کند پدیده فتوولتائیک نامیده می شود. عاملی که در آن فرآیند بکار می رود سلول های خورشیدی نام دارد استفاده از این سلول ها حدود ۴۳ سال پیش (از سال ۱۹۶۰) با به کار بردن آنها به عنوان مولد الکتریکی در زمینه های فضایی خورشیدی می تواند انرژی خورشیدی را با بازدهی معادل ۵ تا ۲۰ درصد مستقیماً به

الکتریسیته تبدیل کند اما استفاده از آنها به علت بهای بسیار زیادشان جز در نقاط صعب العبور هنوز با صرفه نبوده.

عملکرد سلوا های خورشیدی

الکتریسیته یا ایجاد اختلاف فشار الکتریکی در نیمه هادی هایی که به طور مناسب ساخته شده اند تولید می شود. امروزه مؤثر ترین و ارزان ترین سلول های خورشیدی سلول خورشیدی سیلسیم می باشد. ماسه یکی از منابع مهم سیلسیم بوده و بعد از پالایش آن کریستال های سیلسیم بدست می آید. که پس از بریده شدن به صورت لایه در می آید. سیلسیم به طور خالص از نظر هدایت الکتریکی، هادی ضعیفی (نیمه هادی) است اما اگر هنگام پالایش فسفر به آن اضافه شود بار منفی (الکترون) و در صورتی که بور (Borne) به آن اضافه گردد بار مثبت (حفره) پیدا می کند. نوع اول را سیلسیم نوع N و شکل دوم را سیلسیم نوع P می نامند می دانیم که سیلسیم دارای چهار الکترون در مدار خارجی است هنگامی که تعداد اتم فسفر به داخل کریستال سیستم وارد کنیم با توجه به اینکه فسفر پنج الکترون در مدار خارجی خود دارد. چهار الکترون مدار خارجی فسفر با چهار الکترون مدار خارجی سیستم یک مدار بوجود می آورند و بدین ترتیب یک الکترون به صورت آزاد باقی مانده و سیلسیم با بار منفی باردار شده و سیلسیم نوع N بوجود می آید. از سوی دیگر اگر بجای استفاده از اتم بور که دارای سه الکترون در مدار خارجی است استفاده شود حوزه هایی که مثل

الکترون قابلیت حرکت دارند ایجاد شده و سیلسیم به طور مثبت باردار می شود. اگر یک طرف یک کریستال نوع P را از نوع N باردار کنیم اتصال P- N بوجود می آید. در طرف نوع P حفره های آزاد و اتم های بور با بار منفی و ساکن و در طرف نوع N الکترون ها آزاد و اتم های فسفر با بار مثبت (به علت از دست دادن یک الکترون) وجود دارد میدان ایجاد شده توسط اتم های باردار ساکن نمی شود زیرا حفره های طرف P نمی توانند جای خود را به حفره های طرف N بدهند چون درست N حفره وجود ندارد. به همین ترتیب حرکت الکترون های طرف N نمی باشد. حال اگر یک فوتون (ذره ای از نور) به سطح گذر برخورد کند می تواند الکترون را از اتم سیلسیم جدا کرده و در نتیجه حفره به وجود می آورد.

حفره مزبور تحت تأثیر میدان به سمت ناحیه P و الکترون به سوی ناحیه N حرکت کرده و این دو حرکت متضاد و مخالف با بارهای گوناگون یک جریان الکتریکی بوجود می آورند انرژی الکتریکی ایجاد شده با سطح برخورد اشعه بر سطح گذر و قدرت تشعشع متناسب بوده و بازده آن حداکثر ۲۰٪ می باشد. یک سلول فتوولتائیک معمولاً به ضخامت ۳۰۰ میکرون و از ضخامت دایره ای سیلسیم با قطر ۳ تا ۹ سانتی متر ساخته شده است. اتصالات در سطح بیرونی سلول که از یک شبکه فلزی پوشیده شده قرار دارد. پشت سلول با یک ورقه فلزی پوشیده شده است.

نوع دیگر از سلول های فتوولتائیک نیز وجود دارد که در آن به جای سیلسیم به عنوان عنصر پایه از کادمیم استفاده می شود. مساحت سطوح سلول جریان تأثیری بر ولتاژ آن نداشته و معمولاً حدود ۰/۵ ولت می باشد اما شدت جریان تابع مساحت سطح سلول و شدت تشعشع خورشید بوده و در شرایط ایده آل معادل ۲۵۰ آمپر در هر متر مربع ای سطح سلول می باشد برای ایجاد یک ژنراتور، سلول ها به طور سری و یا موازی به یکدیگر متصل می شوند مثلاً در صورت اتصال ۲۴ عدد سلول خورشیدی به طور سری، ولتاژی معادل ۱۲ ولت در درجه حرارت ۲۵ درجه سانتی گراد ایجاد می شود. با ازدیاد درجه حرارت قدرت تولیدی سلول خورشیدی کاهش می یابد.

موارد استفاده:

از سلول فتوولتائیک به دلیل خواص آن در طرح های دراز مدت استفاده می شود. سلول های فتوولتائیک پس از نصب به مراقبت و نگهداری نیاز ندارند. به همین علت در نقاطی مانند ایستگاه های رله امواج رادیو و تلویزیون و چراغ های راهنمایی دریایی و چراغهای راهنمایی هوایی که بازدید و مراقبت از سیستم مشکل است بکار می رود. به طور کلی در نقاطی که دور از شبکه انرژی بوده و به مقدار انرژی کم اما مستمر نیاز است بکارگیری سیستم های فتوولتائیک از نظر اقتصادی و فنی بسیار مناسب می باشد. سیستم های حرارتی

در حال حاضر اقتصادی ترین سیستم هاف انرژی خورشیدی بشمار می آید این گروه

سیستم ها را می توان به ترتیب زیر طبقه بندی کرد:

الف) سیستم های آبگرم

ب) سیستم های گرمایش و سرمایش

ج) سیستم های خشک کردن و پختن

د) سیستم های آب شیرین کن

ن) سیستم های پمپاژ

و) سیستم های تولید الکتریسیته

گردآورنده های خورشیدی تخت

عنصر اصلی گردآورنده های تخت خورشیدی یک ورق است که بوسیله تابش کلی

خورشید حرارت می یابد و حرارت خود را به یک سیال جذب کننده حرارت که در

حال جریان استمنتقل می کند. این سیال معمولاً آب یا هوا است. رنگ ورق همیشه

تیره است و ممکن است که دارای پوشش خاصی نیز باشد که ضریب جذب انرژی

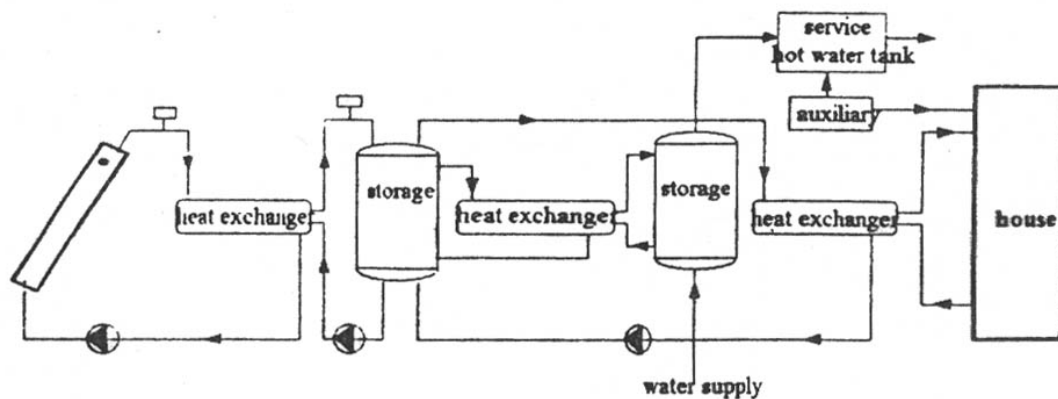
خورشیدی را به حداکثر برساند از ورق های لاستیکی، پلاستیکی و فلزی برای

خروجی های با دمای بالا استفاده می شود. سیستم معمولاً دارای یک بخش ذخیره

است تا حرارت خورشید را برای استفاده در شب ممکن نماید. اگر سیال سیستم یک

مایع باشد بخش ذخیره یک عایق دار است و اگر سیال سیستم هوا باشد از مقداری

سنگ یا بتن استفاده می شود ه این راه حل جاگیر است ولی موادی که تغییر فاز می دهند راه حل بهتری است. اما حتی با این مواد پیشرفته هنوز ذخیره کردن حرارت برای مدت های طولانی عملی نیست و در نتیجه بیشتر سیستم های حرارتی خورشیدی از سیستم های ثانویه ای که با انرژی فسیلی کار می کنند به عنوان مکمل سیستم استفاده می شود. شکل (۱) شماتیک یک سیستم استاندارد گرمایشی که سیال انتقال گرمای آن مایع می باشد را نشان می دهد در مدار گردآورنده این سیستم معمولاً از محلول آب و گلیکول استفاده می گردد. برای انتقال گرما از تانک ذخیره به ساختمان از یک مبدل گرمایی آب-به-آب استفاده به عمل آمده است. یک گرمکن کمکی برای تهیه انرژی جهت تامین بار گرمایی فضا هنگامی که نتوان آن را تانک تامین نمود پیش بینی شده است.



شکل ۱- طرح شماتیک یک سیستم استاندارد گرمایش خورشیدی با سیال مایع

بررسی اقتصادی سیستم های گرمایش خورشیدی

با توجه به تغییرات شرائط آب و هوایی در طول سال به کارگیری سیستم های گرما خورشیدی بهره می گیرند اقتصادی نخواهد بود و بهتر است که از یک انرژی کمکی مانند سوخت های فسیلی نیز در کنار این سیستم استفاده به عمل آید، به این ترتیب سیستم قادر خواهد بود که در شرائط نا مساعد هوا و همچنین در مواقع غیر آفتابی به کار خود ادامه دهد. به عبارت دیگر سیستم خورشیدی در طول روز (ساعات آفتابی) عمل نموده و در مواقع غیر آفتابی انرژی فسیلی مورد استفاده قرار خواهد گرفت. در چنین سیستمی هزینه تولید انرژی و یا نسبت انرژی و هزینه مصرفی را به انرژی تولید شده کمتر از سیستم است که کل انرژی آن توسط خورشید تأمین گردد. هزینه هایی که برای ساخت و نگهداری یک سیستم گرما خورشیدی مورد نیاز می باشد را می توان در موارد زیر خلاصه نمود:

۱- هزینه ساخت و نصب تجهیزات

۲- سوخت

۳- تعمیرات و نگهداری

۴- طراحی سیستم

تجهیزات سیستم خود شامل قسمت های مختلفی است مانند:

۱- کلکتورها، سازه نگهدارنده

۲- سیستم انتقال انرژی شامل پمپ ها، لوله ها و یا کانال ها

۳- سیستم ذخیره انرژی

سرمایه گذاری:

تصمیم گیری بر روی سرمایه گذاری ها معمولاً بر پایه آینده نگری و میزان برگشتی است که آن سرمایه گذاری در آینده به بار خواهد آورد. آنالیز اقتصادی معمولاً بایستی بر اساس مقایسه اقتصادی آلترناتیوهای مختلفی باشد که در این میان جریان های نقدی هر آلترناتیو می تواند به عنوان ضابطه ای به کار برد. اگر چه اقتصادی مهندسی سعی بر دلالت دادن پارامترهای کمی در مسئله دارد ولی این نکته را نبایستی از نظر دور داشت که ظوابط کیفی در بسیاری از حالات اهمیت کمی ها را تحت الشعاع قرار می دهد. مسائل اجتماعی، فرهنگی، محیط زیست که به عنوان پارامترهای پروژه تعریف می شوند. شاید اهمیت کمتری از میزان سرمایه گذاری و بازدهی کمی پروژه ها نداشته باشند. نوع معمولی و رایج سرمایه گذاری در واحدهای صنعتی الگویی از سرمایه گذاری در حال حاضر و هزینه یا درآمدهایی است که از نتیجه این سرمایه گذاری حاصل می گردد، می باشد. معمولاً هر سرمایه گذاری بعد از زمانی که به آن عمر اقتصادی می گویند مستهلک شده و له ارزشی می رسد که به آن ارزش اسقاطی گویند در بعضی از مواقع این ارزش صفر منظور می گردد. یعنی دستگاه و یا تجهیزات پس از طی عمر اقتصادی ارزش ندارد.

هزینه اولیه:

این مقدار برابر با هزینه های اولیه ای مثل هزینه کلکتورها، مخزن، لوله، هزینه نصب و سایر هزینه هایی که در ابتدا اتفاق می افتد می باشد.

الف) هزینه کلکتور:

کلکتورها به دو دسته تقسیم می شوند. کلکتورهای آبی به علت وجود لوله های مسی جهت انتقال سیال هزینه بالاتری نسبت به کلکتورهای هوائی دارد. هزینه کلکتورهای آبی ۳۰۰/۰۰۰ ریال برای هر متر مکعب خواهد بود که در مورد کلکتورهای هوائی به دلیل نداشتن لوله های مسی و هزینه پرسنلی کمتر حدود ۲۰۰/۰۰۰ ریال می باشد.

ب) هزینه منبع ذخیره:

منبع ذخیره در اکثر کاخانجات ایران در ظرفیت های متفاوت ساخته می شود که هزینه آن برای هر لیتر حجم منبع حدود ۶۰۰ ریال برآورد گردیده با توجه به اینکه هر متر مکعب کلکتور ۷۵ لیتر ذخیره انرژی منظور گردیده لذا هزینه مخزن حدود ۴۵۰۰۰ ریال برای هر متر کلکتور خواهد بود.

ج) هزینه نصب و سازه کلکتورها:

این هزینه نیز بر حسب متر مربع کلکتور محاسبه شده است که برای نصب ۲۰۰۰۰ ریال برای سازه ۵۰۰۰ ریال برای هر متر مربع کلکتور در نظر گرفته شده است. جدول (۲) لیست تجهیزات را بر حسب متر مربع کلکتور نشان می دهد.

جدول (۲): هزینه تجهیزات سیستم گرمایش و آبگرم خورشیدی بر حسب متر مربع کلکتور

لیست تجهیزات	هزینه/ریال بر مترمربع
۱-کلکتور صفحه ای تخت	۳۰۰/۰۰۰
۲-منبع ذخیره	۴۵/۰۰۰
۳-هزینه های کارگری	۲۰/۰۰۰
۴-نصب و سازه	۵۰۰۰
هزینه کمکی	۳۷۰/۰۰۰

در این بررسی، مقایسه اقتصادی سیستم های گرمایش و آبگرم خورشیدی از نظر مصرف کننده و دیدگاه ملی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

الف) از نظر مصرف کننده:

در ابتدا استفاده از گاز طبیعی به عنوان سوخت مصرفی خانوار در کنار سیستم خورشیدی بررسی مر گردد. قیمت هر متر مکعب از گاز طبیعی ۱۸ ریال است. متوسط انرژی مورد نیاز برای تامین گرمایش و آبگرم مصرفی منازل (خانواده ۵ نفر) در ایران 121×10^3 مگاژول در سال می باشد. ارزش حرارتی متوسط گاز طبیعی $37/3 \text{ MJ/m}^3$ بوده و راندمان سوخت های گازی ۶۰ درصد در نظر گرفته شده است که به این ترتیب مصرف سالیانه متوسط هر خانواده ۵۵۰۰ متر مکعب حاصل خواهد شد.

در صورتی که درصدی از انرژی مورد نیاز هر خانواده توسط انرژی خورشید تأمین می گردد. با توجه به راندمان سیستم های خورشیدی مساحت مورد نیاز بصورت فوق حاصل می شود.

$$Q = I.A.\eta \rightarrow A = \frac{Q}{I.\eta}$$

که در رابطه فوق Q مقدار انرژی دریافتی، η راندمان و I متوسط سالانه انرژی خورشیدی بر روی صفحه شیبدار در کشور می باشد و برای ۳۴ نقطه از کشور مقدار متوسط $6700 \text{ Mj/m}^2 \cdot \text{yr}$ بدست آمده است. هزینه اولیه سیستم های خورشیدی همانطور که ذکر شد شامل: هزینه کلکتور، منبع ذخیره، نصب، سازه و سایر هزینه هاست که هزینه تولید انبوه آن برای هر متر مربع کلکتور ۳۰۰۰۰۰ ریال پیش بینی می گردد. برای مقایسه اقتصادی دو سیستم سوخت فسیلی گازی و هیبرید (مشترک گازی و خورشیدی) از روش محاسبه ارزش فعلی هزینه ها استفاده شده است و حداقل نرخ جذب ۱۵ و ۲۰ درصد با عمر مفید ۲۵ سال برای سیستم ها در نظر گرفته شده است. برای مقایسه اقتصادی سیستم های گرمایش و آبگرم از دید خاوار و در شرایط کلی می توان رابطه ای را بر اساس ارزش فعلی هزینه های سیستم خورشیدی و فسیلی ارائه نمود.

$$P_w = \frac{f.Q}{I.\eta} C + \frac{Q.R_f.(1-f)}{H_f.\eta_f} \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} + \frac{G}{100} \frac{(1+i)^n - 1 - ni}{i^2(1+i)^2} \right]$$

$P_w =$ ارزش فعلی هزینه های سیستم

f = کسری از انرژی حرارتی مورد نیاز که توسط خورشید تامین می گردد.

Q = کل انرژی حرارتی مفید در سال

I = شدت انرژی به واحد سطح در سال

η_c = راندمان کلکتور

C = هزینه سرمایه گذاری اولیه (یا قیمت سیستم خورشیدی به ازای هر متر مکعب

کلکتور)

H_f = ارزش حرارتی سوخت مصرفی

η_f = راندمان حرارتی کوره سوخت فسیلی

R_f = قیمت داخلی هر واحد سوخت فسیلی

i = حداقل نرخ جذب سرمایه

η = طول دوره یا عمر سیستم

G = درصد افزایش قیمت سوخت در سال اول

بنابراین با در نظر گرفتن ۲۰ درصد افزایش قیمت پایه سوخت در هر سال ارزش فعلی

هزینه ها برای سیستم سوخت فسیلی بدست خواهد آمد.

ریال P_w (فسیلی) = ۱۴۰۰۰۰۰

برای تامین ۵۰ درصد از انرژی مورد نیاز توسط خورشید و با راندمان ۳۰ درصد برای

سیستم خورشیدی مساحت کلکتور مورد نیاز بدست خواهد آمد:

$$P_w = 9700000 \text{ ریال}$$

$$A = \frac{0.5 \times 121 \times 10^3}{6700 \times 0.3} = 30m^2$$

مقایسه اقتصادی دو سیستم با توجه به ارزش فعلی هزینه ها نشان می دهد که سیستم سوخت فسیلی دارای ارزش فعلی هزینه های کمتری است و اقتصادی می باشد.

همچنین برای حداقل نرخ جذب ۲۰ درصد نتایج ذیل حاصل خواهد شد:

$$P_w \text{ (سیستم هیبرید)} = 950000 \text{ ریال}$$

$$P_w \text{ (فسیلی)} = 954000 \text{ ریال}$$

که مجدداً مقایسه اقتصادی نشان می دهد که سیستم هیبرید خورشیدی اقتصادی نمی باشد. جدول ۱ مقادیر ارزش فعلی هزینه ها را برای یک سیستم هیبرید که ۵۰ درصد توسط انرژی خورشید تامین می گردد را برای مقادیر مختلف راندمان سیستم خورشیدی ارائه می دهد.

جدول ۳: ارزش فعلی هزینه ها برای مقادیر مختلف راندمان سیستم خورشیدی با سهم ۵۰٪

راندمان سیستم خورشیدی (%)	سطح کلکتور مورد نیاز (m^2)	هزینه خورشیدی (ریال)	ارزش فعلی هزینه ها P_w (ریال)
۳۰	۳۰	۹/۰۰۰/۰۰۰	۹/۷۰۰/۰۰۰
۳۵	۲۶	۷/۸۰۰/۰۰۰	۸/۴۰۰/۰۰۰
۴۰	۲۳	۶/۹۰۰/۰۰۰	۷/۵۰۰/۰۰۰

مقادیر جدول ۱ برای حداقل نرخ جذب ۱۵ درصد ($i = 15\%$) بدست آمده است.

همچنین به عنوان مقایسه کاهش سهم انرژی خورشیدی برای یک سیستم هیبرید که

۳۰٪ توسط انرژی خورشید تامین می گردد مقادیر حاصل در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۴: ارزش فعلی هزینه ها برای مقادیر مختلف راندمان سیستم خورشیدی باسهم ۳۰٪

راندمان سیستم خورشیدی (%)	سطح کلکتور مورد نیاز (m^2)	هزینه خورشیدی (ریال)	ارزش فعلی هزینه P_w (ریال)
۳۰	۱۸	۵/۴۰۰/۰۰۰	۶/۴۰۰/۰۰۰
۳۵	۱۵	۴/۵۰۰/۰۰۰	۵/۶۰۰/۰۰۰
۴۰	۱۳	۳/۹۰۰/۰۰۰	۵/۰۰۰/۰۰۰

جدول ۱ نشان می دهد که با افزایش راندمان سیستم خورشیدی سطح کلکتور مورد

نیاز کمتر خواهد بود و ارزش فعلی هزینه ها کاهش می یابد و در مقایسه با سیستم

فسیلی تفاوت ارزش فعلی هزینه ها کمتر می گردد و به شرایط اقتصادی نزدیک تر

می گردد، لذا برای افزایش راندمان کلکتورهای خورشیدی باید به تکنولوژی های

راندمان بالاتر با تغییراتی در سیستم خورشیدی دست یافت. همچنین جدول ۲ کاهش

سهم استفاده از انرژی خورشیدی از نشانی دهد که در این حالت سطح کلکتورهای

مورد نیاز کاهش می یابد و ارزش فعلی هزینه ها نیز کمتر خواهد شد. بنابراین برای

کاهش تفاوت ارزش فعلی هزینه های سیستم فسیلی و خورشیدی می توان سهم

استفاده از انرژی خورشیدی را نیز کمتر کرد. این حالت را در ابتدای سیاست گسترش

استفاده از سیستم های گرمایش و آبگرم خورشیدی می توان توصیه کرد و بتدریج همزمان با اعمال سایر سیاست ها سهم انرژی خورشیدی را نیز افزایش داد. اما این افزایش دارای محدودیت نیز می باشد زیرا مشکلات محل نصب بدلیل اینکه آپارتمان نشینی در ایران رو به گسترش است وجود خواهد داشت. در بررسی دیگر از گازوئیل به عنوان سوختمصرفی خانوار استفاده می شود. قیمت هر لیتر گازوئیل با احتساب هزینه حمل و نقل و تحویل در منازل ۳۶ ریال می باشد که متوسط مصرف سالیانه هر خانواده با توجه به ارزش حرارتی متوسط گازوئیل که برابر 38Mj/liter بوده و راندمان کوره های حرارتی با سوخت گازوئیل ۵۵ درصد در نظر گرفته شده برابر 6000 لیتر حاصل خواهد شد. بطور مشابه با سوخت های گازی ارزش فعلی هزینهها محاسبه خواهد شد.

$$P_w (\text{سوخت گازوئیلی}) = 3040000 \text{ ریال}$$

و برای سیستم هیبرید با سهم ۵۰ درصد از انرژی خورشیدی خواهیم داشت:

$$P_w (\text{سیستم هیبرید}) = 10520000 \text{ ریال}$$

مقایسه اقتصادی دو سیستم با توجه به ارزش فعلی هزینه ها نشانی دهد که سیستم سوخت گازوئیلی دارای ارزش فعلی هزینه های کمتری است و اقتصادی می باشد. همچنین برای حداقل نرخ جذب ۲۰ درصد نتایج زیر حاصل خواهد شد:

$$P_w (\text{سیستم هیبرید}) = 10060000 \text{ ریال}$$

$$P_w = 2080000 \text{ (سوخت گازوئیلی)}$$

که مجدداً مقایسه اقتصادی نشان می دهد که سیستم هیبرید با سوخت گازوئیلی از دید خانوار اقتصادی نمی باشد. در اشکال ۲ تا ۵ نمودار نمودارهای ارزش فعلی هزینه های سیستم خورشیدی بر حسب راندمان کلکتور رسم شده است. در این اشکال، خط چین رسم شده ارزش فعلی هزینه ها را برای سیستم ۱۰۰ درصد سوخت فسیلی نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود با افزایش راندمان سیستم خورشیدی ارزش فعلی هزینه ها کاهش می یابد ولی در تمامی حالات ارزش فعلی هزینه های سیستمهای هیبرید بالا بوده و لذا سیستم های برگشت سرمایه ای نداشته و اقتصادی نمی باشد. بنابراین در این شرایط و با نرخ هایی که خانوار برای سوخت های فسیلی پرداخت می کند این سیستم ها در حد تحقیق، نمایش کارکرد سیستم ها، بهبود سیستم ها و دستیابی به راندمان های بالا و سرمایه گذاری اولیه کمتر، مسیر توسعه خواهند داشت.

ب- بررسی اقتصادی از دیدگاه ملی:

از نظر ملی برای بررسی اقتصادی از نرخ های بین المللی سوخت های فسیلی استفاده می شود. برای گاز طبیعی نرخ تعیین شده برای صادرات ایران ۹ سنت و برای گازوئیل قیمت واردات ۱۴ سنت است که برای ارزش دلار ۳۰۰۰ ریال بررسی صورت گرفته است.

بر اساس بررسی هایی که توسط شورای جهانی انرژی صورت گرفته برای قیمت های جهانی سوخت ها افزایشی در حدود ۳ درصد در هر سال پیش بینی شده است که این مقدار برای مقایسه اقتصادی استفاده شده است.

در اینجا نیز برای مقایسه اقتصادی سیستم های هیبرید خورشیدی با فسیلی و از دیدگاه ملی در شرایط کلی می توان رابطه ای را بر اساس ارزش فعلی هزینه های دو سیستم ارائه نمود.

$$P_w = \frac{f \cdot QC}{I \eta_c} + \frac{Q'R_f \cdot (1-f)}{H_f \eta_f} \left[\frac{(1+E)^n (1+i)^n}{(1+i)^n (E-i)} \right] - \frac{QR_f \cdot (1-f)}{H_f \eta_f} \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} + \frac{G}{100} \frac{(1+i)^n - 1 - ni}{i^2 (1+i)^2} \right]$$

$R_f =$ قیمت داخلی هر واحد سوخت فسیلی

$$E = \text{نرخ افزایش سوخت در هر سال}$$

در این قسمت نیز نمودارهای ارزش فعلی هزینه های سیستم خورشیدی بر حسب راندمان رسم شده است. همانطور که مشاهده می شود با افزایش راندمان سیستم خورشیدی، ارزش فعلی هزینه ها کاهش می یابد و در اکثر حالات فعلی هزینه های سیستم هیبرید از سیستم های صد درصد سوخت فسیلی کمتر می باشد و لذا در این حالات سیستم های هیبرید برگشت سرمایه حاصل از صرفه جویی در سوخت داشته و اقتصادی می باشند از این نمودارها برای ارزیابی اقتصادی سیستم های خورشیدی در هر حالتی می توان استفاده کرد.

سیاست توسعه سیستم های گرما خورشیدی

برای اینکه بتوانیم سهم مؤثر توسعه سیستم های گرگایش و آبگرم خورشیدی را در آینده دریابیم، نیاز داریم که امکان توسعه این سیستم ها و هزینه چنین توسعه های را تخمین بزنیم وضعیت فعلی این سیستم ها، نقطه آغاز خوبی است و بایستی با نگرش به پارامترهای حیاتی مانند اهداف جاری تحقیقاتی، راندمان تخمینی، بهبود بخشی مواد و اثرات هزینه ای تولید انبوه بررسی نمود، البته این بررسی ها همه تضمینی خواهد بود زیرا که امکان پیش بینی جهش های تکنولوژیکی و ساختار بازار وضعیت اقتصادی در آینده نا مطمئن خواهد بود. برای آنکه به توسعه نمایش کارکرد و بکارگیری سیستم های گرما خورشیدی شتاب داده شود، دولت می تواند انواع مختلف برنامه های تشویقی را اجرا نماید. این برنامه ها می توانند شامل موارد زیر بشوند:

کمک های اقتصادی:

این برنامه قسمتی و یا تمام ریسک های مربوط به سرمایه گذاری اولیه مورد نیاز برای سیستم های گرمایش و آبگرم خورشیدی را در مقایسه با سیستم سوخت های فسیلی حذف می کند. این کمک ها می تواند به صورت معافیت های مالیات بر سرمایه گذاری، برنامه های کاهش سریع ارزش سیستم ها، وام های با بهره کم، امتیازات خاص برای ساخت سیستم های، پرداخت یارانه مشارکت در هزینه های سرمایه

گذاری برای دستگاه ها یا تامین بخشی از نیازهای مالی برای ایجاد تاسیسات ساخت و تولید در حد انبوه بوسیله دولت باشد.

تحقیق، توسعه و نمایش کارکرد سیستم ها:

در این برنامه ها با سرمایه گذاری دولت برای مشارکت در هزینه های نمایش کارکرد سیستمها پیش از آنکه تقاضایی در بازار بوجود آمده باشد می توان استفاده نمود و در این صورت است که سازندگان، حداقل ریسک مالی تاخیر برنامه ای و هزینه های توسعه در یک بازار به سرعت در حال گسترش حاضر به مشارکت خواهند شد.

استفاده اجباری از سیستم های گرمایش خورشیدی و کنترل تقاضا برای سوخت های فسیلی:

تعیین آیین نامه اجباری برای ساختمان های جدید تجاری و مسکونی یا تاسیسات دولتی دال بر استفاده از سیستم های گرمایش و آب گرم خورشیدی، تقاضا برای استفاده از سیستم های گرمایش خورشیدی را می توان از طریق بازداشتن مردم از استفاده سوخت های فسیلی از طریق مالیات یا تعیین سهمیه افزایش داد. برنامه های تشویقی دیگر عبارتند از: پرداخت وام های ویژه دراز مدت با بهره کم و بدون مالیات توسط بانک ها برای سرمایه گذاری در سیستم های آبگرم خورشیدی. در اقتصادی که مبتنی بر مالیات بر درآمد است تخفیف مالیات بر سرمایه گذاری و کمکهای مبتنی بر کاهش سریع ارزش ابزار مؤثری برای شتاب دهی استفاده از سیستم های گرمایش خورشیدی هستند زیرا که:

الف) هزینه مؤثر سرمایه گذاری را به مقادیری که قابل مقایسه با سوختهای فسیلی هستند کاهش می دهد.

ب) شرکت های خصوصی سرمایه ها را برای تامین مالی پروژه ها نمایش عملکرد و ایجاد توانائی های ساخت تجاری جلب می نماید.

استفاده از تجربیات کشورهای دیگر در زمینه استفاده از سیستم های خورشیدی بسیار مؤثر خواهد بود. این تجربیات و اطلاعات در دسترس هستند ولی بایستی بطور وسیعی اشاعه یابند و تجربیات آتی به خلاصه سازی خوب مدارک و اطلاعات و فعالیت های مستقل جداگانه نیاز دارد. برنامه های تشویقی را می توان و می بایست توسعه داد تا به کاربردهای نهایی بسیار خیلی وسیعی دست یافت و باید تلاش کرد تا بر بعضی از عوامل مهمی که گرایش به محدود کردن استفاده از سیستم های گرمایش خورشیدی دارند فائق آمد.

تعدادی از این محدودیت ها عبارتند از:

- رقابت اقتصادی با سوخت های فسیلی
- هزینه سرمایه گذاری اولیه و هزینه عملیاتی آینده
- کل سرمایه مورد نیاز برای سرمایه گذاری
- رشد منطقی در تولید انبوه
- تغییرات مورد نیاز در نحوه زندگی و آموزش

برای از بین بردن اثر این عوامل محدود کننده باید برخی از برنامه های را که دارای

مشخصات ذیل باشند توسط دولت در هر جا که اقتضی می کند به کار بسته می شود:

فنی:

- توسعه پایگاه های اطلاعات محلی و منطقه ای برای کمک به برنامه ریزی
- سرمایه گذاری در تحقیق و توسعه برای دستیابی به استعداد تکنولوژی و درگیر نمودن مؤثر و بسط RSD به درون بخش خصوصی
- بکار بستن نتایج برنامه های تحقیق و توسعه در شهرهای مختلف
- تأکید روی طراحی و ساخت سیستم های با کیفیت مناسب

اقتصادی:

- سوق دادن امکانات مالی به طرف بخش خصوصی برای ساخت این سیستم ها
- بررسی هزینه های خارجی سوخت های فسیلی هنگام تنظیم و تعیین یارانه
- در صورت امکان تشویق برای انرژی تحویل شده توسط این سیستم ها علاوه بر هزینه های سرمایه گذاری.

آموزش / اجتماعی - فرهنگی:

- مرتبط ساختن برنامه ها با ابتکارهای صرفه جویی
- آموزش و اطلاعات برای مصرف کننده/ عموم
- پیشنهاد خدمات ارزیابی رایگان به مصرف کنندگان توسط متخصصین دوره دیده.

جهت خرید فایل word به سایت www.kandooon.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

فصل دوم

موقعیت فعلی و آینده انرژی طبیعی

انرژی خورشیدی:

همچنانکه گفته شد انرژی خورشیدی کل انرژی موجود بد روی کره زمین را تشکیل می دهد برای شناخت موضوع و انرژی خورشید را از جهات علوم نجومی، بررسی قرار داده و نحوه بهره گیری از هر یک از آنها در زیر آمده است.

۱- علوم نجومی:

انرژی خورشیدی از نقطه نظر علوم نجومی به دو صورت انرژی تابشی و انرژی حرارتی تقسیم می گردد.

الف) استفاده از انرژی تابشی:

بیشتر در جهت تولید برق و روشن سازی بکار گرفته می شود. مقدار انرژی تابشی خورشید در روی کره زمین ۱۰۰۰۰ برابر مصرف مقدار انرژی سالیانه کل دنیا می باشد. برای تبدیل انرژی تابشی به الکتریکی می توان از فتوولتائیک بهره گرفت و مستقیماً آن را به انرژی الکتریکی تبدیل نمود. از این روش می توان تا مقیاس یک روستا را برق رسانی نمود. تکنولوژی آن ساده و تعمیر و نگهداری نیز ضرورتی ندارد. بطور مثال فتوولتائیک با ۱۵٪ راندمان مفید در شرایط هوای آفتابی 100 W/m^2 تولید برق می نماید. روشن سازی محیط انرژی تابشی خورشید به طور طبیعی صورت می گیرد و پدیده روشنایی کره زمین در طی روز توسط انرژی تابشی می باشد.

(ب) انرژی حرارتی:

انرژی حرارتی خورشید خود به طور مستقیم مورد استفاده های مختلفی دارد. برای مثال با کاربرد کلکتورهای خورشیدی می توان آبگرم، گرمایش داخل فضاها، سرمایش، آب شیرین، خشک کردن محصولات کشاورزی و تولید برق و حرارت نمود. بطور مثال در مقایسه با سرمایش و گرمایش با سیستم های متعارف و متداول با استفاده از کلکتورهای خورشیدی و چیلر جذبی می توان در انرژی مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش منازل به ترتیب ۵۲٪ و ۳۹٪ صرفه جویی انرژی نمود یا با افزایش سطح عدسی و جمع کردن اشعه بیشتر حرارت زیادتری تحصیل نمود. در فرانسه کوره خورشیدی نصب شده در روی Pyreness تقریباً دارای قدرت تحصیل ۳۳۰۰ درجه سانتی گراد بوده که می تواند فلز تنگستن را ذوب کند.

۲- علوم محیطی:

انرژی خورشیدی از نقطه نظر علوم محیطی به دو نوع انرژی آب و انرژی باد تقسیم می شود.

الف) رودخانه ها که بوسیله گرمایش خورشید و ذوب شدن برف ها بوجود می آیند. به دو صورت می توانند در تولید برق مؤثر باشند. اولاً تولید برق توسط انرژی آب بوسیله افت آب از ارتفاع زیاد و به حرکت در آوردن توربین میسر می باشد. در

اینروش ساخت سدها نمونه بارز این مصداق است. ثانیاً حرکت آب رودخانه ها نیز

امکان چرخش توربین را نیز میسر می کنند که نتیجتاً برق تولید می گردد.

ب) باد که از گرم شدن لایه های هوا و حرکت این هوا و جابجایی آن بوجود می آید.

در حال حاضر در تولید نیروی برق و گرمایش بکار گرفته می شود و کشورهای

آمریکا و اروپای غربی در اوایل دهه ۱۹۸۰ اقدام به آزمایش تولید چندین مگاوات برق

مصرفی از نیروی باد گردیدند. البته تا به حال در تولید برق بوسیله نیروی باد، با نصب

مجموعه ای از توربین بادی در یک نقطه موفق به کسب ۵۰ تا ۱۰۰ کیلووات برق شده

اندو بخصوص در ایالات کالیفرنیا واقع در ساحل غربی با نصب ۱۰۰۰۰ دستگاه

توربین بادی به ظرفیت کل ۱۰۰۰ کیلووات در حال حاضر برق تولید می گردد.

۳- علوم شیمیایی:

از نقطه نظر علوم شیمیایی فعل و انفعالات شیمیایی بوسیله نور را می توان نام برد. در

پدیده فتوسنتز در گیاهان تبدیل انرژی نور به شیمیایی صورت می گیرد، کلروفیل

موجود در سلول های گیاهان نور خورشید را جذب و با ازدیاد انرژی در آنها موجب

فعل و انفعالات شیمیایی شده و نهایتاً از گاز دی اکسید کربن (CO_2) و آب (H_2O) و

اکسیژن (O_2) احیا می شود. این انرژی نه فقط موجب رشد و نگهداری گیاهان شده

بلکه رل اصلی زندگی انسان و حیوان روی زمین را ایفا می نماید. این فعلو انفعالات،

گاز کربنیک (CO_2) موجود در اکسیژن (O_2) تبدیل کرده و ترکیبات اتمسفریک را نیز

جهت خرید فایل word به سایت www.kandooen.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

بطور یکسان و متعادل نگهداری می نماید. به عقیده برخی صاحبانظران، نفت، ذغال

سنگ، گاز و به عبارت دیگر انرژی فسیلی در طول زمان بوسیله انرژی فتوستنز ذخیره

شده در گیاهان بوجو آمده است (این نظریه مورد قبول برخی دیگر از کارشناسان قرار

نگرفته است).

جهت خرید فایل word به سایت www.kandooon.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

فصل سوم:

ثابت خورشیدی

مدل خورشیدی:

خورشید مبدأ نهایی بیشترین انرژی است که اکنون برای زمین وجود دارد. این انرژی شامل انرژی برای گرمایش مستقیم، انرژی باد، نیروی هیدروالکتریک و انرژی حاصل از سوخت های فسیلی است. سوخت های فسیلی که در حال حاضر وجود دارند نتیجه فرایند فتوسنتز هستند. فرایندی که طی آن، گیاهان انرژی خورشیدی را به انرژی شیمیایی، تبدیل می کنند. درک کامل تکنولوژی انرژی خورشید تنها از طریق تجزیه و تحلیل کامل از تابش خورشید میسر است.

خورشید، نزدیکترین ستاره به ما، برای بقاء حیات بر روی کره زمین انرژی تولید می کند و برای اینکه سیاره ما، در مداری تقریباً مدور باقی بماند، کشش گرانش مورد نیاز را ایجاد می کند. خورشید دارای جرم $M = 1/99 \times 10^{30} \text{ kg}$ (تقریباً $3/3 \times 10^6$ برابر جرم زمین) و شعاع $R = 6/96 \times 10^8 \text{ m}$ (تقریباً معادل 10^9 برابر شعاع زمین) است. فاصله بین زمین و خورشید از $1/0167$ واحد نجومی (در نقطه بعید خورشیدی، تقریباً ۱۳ تیر ماه) تا $0/983$ واحد نجومی است (یک واحد نجومی تقریباً برابر $10^{11} \times 1/5$ متر است).

قسمت درونی خورشید در دسترس ما نیست تا آزمایشات مستقیم بر روی آن انجام دهیم، ولی بر اساس مشاهداتی که از سطح خورشید صورت گرفته و بررسی های نظری، ستاره شناسان معتقدند که دمای درونی آن حدود ۱۵ میلیون درجه کلوین است،

ترکیب شیمیایی خورشید به طور عمده هیدروژن و مقدار کمتری هلیوم است. این دو عنصر شیمیایی که ۹۶ تا ۹۹ درصد جرم خورشید را تشکیل می دهند تحت فشار شدیدی قرار دارند و تنها کشش گرانش زیاد خورشید این توده را در کنار یکدیگر نگه می دارد انرژی در درون خورشید از طریق همجوشی هسته ای هیدروژن به هلیوم تولید می شود.

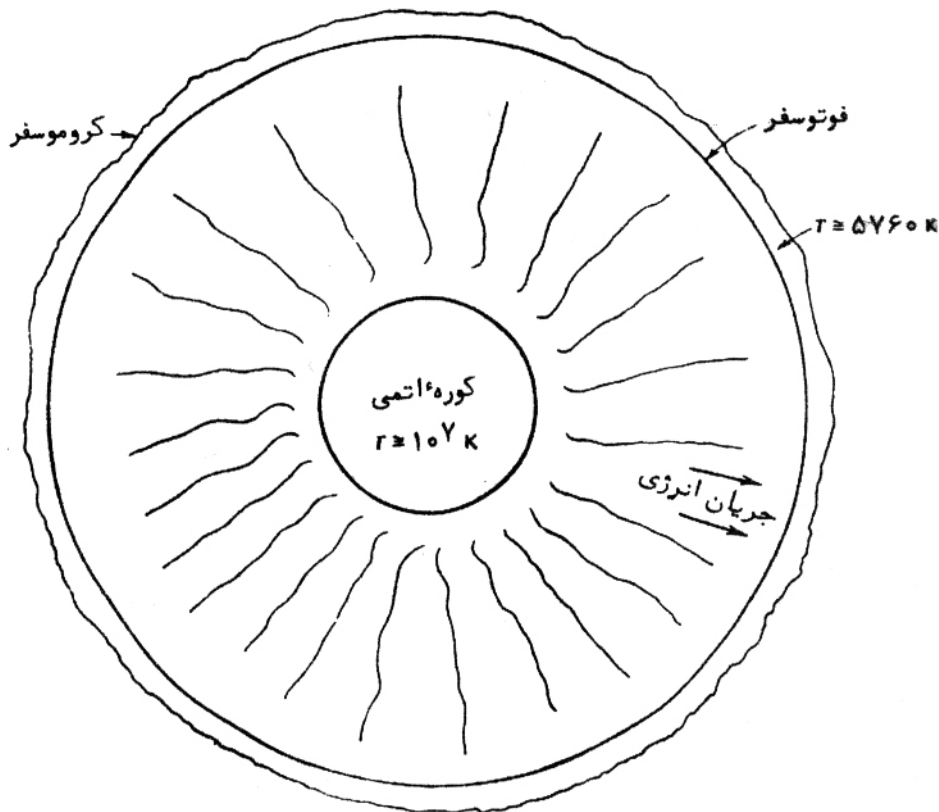
این انرژی راه خود را به سطح خورشید می گشاید و سرانجام عمدتاً به شکل تابش الکترومغناطیسی در فضا منتشر می شود. سطح خورشید یا فوتوسفر در واقع ناحیه انتقالی است که در آن چگالی به سرعت تقلیل می یابد. با عبور دادن خورشید به قسمت خارجی فوتوسفر از یک محیط که از لحاظ نوری به محیط نسبتاً شفاف می رسیم. علاوه بر این، دما نیز به حدود ۶۰۰۰ درجه کلوین تنزل می یابد. در بالای فوتوسفر جو خورشید قرار دارد که کروموسفر نام دارد زیرا به انتخابی رنگ های بخصوصی از تابش رسیده از فوتوسفر را جذب می کند چون این لایه نسبتاً شفاف است، اثر آن را بر روی تابش خورشیدی تابیده می شود و نادیده می گیریم.

بیشتر تابش که به ما می رسد از فوتوسفر گسیل می شود و از این رو طیف خورشیدی به وسیله - خواص نوری و حرارتی سطح خورشید مشخص می شود. در مدل ساده ای که در اینجا به کار رفته است فرض می شود که خورشید همچون جسمی سیاه رفتار می کند که سطح آن $T \cong 6000^{\circ}k$ ثابت نگه داشته شده است. این دمای سطحی

توسط یک منبع انرژی که در داخل خورشید قرار دارد ثابت نگه داشته می شود به

دلیل این دمای بالا، سطح خورشید نور افشانی می کند و تابش الکترومغناطیسی در

تمام جهات فضا منتشر می کند (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳- مدل ساده خورشید

تابش جسم سیاه: تابش الکترومغناطیسی از امواج میدان های الکتریکی و مغناطیسی

نوسانکننده تشکیل می یابد. هر موج با طول موج λ و فرکانس ν مشخص می شود.

در خلأ همه امواج با سرعت یکسانی برابر $C = 2.9979 \times 10^8$ متر در ثانیه حرکت می

کنند. فرکانس، طول موج و سرعت هر موج طبق رابطه روبرو به یکدیگر مربوطند:

$$\nu \lambda = C$$

هر چه فرکانس بیشتر باشد، طول موج کوتاه تر است و بالعکس. کل طیف الکترومغناطیسی در شکل ۱-۲- نشان داده شده است. تنها نوار بسیار باریکی از طول موج هایی که در گستره $900 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$ قرار دارد، به چشم انسان قابل رؤیت است. طول موج هایی که در قسمت مرزی طیف قابل رؤیت در انتهای ناحیه بنفش ($400 \text{ nm} < \lambda$) قرار دارند طول موج های ماوراء بنفش نامیده می شوند و غیر قابل رؤیتند طول موج هایی که در قسمت مرزی ناحیه قرمز ($\lambda > 700 \text{ nm}$) قرار دارند و آنها نیز غیر قابل رؤیتند. همانطور که بعداً خواهیم دید تقریباً نصف تابش خورشیدی در قسمت مادون قرمز واقع است و این در حالی است که اجزای ترکیبی طیف مرئی کمتر از ۴۰ درصد انرژی خورشید را تشکیل می دهند. هنگامی که تابش الکترومغناطیسی بر سطح یک جسم بتابد، می تواند منتقل، بازتاب و یا جذب شود. اگر جسم کدر باشد، هیچ انتقالی ممکن نیست. انرژی تابشی در زمان واحد در طول موج واحد که بر روی سطح مذکور تابانده می شود شار طیفی تابیده شده $F_{\lambda}^{(i)}$ نامیده می شود. مشابهاً شارهای طیفی جذب شده و منعکس شده به ترتیب با $F_{\lambda}^{(a)}$ و $F_{\lambda}^{(r)}$ نشان داده می شوند. اندیس λ دلالت دارد که ما با یک طول موج تک مؤلفه ای سروکار داریم. کل شار موجود در نمودار توزیع به قرار روبرو است:

$$F = \int_{\infty}^{\infty} F_{\lambda} d\lambda$$

قابلیت جذب طیفی، α_λ و قابلیت بازتابش طیفی r_λ ، سطح یک جسم را با رابطه های

زیر تعریف می کنیم:

$$a_\lambda = \frac{F_\lambda^{(a)}}{F_\lambda^{(i)}} \quad \text{و} \quad r_\lambda = \frac{F_\lambda^{(r)}}{F_\lambda^{(i)}}$$

هنگامی که جسم کدر باشد، آنچه از سطح آن باز تابیده نمی شود باید جذب شود و

می توانیم بنویسیم:

$$a_\lambda + r_\lambda = 1 \quad (2-3)$$

در حقیقت a_λ و r_λ برای یک سطح واقعی به طول موج شار تابیده و به جهت تابش

بستگی دارند. برای مثال بسیاری از سطوح در حالت تابش عمودی بخوبی نور تابیده

شده را جذب می کنند، در حالی که هنگامی که نور در زوایای نزدیک به عمود تابیده

شوند به طور مؤثر جذب نمی شوند. این وابستگی به جهت تابش را نادیده می گیریم

و برای سهولت، فرض می کنیم که سطح مذکور یک جذب کننده همسان است. با

وجود این، قابلیت بازتابش و جذب طیفی باطول موج شار تابشی قابل ملاحظه ای

تغییر می کند. بسیاری از رنگ دانه ها که به سبب خوب بار تابیده شدن در طیف مرئی

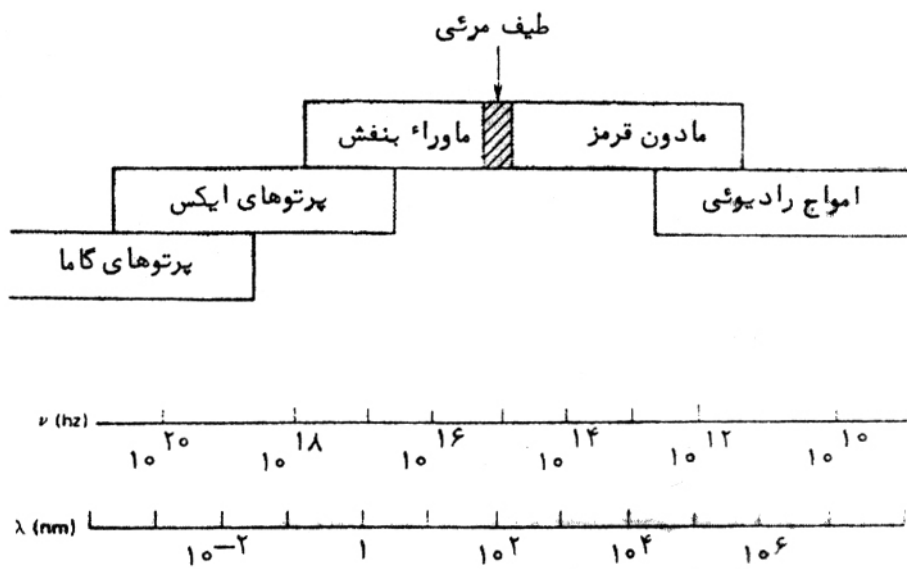
به چشم سفید می نمایند. بسیاری از جذب کننده ها برای تابش مادون قرمز قرار

می گیرند.

تعاریف زیر درباره ایده آل سازی سطوح واقعی مفید است:

جسم سیاه: هر جسمی که سطح آن تمام اجزای ترکیبی تابشی الکترومغناطیسی تابیده شده را بدون در نظر گرفتن طول موج یا جهت تابش جذب کند جسم سیاه نامیده می شود.

در این گونه اجسام: برای تمام طول موج ها $(r_{\lambda} = 0)$ $a_{\lambda} = 1$



شکل ۳-۲- طیف الکترومغناطیسی

جسم سفید: هر جسمی که سطح آن کلیه اجزای ترکیبی تابش الکترومغناطیسی تابیده را بدون توجه به طول موج و جهت تابش منعکس می کند جسم سفید (یا منعکس کننده کامل) نام دارد، در این اجسام:

برای تمام طول موج ها $(a_{\lambda} = 0)$ $(r_{\lambda} = 1)$

جسک خاکستری: هر جسمی که قابلیت جذب سطحی آن بین جذب سطحی یک

جسم سیاه و جذب سطحی یک جسم سفید و نسبت به طول موج و جهت تابش

مستقل باشد جسم خاکستری (همسان) نامیده می شود. در چنین اجسام: که $0 < \alpha < 1$

$$a_{\lambda} = a \text{ (برای تمام طول موج ها)}$$

در واقع هیچ سطحی کاملاً سفید یا سیاه نیست. جلای سیاه مات در مقابل تابش

خورشیدی دارای قابلیت جذب متوسط $a = 0.97$ و نقره صیقلی که بسیار براق است

دارای $a = 0.07$ است.

این یک واقعیت تجربی در طبیعت است که هر گاه جسمی کدر در دمای ثابت نگه

داشته شود، سطح آن تابش الکترومغناطیسی ویژه ای از خود ساطع می کند که تابش

حرارتی نام دارد. این تابش بطور کلی در همه جهات منتشر می شود و شامل کلیه

طول موج های طیف الکترومغناطیسی است. شار حرارتی که از جسم خارج می شود

به ویژگی های سطحی آن جسم و نیز به دمای آن (T بر حسب کلوین) بستگی دارد.

برای سطوح جذب کننده همسان شار حرارتی ساطع شده همسان و توزیع طیفی آن به

قرار زیر است:

$$F_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda} B_{\lambda}(T) \quad (۲-۳-الف)$$

در این فرمول ε_{λ} یک مشخصه سطح است که قابلیت گسیل طیفی خوانده می شود و

$B_{\lambda}(T)$ تابع پلانک نام دارد. این تابع عمومی λ و T از فرمول زیر بدست می آید:

$$B_{\lambda}(T) = \frac{a}{\lambda^3 (e^{\lambda h} - 1)} \quad (3-3 \text{ ب})$$

مقادیر ثابت در این تابع به قرار زیر است:

$$= 1/4388 \times 10^{-2} \text{ m-k}$$

$$a = 2\pi hc^2 = 3/7405 \times 10^{-16} \text{ w-m}^2$$

که در آن: (ژول بر ثانیه) $h = 6/6252 \times 10^{-34} \text{ j-s}$ (ثابت پلانک)

c (سرعت نور) $= 2/9979 \times 10^8 \text{ m/sec}$

(ژول بر کلوین) $k = 1/3806 \times 10^{-23} \text{ j/k}$ (ثابت بولتزمن)

کل شار تابشی منتشر شده توسط سطح عبارتست از:

$$F = \int_0^{\infty} \epsilon_{\lambda} B_{\lambda}(T) d\lambda \quad (3-4)$$

طبق قوانین تعادل ترمودینامیک می توان ثابت کرد که قابلیت گسیل حرارتی و قابلیت جذب نوری در واقع بهم مربوطند. این رابطه طبق قوانین کیرشهف برقرار می شود. قابلیت گسیل طیفی یک سطح همسان معادل قابلیت جذب طیفی آن است یا به عبارت

دیگر:

$$\epsilon_{\lambda} = a_{\lambda} \quad (3-5)$$

از معادل (3-5) نتیجه می گیریم جسم سیاهی که در آن $a_{\lambda} = 1$ باشد با $\epsilon_{\lambda} = 1$ به ازای

تمام موجها پربازده ترین تابشگر است. از این رو، برای یک جسم سیاه معادله 3-3

(الف) به شکل زیر در می آید:

$$F_{\lambda} = B_{\lambda}(T) \text{ سیاه}$$

به طوری که تابع توصیف کننده شار طیفی که در دمای T کلوین از یک سطح سیاه

گسیل می شود همان تابع پلانک است. از معادله $3/5$ همچنین در می یابیم که یک

جسم سفید ($a = \varepsilon = 0$) هیچ تابش حرارتی گسیل نمی کند و یک جسم خاکستری

طبق معادله زیر تابش گسیل می کند:

$$F_{\lambda} \text{ خاکستری} = \varepsilon B_{\lambda}(T) \quad (0 < \varepsilon < 1) \quad (3-6)$$

در شکل ۳-۳ طیف نثری یک جسم سیاه، خاکستری. یک جسم واقعی در دمای

۶۰۰۰ درجه کلوین ترسیم شده است. توجه کنید که تابع طیفی برای یک جسم سیاه

معادل تابع پلانک است، در حالی که تابع طیفی برای جسم خاکستری همان شکل را

دارد و فقط به اندازه عامل ε کوچک می شود. بنابراین توجه به ویژگی های ریاضی

$B_{\lambda}(T)$ حائز اهمیت است. شکل ۳-۴ تابع پلانک را به عنوان تابعی از طول موج به

ازای دماهای مختلف بر حسب کلوین نشان می دهد. سطح زیر هر منحنی محدود است

و هر کدام دارای یک طول موج، λ_{\max} که در آن مقدار $B_{\lambda}(T)$ حداکثر است. بنابراین،

در هر دمای محدود انرژی حمل شده توسط اجزایی که طول موج آنها خیلی کوتاه یا

خیلی بلند است، آنقدر کم است که می توان از آن چشم پوشید، علاوه بر این،

بیشترین مقدار انرژی توسط طول موج هایی در آن منطقه جابجا می شود که $B_{\lambda}(T)$

بزرگترین مقدار خود را داشته باشد.

می توان نشان داد که خاصیت های ریاضی زیر در مورد $B_{\lambda}(T)$ معتبر هستند:

$$\lambda_{\max} = \frac{a}{T} \quad (\text{قانون جابجایی}) \quad (7-3-\text{الف})$$

$$F = \int_0^{\infty} B_{\lambda}(T) d\lambda \delta T^4 \quad (\text{قانون استفان - بولتزمن}) \quad (7-3-\text{ب})$$

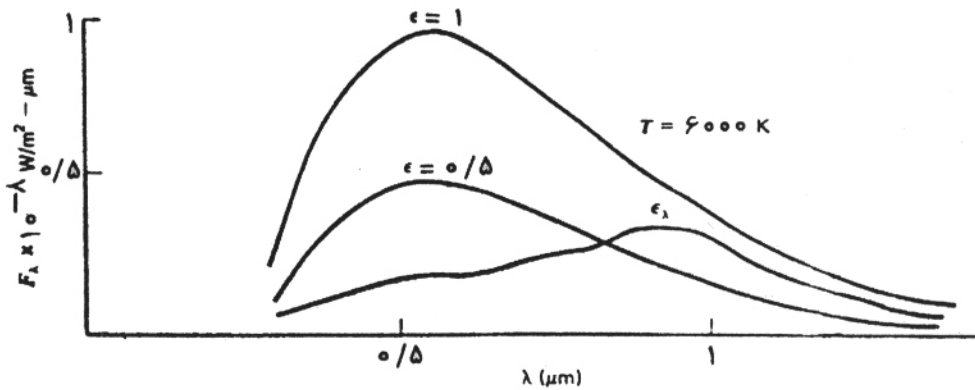
که در آن a و δ ثابت های جهانی هستند.

طبق معادله (7-3-الف) مشخص است که طول موجی که در آن $B_{\lambda}(T)$ مقدار حداکثر

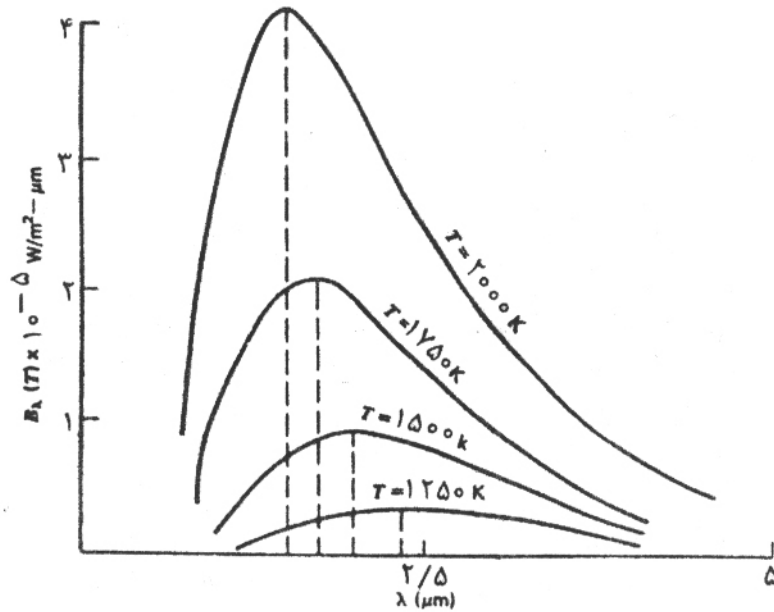
خود را دارد بالعکس دمای کلوین تغییر می کند. طبق معادله (7-3-ب) می بینیم که کل

مساحت زیر $B_{\lambda}(T)$ و در نتیجه کل شار حرارتی گسیل شده توسط یک جسم سیاه با

توان چهارم دمای کلوین متناسب است.



شکل ۳-۳ طیف گسیل حرارتی یک جسم سیاه ($\epsilon = 1$) یک جسم قهوه ای ($\epsilon = 0.5$) و یک جسم واقعی ϵ_2 که همگی دمای $6000^{\circ}K$ دارند. جسم واقعی که در این شکل نشان داده شده، تابش کننده بهتری برای اشعه مادون قرمز است تا تابش مرئی.



شکل ۴-۳- طیف های گسیلی حرارتی اجسام سیاه در دماهای مختلف. خط چین های مقادیر λ_{max} نشان می دهد.

در مطالب زیر، تمام کمیت ها را در دستگاه MKS (متر- کیلوگرم- ثانیه) بیان می کنیم. در این دستگاه انرژی بر حسب ژول (J)، توان (انرژی بر زمان) بر حسب وات (W) و مساحت بر حسب متر مربع بیان می شود. علاوه بر این واحدها شار کلی بر حسب وات بر متر مربع و طول موج براحتی بر حسب متر، میکرون ($1\mu m = 10^{-6} m$) یا نانومتر ($1nm = 10^{-9} m$) بیان می شود. ارقام ثابت در معادله ۱-۷ به قرار زیرند:

$$a = 2898\mu m - k \quad \delta = \frac{5.6696 \times 10^{-8} w}{m^2 - k^2} \quad (\text{ثابت استفان - بوتنرمن})$$

معمولاً گفته می شود مقدار λ_{max} برای یک توزیع پلانکی معین، ویژگی «رنگ» را ارائه می کند گر چه لزوماً این رنگ نیست که توسط چشم انسان تشخیص داده می شود. اما این حقیقت که λ_{max} با افزایش T کاهش می یابد توضیح می دهد که چرا یک جسم

سیاه در دمایی معین بحدی داغ می شود که سرخ رنگ به نظر می رسد و با افزایش بیشتر دما سفید رنگ می گردد. سفیدی رنگ چشم بر وجود اجزای آبی رنگ دلالت دارد. با استفاده از معادله (۱-۷-الف) در می یابیم که یک جسم سیاه در دمای ۷۰۰۰ درجه کلونین دارای طول موج مشخصه (آبی)

$\lambda_{\max} = 0.414 \mu m$ است. در حالی که یک جسم سیاه دیگر در $T = 5800^{\circ}k$ دارای

طول موج (سبز) $\lambda_{\max} = 0.5 \mu m$ است. اگر یک جسم سیاه در دمای اطاق ($T=300^{\circ}k$)

قرار داشته باشد، در این صورت (مادون قرمز) $\lambda_{\max} = 966 \mu m$ خواهد بود و چشم

سیاه رنگ به چشم خواهد آمد. شار کلی گسیل شده از یم جسم سیاه طبق فرمول زیر

از قانون استفان- بوترنمن (معادله ۷-۳-ب) بدست می آید:

$$F_{\text{سیاه}} = T \delta^{\epsilon} = (5.67 \times 10^{-8}) T^{\epsilon} \quad (7-3)$$

از اینرو، اجسام سیاهی که دمای سطحی آنها به ترتیب ۷۰۰۰، ۵۸۰۰، ۳۰۰ درجه

کلونین باشد، به ترتیب شارهای 1.36×10^8 ، 6.4×10^7 ، 4.59×10^2 وات بر متر

مربع گسیل می کنند. توجه کنید که با افزایش دمای کلونین، افزایش چشمگیری در

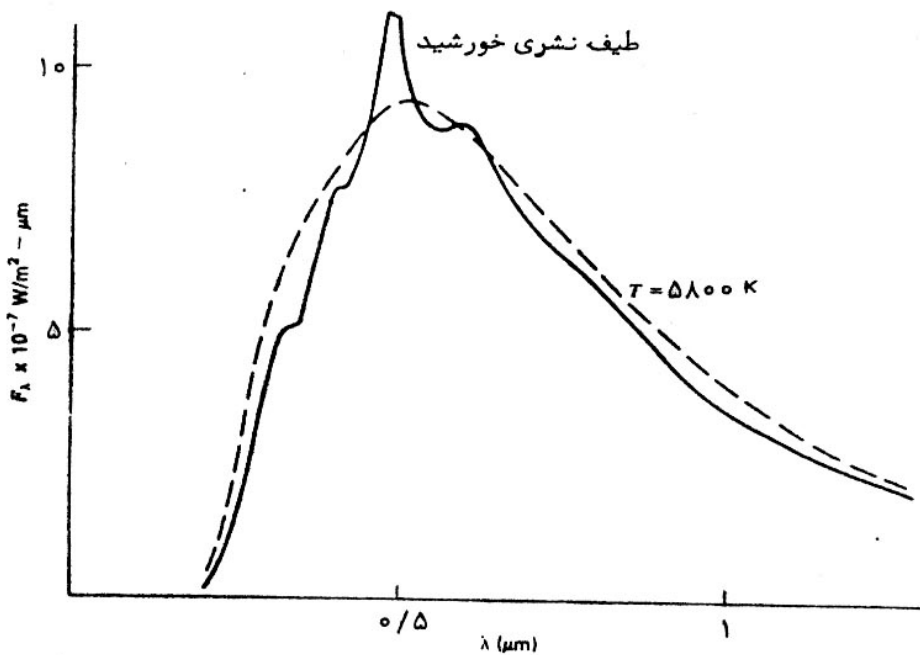
گسیل جسم سیاه دیده می شود. چون گسیل جسم سیاه متناسب با T^{ϵ} تغییر می یابند،

دو برابر شدن مقدار T باعث ۱۶ برابر شدن مقدار سیاه F می شود. تعمیم معادله ۱-۸

درباره یک جسم قهوه ای عبارت است از:

$$F_{\text{خاکستری}} = \epsilon \delta T^4 \quad (0 < \epsilon < 1) \quad (3-9)$$

گسیل تابشی از خورشید: در اینجا اگر مدل خورشیدی را یک جسم سیاه در دمای دائمی T فرض می کنیم. در این صورت شار تابشی گسیل شده از سطح خورشید می توان با یک توزیع پلانکی نشان داد. توزیع طیفی مشاهده خورشید اندکی با $B_{\lambda}(T)$ فرق دارد زیرا خورشید نه در حالت تعادل تابشی و نه حتی در حالت دائمی است. با وجود این، همانطور که در شکل ۳-۵ ملاحظه می شود منحنی یک جسم متناظر با دمای $T = 5800^{\circ}\text{K}$ تقریب مناسبی برای طیف خورشیدی است. از این به بعد ما این تقریب جسم سیاه را به کار خواهیم برد.



شکل ۳-۵- توزیع طیفی پار گسیل شده از سطح خورشید، خط چین طیف گسیلی یک جسم سیاه را در دمای 5800°K نشان می دهد.

با استفاده از معادله (۷-۳-الف) می بینیم که طول موج مشخصه طیف خورشیدی عبارتست از:

$$\lambda_{\max} = \frac{2.9 \times 10^3 \mu\text{m} - k}{5800k} = 0.5 \mu\text{m} = 500\text{nm}$$

که معادل نور سبز است. از معادله (۱-۷-ب) در می یابیم که کل شار خارج شونده از

سطح خورشید عبارتست از:

$$F_{\circ} = \delta T_{\circ}^4 = \left(\frac{5.67 \times 10^{-8} \text{ W}}{\text{m}^2 - \text{K}^2} \right) (5800\text{K})^2 = 6.416 \times 10^7 \text{ W/m}^2$$

این تابش بعد خروج از سطح خورشید پخش می شود (در تمام جهات پخش

می شود). کل توان تابشی گسیل شده از خورشید، با ضرب کردن شار فوق در

مساحت سطح خورشید به دست می آید، داریم:

$$P_{\circ} = F_{\circ} 4\pi R_{\circ}^2 \cong (6.42 \times 10^2 \text{ W/m}^2) 4\pi (6.69 \times 10^8 \text{ m})^2 \cong 3.91 \times 10^{26} \text{ W}$$

چنانچه خورشید تابش خود را به صورت همسان گسیل کند، این قدرت عظیم که

ستاره شناسان آن را تابندگی نامیده اند، به طور مساوی در تمام جهات در فضا گسیل

می شود. با افزایش فاصله از خورشید این قدرت بر سطوح کروی که مساحت فزاینده

ای دارند پخش می شود، در نتیجه شدت نور با مربع فاصله از مرکز خورشید تناسب

عکس دارد. در فاصله r مساحت سطح $4\pi r^2$ است، بطوری که شار تابشی که به این

چنین سطحی می رسد عبارتست از:

$$F = \frac{P_{\circ}}{4\pi r^2} = \frac{4\pi R_{\circ}^2 F_{\circ}}{4\pi r^2}$$

$$F = R_{\circ}^2 F_{\circ} / r^2 \cong \frac{3.11 \times 10^{25}}{r^2} \text{ W/m}^2 \quad (3-9)$$

چون فاصله زمین از خورشید در طول سال تغییر می کند شار رسیده به زمین تغییر

می کند. در فاصله متوسط زمین تا خورشید یعنی $10^8 \times 1/5 = 2$ متر. مقدار شار

عبارت است از:

$$S = F \cong \frac{3.11 \times 10^{25}}{(1.5 \times 10^{11})^2} = 1382 \text{ w/m}^2 \quad (3-11)$$

این مقدار شار که بنام ثابت خورشیدی موسوم است، و قبلاً توضیح داده شد در واقع

مقداری ثابت نیست و با فصول و تا اندازه ای با فعالیت خورشیدی تغییر می کند.

بعلاوه، توجه داشته باشید که مقدار عددی معادله ۱۱-۳ با این فرض به دست آمده که

طیف خورشیدی، به صورت یک جسم سیاه در دمای تقریباً مساوی ۵۸۰۰ کلوین

است. اگر می خواستیم این دما را به ۵۷۶۲ کلوین تغییر دهیم، محاسبه دقیق نشان

می دهد که ثابت خورشیدی به مقدار تقریبی ۱۳۵۲ وات بر متر مربع تنزل می کرد.

مقدار ثابت خورشیدی توسط محققان مختلف اندازه گیری شده و بین ۱۳۵۰ تا ۱۳۸۲

وات بر مترمربع متغیر است، اختلاف نتایج حدود دو درصد است. با فرض اینکه دمای

طیف تقریباً ۵۷۶۰ کلوین است، بطور اختیاری ۱۳۵۲ وات بر مترمربع را به عنوان

مقدار ثابت خورشیدی انتخاب می کنیم.

معادله ۱۰-۳ نیز برای توزیع طیفی معتبر است و می توانیم بنویسیم:

$$S_{\lambda} = \frac{R_{\odot}^2}{r^2} F_{\odot \lambda} = \frac{R_{\odot}^2}{r^2} B_{\lambda} (5760^k) \\ \cong 2/156 \times 10^{-8} B_{\lambda} (5760 \text{ k}) \quad (\text{بر حسب } \text{w/m}^2 \text{ -m}) \quad (3-12)$$

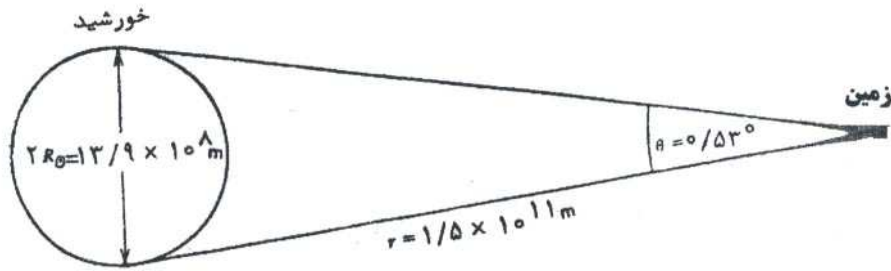
$$s = \int_0^{\infty} S_{\lambda} d\lambda = 1352w/m^2 - m \quad \text{با:}$$

در نتیجه، توزیع طیفی شار وقتی به بالای جو زمین می رسد لزوماً مانند توزیع طیفی است که توسط خورشید گسیل شده است. اما، هر جزء طیفی به هنگام عبور به طور مساوی تضعیف می شود. هر چند، شار گسیل شده ای که سطح خورشید را ترک می کند پراکنده است. اما در زمانی که به جو می رسد تقریباً تک جهتی یا پرتو مانند می رسد. با دور شدن از خورشید به نظر می رسد که قرص آن کوچکتر می شود و تمام انرژی آن از جهت کاملاً معینی می آید. چون خورشید دقیقاً یک نقطه نیست بلکه همچون قرص به نظر می رسد، تابش آن کاملاً پرتو گونه نیست و تا اندازه های واگرا است. طبق شکل ۱-۶ می توانیم ببینیم که این واگرایی از روی نسبت قطر خورشید به فاصله زمین تا خورشید تعیین می شود.

بنابراین واگرایی زاویه ای عبارتست از:

$$\Delta\theta = \frac{2r_{\odot}}{r} = \frac{(2)(6.96 \times 10^8 m)}{(1.5 \times 10^{11} m)} = 9.28 \times 10^{-3} \quad \text{واریان } = 0.53^{\circ}$$

این مقدار، اندکی بیشتر از $\frac{1^{\circ}}{2}$ است بطوری که شار تشکیل دهنده ثابت خورشیدی را می توان همچون تابش تک جهتی دانست.



شکل ۵-۳- استفاده از هندسه برای تعیین زاویه واگرایی ثابت خورشیدی

ترکیب طیفی ثابت خورشیدی:

همان طور که ذکر شد، طیف ثابت خورشیدی توسط معادله ۱-۱۲ معلوم می شود که

$$S_{\lambda} = \text{ثابت} \times B_{\lambda}(T) \quad \text{به شکل روبرو است:}$$

کسری از انرژی (F) که توسط طول موج های بین 0 تا λ منتقل می شود، با سطح

زیر منحنی جسم سیاه متناسب است که بین این دو حد واقع است. این مقدار را

می توان با حل انتگرال های زیر تعیین کرد:

$$f_{\lambda}(T) = \frac{\int_0^{\lambda} B_{\lambda}(T) d\lambda}{\int_0^{\infty} B_{\lambda}(T) d\lambda} = \frac{\int_0^{\lambda} ad\lambda / [\lambda^5 (e^{b/\lambda T} - 1)]}{\int_0^{\infty} ad\lambda / [\lambda^5 (e^{b/\lambda T} - 1)]} \quad (3-13)$$

از معادله ۱۳-۳ به نظر می رسد که انتگرال ها را بتوان حل کرد و به ازای هر دما بدون

استثناء ارزیابی کرد. این آن موردی نیست که می توان با تغییر انتگرال با استفاده از

جایگزینی $X = \lambda T$ مشاهده کرد. با استفاده از معادله (۷-۳-ب) می توان معادله

۱۳-۲ را به شکل زیر نوشت:

$$f_{\lambda}(T) = f(\lambda T) = f(X) = \int \frac{adx}{\lambda x^5 (e^{b/\lambda x} - 1)} \quad (3-14)$$

از این رو اگر انتگرال را بتوان حل کرد و $f(X)$ را بصورت جدولی در آورد، در آن صورت می توان کسری از انرژی بین 0 تا λ را به ازای منحنی های جسم سیاه در هر دما تعیین کرد. حل عددی معادله ۱۴-۳ در جدول ۱-۱ داده شده است. می توانیم برای یافتن کسری از انرژی برای طول موج های بین صفر و $\lambda_1 = 0.4 \mu m$ برای طیف یک جسم سیاه با دمای 5760^k از جدول ۱-۱ استفاده می کنیم.

مقدار این کسر به ازای:

$$x_1 = \lambda_1 T = (0.4 \mu m)(5760k) = 2304 \mu m - k$$

است با:

$$f(x_1) = f(2304 \mu m - k) = .121 = \%12.1$$

تذکر:

این کسر برای طول موج های یکسان در دمای کوچکتر 3000 درجه کلوین خواهد بود.

$$f(1200)_{\mu m - k} = 0.002 = 0.2 \quad \text{فقط} \quad [x_1 = (0.4)(3000) = 1200 \mu m - k]$$

جدول ۱-۱ را می توان برای تعیین کسری از انرژی برای طول موج های بین λ_1 و λ_2

نیز به کار می رود تعریف می کنیم:

$$f_{\lambda_1, \lambda_2} = f_{\lambda_2} - f_{\lambda_1}$$

مثلاً برای یافتن کسر انرژی برای طول موج های بین $\lambda_1 = 0.4$ و $\lambda_2 = 0.7$ میکرومتر و

به ازای $T = 5760^k$ از عبارت زیر استفاده می کنیم:

$$f(4.32 \text{ m}\mu - k) - f(23.04 \text{ m}\mu - k) = 0.488 - 0.121 = 0.367 = 37\%$$

کسر باقی مانده که توسط طول موج های بلندتر از $0.7 \text{ m}\mu = \lambda_2$ معلوم می شود با

استفاده از رابطه زیر بدست می آید:

$$1 - f_{\lambda_2} = 1 - 0.488 \cong 0.51 = 51\%$$

اگر طیف خورشیدی را با توزیع یک جسم سیاه در دمای 5760 کلوین تقریب بزنیم،

در این صورت همانطور که قبلاً دیدیم تقریباً 12 درصد انرژی توسط طول موج های

کوتاه تر از $0.4 \text{ m}\mu$ منتقل می شود. این عمل عمدتاً به شکل تابش ماورای بنفش

است. قسمت مرئی طیف خورشیدی شامل 37% انرژی است در حالی که طول موج

های بلندتر از $0.7 \text{ m}\mu$ (عمدتاً مادون قرمز) در برگیرنده 51 درصد هستند. بنابراین

تقریباً دو سوم انرژی دریافتی از خورشید برای چشم انسان نامرئی است. بطور

خلاصه، شار خورشیدی که به طبقات بالای جو زمین می رسد، اصولاً دارای

خصوصیت الکترومغناطیسی است. توزیع طیفی آن کاملاً شبیه طیفی است که توسط

یک سطح سیاه در دمای 5760 کلوین گسیل می شود. تقریباً $\frac{1}{2}$ این انرژی به صورت

پرتوهای مادون قرمز به زمین می رسد و $\frac{1}{3}$ آن در ناحیه مرئی طیف قرار دارد. این شار

اصولاً پرتومانند یا بصورت تابش تک جهتی است که زاویه واگرایی آن تقریباً $\frac{1}{2}$

درجه است. کل شاری (میانگین فصول سال) که به یک سطح رو به خورشید می تابد

ثابت خورشیدی نامیده می شود و از لحاظ عددی تقریباً برابر است با:

$$S = 1352w/m^2 = \frac{1.94Ly}{\text{min}} = \frac{429Btu}{hr - ft^2}$$

که: $1 \text{ kWhr} = 10^4 \times 2/929 \text{ cal} = 252 \text{ cal}$ واحد بریتانیایی گرما (Btu)

و: $1 \text{ cal} / \text{cm}^2 = 1 \text{ لانگی (Ly)}$

برای انجام پیش بینی هایی درباره فراوانی و در دسترس بودن انرژی خورشید در زمین، لازم است حرکت ظاهری خورشید را در روی کره سماوی در نظر بگیریم. موضوع خورشید در طول روز، و نیز طول خود روز، هر دو تعیین کننده مقدار انرژی خورشیدی هستند که در اختیار جمع کننده های خورشیدی قرار می گیرد. در فصل ۲ تعدادی از اصول ستاره شناسی خورشید را که برای تشریح حرکت ظاهری خورشید ضروری هستند ارائه خواهیم کرد.

جهت خرید فایل word به سایت www.kandoo.cn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

فصل چهارم:

سیستم های حرارتی خورشید

در این فصل سیستم گرمایش خورشیدی را بطور کلی در نظر می گیریم.

بویژه به این مطلب خواهیم پرداخت که چگونه رشته ای از پانل های خورشیدی را در

کنار یکدیگر قرار داده و با وسایل دیگر مرتبط کنیم تا یک سیستم گرم کننده کامل،

مؤثر و مقرون به صرفه داشته باشیم.

سمت گیری رشته پانل ها:

پانل های تخت بر خلاف متمرکز کننده ها که معمولاً به سیستم ردیابی روزانه نیاز

دارند، قادرند با سمت گیری ثابت کار کنند. هر چند عمل ردیابی سبب بهبود کارایی

یک صفحه تخت خواهد شد. اما معمولاً بهره حاصل نسبت به هزینه های بیشتر که در

مراحل ساخت و نگهداری دستگاه ردیابی صرف می شود مطابقت می کند.

یک رشته ثابت از پانل ها تخت را باید در جهتی قرار داد که در مدت فصل کار آن

شار دریافت شده روزانه حداکثر مقدار را دارا باشد. از آنجایی که تعیین بهترین زاویه

کج شدگی نسبت به تابش پخشی خورشید (اگر غیر ممکن نباشد) مشکل است،

بهترین مقدار آن نسبت به مؤلفه مستقیم را به دست خواهیم آورد. با استفاده از رابطه

زیر شار مستقیم روزانه ای را بدست می آوریم که توسط رشته ای با مختصات کج

شدگی Δ و φ دریافت می شود:

$$F_{\text{مستقیم}}(\Delta, \varphi) = S \int_1^{2-\tau/csz} ec\theta dt \quad (1-1)$$

در این فرمول S برابر 1352 w/m^2 (ثابت خورشیدی) است و τ ضخامت نوری جو

زمین است.

Z زاویه سمت الرأس خورشیدی است، θ زاویه تمایل پرتوهای خورشید نسبت به مجموعه است.

t_1 و t_2 زمان های خورشیدی است که بین آنها $C\theta$ مثبت است. یعنی هنگامی که پرتوهای خورشید بر روی سطح جلویی رشته می تابند.

φ و Δ به ترتیب زاویه سمت و زاویه مایل بدوم رشته هستند.

در جدول ۱-۲ شارهای روزانه بدست آمده از معادله ۴-۱ را ثابت کرده ایم. این

مقادیر برای مجموعه ای در متمم عرض جغرافیایی $L = 49^\circ$ و ضخامت نوری جو

$\tau = 0.3$ است، برای مجموعه های رو به جنوب، شار روزانه در خلال هر یک از

فصول هنگامی که بیشترین مقدار خود را دارد که مایل بودن به قسمی انتخاب شده

باشد که هنگام ظهر خورشیدی مجموعه مذکور تقریباً عمود پرتوهای خورشیدی قرار

گیرد یعنی هنگامی که:

$$\Delta \cong Z \text{ ظهر} = |D' - L|$$

هنگام انقلاب زمستانی یک رشته عمودی رو به جنوب مؤثرتر از رشته افقی است.

هنگام انقلاب تابستانی عکس این مطالب صادق است. همان طور که از جدول ۱-۲

ملاحظه می شود یک رشته رو به شرق (یا غرب) هر قدر آن را افقی تر قرار دهیم شار

دریافت شده بیشتر افزایش می یابد. اگر بخواهیم از یک رشته خورشیدی در متمرکز
عرض جغرافیایی $L' = 49^\circ$ برای گرمایش هوا در خلال انقلاب زمستانی استفاده کنیم.
زاویه مایل بودن مطلوب برای آن $64/5^\circ$ در جهت جنوب است. این زاویه مایل بودن
در نقاط اعتدال نیز گرمایش کافی پدید می آورد. اما اگر از این مجموعه برای تهیه آب
گرم در تابستان استفاده شود، زاویه مایل بودن تقریباً $17/5^\circ$ مؤثرتر است. نتایج ارائه
شده در جدول ۱-۲ بر اساس مدلی بدست آمده اند که زیاد از حد ساده شده و صرفاً
برای مقایسه به کار می روند. به یک دلیل، تابش پخش باز تابیده از دشت اطراف به
طرف رشته را در آنها درج نکرده ایم. بعلاوه، شار پیش بینی شده توسط معادله ۱-۲
بازگو کننده این مطلب است که الگوی آفتاب گیری در حوالی ظهر خورشیدی متقارن
است. مقادیر آفتاب گیری هنگام صبح و بعد از ظهر معمولاً متفاوت است. در نتیجه
پانل های رو به شرق و رو به غرب غالباً مقادیر یکسانی از نور خورشید دریافت
نمی کنند. بررسی دقیقتر آن به اطلاعات تجربی نیاز دارد که در آن آفتاب گیری روزانه
در سطح خمیده و شیب دار در نظر گرفته باشد.

اندازه رشته پانل ها:

اندازه یک رشته توسط عواملی از قبیل شرایط محیطی، نیاز به گرمایش، بازده رشته و
میزان آفتاب گیری تعیین می شود. فرض کنید برای مثال، مقدار نیاز گرمایی روزانه
یک خانه در فصل سرد 100 kw-hr/day (یا تقریباً $3/4 \times 10^6 \text{ Btu/day}$) و میزان

آفتاب گیری در هر روز بر روی مجموعه $\text{kw} - \text{hr}/\text{m}^2 - \text{day}$ باشد همچنین

فرض کنید مساحت هر پانل $1/5$ متر مربع، بازه آنها 50 درصد است و یک سوم

گرمایش با گرمکن های کمکی به دست می آید. بنابراین، مقدار گرمایش خورشیدی

مورد نیاز 66.7 kw-hr/day است. چون بازده رشته 50 درصد است، مساحت مورد

نیاز آن برابر است با:

$$A = \frac{P(\text{روزانه})}{F(\text{روزانه}) \times \eta} = \frac{66.7}{4 \times 0.5} = 33.3 \text{ متر مربع}$$

و چون مساحت هر پانل $1/5$ متر مربع است. تعداد پانل های مورد نیاز 22 عدد است.

رشته های سری و موازی:

همان طور که در شکل ۴-۱ نشان داده شده است، هر رشته خورشیدی شامل

پانل های حرارتی است که به صورت سری، موازی یا ترکیبی از آن دو مرتب شده اند.

دمای تولیدی یک رشته بزرگ نسبت به دمایی که یک جمع کننده منفرد قادر است

تولید کند، بیشتر نیست با وجود این، رشته ای با تعداد n پانل، برای جمع آوری n

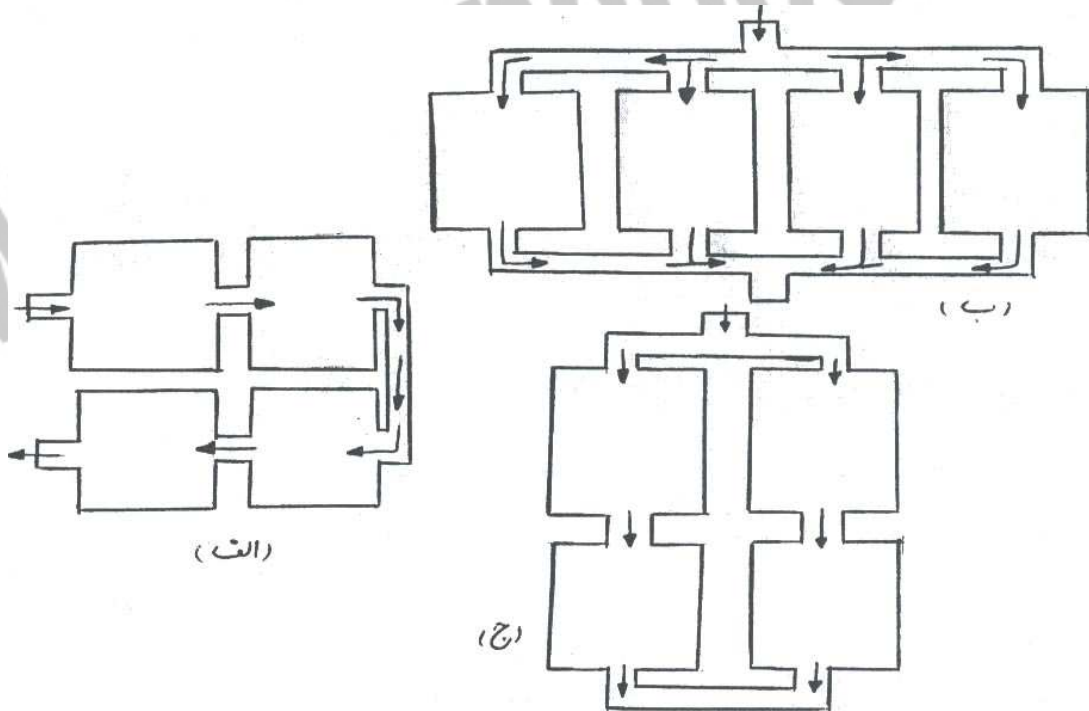
برابر مقدار حرارتی که می توان از یک پانل منفرد کسب کرد دارای قدرت بالقوه است.

برای جمع آوری این حرارت، باید میزان شار سیال اعمال شده به مجموعه n برابر

شود. در یک رشته سری، خروجی یک پانل مستقیماً به ورودی پانل بعدی متصل شده

است (شکل ۴-۱ الف)

در نتیجه شار افزایش یافته باید از همه پانل های یک رشته عبور کند. با افزایش سرعت سیال، مقاومت آن در مقابل شار افزایش می یابد. علاوه بر این، هر چه طول کلی لوله که سیال از میان می گذرد بلندتر باشد، بیشتر می شود. بنابراین یک رشته سری و بلند مقاومت زیادی در مقابل جریان سیال انتقال دهنده از خود نشان می دهد. برای جاری نگهداری سیال، پمپ ها باید فشار زیادی تولید کنند تا فشار در محل ورودی خیلی بیشتر از فشار در محل خروجی سیال باشد. این مسئله در پمپ و پانل های یک رشته ایجاد کرنش می کند. بعلاوه همه پانل های یک رشته سری با بازده یکسانی کار نمی کنند. پانل هایی که به محل ورودی نزدیکترند در دمای کمتری کار می کنند و بنابراین کارایی بیشتری دارند، عکس این حالت در پانل هایی که به محل خروجی سیال نزدیکترند صادق است.



شکل ۱-۴- رشته های متنوعی از چهار پانل. الف) رشته سری، ب) رشته موازی. ج) رشته ترکیبی

در یک رشته موازی (شکل ۱-۴-ب) ورودی های هر پانل به یک خط تغذیه مشترک متصل است، خروجی ها نیز به طور مشابه یک لوله تخلیه مشترک متصلند. گرچه ساخت یک رشته موازی مشکل تر از یک رشته سری است ولی مقاومت آن در مقابل شار سیال کمتر است. علاوه بر این، اگر دبی ورودی کل به مجموعه بطور مساوی بین تک تک پانل ها تقسیم شود، خصوصیات کارکرد رشته را می توان به سهولت از روی خصوصیات یک پانل منفرد به دست آورد. افزایش بازده و دمای یک رشته n پانلی موازی مشابه بازده و دمای یک پانل منفرد است ولی دبی و حرارت مفید جمع آوری شده n برابر خواهد بود. در عمل، برای سهولت نصب شد، کارآیی کل سیستم را می توان به روشی مشابه با آنچه برای یک پانل منفرد به کار رفت تجزیه و تحلیل کرد. می توان منحنی های بازده یعنی منحنی های η بر حسب $\frac{(T_{fi} - T_a)}{F}$ را برای یک رشته ترسیم کرد. بعلاوه پس از آنکه دبی معلوم شد می توان دمای خروجی را تعیین کرد. اگر از یک کنترل کننده استفاده شود می توان دبی را طوری تنظیم کرد که دمای کار رشته، مساوی مقدار مورد نظر باشد.

تلفات لوله:

لوله های خروجی که سیالات انتقال دهنده گرم و از یک طرف به طرف دیگر رشته منتقل می کنند بخشی از انرژی حرارتی خود را تلف می کنند و آن را به محیط سردتر اطراف پس می دهند. چون هوای محیط همانند منبع ذخیره حرارت در دمای T_a عمل

می کند، فرآیند انتقال حرارت را می توان با به کار بردن مبدل حرارتی تک جریان به طور تقریبی بدست آورد. اگر معادله مبدل حرارتی را برای یک لوله خروجی که سیال را در دمای زیادی (مانند T_N) از یک رشته به یک مخزن ذخیره عمل می کند به کار بریم، در می یابیم که دمای سیال رسیده به مخزن برابر است با:

$$(T_{\text{حرارتی}} = T_a + T_H - T_a) \exp(-\bar{u}_L L / mC_f) \quad (2-4)$$

که \bar{u}_L ضریب کلی در واحد طول لوله به ازای انتقال حرارت از سیال به هوای محیط بوده و L طول لوله است، تلف حرارتی لوله برابر است با:

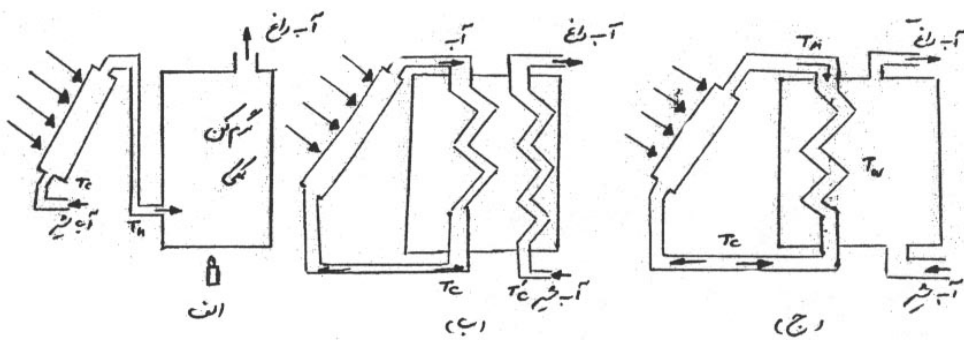
$$Q_{\text{لوله}} = mc_f (T_H - T_a) [1 - \exp(-\bar{u}_L L / mc_f)] \quad (3-4)$$

حاصلضرب $H' = L\bar{u}_L$ برای لوله های کوتاه و کاملاً عایق شده کم خواهد بود. در این وضعیت در می یابیم که $T_{\text{ذخیره}} = T_H$ و $0 \cong$ تلف لوله Q است. تاثیر تلف لوله بر روی مجموعه های کوچک و بزرگ حائز اهمیت است.

مبدل های حرارتی:

استفاده اساسی از گرمایش خورشیدی تهیه آب داغ است. آب شیری را با یک رشته از پلیهای خورشید داغ می شود می توان به طور مستقیم مصرف کرد یا در صورتی که به دماهای بالا اری نیاز باشد، می توان آن را با یک گرم کن کمکی بیشتر گرم کرد (شکل ۴-۲-الف) با وجود این، در بسیاری از کاربردها لازم است حرارت را از یک سیال انتقال دهنده که توسط خورشید گرم می شود به یک منبع آب سرد منتقل کرد.

برای مثال، سیال انتقال دهنده می تواند آب باشد که برای جلوگیری از یخ زدن و خورده شدن مجموعه به آن پد یخ اضافه شده باشد. سیال انتقال دهنده در یک مدار (سیکل) بسته جریان دارد و حرارت از طریق یک مبدل حرارتی با جریان مخالف، به لوله متصل به شیر منتقل می شود (شکل ۲-۴-ب) همچنین می توان حرارت را از طریق یک مبدل تک جریانی به مخزن ذخیره آب منتقل کرد. (شکل ۲-۴-ج)



شکل ۲-۴- سیستم های مختلف برای تولید آب داغ توسط نور خورشید

(الف) یک سیستم مدار باز که در آن آب شیر نخست تا اندازه ای توسط انرژی خورشیدی گرم شده و سپس توسط یک گرم کن کمکی داغ می شود.

(ب) یک سیستم مدار بسته که در آن حرارت از یک سیال انتقال دهنده که توسط نور خورشید داغ شده است به آبی با جریان های مخالف منتقل می شود.

(ج) یک سیستم مدار بسته که در آن حرارت توسط مبدل تک جریانی به مخزن ذخیره آب منتقل می شود.

همان طور که می دانیم آهنگ انتقال حرارت از سیالی گرمتر به سیالی سردتر در یک

مبدل حرارتی با جریان مخالف عباتست از:

$$Q = \bar{u}_L LA \quad (4-4)$$

که در آن \bar{u}_L ضریب انتقال حرارت و L طول مبدل است. لگاریتم اختلاف درجه

حرارت متوسط بین سیگنال های داغ و سرد برابر است با:

$$A = \frac{(T_H - T'_H) - (T_C - T'_C)}{\ln[(T_H - T'_H)/(T_C - T'_C)]} \quad (4-5)$$

که T_H و T_C دماهای داغ (ورودی) و سرد (خروجی) سیال اولیه (که با نور خورشید

گرم شده) و T'_H و T'_C دماهای گرم (خروجی) و سرد (ورودی) سیال ثانویه (مثلاً

آب) هستند. آهنگ انتقال حرارت با رابطه: $\dot{Q} = \dot{m}_f C_f (T_H - T_C)$ یا بطور معادل با رابطه

روبرو بیان می شود:

$$\dot{Q} = \dot{m}'_f C'_f (T'_H - T'_C)$$

همچنین می توانن حرارت خورشیدی به دست آمده از رشته را با استفاده از یک مبدل

حرارتی تک جریانی در مخزن بزرگی ذخیره کرد. سیال انتقال دهنده از یک مبدل

حرارتی می گذرد که خود در یک محیط ذخیره کننده با دمای T_B غوطه ور است. اگر

دمای سیال ورودی T_H و دبی آن \dot{m}_f باشد با دمای:

$$T_C = T_B + (T_H - T_B) \exp(-\bar{u}_L L / \dot{m}_f C_f) \quad (4-7)$$

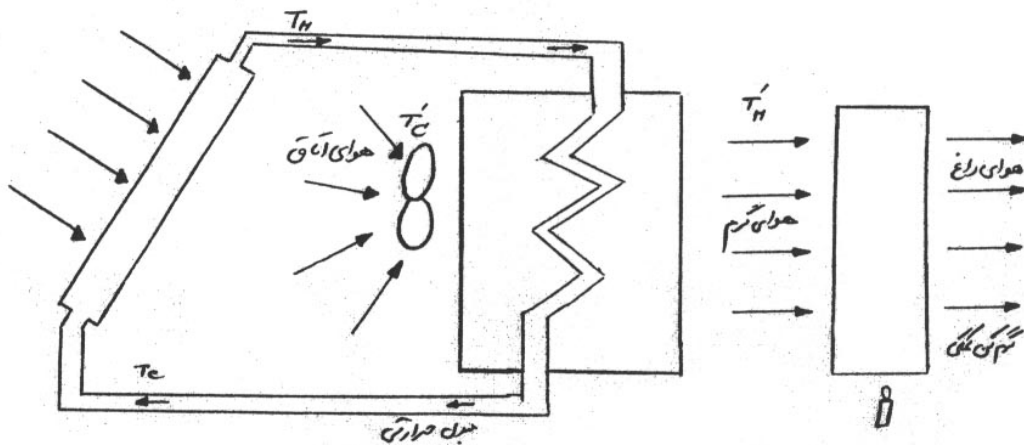
خارج می شود و با آهنگ:

$$Q_{\text{ذخیره}} = \dot{m}_f C_f (T_H - T_B) [1 - \exp(-\bar{u}_L L / \dot{m}_f C_f)] \quad (8-4)$$

در محیط ذخیره می شود.

مبدل ها می توانند بین دو مایع یا بین یک مایع و هوا حرارت مبادله کنند. برای مثال در سیستم هائی که فضا را از طریق دمیدن هوا گرم می کنند حرارت را می توان از دو طریق به جریان هوای دمیده منتقل کرد، نخست از طریق مایع درون مخزن ذخیره حرارتی و دوم از طریق جریان مخالف یک مایع انتقال که توسط نور خورشید داغ شده است. هر چه مبدل مؤثرتر باشد، مقدار حرارت منتقل شده بیشتر خواهد شد. بعلاوه، هوا تا دمای بیشتری گرم و سیال انتقال دهنده به نحو مؤثرتری سرد می شود.

(شکل ۲-۳)



شکل ۳-۴- یک سیستم هوای دمیده که به کمک گرمایش خورشید کار می کند. حرارت در یکمدار بسته از مایع به جریان هوا منتقل می شود. یک گرمکن کمکی دمای هوا را به مقدار مطلوب می رساند.

ذخیره سازی:

در یک سیستم گرمایش خورشیدی، معمولاً تدابیری برای ذخیره سازی حرارت اتخاذ می شود. انرژی اخذ شده در خلال زمان هایی که تابش نور خورشید شدید است را می توان ذخیره کرد و در زمان هایی که خورشید پنهان است به کار برد. هنگامی که حرارت در یک واسطه ذخیره شد، انرژی واسطه افزایش می یابد این افزایش می تواند به شکل پتانسیل نیز باشد ولی در این حالت ساختار مولکولی تغییر می کند، مثل یک تغییر شیمیایی، یک تغییر فاز (مثل ذوب یا تبخیر شدن).

هنگامی که حرارت افزوده شده فقط موجب افزایش دما در محیط می شود. می گوئیم که انرژی حرارتی به صورت حرارت ملموس ذخیره می شود. تا زمانی که هیچ تغییر فازی وجود نداشته باشد، افزایش دما با حرارت ذخیره شده تقریباً متناسب و با جرم نسبت عکس دارد و تغییر دما را می توان بصورت زیر نوشت:

$$\Delta T = Q_s / m_s C_s \quad (9-4) \quad (\text{ذخیره حرارت ملموس})$$

که Q_s حرارت ذخیره شده، C_s و m_s به ترتیب گرمای ویژه و جرم واسطه ذخیره کننده هستند. هنگامی که حرارت ملموس از محیط اخذ شود، دما بر طبق معادله ۹-۲-۹ تنزل می یابد. یک پارامتر مهم در سیستم ذخیره سازی حرارتی حرارت ذخیره شده در واحد حجم است. برای ذخیره سازی حرارت ملموس می توان معادله ۹-۴ را به شکل زیر نوشت:

$$\frac{Q_s}{V_s} = \frac{m_s}{V_s} C_s \Delta T = P_s C_s \Delta T \quad (10-4)$$

در بعضی کاربردها مطلوب است که تغییر دمای محیط ذخیره کننده را حداقل نگه داریم بر طبق معادله ۲-۹ می توان این تغییر را افزایش جرم محیط ذخیره کننده کاهش داد. لیکن راه مؤثرتری برای ثابت کردن دما استفاده از گرمای نهان به جای ذخیره کردن حرارت ملموس است. هنگامی که به یک جامد حرارت دهیم، دمای آن شروع به افزایش می کند تا به دمای ذوب T_m برسد. وقتی به آن حرارت بیشتری بدهیم، دمای آن در T_m ثابت باقی می ماند ولی دستخوش تغییر فاز شده و به مایع تبدیل می شود و تا وقتی عمل ذوب کامل نشده باشد، دما افزایش نمی یابد. حرارتی که در واحد جرم توسط محیط جذب شده و در خلال تغییر فاز ذخیره می شود، گرمای نهان l نامیده می شود. گرمای نهان شده در واحد حجم عبارتست از:

$$\frac{Q_s}{V_s} P_s l \quad (\text{گرمای نهان})$$

P_s چگالی متوسط محیط است. برای مثال، گرمای نهان یخ $l = 335 \times 10^3 \text{ J/kg}$ که برابر 0.093 kw-hr/kg است. اگر چگالی محیط آب-یخ را تقریباً معادل چگالی

آب، یعنی $P_s = 1000 \text{ kg/m}^3$ فرض کنیم از معادله ۱۱-۴ نتیجه می گیریم که:

$$\frac{Q_s}{V_s} = (1000)(0.093) = 93 \text{ kw-hr/m}^3$$

از مقایسه این مقدار با آب در معادله ۱۰-۵ در می یابیم که اگر بگذاریم دمای آب 80°C تغییر کند با همان حرارت ملموس می توانیم به چگالی ذخیره سازی مشابهی

دست یابیم، ذخیره سازی گرمای نهان با هیچ گونه تغییری در دمای ذخیره همراه نیست. مشکل ذخیره سازی گرمای نهان در آب یخ این است که دمای ذوب کمتر از آن است که بتواند مفید باشد. به این ترتیب هدف، یافتن جامدی است که دمای ذوب آن پائین تر از مقداری باشد که مجموعه خورشیدی می تواند تولید کند و در عین حال دمای آن بیشتر از سطح مورد نیاز برای مقصود گرمایش باشد.

نقطه ذوب بسیاری از موادی که در دمای اتاق جامدند بحدی زیاد است که در کاربردهای متداول ذخیره سازی خورشیدی مفید نیستند، البته دمای تغییر فاز بعضی نمک های هیدراته کم است و برای ذخیره سازی انرژی خورشید مناسب هستند (جدل ۲-۴ را ملاحظه نمائید). در واقع، مخلوط های معینی از نمک ها در دماهای کمتری نسبت به اجزای تشکیل دهنده شان ذوب می شوند. این قبیل مخلوط ها را مخلوط های اتکتیک می نامند. دمای ذوب چنین مخلوط هایی را می توان با انتخاب صحیح نسبت های مخلوط تا حدودی تقلیل داد.

جدول ۲-۴- موادی برای ذخیره سازی گرمای نهان و خواص آنها

ماده	دمای ذوب ($^{\circ}C$)	گرمای نهان (J/kg)
H_3PO_2	26	1.5×10^5
$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	30	1.7×10^5
$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	32	2.4×10^5
$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$	34	2.7×10^5
$Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$	36	2.6×10^5
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	41	2.1×10^5
$Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$	50	1.8×10^5
Hitec ($NaNO_3 + NaNO_2 + kNO_3$)	143	0.807×10^5

ذخیره کردن انرژی حرارتی بصورت گرمای نهان مزایای مشخصی نسبت به ذخیره سازی آنها در حرارت ملموس دارد. این ذخیره سازی در گستره باریکتری از دما صورت می گیرد و انرژی در واحد حجم آن به اندازه قابل ملاحظه ای زیادتر است. البته، چند مسئله فنی وجود دارد. فساد شیمیایی واسطه ذخیره کننده و سطحی که این ماده با آن در تماس است می توانند مشکل ایجاد کنند. علاوه بر این، انتقال حرارت به فاز جامد همیشه بازده خوبی ندارد مخصوصاً اگر واسطه یک هادی حرارتی ضعیف باشد. ذوب شدن واسطه ذخیره کننده نیز باید بتواند در دمایی قابل تطبیق با کارکرد ویژه گرمایش خورشیدی صورت گیرد. در هر سیستم ذخیره کننده، سیال انتقال دهنده اولیه باید با دمای بیشتری از دمای مخزن به آن وارد شود. در غیر این صورت، سیال

به جای ذخیره کردن حرارت، انرژی از آن خارج خواهد ساخت. برای تنظیم جریان سیال انتقال دهنده می توان از یک کنترل کننده استفاده کرد. هنگامی که دمای سیال به دمای پائین تر از محیط ذخیره کننده تنزل یابد جریان را می توان منحرف کرد و یا کاملاً متوقف ساخت.

سیستم هایی که از نور خورشید کمک می گیرند:

همان طور که بحث شد با افزایش دمای کار یک پانل حرارتی خورشیدی بازده آن کاهش می یابد چون تلفات در اثر زیاد شدن اختلاف درجه حرارت صفحه جذب

کننده و محیط زیاد می شود. اگر دمای متوسط کارپانل را $\bar{T} \cong \frac{T_{f,e} + T_{f,i}}{2}$ فرض کنیم

لازم است $\bar{T} - T_a$ تا حد امکان کوچک باشد تا بازده حداکثر شود. برای اینکه \bar{T} کم

باشد لازم است دمای سیال به هنگام ورود و خروج تا حد امکان پائین باشد. لحظه ای

را در نظر بگیرید که دمای ورودی $T_{f,i}$ ثابت باشد (مثلاً در یک سیستم تهیه آب گرم

$T_{f,i}$ توسط دمای منبع آب سرد تثبیت می شود، در حالیکه در یک سیستم گرمایش فضا

(هوا) مقدار $T_{f,i}$ توسط دمای هوای درون اتاق ثابت می شود.) از اینرو، به منظور

کاهش \bar{T} و افزایش بازده، نیاز داریم دمای خروجی $T_{f,i}$ را از طریق زیاد کردن دبی

سیال انتقال دهنده کاهش دهیم. اگر ببینیم که این دما کمتر از آن است که بتواند مفید

باشد، می توان آن را بوسیله گرمکن کمکی افزایش داد و به سطحی قابل قبول رساند.

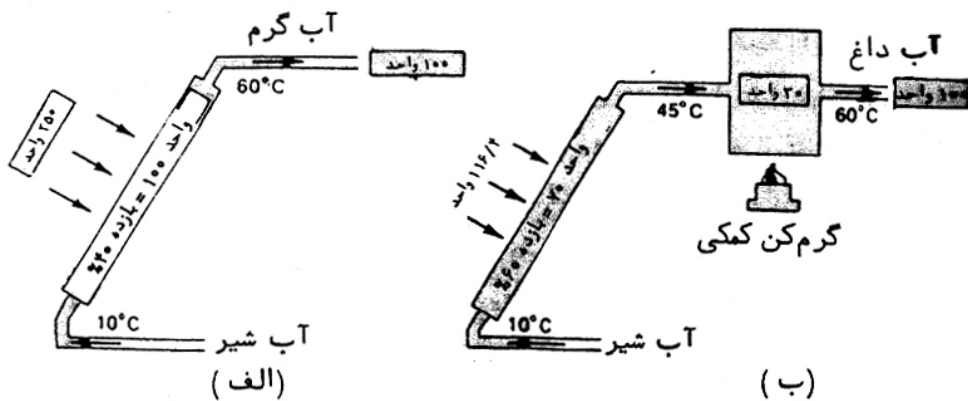
بازده افزایش یافته کار مجموعه به این معناست که به پانل های کمتری نیاز است. در

واقع، در شرایط سخت محیطی دمای غیر فعال خود ممکن است پایین تر سطحی باشد که برای تولید حرارت مفید لازم است. در این موقعیت، مجموعه اصلا بدون یک سیستم کمکی قادر به کار نخواهد بود.

مثال: یک مجموعه جمع کننده هنگامی که دمای آب سرد شیر را از ۱۰ درجه سانتیگراد (۵۰°F) به ۴۵ درجه سانتیگراد (۱۱۰°F) می رساند دارای ۶۰ درصد بازده است. وقتی که دمای همان آب را به ۶۰ درجه سانتی گراد (۱۴۰°F) برساند بازده رشته به ۴۰ درصد تنزل می یابد. سیستم به منظور تهیه آب داغ با دمای ۶۰°C طراحی شده است. اندازه رشته را برای سیستمی بدون گرمکن کمکی با سیستمی مقایسه کنید که در آن برای بالا بردن دمای آب از ۴۵ درجه به ۶۰ درجه سانتی گراد از یک گرمکن کمکی استفاده شده است. فرض کنید هر دو سیستم آب را به میزان یکسانی داغ می کنند (شکل ۴۴).

فرض کنید لازم است ۱۰۰ واحد نیروی گرمایش توسط هر سیستم تهیه شود. در بازده ۴۰ درصد سیستم بدون گرمکن کمکی باید ۲۵۰ واحد نیروی تابشی دریافت کند. سیستم دارای گرمکن کمکی، دما را به ۳۵ درجه سانتیگراد می رساند و گرمکن کمکی آن ۱۵ درجه سانتیگراد گرمتر می کند. چون مجموعه همراه با گرم کن کمکی بازده ۶۰٪ دارد. نیروی تابشی دریافتی باید ۱۱۶/۴ واحد باشد. در نتیجه، رشته بدون گرمکن کمکی به بیش از دو برابر تعداد پانل های یک رشته با گرمکن کمکی آن ۱۵ درجه

سانتیگراد گرمتر می کند. چون مجموعه، همراه با گرمکن کمکی بازده ۶۰٪ دارد.
نیروی تابشی دریافتی باید $116/4$ واحد باشد. در نتیجه، رشته بدون گرمکن کمکی به
بیش از دو برابر تعداد پانل های یک رشته با گرمکن کمکی احتیاج دارد. در سیستم با
گرمکن کمکی تامین می شود.



شکل ۴-۴- نشان می دهد چگونه گرمکن بازده مجموعه را افزایش داده و از اندازه رشته
می کاهد. الف) رشته، ۶۰ درجه سانتیگراد انرژی حرارتی تولید و با بازده درصد کار می کند.
ب) رشته، ۴۵ درجه سانتیگراد انرژی حرارتی تولید و با بازده ۶۰ درصد کار می کند.

پمپ حرارتی که از خورشید کمک می گیرد:

در کاربردهای گرمایش فضا (هوا) که بدون کمک خورشید کار می کنند، دمای کار
جمع کننده با این واقعیت محدود می شود که $T_{f,i}$ نمی تواند از دمای فضایی که قرار
است داغ شود کمتر باشد، برای کتال، اگر یک سیال انتقال دهنده مثل هوا که با تابش
خورشید گرم می شود، گرمای خود را به یک اتاق منتقل کند، دمای آن به هنگام
برگشت به جمع کننده نمی تواند از دمای اتاق سردتر باشد. در واقع، این دما ($T_{f,i}$)

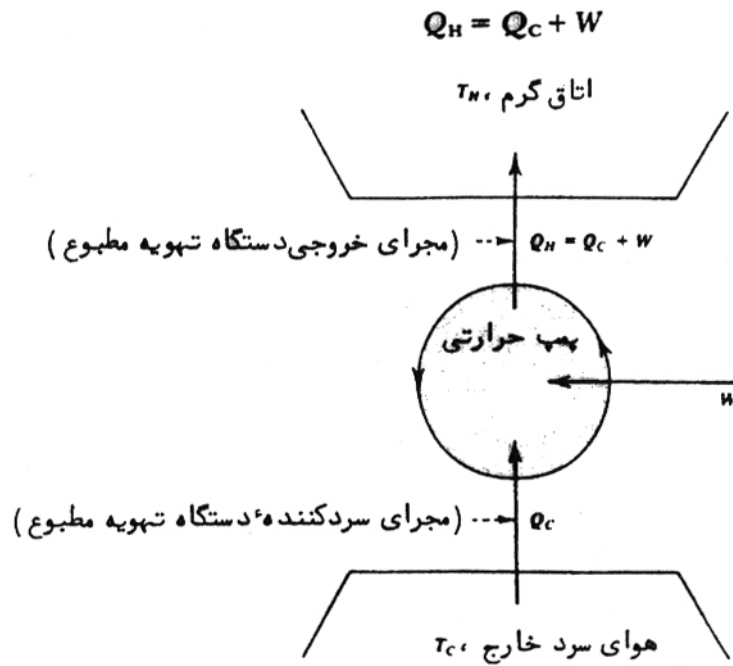
احتمالاً به میزان قابل ملاحظه ای بیشتر از دمای محیطی است که قرار است گرم شود. این امر بازده کار رشته را محدود می کند. با استفاده از دستگاهی بنام پمپ حرارتی می توان انرژی حرارتی را از سیال انتقال دهنده گرفته وسایل را در دمایی کمتر از دمای فضای مورد نظر بازگرداند. این کار بازده رشته را بحد قابل توجهی افزایش خواهد داد. اگر رشته به یک پمپ حرارتی مجهز شود واقعاً می تواند در دمایی کار کند که از دمای فضایی که قرار است گرم شود کمتر باشد. حرارت می تواند از یک ناحیه سردتر (یعنی از رشته) به ناحیه ای گرمتر (فضای گرم شده) منتقل شود. برای درک چگونگی جاری شدن حرارت از محیط سرد به محیط گرم، لازم است قانون دوم ترمودینامیک را در نظر آوریم. این قانون می گوید که:

غیر ممکن است بتوان دستگاهی ساخت که در چرخه کار خود هیچ اثری از انتقال حرارت از یک منبع ذخیره سرد به منبع داغ تولید نکند. حال آنچه را که در مورد پمپ حرارتی اهمیت دارد عنوان می کنیم. قانون دوم از جاری شدن حرارت از یک ناحیه سرد به ناحیه داغ ممانعت می کند مگر اینکه اثر دیگری مثلاً استفاده از کار صورت گیرد. از اینرو، می توان دستگاهی ساخت که وقتی کار به آن داده شود، حرارت را از یک ناحیه سردتر به ناحیه گرمتر منتقل می کند. نمونه آن دستگاه تهویه مطبوع است. در یک روز گرم تابستان دمای داخل یک اتاق ممکن است 20°C و هوای خارج 30°C باشد. اگر دستگاه تهویه مطبوع کار نکند، حرارت از خارج اتاق به درون آن

جریان می یابد و دمای اتاق بتدریج بالا می رود. هنگامی که دستگاه تهویه مطبوع روشن شده و به آن کار الکتریکی داده می شود، حرارت را از اتاق سردتر می گیرد و آن را به هوای گرمتر خارج پس می دهد و این کار باعث شرد نگه داشتن اتاق می شود.

حال روز سردی را در نظر بگیرید که هوای خارج 10°C و دمای هوای اتاق 20°C باشد. اگر هوای اتاق را گرم نکنیم تدریجا سرد می شود و سرانجام به 10°C خواهد رسید. فرض کنید یک دستگاه تهویه مطبوع را در کنار یک پنجره نصب کرده ایم ولی روی دستگاه به طرف بیرون اتاق است، در این وضعیت دستگاه حرارت را از محیط سردتر خارج می گیرد و آن را به داخل اتاق گرمتر منتقل می کند و لذا دمای اتاق در 20°C ثابت می ماند. دستگاهی که در این حالت حرارت تولید می کند پمپ حرارتی نام دارد (شکل ۴-۵) حرارت داده شده به اتاق توسط پمپ حرارتی مساوی است با حرارتیکه از هوای خارج گرفته می شود به اضافه کار معادل داده شده به دستگاه. از این رو می توانیم بنویسیم:

$$Q_H = Q_c + W \quad (4-12)$$



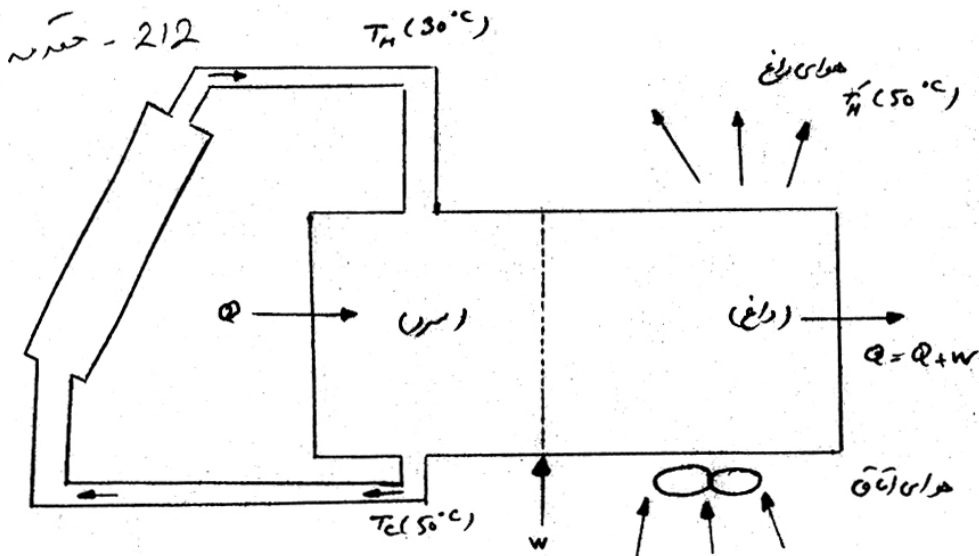
شکل ۵-۴- مدل ترمودینامیکی یک دستگاه تهویه مطبوع که بصورت پمپ حرارتی کار می کند. هنگامی که به دستگاه کار الکتریکی داده شود از محیط سرد خارج گرفته شده و به محیط گرمتر اتاق منتقل می شود.

که Q_H حرارت داده شده به منبع حرارتی داغ، Q_C حرارت گرفته شده از منبع حرارتی سرد و W کار داده شده به پمپ حرارتی است. ضریب کارایی (COP) پمپ حرارتی به شکل فوق تعیین می شود:

$$COP = \frac{Q_H}{W} = \frac{\text{حرارت داده شده}}{\text{کار داده شده}} \quad \text{(پمپ حرارتی)} \quad (۴-۱۳)$$

هر چه ضریب کارایی بیشتر باشد، پمپ حرارتی مؤثرتر خواهد بود. کمترین مقدار ممکن برای COP واحد است این مقدار با موقعیتی مطابق است با کار (مثلاً انرژی الکتریکی) مستقیماً به حرارت تبدیل گردد و هیچ حرارتی از منبع سرد اخذ نشود. نحوه قرار گرفتن یک پمپ حرارتی از نوع کمک گرفته از خورشید را در شکل (۲-۶)

نشان داده ایم. پمپ حرارتی، حرارت را از سیال با دمای کم می گیرد و آن را به محیطی با دمای زیاد پس می دهد. در واقع کار پمپ حرارتی این است که قبل از آن که سیال انتقال دهنده به پانل گرم کننده باز می گردد، حرارت از آن می گیرد و آن را سرد می کند. از این رو، پانل گرم کننده در دماهای کمتری کار می کند و تلف حرارتی آن به محیط کمتر می شود. پمپ حرارتی حرارت را افزایش داده و به سطحی می رساند که برای کاربردهای ویژه مفید است.



شکل ۶-۴- یک پمپ حرارتی که از خورشید کمک می گیرد. پمپ حرارتی، ناحیه سرد را با دریافت کار برای گرفتن حرارت از آن، سرد و یک ناحیه گرم را با تحویل حرارت فوق به آن، گرم نگه می دارد. حرارتی که توسط رشته تولید می شود توسط پمپ حرارتی افزایش یافته و سپس به اتاق داده می شود. توجه کنید که $T'_H > T_H$ و $T'_C > T_C$ است.

همان طور که نشان داده شد، کل حرارت داده شده معادل است با حرارت گرفته شده از سیال انتقال دهنده به اضافه معادل کار مورد نیاز پمپ حرارتی، هر چه مقدار کار

مورد نیاز پمپ حرارتی کمتر باشد، ضریب کارایی COP آن بیشتر خواهد بود. در

معادله کارنو داریم:

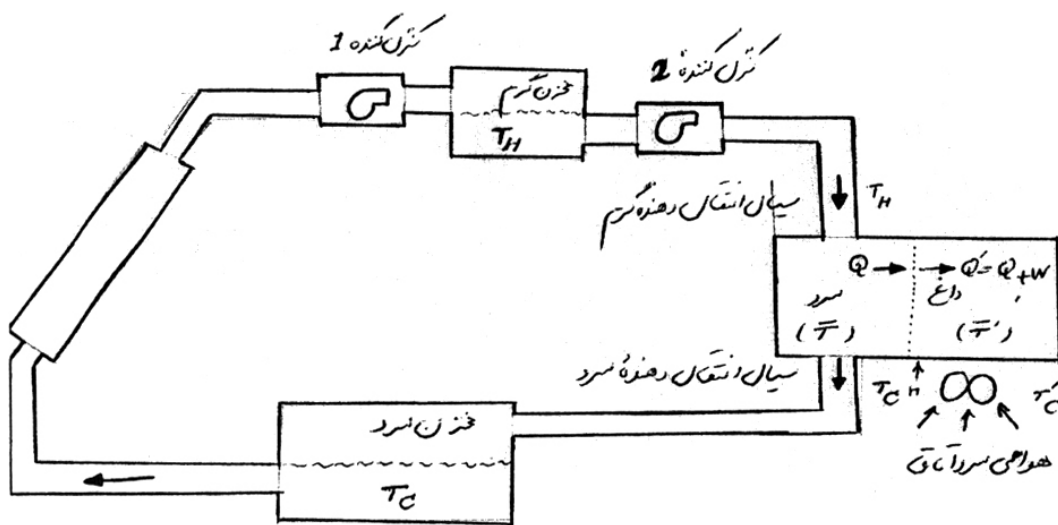
$$COP_{واقعی} \leq COP_{کارنو} = \frac{T_H}{T_H - T_C} \quad (14-4) \text{ (پمپ حرارتی)}$$

که T_H و T_C بر حسب درجه کلوین هستند. پمپ حرارتی در صورتی در حد کارنو کار می کند که از یک سیکل ترمودینامیکی بازگشت پذیر بنام سیکل کارنو استفاده کند. که از یک سیکل بازگشت پذیر بنام سیکل کارنو استفاده کند. بحث در این خصوص را در فصل بعد بررسی می کنیم و فقط کافی است بگوئیم که ضریب حرارتی یک پمپ حرارتی واقعی خیل کمتر از ضریب مربوط به یک پمپ حرارتی کارنو است. پمپ حرارتی کارنو یک نمونه ایده آل است و بدلائل عمل نمی توان آنرا ساخت. البته حد کارنو معیاری کمی برای کارایی پمپ حرارتی ارائه می کند از معادله ۱۴-۴ می بینیم که با زیاد شدن اختلاف درجه حرارت بین منبع ها، بازده پمپ حرارتی کمتر می شود. گر چه از یک پمپ حرارتی می توان برای اخذ انرژی حرارتی از هوای خارج در 10°C استفاده کرد و آن را به اتاقی با دمای 21°C وارد کرد، ولی با تنزل دمای هوای خارج و نزدیک شدن آن به نقطه انجماد. بازده آن کم می شود. وقتی که دما زیر نقطه انجماد باشد می توان از رشته خورشیدی استفاده کرده و دما را به حدی رساند که برای کار قابل قبول باشد.

جالب است که برای یک پمپ حرارتی که از خورشید کمک می گیرد، یک دمای کار بهینه وجود دارد. اگر رشته در دمایی پائین کار کند، بازده آن زیاد است ولی ضریب کارایی COP پمپ حرارتی افزایش می یابد ولی بازده رشته به صفر نزدیک می شود. در اینجا برای تثبیت یک درجه حرارت خروجی بهینه از رشته به کار بردن یک کنترل کننده دما مناسب است. سیستمی که از خورشید کمک می گیرد و از یک پمپ حرارتی استفاده می کند. در شکل ۷-۴ دیده می شود. مجموعه، حرارت را به سیال انتقال دهنده می رساند و آن را در یک مخزن مخصوص آب گرم ذخیره می کند. هنگامی که به حرارت نیاز باشد ولی آفتاب در حال تابیدن باشد دستگاه کنترل کننده ۱ به تدریج مخزن آب گرم را با سیال انتقال دهنده داغ در دمای از قبل تعیین شده، $T_{f,i}$ پر می کند. این فرآیند هنگامی متوقف می شود که مخزن نگهداری آب سرد خالی و مخزن مخصوص آب گرم پ شود. وقتی که حرارت مورد نیاز باشد، دستگاه کنترل کننده 2 سیال را از مخزن داغ می گیرد و آن را به مخزن آب سرد باز می گرداند. حرارت توسط پمپ حرارتی اخذ می شود و سیال انتقال دهنده قبل از بازگشت به مخزن محتوی سیال سرد، حرارت را از دست می دهد. کنترل کننده 2 شار را تنظیم می کند تا دمای مناسبی برای منبع سرد پمپ حرارتی برقرار شود.

از مقایسه شکل های ۶-۴ با شکل ۳-۴ در می یابیم که پمپ حرارتی به عنوان یک مبدل حرارتی برتر عمل می کند که حرارت را از سیال انتقال دهنده سیستم خورشیدی

به جریان هوایی می رسانند. پمپ حرارت امکان می دهد حرارت از سیال انتقال دهنده سردتر به جریان هوای گرمتری انتقال یابد. در نتیجه دمای هوای داده شده به اتاق در واقع بیشتر از دمای خروجی رشته خورشیدی است. این وضعیت انتقال حرارت، فقط در صورتی ممکن است رخ دهد که مقداری کار به آن داده شود. هر قدر اختلاف درجه حرارت بین منابع حرارتی بیشتر باشد، کار بیشتری لازم است.



شکل ۷-۴- یک سیستم پمپ حرارتی برای گرم کردن فضا (هوا) که از نور خورشید کمک می گیرد، این سیستم حرارت را در یک مخزن نگهداری ذخیره می کند و برای ثابت نگه داشتن دماهای رشته و پمپ حرارتی از کنترل کننده استفاده می کنند.

سرد کننده های تابشی:

این فصل را با بحث کوتاهی درباره کاربرد پانل های حرارتی خورشیدی برای سرمایش تابشی به پایان می بریم. همان طور که در قسمت قبل مطرح شد، یک دستگاه تهویه مطبوع برای اخذ حرارت از یک منبع سرد و تحویل آن به یک منبع داغ به کار

نیاز دارد. هر قدر دمای منبع داغ بیشتر افزایش یابد، بازده فرآیند سرمایش کمتر می شود و هر قدر مجراهای خروجی (یعنی منبع داغ) دستگاه تهویه مطبوع گرمتر شود. سرد کردن اتاق بیش از پیش دشوار می شود. اگر لوله های مارپیچ کندانسور (یعنی لوله هایی که حرارت را به محیط گرمتر می رساند) را در یک سیال سردتر غوطه ور کنیم، بازده فرآیند سرمایش بیشتر می شود. فرض کنید به هنگام شب که دمای محیط نسبتاً پائین است یک مایع انتقال دهنده در پانل های خورشیدی جریان دارد. در شب های صاف تلفات حرارتی پدید آمده توسط سرمایش تابشی می تواند دمای سیال را از هوای محیط کمتر می کنند سیال سردتر را می توان به هنگام شب ذخیره کرد و در صورت نیاز، از جلوی لوله های مارپیچ کندانسور دستگاه تهویه مطبوع عبور داد، در این صورت بازده فرآیند تهویه مطبوع هوا بیشتر خواهد شد.

متأسفانه، هر چه طرح یک پانل حرارتی خورشید بهتر است، کارایی آن به عنوان یک سرد کننده تابشی در شب ضعیفتر است زیرا پانل های خورشیدی خوب، به قسمی طراحی شده اند که تلفات حرارتی را به حداقل برسانند مثلاً یک پانل خورشیدی که روی صفحه جاذب آن با یک روکش انتخابی اندود شده باشد، حرارت را بطور مؤثرتر نمی تاباند. یک سرد کننده تابشی خوب به یک سطح کاملاً تابش کننده نیاز دارد.

بعلاوه لازم است هنگام شب روپوش را برداریم تا تلفات همرفتی افزایش یابد.

**جهت خرید فایل word به سایت www.kandooen.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید**

تا اینجا با تولید حرارت از انرژی خورشیدی سر و کار داشته ایم. قسمت اعظم انرژی که در یک جامعه صنعتی مصرف می شود، در کاربردهای غیر گرمایشی است، که در دسته ای به نام کار قرار می گیرند. مثلاً الکتریسیته صورتی از انرژی است که اجازه می دهد موتورهای الکتریکی کار انجام دهند. بطور مشابه انرژی شیمیایی ذخیره شده در سوخت های فسیلی در موتورهای احتراقی درون سوز و موتورهای بخار مورد استفاده قرار می گیرد تا کار انجام شود.

جهت خرید فایل word به سایت www.kandooen.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

فصل پنجم:

آفتاب گیری در سطح زمین

مقدار انرژی خورشید موجود در سطح زمین تا اندازه قابل ملاحظه ای کمتر از مقدار انرژی است که به بالای جو زمین می رسد. میزان کاهش انرژی خورشید به هنگام ورود به سطح زمین اساساً از روی حالت نوری جو زمین تعیین می شود. همانطور که بعداً خواهیم دید، اجزای ترکیبی جو توسط دو فرآیند بر تابش خورشیدی اثر می گذارند، فرایند جذب و پراکندگی، مقدار جذب و پراکندگی که در یک مولفه معین طیف خورشیدی رخ می دهد به ترکیب جو و نیز به طول موج آن مولفه بستگی دارد. در نواحی معینی از طیف، انرژی خورشید عمدتاً پراکنده می شود، در حالی که در سایر نواحی قسمت اعظم آن جذب می شود. بنابراین ترکیب طیفی آفتاب گیری در سطح زمین به نحو چشمگیری با ویژگی منحنی جسم سیاه ۵۷۶۰ کلوینی ثابت خورشیدی تفاوت دارد. این مسئله نیز حائز اهمیت است که آفتاب گیری در سطح زمین را پیش از این نمی توان با یک پرتو تک جهتی معادل دانست. این مطلب در مورد تابش رسیده به بالای جو صادق بود. مقداری از تابش های پراکنده توسط جو به شکل تابش پخشی به زمین می رسد. تابش پخشی مولفه هایی است که در جهات مختلف سیر می کنند از این رو، کل تابش خورشیدی در سطح زمین شامل یک مولفه مستقیم با تک جهتی است که پراکندگی جوی پدید می آید (شکل ۵-۱) از نظر کمی برای اینکه نحوه تغییر و تبدیل انرژی خورشیدی پس از عبور از جو را در یابیم، برخی از مبانی فیزیک جوی را ارائه می کنیم.

یک مدل جوی:

حالت جوی را می توان تا اندازه ای با متغیرهای ترمودینامیکی همچون دما T ، چگالی P ، فشار P و ترکیب شیمیایی تشخیص داد این پارامترها بر حسب موقعیت فضایی و زمانی در جو تغییر می کند. چون این تغییر نسبتاً غیر قابل پیش بینی است. بسیار مشکل است درباره آفتاب گیری در سطح زمین برآوردهایی نظری ارائه کنیم. برای این که چند نتیجه نظری بدست آوریم لازم است چند تعریف ساده کننده در مورد ساختار جوی به عمل آوریم. ابتدا فرض می کنیم جو در مقایسه با شعاع زمین به حدی نازک باشد که بتوان آن را مسطح دانست. همان طور که خواهیم دید، ارتفاع موثر جو تقریباً ۸ کیلومتر است که در آن مقایسه با شعاع زمین ($R = 6371 \text{ km}$) بسیار اندک است. بنابراین تقریب مناسبی است مگر احتمالاً در حوالی طلوع و غروب خورشید که آفتاب گیری در سطح زمین آنقدر کم است که قابل چشم پوشی است. از این رو انحنای جو در اکثر کاربردهای انرژی خورشیدی اهمیت اندکی دارد.

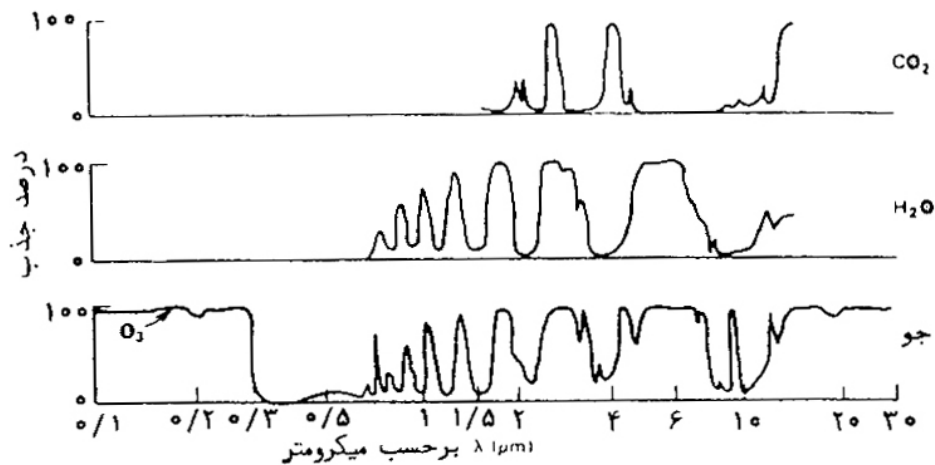
در دومین تقریبی که در اینجا به کار رفته چنین فرض می شود که پارامترهای جوی فقط با یک مشخصه، یعنی ارتفاع Z تغییر می کند. یعنی می توان تمام پارامترهای جوی را بر حسب پروفیل های عمودی مانند $P=P(Z)$ ، $T=T(Z)$ و $P=P(Z)$ نمایش داد. صحت این تقریب به اثبات نرسیده، خصوصاً هنگامی که ابرهای

پراکنده ای در آسمان وجود داشته باشد. جو کم ضخامتی را که ترکیب آن صرفاً با ارتفاع تغییر می کند. جو لایه لایه می نامند.

جذب و پراکندگی تابش خورشیدی توسط اجزای سازنده جو:

اجزای تشکیل دهنده جو، خواه مولکول هایی مانند: n_2 ، O_2 ، CO_2 و H_2O خواه ازن و ذرات بزرگتری چون قطرات ریز مه، دوده یا گرد و غبار می توانند توسط فرآیند جذب یا پراکندگی بر تابش اثر بگذارند. در فرایند جذب، انرژی تابیده به شکل دیگری از انرژی که معمولاً حرارت است تبدیل می شود. بخشی از کسر جذب شده تا حدی با سطح مقطع جذب جرمی $\sigma^a(\lambda)$ ، آن جزء تعیین می شود. این پارامتر از یک مولکول تا مولکول دیگر فرق می کند و به طول موج تابش رسیده نیز بستگی دارد همان طور که خواهیم دید، مولکول های n_2 ، O_2 به نحو قابل ملاحظه ای در طیف خورشیدی جذب نمی شوند، از سوی دیگر CO_2 و H_2O در گستره های منتخبی از ناحیه مادون قرمز طیف خورشیدی به مقدار زیاد جذب می شوند. این نواحی را نوارهای جذبی مشخص می نامند (شکل ۱-۵).

در مناطق ماورای بنفش طیف خورشیدی، نوارهای جذبی توسط ازن در لایه استراتوسفر به وجود می آیند.



شکل ۱-۵- درصد جذب تابش خورشیدی توسط یک جو صاف و اجزای جذب کننده CO_2 و H_2O آن

پراکندگی پیچیده تر از جذب است. همچون فرایند جذب، در این مورد نیز کسری از انرژی باریکه تابیده شده تلف می شود. این مقدار توسط سطح مقطع پخش شدن جرمی، $\sigma^a(\lambda)$ جزء تشکیل دهنده تعیین می شود. پراکندگی بر خلاف جذب، انرژی تابشی را به حرارت تبدیل نمی کند بلکه آن را مجدداً در جهات دیگر فضا منتشر می کند پراکندگی جوی انرژی خورشیدی در یک روز صاف اساساً توسط اکسیژن و هیدروژن به وجود می آید. نظریه بیان می کند که طبق قانون ریلای، پراکندگی انرژی خورشیدی توسط مولکول های هوا به آرامی نسب به طول موج تغییر می کند.

$$\sigma^a(\lambda) = \frac{C}{\lambda^4} \quad (\text{قانون ریلای}) \quad \text{هوا} \quad (1)$$

که C پارامتری است که بستگی اندکی به طول موج دارد. بنا به قانون ریلای طول موج های کوتاه مانند ماورای بنفش، بنفش و آبی بیشتر از طول موج های قرمز و مادون

قرمز پراکنده می شود. از این رو، هوای معمولی پراکندگی متناهی در ناحیه مرئی طیف به وجود می آید. به ویژه برای اجرای تشکیل دهنده آبی و بنفش که توجیه کننده رنگ متمایل به آبی آسمان است. بعضی ذرات باعث پراکندگی می شوند که جهات ترجیحی جلو و عقب دارد (مثلاً پراکندگی ریلای) در حالی که سایر ذرات تابش به صورت همسان تری پراکنده می کنند مواد ذره ای درون جو مانند گرد و غبار، دوده و مه تابش را به نحو باز هم پیچیده تری نسبت به آنچه که طبق قانون ریلای پیش بینی شده است پراکنده می کنند. رنگ سرخ آسمان هنگام غروب خورشید نتیجه پراکندگی تابش توسط ذرات گرد و غبار مجاور سطح زمین است. تابشی که تحت فرآیندهای جذب و پراکندگی قرار نگرفته باشد مولفه مستقیم یا تضعیف شده نامیده می شود این مولفه برای یک جو لایه لایه نسبتاً ساده محاسبه می شود و نشان خواهیم داد که توسط یک پارامتر جوی منفرد تابع طول موج به نام ضخامت نوری T_z تعیین می شود این پارامتر و نحوه اثر گذاشتن آن بر جهت تابش را بعداً به تفصیل شرح خواهیم داد.

تابش مستقیم خورشید:

فرض می کنیم که جو زمین اجرایی، با مخلوط شدگی یکنواخت دارد و نیز دارای پروفیل چگالی $P=P(Z)$ است. تا کنون یکی نقطه را در جو توسط ارتفاع با یک متغیذ بلندی (Z) مشخص کرده ایم که مقدار آن از صفر در سطح زمین تا بی نهایت در بالای جو تغییر می کند. چون تابش خورشیدی به قسمت بالای جو می رسد و از

آنجا به طرف سطح زمین پراکنده می شود، لذا بهتر است متغیری مثل S را ارائه کنیم که عمق نقطه ای درون جو را نسبت به بالای جو اندازه می گیرد. این متغیر از مقدار $S=0$ در قسمت بالای جو تا $S=\infty$ در سطح زمین تغییر می کند. افزایش ارتفاع و عمق طبق رابطه $dz=ds$ به هم مربوطند.

فرض کنید باریکه ای از اشعه موازی خورشید با شدت طیفی T_λ و با زاویه سمت الراس Z بر روی یک لایه بی نهایت نازک، جو با ضخامت ds (در عمق s) می تابد (شکل ۵-۲) تغییر کسری شدت نور را هنگامی که پرتو مذکور از قسمت پائین لایه ظاهر می شود، می توان طبق رابطه زیر بیان کرد:

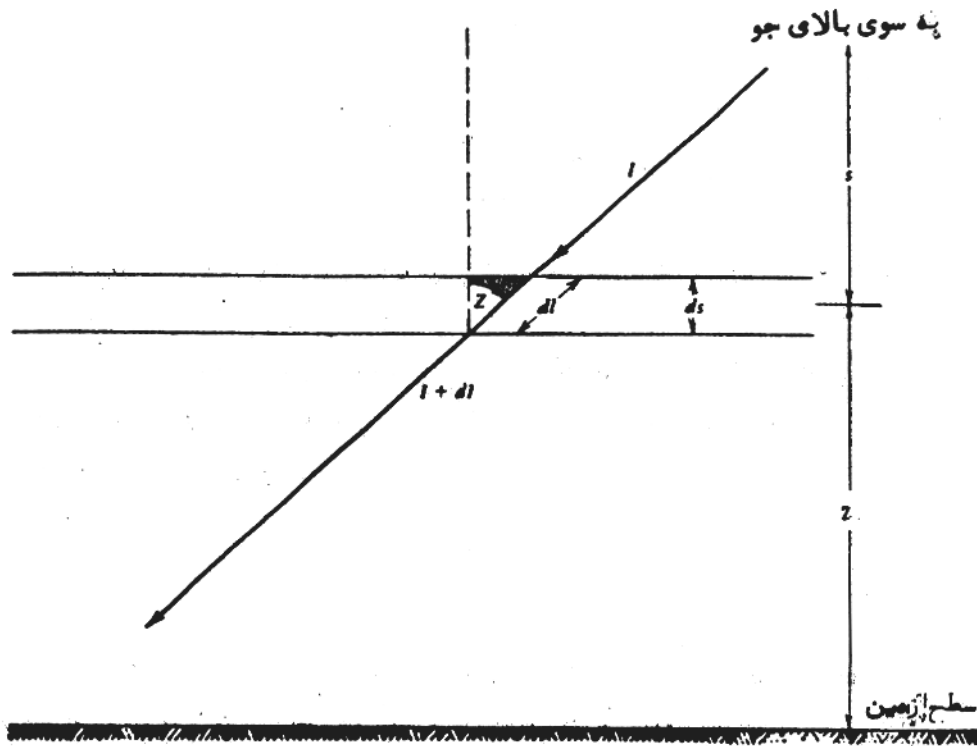
$$\frac{dI_\lambda}{I_\lambda} = -P(s)6(\lambda)d, I \quad (5-2)$$

که $P(s)$ و $\sigma(\lambda)$ به ترتیب چگالی و کل $[\sigma^o(\lambda)+\sigma^s(\lambda)]$ سطح مقطع تضعیف جرمی لایه است. ضخامت اریب پرتو $(d\lambda)$ از فرمول زیر به دست می آید:

$$dl = \frac{ds}{\mu_0}$$

که $\mu_0 = CZ$ است. بهتر است معادله ۳-۸ را ساده کنیم و بنویسیم:

$$\frac{di}{I_\lambda} = k_\lambda(s) \frac{ds}{\mu_0}$$



شکل ۲-۵- تضعیف یک پرتو خورشیدی مستقیم به شدت I توسط یک لایه دیفرانسیلی جو پرتو مذکور با زاویه تحت الراس Z می تابد.

که $k_{\lambda}(s) = P(s)6(\lambda)$ ضریب تضعیف یا خاموشی طیفی نامیده می شود. این ضریب بر

حسب ارتفاع لایه و طول موج تابش تغییر می کند. برای یافتن مقدار تضعیف پدید

آمده توسط تمام جو از معادله ۳-۵ به ازاء $s=0$ تا $s=\infty$ انتگرال می گوئیم. این عمل

با توجه به این حقیقت انجام می شود که در حالت $s=0$ (بالای جو) توزیع طیفی

معادل توزیع ثابت خورشیدی است. به این ترتیب، شدت طیفی مستقیم یا تضعیف

شده در سطح زمین برابر است با:

$$I_{\lambda} \text{ مستقیم} = s_{\lambda} e^{-t_{\lambda}/\mu_0}$$

که s_λ به شدت طیفی ثابت خورشید اشاره دارد و $t_\lambda = \int_\lambda^\infty k_\lambda(s) ds$ ضخامت نوری طیفی جو مربوط به باریکه تابش با طول موج λ نامیده می شود. این شدت مستقیم اساساً ضمن عبور از جو، تک جهتی یا پرتو گونه باقی می ماند. بطوری که شار طیفی توسط یک صفحه تخت واقع در سطح زمین ولی شیب دار با زاویه تمایل σ نسبت به پرتو دریافت می شود عبارت خواهد بود با:

$$F_\lambda^{\text{مستقیم}} = \mu I_\lambda^{\text{مستقیم}} = \mu s_\lambda e^{-t_\lambda / \mu_0} \quad (5-5)$$

که $\mu = C_0$ است. از معادله 5-5 چنین بر می آید که شار خورشیدی طیفی مستقیمی که بر یک سطح صاف واقع بر زمین می تابد با سه عامل تغییر تعیین می شود:

۱- مایل بودن صفحه نسبت به پرتوهای خورشید، $\mu = C_0$

۲- کسینوس زاویه سمت الراسی خورشیدی، $\mu = C_z$

۳- ضخامت نوری طیفی جو، t_λ ، برای تابش هایی با طول موج λ

مایل بودن طور کامل عام در تمام مواردی که پرتو بر یک سطح شیبدار تابیده می شود.

صادق است. مقداری شاری که توسط یک سطح دریافت می شود. با افزایش میل آن

نسبت به پرتو کاهش می یابد. $F_\lambda^{\text{مستقیم}}$ با افزایش زاویه سمت الراس خورشیدی

کاهش می یابد زیرا مسیری که پرتو در جوی می پیماید افزایش می یابد. وابستگی

نمایی به C_z بیان می کند که شار خورشیدی موجود با نزدیک شدن به زمان طلوع و

غروب خورشید به میزان قابل توجهی کاهش می یابد. گاهی اوقات مناسب است

معادله ۴- را به شکل زیر بنویسیم:

$$I_{\lambda}^{\text{مستقیم}} = s_{\lambda} t_{\lambda}^m$$

که $t_{\lambda} = e^{-t}$ شفافیت نوری طیفی جو در یک توده هوا نامیده می ود و $m=I/Cz$

تعداد توده های هوایی است که پرتو مذکور از آنها عبور کرده است. هنگامی که

خورشید درست در بالای سرمان قرار دارد ($z=0$) تابش، یک توده هوایی را طی

می کند. به همین ترتیب $Z = 60^{\circ}$ ، $Z = 70/5^{\circ}$ مدال دو و سه توده هوایی است.

چنانچه جو برای مثال دارای $t = 0/9$ در یک توده هوایی باشد (یعنی ۹۰ درصد انتقالی

باشد) به ترتیب در دو و سه توده هوایی دارای $t^2 = 0/81$ ، $t^3 = 0/73$ خواهد بود.

ضخامت نوری طیف برای یک حالت جوی کعین شامل قسمت ناشی از جذب، $t_{\lambda}^{(a)}$ و

یک قسمت ناشی از پراکندگی $t_{\lambda}^{(s)}$ است. در یک روز صاف، تضعیف در اثر جذب

عموماً ناشی از دی اکسید کربن و بخار آب درون توپروسفر و ازن استراتوسفر است.

دی اکسید کربن و بخار آب در نوارهای برگزیده درون مادون قرمز به شدت جذب

می شود. در حالیکه ازن به میزان قابل توجهی در نوارهای برگزیده درون ماورای

بنفش جذب می شود.

تضعیف ناشی از پراکندگی مولکولی در یک جو صاف عمدتاً از O_2 ، N_2 ناشی می

شود. بیشتر از جذب، به صورت پیوسته نسبت به طول موج تغییر می کند. با استفاده از

قانون ریلائی و معادله ۱-۵ می توانیم رابطه زیر را برای پراکندگی در جو نمایی بدست

آوریم:

$$t_{\lambda}^{(s)} = \left[\frac{32}{3} \Pi^3 \frac{(n-1)^{-} mH}{N_0 P_0} \right] \frac{1}{\lambda^4}$$

که n ضریب شکسته هوا و $n_0 = 1.00027 \text{ md/kg}$ عدد آووگادرو است. با

استفاده از مقادیر $m = 22 \text{ amu}$ ، $(n-1)^{-} \cong 2.8 \times 10^{-4}$ ، $H = 8000 \text{ m}$ و kg/m^3

$P_0 = 1/29$ چنین به دست می آوریم: $t_{\lambda}^{(s)} = \frac{0.0076}{\lambda^4}$ که بر حسب μm بیان می شود.

این فرمول برای نور بنفش ($0.41 \mu\text{m}$)، سبز ($0.5 \mu\text{m}$) و قرمز ($0.75 \mu\text{m}$) به ترتیب

مقادیر $T_{\lambda}^s = 0.27$ ، 0.12 ، 0.04 را ارائه می کند، تضعیف در اثر پراکندگی مولکولی به

نحو قابل ملاحظه ای با نزدیک شدن به ماورای بنفش طیف مرئی بیشتر می شود و

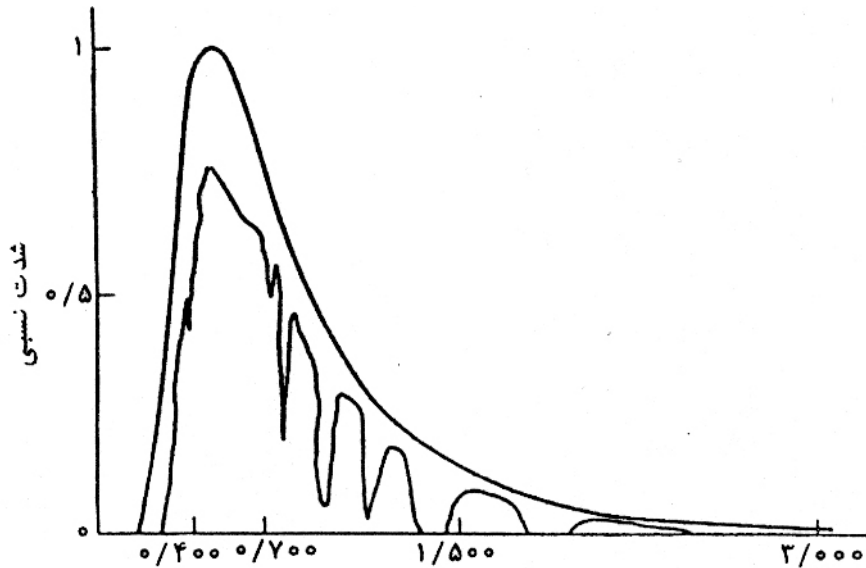
برای تابش مادون قرمز تقریباً اندک و قابل اغماض است. نموداری از شدت مستقیم

خورشیدی در سطح دریا برای یک توده هوایی در شکل ۳-۵ نشان داده شده است.

کل شار مستقیم رسیده به یک واقع به سطح دریا از انتگرال گیری کلیه طول موج ها به

دست می آید که عبارتست از:

$$F^{\text{مستقیم}} = \int_0^{\infty} \mu_{s\lambda} e^{-t_{\lambda}/\mu^0} d\lambda \quad (5-6)$$



شکل ۳-۵ توزیع طیفی پرتو مستقیم خورشیدی در یک توده هوایی (منحنی پایینی) توزیع طیفی ثابت خورشیدی (منحنی بالایی)

در بسیاری از کاربردهای انرژی خورشیدی شار کلی مورد توجه است نه شار طیفی در این گونه کاربردها، کافی است ضخامت نوری متوسطی را برای طیف خورشیدی

$(\bar{t}_\lambda = j)$ به کار بریم معادله ۶- را می توان نوشت:

$$F_{\text{مستقیم}} = \mu e^{-t_\lambda / \mu_0} \int_0^\infty s_\lambda d\lambda \quad \text{یا} \quad F_{\text{مستقیم}} = \mu e^{-t_\lambda / \mu_0} \quad (5-7)$$

که $S = 1352 \text{ w/m}^2$ ثابت خورشیدی است، ما از این رابطه ساده برای تقریب زدن

شار مستقیم خورشیدی بر روی سطوح واقع در سطح دریا استفاده خواهیم کرد.

هنگامی که $J < 0.3$ است جو نسبتاً صاف و هنگامی که حالت جوی ثابت باشد. تغییر

ساعتی شار مستقیم ناشی از بستگی $\mu_0 = CZ, \mu = Co$ به زاویه ساعتی است این

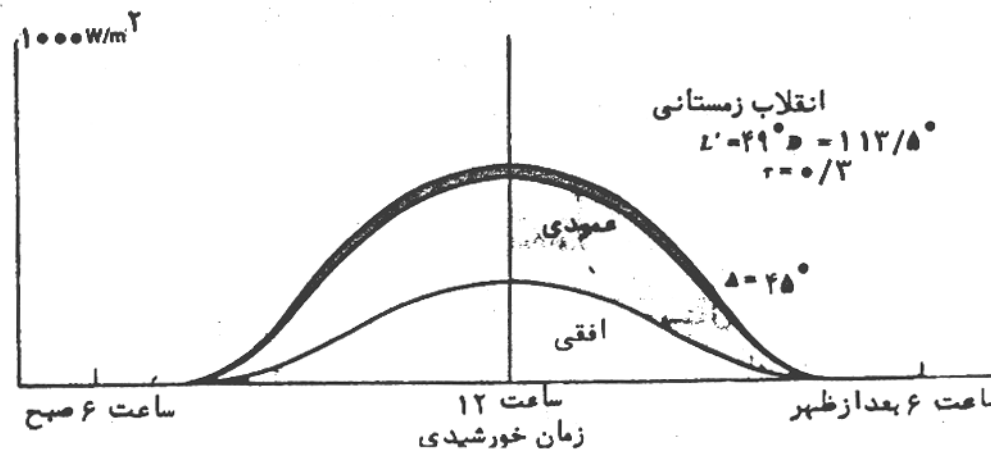
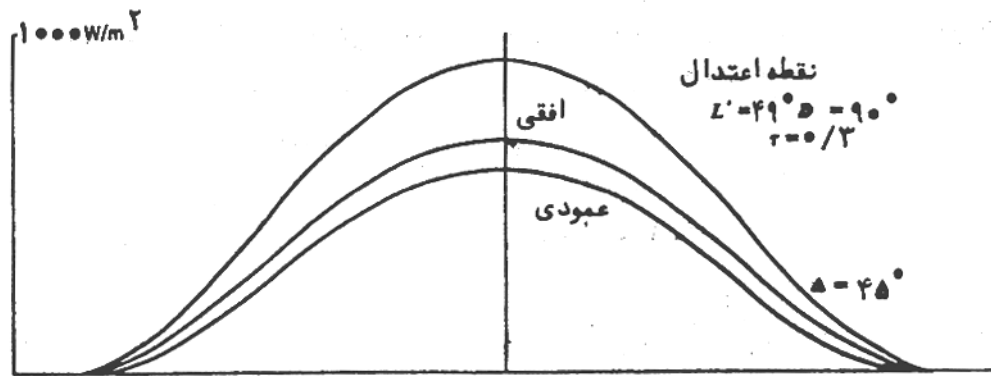
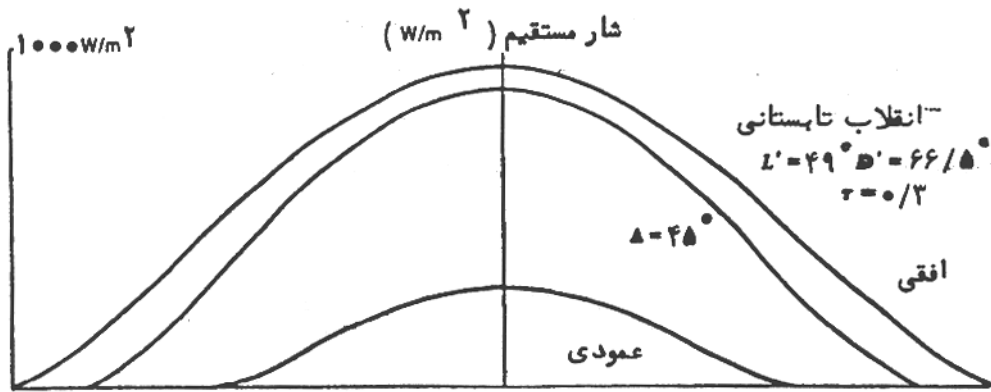
وابستگی با استفاده از معادله های ۱۰-۳ و ۱۶-۳ ثابت می شود نمودارهای (مستقیم)

F در مقابل زمان خورشیدی که از معادله ۵-۷ بدست آمده اند. در شکل ۴-۵ رسم

شده اند.

شار پخشی:

کل شار خورشیدی که بر سطوحی دریا می تابد شامل یک پرتو تک جهتی شار مستقیم به علاوه مولفه ای از شار پخشی است. جزء پخشی متشکل از تابش یا منعکس شده از اجزای تشکیل دهنده جو و نیز تابش منعکس شده از زمین زیر آن است حتی برای یک جو لایه مسطح فرموله کردن رفتار و عکس العمل مولفه پخش مشکل است و هیچ فرمول ساده ای مشابه معادله ۵-۷ برای آن وجود ندارد. در اینجا به جای سعی در به دست آوردن راه حل های دقیق برای شار پخشی یک تجزیه و تحلیل را مطرح می کنیم تا آن را تخمین بزنیم و نیز نشان دهیم چگونه عواملی بر محیط تأثیر می گذارند.



شکل ۴-۵- شار ساعتی مستقیم بر روی سطوحی با زوایای کج شدگی متفاوت در فصول مختلف، کلیه این حالات را برای ناظری در متمم عرض $I = ۴۹^\circ$ و ضخامت نوری $J = ۰/۳$ محاسبه شده اند.

تا اینجا به ویژه درباره تمایز بین واژه های شدت و شار دقیق نبوده ایم. هر چند این تمایز در مورد تابش تک جهتی ضرورتی ندارد، ولی در مورد تابش واقعاً ضروری است. واژه شدت برای توصیف توزیع تابش جهت دار به کار می رود.

به ویژه اطلاعاتی را ارائه می کند مانند: چقدر توان تابشی در واحد سطح در جهات مختلف حول نقطه ای در فضا منتشر می شود. ما یک جهت خاص را بردار یکه Ω مشخص می کنیم. برای یک جو لایه لایه مسطح می توانیم شدت طیفی را به شکل $I_{\lambda}(Z, \Omega)$ بنویسیم. این شکل پیشنهاد می کند که شدت طیفی هم تابع ارتفاع و هم جهت مورد است. تابع شدت به شکل زیر تعریف می شود:

$$I_{\lambda}(Z, \Omega) = \frac{\text{توان تابش}}{\text{مساحت} - \text{یهفازی از} - \text{طول موج}} = \frac{dp}{dA - d\Omega - d\lambda}$$

که $d\Omega$ زاویه فضایی دیفرانسیلی حول جهت Ω است.

اگر $I_{\lambda} = I_{\lambda}(Z)$ باشد یعنی چنانچه شدت به Ω بستگی نداشته باشد، در این صورت می گوئیم تابش، همسان (همه سو یکسان) است. انرژی تابشی در این صورت به طور مساوی در تمام جهات منتظر می شود. از سوی دیگر اگر تابع $I_{\lambda} = I_{\lambda}(Z, \Omega)$ را در امتداد یک جهت منفرد مثلاً Ω خیلی شدید و در امتداد سایر جهات صفر باشد، می گوئیم آن تابش پرتو گونه یا تک جهتی است. گر چه مولفه مستقیم خورشیدی اساساً تک جهتی است، ولی مولفه پخشی صرفاً از تابش های همسان تشکیل نشده است.

توجه کنید که در تشریح تابع شدید ذکری از هیچ گونه سطح قطع کننده به میان نمی آید از سوی دیگر، مفهوم شار تنها در مورد یک سطح خاص معنا دارد. یک سطح کوچک صاف را در نظر بگیرید آن، با عمود رو به داخل، یعنی با برداریکه \hat{n} در جهت عمودی به داخل سطوح مذکور تعیین می شود. شار طیفی که توسط این سطح دریافت می شود به قرار زیر است:

$$F_{\lambda}(Z, \hat{n}) = \int_{(\hat{n}, \hat{\Omega} \geq 0)} I_{\lambda}(Z, \Omega) \hat{n} \cdot \Omega d\Omega \quad (5-8)$$

که حاصلضرب $\hat{n} \cdot \Omega$ کسینوس زاویه بین Ω, \hat{n} است. اندیس بالای انتگرال به یادمان می آورد که انتگرال گیری روی آن زوایای فضایی صورت می گیرد که در آنها $\hat{n} \cdot \Omega > 0$ است. این ما را مطوئن می سازد که تنها تابشی که در نیمکره رو به سطح مذکور منتقل می شود در معادله ۵-۸ درج شده است. از معادله ۵-۸ چنین بر می آید که شار دریافت شده توسط یک سطح حتی برای تابش های پخش به طور کلی به جهت سطوح مذکور و نیز به موضع آن در جو بستگی دارد. در مورد تابش پرتو گونه می توان ثابت کرد که معادله ۵-۸ به شکل زیر ساده می شود:

$$F_{\lambda}^{\text{پرتو}} = F_{\lambda}^{\text{عمود}} \hat{n} \cdot \Omega_0 = F_{\lambda}^{\text{عمود}} G \theta \quad (5-8 \text{ الف})$$

که θ زاویه میل بین پرتو خط عمود بر سطح مذکور است. $F_{\lambda}^{\text{عمود}}$ شار پرتوی است که بر یک سطح که جهت آن بر پرتو عمود است تابیده می شود. برای تابش همسان می توان از معادله ۵-۸ انتگرال گرفت تا فرمول ذیل بدست آید:

$$F_{\lambda}^{\text{همسان}} = I_{\lambda}^{\text{همسان}} \int_{(n, \Omega \geq 0)} \hat{n} \cdot \Omega d\Omega = \Pi I_{\lambda}^{\text{همسان}} \quad (\text{ب-۵-۸})$$

در این حالت همان طور که انتظار می رفت دریافت شده مستقل از جهت گیری سطح است. تابش پخشی به طور کلی همسان نیست و شار دریافت شده تا اندازه ای به جهت گیری سطح بستگی دارد. این بستگی مانند آنچه در مورد شار مستقیم دیده می شود بارز و مشخص نیست.

معادلات تقریبی برای شار خورشیدی کل:

بحث کامل و جامع شدت کل (شدت مستقیم به اضافه پخشی) برای آفتاب گیری در زمین به بعضی از پیشرفته ترین و پیچیده ترین دانش هایی که برای ریاضی فیزیکدانان آشناست، نیاز دارد. برای یافتن شدت باید یک معادله انتگرال دیفرانسیل را حل کنیم به معادله انتقال تابشی معروف است. حتی برای یک جو لایه لایه شده مسطح رسیدن به راه حل ها بسیار مشکل است. این مشکل با پیچیده تر شدن فرآیند پراکندگی مولکولی افزایش می یابد. حل تابع شدت $I(Z, \Omega)$ در نتیجه بازتاب از سطح زمین بیش از پیش بعرض می شود.

حتی حل تقریبی معادله انتقال تابشی از حوصله این متن خارج است. برای ادامه مطلب چندین فرض ساده کننده را مطرح می کنیم:

(۱) مولفه پخشی بسیار کوچکتر از شار مستقیم است.

(۲) مولفه پخشی رو به پایین که بر روی یک سطح افقی می تابد همسان است.

(۳) سطح زیرین لامبریتان است، یعنی تابش را بر اساس قانون لامبرت منعکس

می کند.

سطح لامبرتی سطحی است که در آن تابش بازتابیده، صرف نظر از ماهیت تابش تابیده

شده همیشه همسان است. بنابراین شار جوی رو به کاملاً پخشی یا همسان فرض

می شود. با استفاده از این فرض ها، می بینیم که شار پخشی از یک شار رو به پایین

همسان، $F^{(بخشی)\downarrow}$ و یک شار به بالای همسان، $F^{(بخشی)\uparrow}$ تشکیل یافته است. علاوه بر این

کل شار پخشی که به یک سطح مورب می رسد به اندازه میل آن نسبت به خط قائم،

Δ بستگی دارد، نه زاویه سمتی آن، φ می توان ثابت کرد که کل شار پخشی که به یک

سطح مورب می رسد برای شارهای رو به بالا و پایین همسان عبارت است از:

$$F^{(بخشی)} + \left[\frac{1+C_s\Delta}{s} \right] + \left[\frac{1-C_s\Delta}{s} \right] F^{(بخشی)\downarrow} F^{(بخشی)\uparrow}$$

به طوری که کل شار دریافت شده (مستقیم و پخشی) مساوی است با:

$$F = F^{(مستقیم)} + F^{(بخشی)}$$

$$F = s\mu e^{-j/\mu_0} + \left[\frac{1+C\Delta}{2} \right] + \left[\frac{1-C\Delta}{2} \right] F^{(بخشی)\downarrow} F^{(بخشی)\uparrow} \quad (5-9)$$

شار پخشی برای یک سطح افقی ($\Delta=0$) بطور کامل $F^{(بخشی)\downarrow}$ است. در حالی که این

شار برای یک سطح عمودی ($\Delta=90^\circ$) برابر با $F^{(بخشی)\uparrow} + F^{(بخشی)\downarrow}$ است. پس از

این که دو شار $F^{(بخشی)\uparrow}$ و $F^{(بخشی)\downarrow}$ تعیین شدند. شار کلی را که بر یک سطح شیب دار

(مورب) می تابد از معادله ۹-۵ محاسبه کرد. با استفاده از برخی تقریب های ساده

کننده می توانیم معادله انتقالی تابشی را به یک جفت معادله دیفرانسیل معمولی ساده

برای شارهای رو بهبالا و رو به پایین تبدیل کنیم این معادله در بر گیرنده سه پارامتر

محیطی است: ضخامت جوی نور J ، ضریب بازتاب با یک تفریق، \bar{w} و قابلیت

بازتابش (R) سطح زیرین. دو پارامتر آخر به شکل روبرو تعریف می شوند:

$$\bar{w} = \frac{J^{(s)}}{J}, \quad R = \frac{F \uparrow}{F \downarrow}$$

که $J^{(s)}$ ضخامت نوری تابشی از پراکندگی و $F \uparrow$ و $F \downarrow$ به ترتیب شارهای رو به پایین و

رو به بالا در سطح زمین هستند در یک جو کاملاً پخشی (یعنی جوی که در آن اصلاً

جذب صورت نمی گیرد) $\bar{w} = 1$ است در حالی که برای یک جو کاملاً جذب کننده

(جوی که در آن پراکندگی وجود ندارد) $\bar{w} = 0$ است. برای یک ناحیه کاملاً پوشیده از

درخت و گیاه $R < 0.2$ است در حالی که در یک ناحیه پوشیده از برف $R = 0.5$ می

باشد. البته پارامترهای \bar{w} و J و R به طول موج بستگی دارند ولی مقادیری را به کار

خواهیم برد که مقادیر میانگین در تمام طیف هستند. مولفه های پخشی رو به بالا و رو

به پایین در سطح زمین، بر حسب این پارامترها به قرار زیر می باشند:

$$F^{\downarrow(\text{پخشی})} = s\mu_0 \left[\frac{1}{1+G} (Ge^{\delta+J} + e^{\delta+J}) - e^{-J/\mu_0} \right] \quad (10-5-الف)$$

$$F^{\uparrow(\text{پخشی})} = Rs\mu_0 \left[\frac{1}{1+G} (Ge^{\delta+J} + e^{\delta+J}) \right] \quad (15-5-ب)$$

$$G = - \left[\frac{\delta^- + A - BR}{\delta^+ + A - BR} \right] e^{(\delta^- - \delta^+)r}$$

$$\delta^\pm = \frac{1}{2}(C - A)^+ - \frac{1}{2}[(C + A)^2 - 4BD]^{1/2}$$

$$A = \left(\frac{2 - \bar{w}_0}{2\mu_0} \right), \quad B = \bar{w}_0, \quad C = (2 - \bar{w}_0), \quad D = \frac{\bar{w}_0}{2\mu_0} \quad (5-11)$$

بسادگی قابل اثبات است که هر گاه پراکندگی وجود نداشته باشد. ($\bar{w}_0 \rightarrow 0$) شار
پنشی رو به پایین واقعاً به R بستگی دارد (از طریق تابع G) زیرا تابش بازتابیده می
تواند به وسیله جو به سوی زمین دوباره پراکنده می شود.

اندازه گیری آفتاب گیری در سطح زمین:

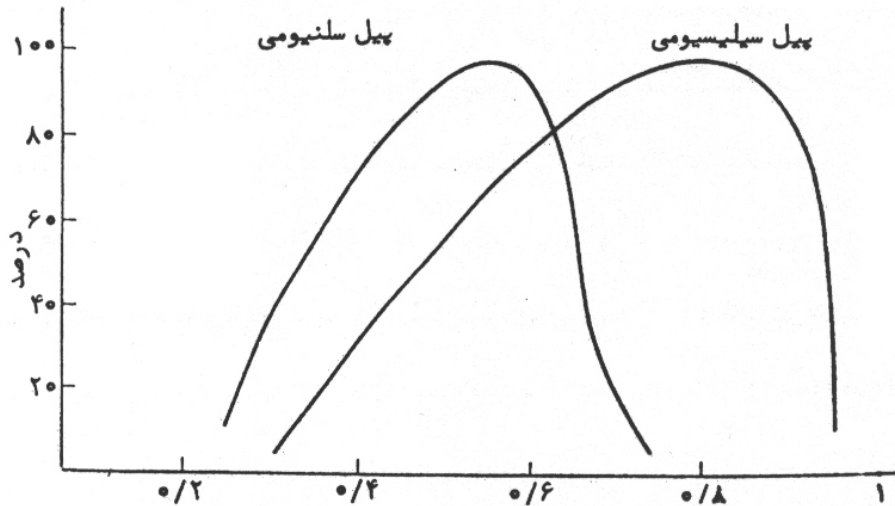
گر چه تجزیه و تحلیل قبلی دیدی درباره عوامل تعیین کننده آفتاب گیری در زمین
ارائه می کند اما بهتر است داده های تجربی در اختیار داشته باشیم تا نظریه را با آنها
مقایسه کنیم. این قبیل داده ها در تعیین مقدار بازده سیم های انرژی خورشید نیز
اهمیت دارند. داده های بدست آمده در طول چندین فصل اطلاعات آماری درباره
دسترس بودن کاربردهای سیستم انرژی خورشیدی معین در مناطق جغرافیایی خاص
ارائه می کنند. بیشتر دستگاه های اندازه گیری انرژی جرو یکی از دو دسته زیر هستند:
وسایل فتوالکتریک و تابش سنجی، گروه اول شامل وسایل با قسمت های گیرنده یا
حس کننده اند که مشخص های الکتریکی آنها به هنگام وجود تابش خورشیدی تغییر
می کند. به عنوان نمونه هنگامی که نور خورشید بر روی وسایل فتوولتایی مانند

پیل‌های سیلیسیومی و سیلینومی بتابد، ولتاژ تولید می‌کند. از جریان اتصال کوتاه این دستگاه‌ها برای اندازه‌گیری شدت تابش تاییده شده استفاده می‌شود. آشکار سارهای رسانای نوری از قبیل سولفید کادمیوم یا سیلند کادیوم، در پاسخ به تابش الکترومغناطیسی تغییر مقاومت می‌دهند، وقتی این آشکارسازها به باتری متصل شوند. در مدار به معیاری برای اندازه‌گیری سطح شدت تبدیل می‌شوند. بعلاوه، دستگاه‌هایی با لامپ خلاء وجود دارد که به نام لامپ‌های نوری مشهورند و توسط عناصر خاصی روکش شده‌اند که وقتی نور بر آنها می‌تابد از خود الکترون ساطع می‌کنند تغییر قابلیت هدایت لامپ که توسط این الکترون‌های نوری پدید می‌آید، در اندازه‌گیری شدت تابش استفاده می‌شود.

هر چند دستگاه‌های ترانزیستوری فتوالکتتریم با دوام، کوچک و ساخت آنها ارزان است و خیلی کم تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرند، مع‌هذا معایب و نقایصی هم دارند. اول از این دستگاه‌ها در سطوح شدت زیاد، گرایش به قطع شدن یا اشباع شدن دارند. دوم و مهمتر از همه این که دستگاه‌های فتوالکتتریک پاسخ یکنواختی از نظر طیف در سراسر طیف خورشیدی ارائه نمی‌کنند. این به معنای آن است که مقادیر مساوی انرژی خورشیدی که در نواحی مختلف طیفی دریافت می‌شود سیگنال‌های متفاوتی تولید می‌کنند. بویژه، چنانچه یک دستگاه فقط نسبت به طیف مرئی حساس باشد. این دستگاه حضور یا تغییرات انرژی خورشیدی در مادون قرمز را آشکار نخواهد

کرد. منحنی های پاسخ نوعی برای پیل های فتوویلتیای سلنیومی و ساسیومی در شکل

۳-۹ نشان داده شده اند.



شکل ۵-۵ مقایسه دهی نسبی پیل های سلنیومی و سیلیسیومی

گروه دوم شامل دستگاه های تابش سنج است. معمولاً این وسایل تابش را در یک جذب کننده سیاه جذب می کنند و از حرارت تولید شده برای ایجاد گیرنده استفاده می کنند. این تغییر اندازه گیری می شود و به سطوح آفتاب گیری ربط داده می شود. یک دستگاه تابش سنج نوعی مورد استفاده در ایالت متحده پیرانومت سیاهو سفید است. قسمت گیرنده آن از دو سطح مستوی مجاور هم یکی سیاه و دیگری سفید (نقره ای) تشکیل شده است. به هر یک از این قسمتها معمولاً یک حس کننده حرارتی (معمولاً از نوع ترموکوپل) متصل است. حس کننده ها یک سیگال ولتاژ می کنند که مستقیماً با اختلاف درجه حرارت بین سطوح سیاه و سفید متناسب است. هنگامی که انرژی خورشیدی به این دستگاه بتابد، سطح سیاه رنگ تابش را جذب می کند و از

سطوح سفید رنگ که تابش را منعکس می کند و حدود دمای محیط باقی می ماند، گرمتر می شود. هر چه سطح آفتاب گیری بیشتر باشد. اختلاف درجه حرارت بیشتر سیگنال ولتاژ نیز بزرگتر می شود.

شار حرارتی جو:

به عنوان آخرین مطلب این فصل، تابش حرارتی جوی تابیده بر یک سطح را بررسی می کنیم. گرچه یان تابش را نمی توان انرژی حرارتی نامید ولی به هر حال نقش مهمی در عملکرد حالت پایدار پانل های حرارتی خورشیدی ایفا کرد. مقدار و توزیع طیفی تابش تابیده شده به دما و قابلیت جذب (قابلیت گسیل) جسم بستگی دارد. جو و ناحیه زیرین آن، تابش خورشیدی را جذب و تابش حرارتی را گسیل می کنند. این منابع گسیل کننده معمولاً در دمایی حدود 300°K قرار دارند. قسمت عمده انرژی طیف یک جسم سیاه در این دما در گستره بین $20\mu\text{m} \leq \lambda \leq 2\mu\text{m}$ است و فقط کسر قابل اغماضی از انرژی خورشیدی در این فاصله موجی می رسد. مرسوم است که انرژی خورشیدی را تابش با طول موج کوتاه $0.3\mu\text{m} \leq \lambda \leq 20\mu\text{m}$ و در مقابل انرژی حرارتی را تابش با طول موج بلند بنامند. یک لایه دیفرانسیلی از جو یا ضخامت نوری dt_{λ} را که در عمق نوری t_{λ} (شکل ۶-۵) است در نظر بگیرید. پرتویی را در نظر بگیرید که با زاویه θ که کسینوی آن μ است نتیجه شدت پرتو را می توان به صورت روبرو نشان داد:

$$dt_{\lambda} = \frac{B_{\lambda}(T)}{\Pi} dt_{\lambda} / m \quad (M = C\theta) \quad (5-12)$$

که $B_{\lambda}(T)$ تابع پلانک و T دمای لایه است. این پرتو به سوی زمین حرکت کرده و توسط لایه های زیرین جو تضعیف خواهد شد. شدت پرتو هنگام رسیدن به زمین عبارت است از:

$$dt_{\lambda}^{(حرارتی)} = \{\exp[-(J_{\lambda} - t_{\lambda} / \mu)]\} dI_{\lambda}^{(i)(حرارتی)} = \frac{B_{\lambda}(T)}{\Pi} \{\exp[-(J_{\lambda} - t_{\lambda} / \mu)]\} \frac{dt_{\lambda}}{\mu} \quad (5-13)$$

که $(J_{\lambda} - t_{\lambda})$ ضخامت نوری هوای بین لایه گسیل کننده و زمین است. شدت کل با افزودن نقش تمام لایه های جو به دست می آید با انتگرال گیری از معادله ۳-۲۰

داریم:

$$I_{\lambda}^{(حرارتی)} = \frac{1}{\pi} \int_0^{t_{\lambda}} B_{\lambda}(T) \exp[-(\tau_{\lambda} - t_{\lambda}) / \mu] dt_{\lambda} / \mu \quad 0 \leq \mu \leq 1 \quad (5-14)$$

از آنجا که T تابعی از ارتفاع است، فقط بعد از تعیین پروفیل دما می توان انتگرال گیری را انجام داد. اگر فرض کنیم جو هم دما باشد یعنی $T = T_0$ می توان از معادله ۳-۲۱ به شکل زیر انتگرال گرفت:

$$I_{\lambda}^{(حرارتی)} = \frac{1}{\pi} B_{\lambda}(T_0) (1 - e^{-T_{\lambda} / \mu}) \quad 0 \leq \mu \leq 1 \quad (5-15)$$

بعلاوه اگر بتوان ضخامت نوری جو را با رقم ثابتی مساوی مقدار متوسط گستره طیفی $20 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 2 \mu\text{m}$ تقریب د (یعنی $\bar{\tau}_{\lambda} = \tau$ در این صورت می توان معادله ۳-۲۲ را به

شکل زیر نوشت:

$$I_{\lambda}^{\text{حرارتی}} = \frac{1}{\pi} B_{\lambda}(T_0) (1 - e^{-T_{\lambda}/\mu}) \quad (5-16)$$

شار حرارتی رو به پایین که بر روی سطح افقی می تابد با استفاده از معادله ۵-۸ و

انتگرال گیری بر روی یک نیم کره در جهت رو به پایین به دست می آید:

$$I_{\lambda}^{\downarrow \text{حرارتی}} = 2\pi \int_0^1 I_{\lambda} \mu d\mu = 2B_{\lambda}(T_0) \int_0^1 (1 - e^{-J/\mu}) \mu d\mu = 2B_{\lambda}(T_0) \left[\frac{1}{2} - E_3(J) \right] \quad (5-17)$$

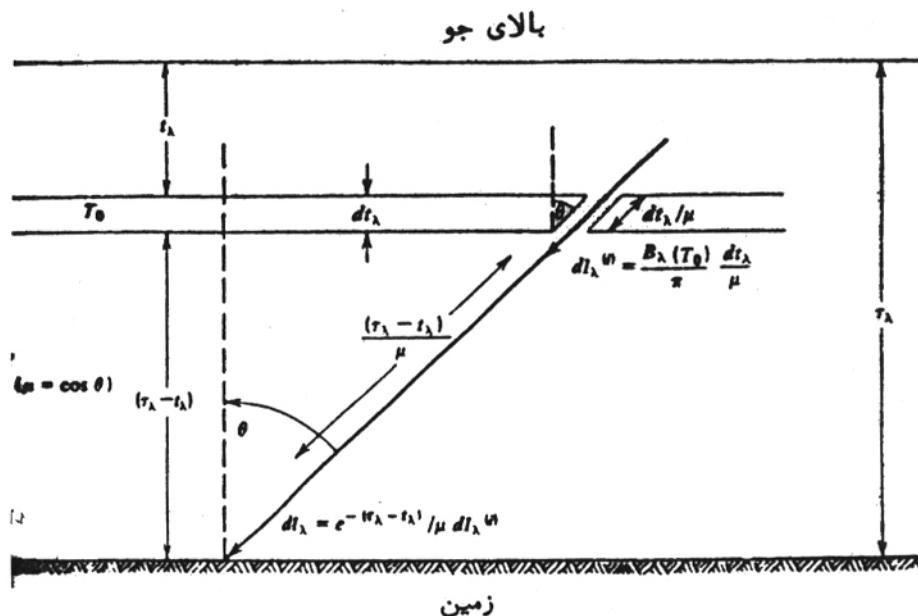
که $E_3(J)$ انتگرال نمایی از مرتبه سوم نامیده می شود. برای یافتن کل تابش حرارتی

در سراسر طیف از همه طول موج ها انتگرال می گیریم و برای یک جو هم دمای

خاکستری خواهیم داشت:

$$F^{\downarrow \text{حرارتی}} = [1 - 2E_3(J)] \delta T_0^4 \quad (5-18)$$

در اینجا از این حقیقت که $\int_0^{\infty} B_{\lambda}(T_0) d\lambda = \delta T_0^4$ استفاده کرده ایم.



شکل ۵-۶- یک پرتو طیفی تابش حرارتی که از یک لایه زمین جو با دمای T_0 تابیده شده

است و تضعیف شدن آن توسط لایه های زیرین جو

با کدر شدن جو نسبت به تابش حرارتی ($J \rightarrow \infty$) انتگرال نمایی به سمت صفر میل می کند و شار حرارتی با δT_0^4 داده می شود در این حد، جو یک جذب کننده کامل است، در نتیجه یک تابش کننده کامل نیز هست و مانند یک جسم سیاه از خود تابش می تاباند. با شفاف شدن جو $J \rightarrow \infty$ انتگرال نمایی به سمت $E_3(J) \rightarrow 0.5$ میل میکند. شار پدید آمده به این دلیل که یک جسم غیر جاذب نمی تواند علی رغم دمای خود انرژی حرارتی منتشر کند، از بین می رود.

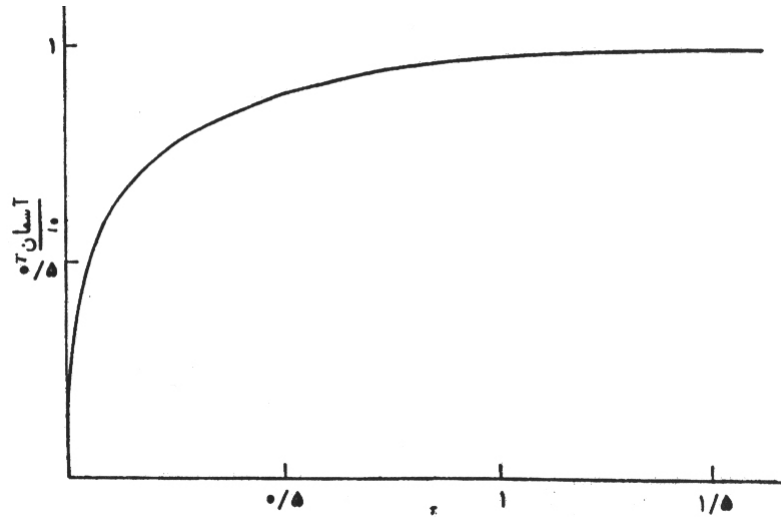
معمول است که معادله ۱۸-۵ به شکل ذیل نوشته شود:

$$F_{\text{حرارتی}}^{\downarrow} = \delta T^4 \text{ آسمان} \quad (5-19)$$

که دمای آسمان مساوی است با:

$$T_{\text{آسمان}} = [1 - 2E_3(\tau)]^{1/4} T_0 \quad (5-20)$$

دمای آسمان دمایی است که باید یک جسم سیاه را به آن دما رسانید تا این که همان شار جوی را تابش کند. می توان دید که دمای آسمان کوچکتر یا معادل دمای جنبشی هوا T_0 است. هر چه جو نسبت نسبت به تابش حرارت شفافتر باشد، دمای آسمان کمتر خواهد بود. هنگامی که جو کدر شود. دمای آسمان به سمت دمای جنبش هوا میل می کند. با استفاده از معادله ۳-۲۷ نسبت T_0 آسمان T را بر حسب J در شکل ۵-۷ ترسیم کرده ایم. در شرایط عادی آسمان T معمولاً کمتر از ۱۰ درجه کلوین زیر دمای هوای محیط است.



شکل ۵-۷ نموداری از نسبت $\frac{T_{\text{آسمان}}}{T_n}$ بر حسب ضخامت نوری حرارتی برای یک جو قهوه ای از نوع هم دما و لایه لایه مسطح این نمودار از روی معادله ۲۰-۵ بدست آمده است.

دمای حالت دائمی یک سطح افقی تا اندازه ای از روی دمای آسمان تعیین می شود. در یک شب صاف و خشک که دمای آسمان کم است، دمای محیط حالت دائمی یک سطح خارجی به صورت تابشی و تا دمایی زیر دمای هوای محیط سرد می شود. این سرد شدن تابشی شب هنگام در مناطق بیابانی و کویری که آسمان آن حداکثر مواقع صاف و خشک است بسیار متداول است.

در تکنولوژی خورشیدی، دمای آسمان نقش مهمی در عملکرد حالت دائمی پانل های حرارتی خورشید ایفا می کند. بر این نکته تاکید می کنیم که تابش حرارتی زمینی واقعاً همسان نیست، در واقع قسمت اعظم تابش حرارتی دریافت شده توسط یک سطح قائم از نواحی اطراف آن منشأ می گیرد. از این رو دمای آسمان، هم به زمین و هم به جهت گیری سطح مورد نظر و هم به خود جو بستگی دارد.

جهت خرید فایل word به سایت www.kandoo.cn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

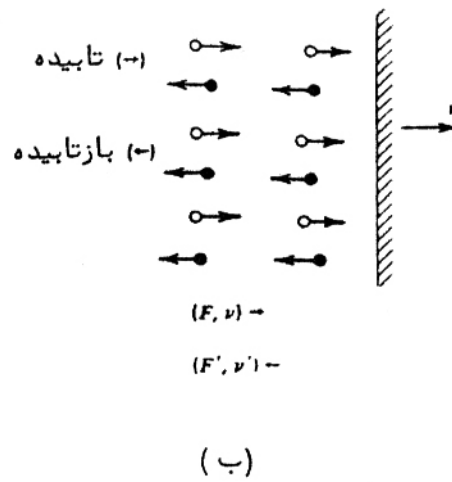
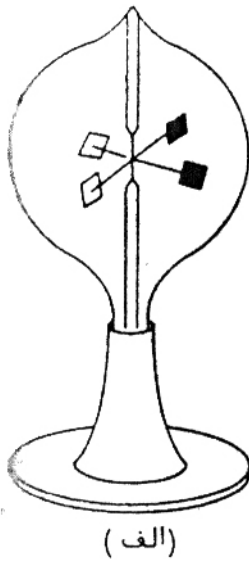
فصل ششم:

تبدیل مستقیم انرژی خورشیدی به کار – دستگاه های فتوولتایی

ابتدا تابش را توسط دستگاههای گرمایشی خورشیدی (مثلاً جمع کننده های تخت و متمرکز کننده) به حرارت تبدیل می کنند و سپس بخشی از آن حرارت به کارتبدیل می شود هرچند از لحاظ نظری می توان تمام انرژی خورشیدی را به کار تبدیل کرد، اما نمی توان این حرارت را به طور کامل به کار مفید تبدیل کرد و مقداری از حرارت باید به یک منبع سردتر پس داده شود. بازده تبدیل توسط نسبت دمای منبع سرد به دمای منبع گرم محدود می شود هرچه این نسبت کمتر باشد بازده ممکن است بیشتر باشد.

درفرآیند تبدیل مستقیم، بدون آنکه ابتدا تابش الکترومغناطیسی را به حرارت تبدیل کنیم از انرژی خورشیدی کار استخراج می کنیم. این فرآیند به منبع های گرم و سرد نیاز ندارد. هرچند بازده تبدیل ممکن است محدودیتهای عملی خاصی داشته باشد ولی توسط فرمول کار نو محدود نمی شود برای اینکه نشان دهیم چگونه می توان باریکه ای از تابش را به طور مستقیم به انرژی مکانیکی تبدیل کرد، از وسیله ای به نام تابش سنج خلا شده استفاده می کنیم. این وسیله شامل چهار پره است که یک طرف هرکدام از آنها نقره اند و دو طرف دیگرشان سیاه شده است (شکل ۱-۶ الف) پره ها داخل یک لامپ شیشه ای خالی از هوا قرار دارند. همانطور که خواهیم دید یک باریکه تابش توانایی اعمال فشار و در نتیجه نیرو بر روی سطحی را دارد که بر آن می تابد. فشار وارد شده بر سطح نقره ای اندود و تقریباً دو برابر فشار وارد شده بر یک

سطح سیاه رنگ است زیرا سطح نقره اند و تابش را باز می تاباند. در نتیجه هنگامی که یک جفت پره مقابل هم در معرض باریکه ای از تابش قرار می گیرد نیروی وارد بر پره ای که سطح نقره ای اندود و آن در معرض باریکه ای از تابش قرار دارد که بیشتر از پره مقابل است که سطح سیاه شده آن روبه تابش است. گشتاور خالصی که توسط این نیروها پدید می آید سبب می شود پره ها حول یک محور عمودی بچرخند شکل ۱-۶ الف نیروی مکانیکی حاصل مساوی گشتاور ضرب در سرعت زاویه ای پره هاست. البته این نیرو در یک تابش سنج معمولی خیلی نا چیز است و فقط می تواند بر اصطکاک یا تاقانهای دستگاه غلبه کند. با وجود این تابش سنج خالاشده نشان می دهد که تولید حرارت یک مرحله میانی ضروری برای تبدیل انرژی خورشیدی به کار نیست. علاوه براین بازده تبدیل توسط دمایی که از انرژی خورشیدی به دست می آید محدود نمی شود. برای نشان دادن این مطلب، اصول نسبیت و نظریه کوانتومی را در مورد فرآیند تبدیل به کار می بریم.



شکل ۱-۶-الف) یک تابش سنج خلا شده (ب) باریکه های فوتونی تابیده و بازتاب شده از یک آینه متحرک فوتونهای بازتاب شده سبب تغییر مکان دوپلری در جهت کاهش فرکانس می شود.

باریکه ای موازی از یک تابش با فرکانس ν را در نظر بگیرید که به طور عمودی بر یک آینه کاملاً تخت و تماماً باز تابیده می تابد. آینه مذکور با سرعت v در امتداد جهت انتشار تابش حرکت می کند. (شکل ۱-۶ب) بر طبق نظریه کوانتومی یک باریکه تابش را می توان به صورت جریانی از کوانتومهای انرژی ذره گونه به نام فوتون در نظر گرفت. انرژی و اندازه حرکت هر فوتون در باریکه تابیده عبارتست از

$$E = h\nu \quad 6-1$$

$$P = \frac{h}{\lambda} = \frac{E}{c} \quad 6-2$$

در این فرمول λ طول موج و h ثابت پلانک است. اگر N فوتون وجود داشته باشد که در باریکه در واحد زمان، واحد مسافت را طی کند، شار تابیده به قرار ذیل خواهد بود:

$$F_{inc} = NhV \quad 6-3$$

بر اساس نظریه نسبیت، تابشی که فرآیند باز می تابد دارای تغییر مکان دوپلری است

در نتیجه فرکانس آن به مقدار:

$$V^1 \left[\frac{1-\beta}{1+\beta} \right] V \quad (۴-۶ الف)$$

تقلیل می یابد که در این فرمول $C, \beta = V/C$ سرعت نور است علاوه بر این طبق نظریه

نسبیت پیش بینی می شود که شار فوتونی کاهش می یابد و تبه مقدار ذیل می رسد:

$$N = \left[\frac{1-\beta}{1+\beta} \right] N \quad (۴-۶ ب)$$

بنابر این شار منعکس شده برابر است با: $F_{ref\delta} = NhV'$

بنابراین شار خالص منتقل شده توسط باریکه تابیده شده برابر است با:

$$F_{net} = F_{inc} - F_{ref\delta} = h(NV - N'V') = \left[\frac{4}{1+\beta} \right] F_{inc}$$

تمام این انرژی به آینه داده نمی شود، بلکه مقداری از آن صرف «پر کردن» فضای

جلوی آینه می شود و برای یافتن توان مکانیکی که واقعاً تامین شده است. فرض می

کنیم که آینه با سرعت خیلی کمتر از سرعت نور حرکت کند ($\beta \leq 1$) یک فوتون به

اندازه حرکت P با همان اندازه حرکت پس زده خواهد شد، در نتیجه، اندازه حرکت

خالص منتقل شده به آینه $2P$ خواهد بود. فشار وارد بر آینه مشاوی حاصلضرب این

جایجایی اندازه حرکت شار فوتونی است، یا: $2PN = \text{فشار}$

با استفاده از معادله های ۱-۶، ۲-۶، ۳-۶ درمی یابیم که:

$$\text{فشار} = \frac{2F_{inc}}{C} \quad (\beta \leq 1) \quad (6-5)$$

لذا بازده انتقال برابر است با :

$$\eta = \frac{p}{F_{inc}} = 2\beta = 2\frac{v}{c} \quad (\beta \leq 1) \quad (6-6)$$

از این رو β کوچک بازده تبدیل به طور خطی با سرعت آینه افزایش می یابد. برای سرعتهایی که آینه عملاً بتواند داشته باشد β آنقدر کم است که انتظار هیچ بازده تبدیل را نمی توان داشت. به علاوه حداکثر فشار وارده بر یک سطح توسط نور شدید خورشید کمتر از یک دهم بیلیونیم یک جو است. هرچند که فشار اندک تابشی می تواند برای چرخاندن پره های یک تابش سنج خلا شده کافی باشد ، اما این و وضعیت تبدیل انرژی خورشیدی بودن اصطکاک ساخت که مساحت هریک از پره های آن برابر ۹ مترمربع و سرعت چرخش آن ۱۵۰ کیلومتر در ساعت ($\beta = 1.5 \times 10^{-7}$) باشد نیروی وارد بر هر پره تقریباً 10^{-4} کیلوگرم و بازده تبدیل آن کمتر از ۰,۰۰۰۰۰۳ می بود. نکته مهم اینست که تبدیل مستقیم ممکن است و دیگر این که فرآیند فوق شامل یک سیکل ترمودینامیکی نیست و در نتیجه برای تامین یا جذب حرارت به منبع های حرارتی نیازی نیست فرآیندهایی وجود دارد که انرژی خورشیدی را مستقیماً به انرژی شیمیایی تبدیل می کنند. گیاهان سبز از انرژی خورشید برای تبدیل آب و دی اکسید کربن به هیدرو کربنهای پیچیده استفاده می کنند این فرآیندی تدریجی است و فقط کسر کوچکی از نور خورشید تابیده بر گیاه به انرژی شیمیایی تبدیل می شود. پیشنهاد شده است که سوخته های

شیمیایی را می توان با هزینه ای مقرون به صرفه از توده زنده یعنی از رتنسیهایی که مخصوصاً برای همین مقصد رویانده می شود، بدست آورد. تولید انبوه الکل از غله و شکر برای سوخت وسایل نقلیه هم اکنون در برخی از کشورها صورت می گیرد .

یکی از امیدوار کننده ترین روشهای تبدیل مستقیم تولید الکتریسیته ، به کار بردن دستگاههای فوتوولتایی است . یک دستگماه فوتو ولتایی ابزاری است که هرگاه نور خورشید بر آن بتابد ولتاژ تولید می شود . یک دسته متداول از این دستگاههای فوتو ولتایی را که به وسایلی با پیوند $P-N$ مشهورند بررسی خواهیم کرد . برای نمونه وسایل ساخته شده از سیلیسیم قادرند در نور شدید خورشید ۰,۵ ولت در هر پیل تولید کنند و بازده معمولی آنها ۱۰ تا ۱۲ درصد است. همانطور که در آینده خواهیم دید مشکل تکنولوژی اولیه در وسایل فوتوولتایی از نوع $p-n$ هزینه ساخت زیاد آنها بوده است. نظریه وسایل فوتو ولتایی نسبتاً پیچیده است و بنابراین ما فقط اصول کار آنها را بررسی خواهیم کرد.

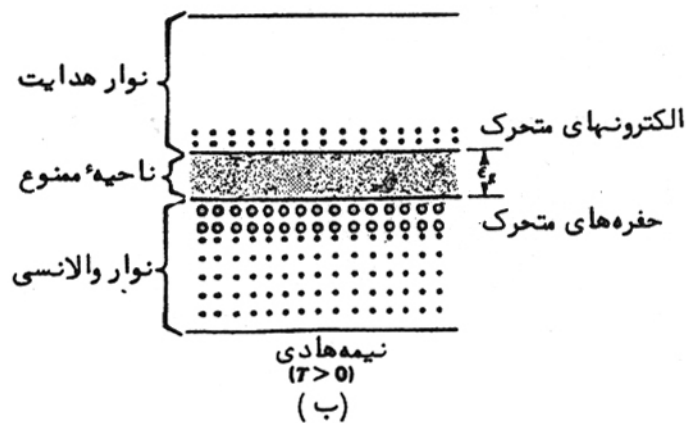
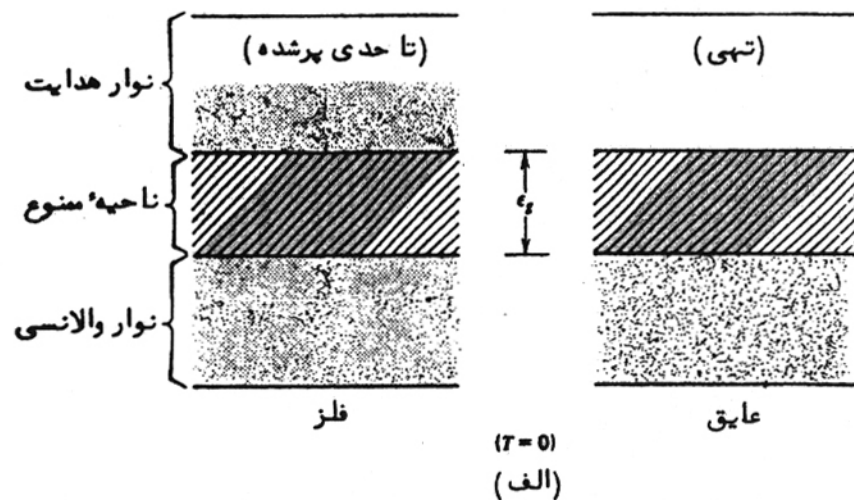
نیمه هادیهای ذاتی (خالص) :

بر طبق نظریه کوانتومی ماده، الکترونهای یک اتم منفرد مجاز هستند که فقط در حالات معین، با انرژی کاملاً تعیین شده ای وجود داشته باشند . ممکن است به یک انرژی واحد بیش از یک حالت نسبت داده شود. البته در هر زمان مفروض در هر حالت نمی تواند بیش از یکم الکترون وجود داشته باشد هنگامی که چندین اتم مشابه در یک مجموعه

منظم مرتب شوند مانند یک جامد بلوری خالص، لایه های خارجی تمایل دارند به نوارهای انرژی که دارای چندین حالت فضایی نزدیک به هم هستند گسترش یابند. حالات درون این نوارها برای الکترونها در دسترسند، در حالی که ترازهای انرژی بین این نوارها ممنوع هستند (شکل ۲-۶ ب)

در حوالی صفر مطلق الکترونها سعی می کنند حالات موج ود در نوارهای کمترین انرژی را اشغال کنند بر طبق اصل انحصار تنها یک الکترون می تواند یک حالت معین را اشغال کند در نتیجه الکترونها مجبور می شوند که در لایه هایی با انرژیهای روبه افزایش قرار گیرند. به این دلیل که تعداد الکترونها درون هر ماده محدود است. حالات اشغال شده تنها به یک تراز انرژی خاص می رسند اگر این تراز در بالای یک نوار انرژی قرار داشته باشد جامد مورد نظر مانند یک عایق عمل می کند خارجی ترین نوار کاملاً پر شده عایق را نوار والانس و نوار خالی بالای نوار والانس را نوار هدایت می نامند. برای اینکه عایق هدایت الکتریکی از خود نشان دهد، برخی از الکترونها باید در مجاورت یک میدان الکتریکی سرعت رانش کوچکی به دست آورند. الکترونه برای دستیابی به این سرعت باید انرژی جنبشیشان را به تدریج افزایش دهند. البته این امر ممکن نیست زیرا افزایش کم انرژی مستلزم آن است که الکترونها مجاور بالای نوار والانس به داخل کشف ممنوع بروند در نتیجه در نزدیکی صفر مطلق، ماده جامدی که به الکترونها آن فقط برای پر کردن نوار والانس کافی باشد مانند عایق کامل عمل می کند. هنگامی

که دمای جامد به نحو چشمگیری بالا رود، برخی از الکترونهای مجاور بالای نوار والانس (برانگیخته) و وارد نوار هدایت می شوند. به این ترتیب ماده مذکور الکترونهای کمی دارد که بتواند یک سرعت رانش به دست آورد. و بنابراین قابلیت هدایت الکتریکی کمی از خود نشان می دهد



شکل ۲-۶ (الف) ساختمان نواری یک فلز و عایق در صفر مطلق (ب) ساختمان نواری یک نیمه هادی ذاتی در دماهایی بالاتر از صفر مطلق

اگر تعداد الکترونهای مامده جامد برای پر کردن کسری از (مثلاً مس) خارجی ترین نوار (هدایت) کافی باشد. الکترونها تعریف می شوند و به حالات بالاتر درون این نوار

می روند در نتیجه تعداد نسبتاً زیادی از الکترونها، سرعت رانش مطلوب را برای هدایت الکتریکی بدست می آورند و جامد مانند یک هادی فلزی عمل می کند. یک نیمه هادی در دمای نزدیک صفر مطلق کاملاً شبیه یک عایق است. به این ترتیب که نیمه هادی مورد نظر دارای یک نوار والانس کاملاً پر و یک نوار هدایت تهی است، تفاوت بین این دو در آن است که در یک نیمه هادی شکاف انرژی بین نوارهای هدایت و والانس خیلی اندک است. از این رو، در دمای اتاق تعداد زیادی از الکترونها نوار والانس در اثر وجود حرارت تحریک می شوند و به نوار هدایت می روند (شکل ۶-۲) در نتیجه بالا رفتن دمای ماده قابلیت هدایت الکتریکی یک نیمه هادی به شدت افزایش می یابد. تفاوت جالب توجهی بین هدایت الکتریکی در فلزات و نیمه هادها وجود دارد. در فلزات جریان کاملاً به علت حرکت الکترونها آزاد در نوار هدایت پدید می آید. در صورتی که در نیمه هادها، فضاهای خالی که توسط الکترونها تحریک شده در اثر حرارت در داخل نوار والانس باقی می ماند نیز در فرآیند هدایت الکتریکی سهیم هستند. در این حال برخی از الکترونها درون نوار والانس را می توان تحریک کرد تا به حالات خالی بروند و به این ترتیب به سرعت رانش مطلوب برای هدایت دست یابند. گفته می شود قسمتهای خالی باقیمانده در نوار والانس حفره هایی با بار مثبت پدید می آورند. می توان هدایت الکتریکی در نوار والانس را به عنوان جریان از حفره ها تعریف کرد هنگامی که یک میدان الکتریکی اعمال شود، حفره های تولید شده در نوار

والانسی و الکترونهاي تولید شده در نوار هدایت درخلاف جهت هم جاری می شوند
ولی جریان خالص، مجموع جریانهای حفره و الکترون است. چگالی حامل برای نیمه
هادیهای ذاتی یا خالص با n_i برای الکترونهاي (منفی) و p_i برای حفره ها (مثبت)
نشان داده می شوند. چون دریک نیمه هادی حاملها به شکل جفت الکترون-حفره تو
لید می شوند، $n_i = p_i$ است. می توان ثابت کرد که تمرکز جفت الکترون حفره طبق
رابطه زیر با دمای کلونین تغییر می کند.

$$n_i = p_i = AT^{3/2} e^{-E_g/2kT} \quad (6-7)$$

که k ثابت بولتزمن و E_g اندازه شکاف انرژی یعنی اختلاف انرژی بین پایین
نوارهدایت و بالای نوار والانسی است. ثابت A یک پارامتر تجربی برای نیمه هادی و
مقدار آن عموماً حدود $10^{16} \text{ cm}^{-3} k^{-3/2}$ است، در حالی که E_g از مرتبه یک الکترون ولت
 $z (1eV = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J})$ است ثابت بولتزمن را می توان به این صورت نوشت:

$$k = \frac{1}{11600} = 8.625 \times 10^{-5} \text{ eV/k}$$

بر طبق معادله ۶-۷ تمرکز حامل بامیل کردن T به سمت صفر از بین می رود به
طوریکه نیمه هادی کم کم مانند یک عایق عمل می کند. با افزایش T ، چگالی حامل و
نیز قابلیت هدایت الکتريکی هردو به نحو چشمگیری افزایش می یابد. هنگامی که یک
میدان الکتريکی E ، به نیمه هادی اعمال می شوند چگالی جریان پدید آمده برابر
خواهد بود با:

$$J = \frac{E}{P}$$

که p مقاومت ویژه است. این مقاومت ویژه را می توان طبق فرمول زیر بیان کرد:

$$p = \frac{1}{en_i(\mu_n + \mu_p)} \quad (6-8)$$

e بار الکترون ($1.6 \times 10^{-19} C$)، μ_p, μ_n به ترتیب تحرک الکترون و حفره است.

وقتی هم مقدار تمرکز حامل و هم تحرک حامل افزایش یابد، مقاومت ویژه ماده تقلیل

می یابد. در فلزات n_i مستقل از دماست، مقدار p_i صفر است (یعنی جریان حفره

وجود ندارد). μ_n با دما کاهش می یابد. در نتیجه، مقاومت ویژه فلزات با افزایش دما

زیاد می شود در نیمه هادیها افزایش n_i هرگونه کاهش در μ_p, μ_n را جبران می کند و

در نتیجه مقاومت ویژه نیمه هادی ها با افزایش دما کاهش می یابد.

بطور خلاصه می توان تصور کرد یک نیمه هادی ذاتی دارای تمرکز یکنواخت و تابع

دمای جفت الکترون حفره است. تمرکز تعادلی از طریق تولید حرارتی ثابت و در نتیجه

ترکیب مجدد جفتهای الکترون حفره برقرار می ماند. مقاومت ویژه یک نیمه هادی ذاتی

خیلی کوچک تر از مقاومت ویژه یک عایق است ولی در عین حال خیلی بیشتر از

مقاومت ویژه یک فلز است. علاوه بر این، این مقاومت نسبت به تغییرات دما خیلی

حساس است.

نیمه هادیهای غیر ذاتی (نا خالص شده):

اکنون اثر افزودن مقدار کمی فسفر را به سیلیوم خالص بررسی می کنیم یک اتم فسفر دارای ظرفیت +۵ است (یک واحد بیشتر از ظرفیت اتم سیلیسیم). اثر خالص افزودن اتمهای فسفر دوجانبه است. ابتدا اینکه یک سطح انرژی مجاز در بالای شکاف ممنوع، یعنی درست زیر نوار هدایت به وجود می آید دوم اینکه اتمهای فسفر الکترونیایی را به اشتراک می گذارند تا این سطح کاملاً پر شود (شکل ۳-۶ الف) حتی دردمای اتاق همه این الکترونها تحریک می شوند و به سوی نوار هدایت می روند. لذا تعداد زیادی از الکترونها برای هدایت الکتریکی در دسترس هستند. در واقع هر اتم فسفر یک الکترون منفرد را بانوار هدایت با اشتراک می گذارند از این رو این اتمها را اتمهای دهنده می نامند چگالی حامل الکترون که توسط اتم دهنده تامین می شود عبارتست از:

$$n \cong N_d \quad (6-9) \text{ (ماده نوع } n \text{)}$$

که N_d تمرکز اتم دهنده است. باید به خاطر داشت که این الکترونها یک حفره متحرک پشت سر خود به جا نمی گذارند، در عوض یونهای دهنده مثبت در داخل شبکه بلورین ثابت می مانند. هر چند که چگالی ناخالصی دهنده خیلی کمتر از چگالی اتمی خود شبکه است ولی حامل غیرذاتی صدها بار بیشتر از چگالی جفت الکترون حفره درونی است. که در اثر تحریک حرارتی نوار والانس پدید می آید چون یک ناخالصی از نوع دهنده الکترونها زیادی برای عمل هدایت تولید می کند. می گوئیم که ماده ناخالصی از

نوع n است و این الکترونها را حامل اکثریت می نامند. پیدا شدن تعداد زیادی الکترون

تمرکز تعادلی حاملها ی اقلیت یعنی حفره هارا که تو سط حرارت بوجود می آیند برهم

می زند. کاهش تمرز حفره ها با استفاده از قانون اثر جرم بدست می آید که:

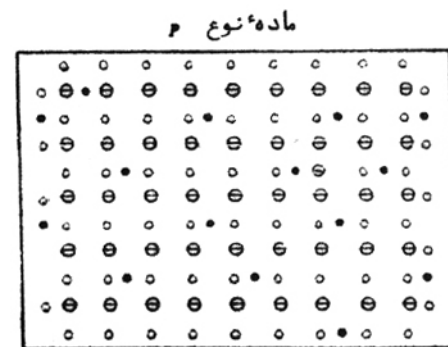
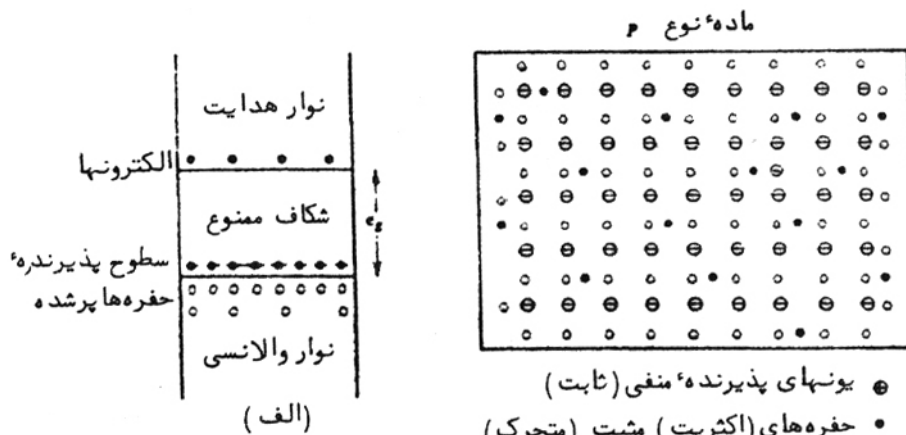
$$np = n_i p_i = n_i^2$$

$$p = \frac{n_i^2}{n} = \frac{n_i^2}{n_d}$$

باید برقرار باشد. n_i تمرکز تعادلی واسطه ذاتی است با استفاده از معادله ۶-۷ تمرکز

حاملهای اقلیت بدست می آید:

$$P = \frac{A^2 T^3 e^{-\epsilon g k t}}{N_d} \quad (\text{ ماده نوع } n) \quad (6-10)$$



- ⊙ یونهای پذیرنده منفی (ثابت)
- حفره های (اکثریت) مثبت (متحرک)
- الکترونها ی (اقلیت) منفی (متحرک)

(ب)

⊗ یونهای دهنده مثبت (ثابت هستند)

• الکترونها ی (اکثریت) منفی (متحرک هستند)

○ حفره های (اقلیت) مثبت (متحرک هستند)

شکل ۳-۶ (الف) ساختمان نواری در یک نیمه هادی نوع (ب) توزیع حاملهای

اکثریت (الکترونها) حاملهای اقلیت (حفره ها) یونهای دهنده ثابت.

$$(n = p_i + N_d, n) p_i$$

از این رو، در یک ماده نوع n (مثلاً سیلیسیومی که با فسفر ناخالص شده است)

حاملهای اکثریت شامل تعداد زیادی الکترون است که توسط اتمهای دهنده به وجود

می آیند به اضافه تعداد بسیار کمی الکترون که توسط تحریک حرارتی تولید شده اند

تمرکز حامل اکثریت تقریباً از دما مستقل است و از معادله ۹-۶ بدست می آید. از سو

ر دیگر حاملهای اقلیت حفره هایی هستند که توسط تحریک حرارتی از نوار والانس

ی وجود می آیند. میزان تمرکز آنها طبق معادله ۱۰-۶ به مقدار قابل ملاحظه ای با دما

تغییر می کند. ماده نوع n علاوه بر الکترونها اکثریت و حفره های اقلیت، شامل

تعداد زیادی یونهای دهنده غیر متحرک با بار مثبت است چون تعداد الکترونها برابر

مجموع تعداد حفره ها و یونهای مثبت است ماده از لحاظ الکتریکی خنثی است

(شکل ۳-۶ ب)

پیوند p-n :

برای درک عملکرد یک وسیله فتوولتایی، آنچه را که هنگام تشکیل یک پیوند نوع p-n

تشکیل می شود بررسی می کنیم. هنگامی که دو ماده از نوع p و n به هم اتصال یابند.

حاملهای اکثریت در هر ماده شروع به پخش شدن در محل پیوند میکنند تا تمرکزشان

متعادل شود. حفره های مجاور پیوند از ماده نوع p درنوع n رهسپار می شوند
والكترونها درجهت عكس آن شروع به پخش شدن می کنند. درنتیجه این كار،
تعداد زیادی از حاملها بایکدیگر مجددا ترکیب می شوند و منطقه نازکی به نام لایه
تهی تشکیل می دهند که اص و لا خالی از حفره و الکترون است.

این عمل، یونهای غیرمتحرک را در هر ناحیه آشکار میکند به طوری که ناحیه تهی
ماده نوع p دارای بار منفی و ناحیه تهی ماده نوع n دارای بار مثبت می شوند. درنتیجه
یک ولتاژ و میدان الکترو استاتیک در لایه تهی پدید می آید که مانع خروج بیشتر حفره
ها و الکترونها از لایه تهی می شود. پتانسیل الکترو استاتیکی ماده نوع n به نحو بارزی
بیشتر از پتانسیل ماده نوع p است. این پتانسیا تماسی رانمی توان به طور مستقیم اندازه
گرفت، هنگامی که دو الکترو را به این مواد وصل کنیم، پتانسیلهای تماسی ثانوی
پدید می آیند و درنتیجه ولتاژ کلی دوسر الکترونها صفر خواهد بود. اگر درجه حرارت
پیوند p-n با درجه حرارت پسوند ابکترونها تفاوت داشته باشد یک ولتاژ
ترموالکتریکی تولید خواهد شد، ولی در اینجا این اثر رانادیده گرفته ایم)

دستگاههای فتوولتایی پیوندی :

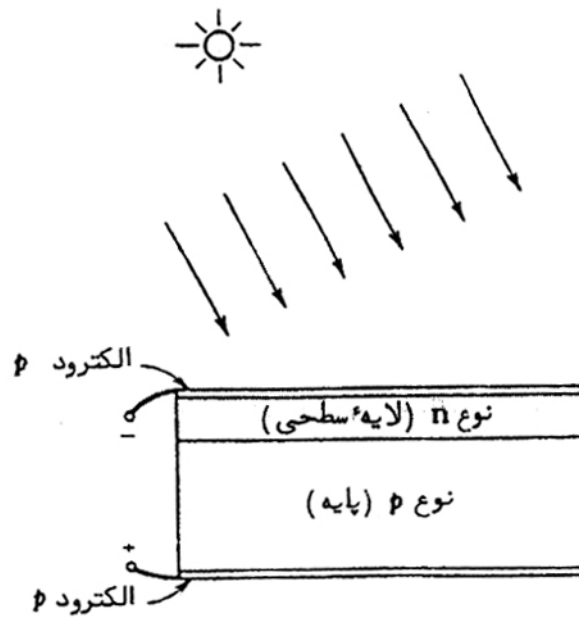
یک پیوند p-n منفرد را در نظر بگیرید که از ویفری از جنس سیلیسی.م نوع p ساخته
شده و بر روی آن لایه نازکی از سیلیسیوم نوع n رسوب داده شده است. ویفر را کف و
لایه رسوب کرده را لایه سطحی می نامند الکترونها را به سطوح خارجی ویسیله متصل

می کنند. الکتروود برای لایه سطحی از رسوب فلزی بسیار نازکی تشکیل شده است

. این الکتروود باشد شفاف باشد تا بگذارد نور خورشید با کمترین تضعیف به لایه سطحی

برسد. لایه سطحی نیز نازک است در نتیجه تابش خورشیدی میتواند به پیوند برسد.

(شکل ۶-۴)



شکل ۶-۴ یک وسیله فتوولتایی از نوع p-n

با تابش انرژی خورشیدی بر روی وسیله فتوولتایی، مقداری از فوتونها تشکیل جفت

الکترون - حفره می دهند و تاثیر آن جریان نوری است که از ماده نوع n به نوع p

جاری می شود.

این جریان نوری عبارت است از:

$$J_p = e n$$

که در این رابطه n° نوع تولید جفت الکترون حفره (در واحد سطح) است. البته اگر این وسیله از لحاظ الکتریکی از مدار خارجی مجزا باشد، جریان حالت دائمی کلی که از پیوند می گذرد، باید میاوی صفر باشد، یعنی یک جریان برگشتی به نام جریان پیوند J_p باید وجود داشته باشد که مقدار آن نیز برابر جریان نوری باشد. این جریان پیوند از ماده نوع p به سوی ماده نوع n جاری می شود و بنا بر این جریان مستقیم محسوب می شود. بر طبق جریان پیوند روبه جلو توسط رابطه به ولتاژ دوسر دستگاه مربوط است:

$$J_p = J_j = J_0 (e^{V_{oc}/kt} - 1) \quad (6-11)$$

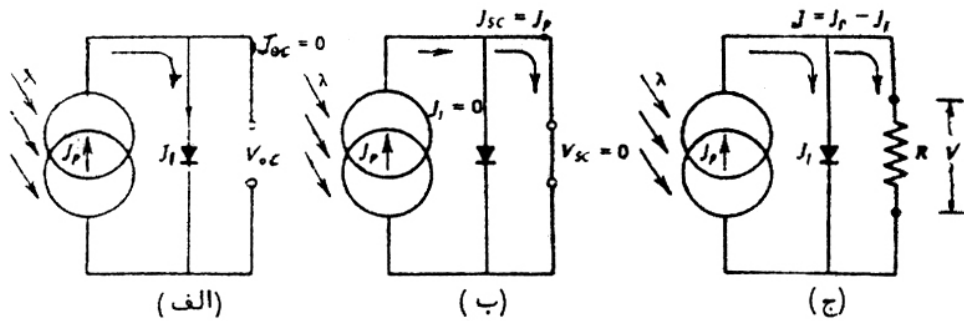
در این رابطه V_{oc} ولتاژ مدار باز است، یک مدل ساده برای یک پیل فتوولتایی طبق شکل ۶-۸ شامل یک منبع جریان است که به یک دیود موازی شده است. دستگاه فتوولتایی مدار باز از لحاظ الکترونیکی در شکل ۶-۸ (الف) مشخص شده است. چون این وسیله ایزوله است، جریان فوتونی تولید شده توسط تابش خورشیدی از دیود عبور کرده، به وسیله فتوولتای باز میگردد. در نتیجه یک ولتاژ مدار باز در دوسر دیود همچنین دوسر ترمینالهای آن پدید می آید. با حل کردن معادله ۶-۱۱ نسبت به ولتاژ مدار باز در می یابیم که:

$$V_{oc} = Kt \lambda n \left[\frac{J_p}{J_0} + 1 \right] \quad (J_{oc} = 0) \quad (6-12)$$

ولتاژ مدار باز تولیدشده توسط یک وسیله فتوولتایی با پیوند p-n به دما، جریان اشباع

معکوس و جریان فوتونی بستگی دارد. همانطور که خواهیم دید جریانی فوتونی تا

اندازه ای به شدت توزیع طیفی تابش تابیده بستگی دارد.



شکل ۵-۶ مدل ساده الکترونیکی وسیله فتوولتایی که شامل یک منبع جریان فوتونی موازی شده با یک دیود است. الف) عمل مدار باز ب) عمل اتصال کوتاه ج) تامین جریان به یک مقاومت بار خارجی.

اگر ترمینالهای وسیله فتوولتایی را اتصال کوتاه کنیم. کل جریان فوتونی از طریق

مدما خارجی برمی گردد و جریان پیوند به صفر می رسد. در نتیجه همان طور که

انتظار می رفت ولتاژ ترمینال صفر است (شکل ۸-۶) بنابراین جریان اتصال کوتاه

برابر است با :

$$J_{sc} = J_p \quad (V_{sc} = 0) \quad (6-13)$$

هنگامی که یک مقاومت بار R به دو سر ترمینال وسیله فتوولتایی متصل شود ، کسری

جریان فوتونی از دیود موازی آن و بقیه آن از بار مذکور می گذرد (شکل ج) جریان

عبوری از بار عبارتست از:

$$J = J_p - J_j$$

$$J = J_p - J_0(e^{v/kt} - 1) \quad (۱۴-۶الف)$$

معادله فوق را برای ولتاژ ترمینال حل می کنیم ، داریم:

$$V = Kt \lambda n \left(\frac{J_p - J}{J_0} + 1 \right) \quad (۱۴-۶)$$

پاسخ دهی طیفی جریان فوتونی:

مشخصه جریان بر حسب ولتاژ یک پیوند p-n فتوولتایی خورشیدی رامی توان به مجرد بدست آوردن J_p که به شار تابشی تابیده بر لایه سطحی وسیله مربوط است از معادله ۱۴-۶ تعیین کرد. تجزیه و تحلیل دقیق پدیده های میکروسکوپی که در تولید جریان فوتونی نقش دارند از حوصله این کتاب خارج است، در عوض، یک تجزیه و تحلیل تجربی نیمه کمی را ارائه خواهیم کرد. تصور کنید که شار خورشیدی تابیده را توسط توزیع طیفی F_λ نمایش دهیم. تابع طیفی نشان دهنده انرژی تابشی در هر ثانیه و واحد سطح در واحد طول موج تابیده بر روی لایه سطحی وسیله فتوولتایی است. چون یک فوتون با طول موج λ دارای انرژی $E_\lambda = hv = hc/\lambda$ است تعداد فوتونهای تابیده در واحد زمان در واحد سطح در واحد طول موج برابر است با:

$$N_\lambda = F_\lambda / hc \quad (6-15)$$

همه فوتونها یم جریان فوتونی پدید نمی آورند. آن دسته از فوتونهایی که انرژی آنها کنت از انرژی شکاف نوار نیمه هادی است حتب نمی توانند جفت الکترون حفره نیز

تولیدکنند. برخی از فوتونهایی که برای تولید این جفتها انرژی کافی دارند، قبل از آنکه بتوانند چنین کاری انجام دهند بازتابش و جذب لایه سطحی می شوند. در واقع، حتی هنگامی که جفتهای الکترون حفره پدید آمدند تمایل آنها به عمل ترکیب مجدد، جریان فوتونی خالص راکاهش می دهند. در رابطه ذیل کلیه این عوامل به طور تجربی استفاده شده اند:

$$n_{\lambda} = B_{\lambda} N_{\lambda} \quad (6-17)$$

در این رابطه n_{λ} نرخ تولید جفت توسط n_{λ} (در واحد سطح) و B_{λ} بازده کوانتومی برای فوتونهایی با طول موج λ است. پارامتر B_{λ} به ازای طول موج های بزرگتر از طول موج قطع λ_0 صفر است پارامتر λ_0 طول موج یک فوتون است که انرژی آن برابر انرژی شکاف نوار است. عموماً B_{λ} هنگامی بیشترین مقدار را دارد که λ کمی کوتاهتر از λ_0 است و با میل کردن λ/λ_0 به سمت صفر مقدار آن تقلیل می یابد. بنابراین، آن دسته از فوتونها که انرژی آنها کمی بیشتر از انرژی شکاف نوار باشد بهتر قادرند جریان فوتونی را پدیدآورند. با به کار بردن رابطه:

$$J_{p,\lambda} = e\beta_{\lambda} N_{\lambda} = \frac{e\beta_{\lambda}\lambda}{hc} F_{\lambda}$$

می توان این رابطه را به شکل ساده تری نوشت

$$J_{p,\lambda} = K_{\lambda} F_{\lambda} \quad (6-18)$$

که در آن $J_{p,\lambda}$ جریان فوتونی طیفی است و

$$K_{\lambda} = \frac{e\beta_{\lambda}\lambda}{hc} \quad (6-19)$$

پاسخ دهی طیفی وسیله فتوولتایی است. پاسخ دهی یک وسیله فتو ولتایی سیلسیومی

عادی در شکل ۶-۶ ترسیم شده است. جریان فوتونی تولیدی توسط کل طیف

عبارتست از:

$$J_P = \int J_{P,\lambda} d\lambda = \int_0^{\lambda_0} k_{\lambda} F_{\lambda} d\lambda = \bar{k}F \quad (6-20)$$

که در آن :

$$F = \int_0^{\infty} F_{\lambda} d\lambda$$

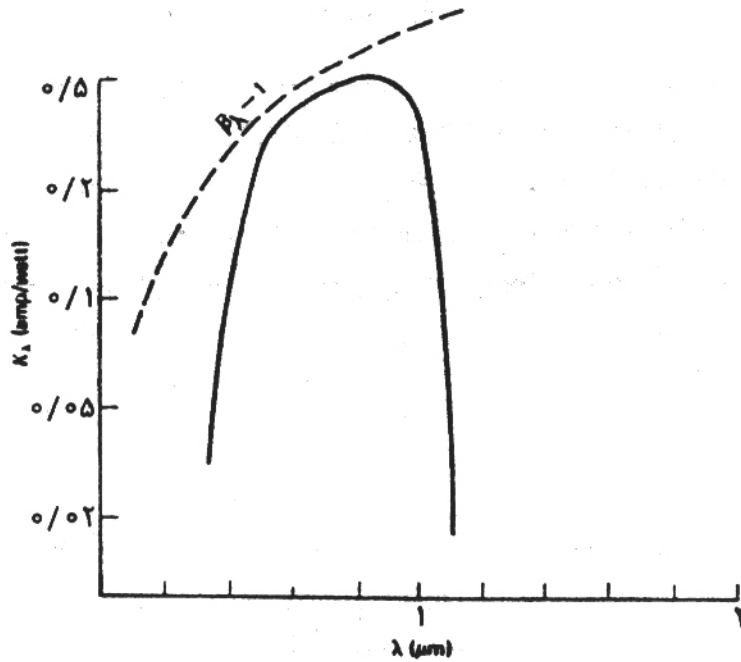
$$\bar{k} = \frac{\int_0^{\lambda_0} k_{\lambda} F_{\lambda} d\lambda}{F}$$

و:

طول موج قطعی طبق رابطه $\lambda_0 = HC / \epsilon_g$ بدست می آید. پارامتر \bar{k} به پاسخ دهی

متوسط مرسوم است و به توزیع طیفی تابش تابیده بستگی دارد. مقدار آن را برحسب

آمپر بر وات می سنجند:



شکل ۶-۶ پاسخ دهی طیفی یک وسیله فتو ولتایی سیلیومی عادی خط چین، پاسخ دهی یک پیل بابازده کوانتومی یک است.

پس از جایگزین کردن معادله ۶-۲۰ در معادله ۶-۱۵ داریم:

$$J = \bar{K}F - J_0 [e^{v/kt} - 1] \quad (۶-۲۱ \text{ الف})$$

$$V = kt\lambda n \left[\frac{\bar{K}F - J}{J_0} + 1 \right] \quad (۶-۲۱ \text{ ب})$$

با استفاده از معادله ۶-۱۶ جریان اتصال کوتاه ولتاژ مدار باز را به دست می آوریم:

$$J_{SC} = \bar{K}F \quad (۶-۲۲ \text{ الف})$$

و:

$$V_{OC} = Kt\lambda n \left(\frac{\bar{K}F}{J_0} + 1 \right) \quad (۶-۲۲ \text{ ب})$$

هرچند که جریان اتصال کموتاه نسبت به شار تابیده خطی است ولی ولتاژ مدار باز

نسبت به F به صورت لگاریتمی تغییر می کند (شکل ۶-۷) چون پایخ دهی متوسط به

توزیع طیفی بستگی دارد، مقدمات آن با شرایط جوی و وضعیت خورشید تغییر می کند.

برای دستیابی به مبنایی که به وسیله آن عملکرد یک وسیله فتوولتایی خورشیدی

را اندازه بگیریم، از توزیع طیفی جسم سیاه دردمای ۵۸۰۰ درجه کلوین استفاده می

کنیم معمولاً شار را برحسب واحد خورشیدی اندازه می گیرند که در آن

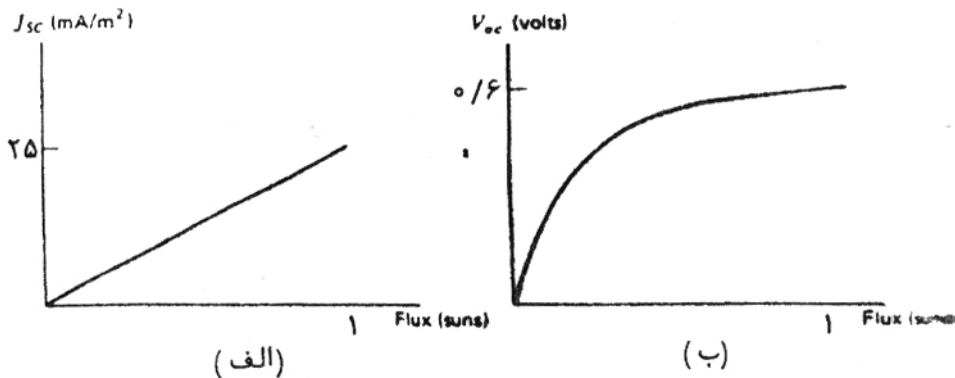
$$1 = 1000 \text{ w/m}^2 = 100 \text{ mw/cm}^2$$

مشخصه های الکتریکی نوعی برای یک وسیله فتوولتایی سیلیسیومی که دردمای

$T=300\text{K}$ کار می کند در شکل ۸-۶ نشان داده شده است. این منحنیها با استفاده از

مقادیر

$$\bar{K} = 0.25 \text{ mA/mw}$$



شکل ۷-۶ (الف) جریان اتصال کوتاه برحسب شار خورشیدی تاییده برای یک وسیله فتوولتایی سیلیسیومی نوعی رابطه در این حالت خطی است. (ب) ولتاژمدار باز برحسب شار خورشیدی تاییده برای همان وسیله فتوولتایی رابطه در این حالت لگاریتمی است.

ثابت ولتاژ خروجی با افزایش جریان کشیده شده نسبت به مقدارمدار باز آن تقلیل می

یابد. چون چگالیتوان خروجی (یعنی توان در هر واحد سطح پیل) توسط رابطه ذیل

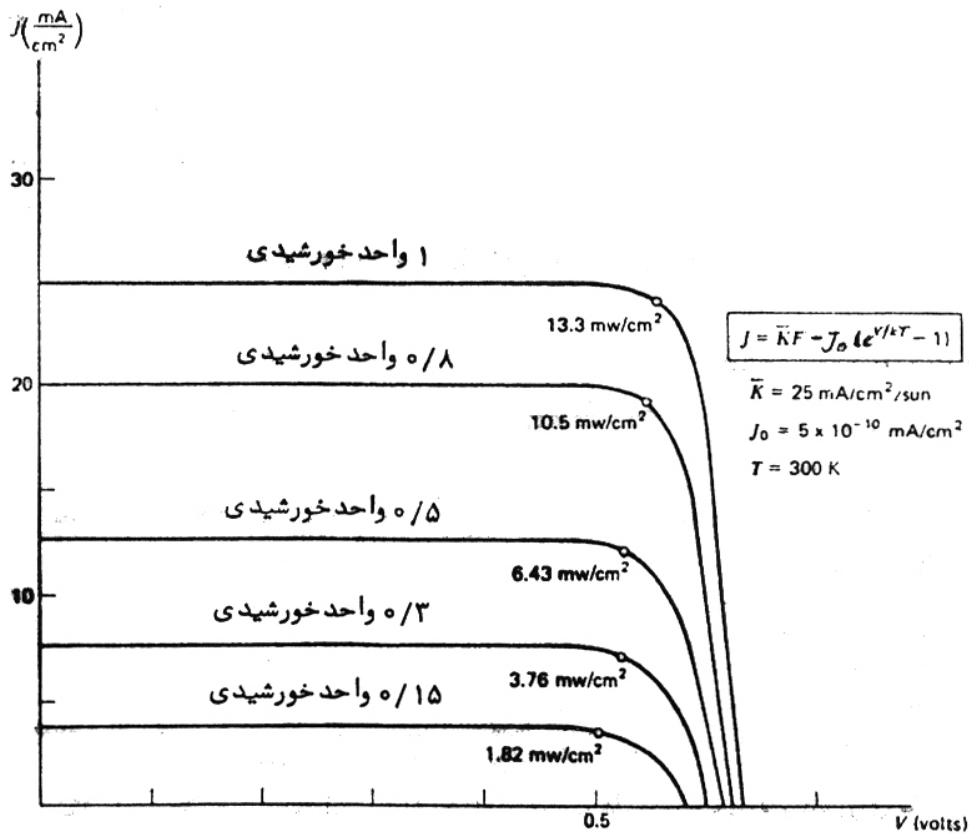
به دست می آید:

$$p_A = V \times J$$

توان در حالت مدار باز و اتصال کوتاه به صفر می رسد و در مقادیر متوسطی از ولتاژ

و جریان که آنها رابه ترتیب با J_{mp}, V_{mp} نشان می دهیم به حد اکثر می رسد این نقاط

توان حداکثر (شکل ۸-۶) معمولاً در ناحیه «خم» هر منحنی رخ می دهند.



شکل ۸-۶ مشخصه های J بر حسب V یک پیل فتوولتایی نوعی این منحنی از معادله ۲۱۶ و

با استفاده مقادیر $\bar{k} = 25 \text{ mA/cm}^2$ و $J_0 = 5 \times 10^{-10} \text{ mA/cm}^2$ و $T = 300 \text{ K}$ بدست آمده

است. نقاط توان حداکثر برای هر سطح آفتاب گیری نشان داده شده است.

ساخت وسایل فتوولتایی سیلیسیومی :

در حال حاضر وسایل فتوولتایی سیلیسیومی در زمره موثرترین پیلهای خورشیدی به کار رفته هستند ساخت آنها با خالص ترین درجه سیلیسیوم در دسترس (درجه خورشیدی) آغاز می شود. این سیلیسیوم از سیلیسیوم ناخالص تر (درجه نیمه هادی) که برای ساخت قطعات الکترونیکی به کار می رود گرفته می شود. مرحله نهایی ساخت ذوب منطقه ای نامیده می شود و در آن نواحی سیلیسیوم مذاب در میان توده ماده به حرکت درمی آید و ناخالصیهای باقیمانده ریز را با خود می برد خلوص درجه خورشیدی برجای مانده در توده ماده ۹۹۰۹۹۹ است.

این سیلیسیوم خالص رادریک بوته توسط امواجی با فرکانس رادیویی مشابه امواجی که در یک اجاق خوراکی مایکروویو به کار می رود به صورت مذاب نگه می دارند. این امر باعث می شود ماده مذکور به طور یکنواخت حرارت ببیند. ماده مذاب در محیطی از یک گاز خنثی نگهداری می شود. ماده ناخالصی را به دقت به ماده مذاب می افزایند تا ماده نوع n یا p بدست آید. سپس ماده مذاب را به صورت بلور درمی آورند روش بلورسازی که عموماً به کار می رود روش چکرالسکی است یک دانه بلور کوچک را که به یک گیره مخصوص متصل شده است در ماده مذاب داخل می کنند با بیرون کشیدن دانه ، یک شمش استوانه ای از جنس سیلیسیوم بلورین تشکیل شده و به تدریج

از ماده مذاب خارج می شود. قطرشمش به سرعت بیرون کشیدن ودانه از ماده مذاب بستگی دارد.

هرچه این سرعت کمتر باشد قطرشمش بیشتر خواهد شد. سرعتهای معمول از چندین سانتیمتر تا کسری از یک سانتیمتر در هر ساعت تغییر می کند و شمش هایی تا قطر ۱۰ سانتیمتر تولید می شود.

پس از آن شمشهای سیلیسیومی (نوع n یا p) با درجه خورشیدی را به شکل ویفرهای گرد به ضخامت تقریبی ۰,۰۷۵ سانتی متر می برند. این ویفرها پیل خورشیدی راتشکیل می دهند اگر ماده کف از نوع p باشد. دریک لایه نازک از ماده نوع n توسط عمل پخش کردن ناخالصیهای مناسب بر روی سطح ویفرتشکیل می شود. ضخامت لایه سطحی وسیله فتوولتایی نوعاچند میکرون ($1 = 10^{-4} \text{ cm}$ میکرون) یک الکترودفلیزی به قسمت زیرکف متصل می شود و شبکه ظرفی ازالکترودهای مشبک به لایه سطحی چسبانده می شود.

لایه سطحی معمولا بایک لایه ضد بازتاب اندود میشود تا بازتاب تابش در طول موجهایی که پیل نسبت به آنها خیلی حساس است ، کاهش می یابد . به هنگام ساخت پیل لازم است ضخامت بایه کف آنقدر کم باشد تا مقاومت سری درون پیل تقلیل یابد و از طرفی آن قدر زیاد باشد تا از نظر ساختمانی استحکام داشته باشد . لایه سطحی نیز باید آنقدر نازک باشد که اجازه دهد تابش خورشیدی به پیوند بتابد و از طرفی بقدر کافی

ضخیم باشد تا پیدایش الکترون- حفره در درون پیل به مقدار قابل ملاحظه برسد. باید دقت کرد تا الکترودهای فلزی به نحو خوبی متصل شوند. هرچند که ماده خام این فرآیند یعنی شن SiO_2 فراوان و ارزان است ولی زمان ساخت طولانی و هزینه های آن زیاد است. تحقیقات اخیر در خصوص نیمه هادی های نازک و بی شکل (غیرمتبلور) نشان داده است که می توان وسایل فتوولتایی را با هزینه کمتر تولید کرد. یک روش دیگر تحت بررسی بر مبنای استفاده از متمرکز کننده های منشوری از جنس پلاستیک است که امکان میدهند مقادیر بزرگتر شاربر روی پیلهایی با مساحت کمتر بتابند. اگر بتوان هزینه ساخت پیلها را با ضریب ۱۰۰ تقلیل داده و به مثلاً ۴۰ دلار در هر متر مربع رسانیده بهره کل حتی بانصف بازده متداول تولید انرژی الکتریکی به رقابت پردازند، خصوصاً به این دلیل که هزینه سوختهای فسیلی روبه افزایش است.

برآورد هزینه تولید برق:

در حال حاضر هزینه سرمایه گذاری برای نیروگاههای خورشیدی پارابولیک کانون خط SEGS با ظرفیت ۸۰-۳۰ Mwe در حدود ۲۹۰۰ الی ۴۲۰۰ دلار می باشد که ۵۰ الی ۷۰ درصد مربوط به هزینه ساخت و نصب مزرعه خورشیدی و ۱۵ الی ۲۵ درصد مربوط به هزینه سیکل حرارتی و ۵ الی ۱۰ درصد سرمایه گذاری اولیه مربوط به هزینه بالانس نیروگاه می گردد هزینه بهره برداری و نگه داری را می توان به دو بخش تعمیر و نگهداری تجهیزات و هزینه پرسنلی تقسیم بندی نمود که برای

نیروگاههای SEGS هزینه تعمیر و نگهداری در هر سال حدود ۱ ال ۰/۹ درصد سرمایه گذاری اولیه می باشد. تعداد پرسنل مورد نیاز برای نیروگاه های ۳۰ Mw مگاواتی ۳۳ نفر و برای نیروگاههای ۸۰ Mw مگاواتی ۵۳ نفر است که هزینه های مربوط به آن ۱/۲-۰/۹ درصد سرمایه گذاری اولیه نیروگاه می باشد جدول ۴ هزینه سرمایه گذاری اولیه بهره برداری و نگهداری و سوخت را برای نیروگاههای SEGS نشان می دهد با توجه به مقررات زیست محیطی نیروگاههای SEGS نشان می دهد با توجه به مقررات زیست محیطی نیروگاههای SEGS مجازند حداکثر ۲۵ درصد انرژی حرارتی خود را از منابع فسیلی تأمین نمایند.

اما در کشور ما با توجه به ارزان و در دسترس بودن گاز طبیعی می توان سهم بیشتری از انرژی حرارتی مورد نیاز را توسط گاز تأمین کرد بدینوسیله هزینه تولید برق این نیروگاهها را کاهش داد حال با استفاده از روش (levelited) (cost Energy) (LEX) می توان هزینه تولید برق را با توجه به میزان مصرف سوخت فسیلی تعیین کرد

$$LEC = \frac{A * c + O8M + F}{E}$$

در رابطه فوق C کل هزینه سرمایه گذاری اولیه A نرخ بازپرداخت سالانه

O8M = هزینه های بهره برداری و نگهداری در هر سال

F هزینه مصرف سالانه سوخت

E میزان انرژی الکتریکی تولید شده در هر سال می باشد

نرخ بازپرداخت سالانه و تابعی از طوی عمر نیروگاه (N) و نرخ تنزیل (r) و از رابطه

زیر محاسبه می شود :

$$A = \frac{r(1+n)^n}{(1+r)^n - 1}$$

چنانچه طول عمر نیروگاه ۳۰ سال باشد نرخ تنزیل ۸ درصد و ضریب ظرفیت ۵۰-۳۰

درصد در نظر گرفته شود و ۲۵-۵۰ درصد انرژی حرارتی توسط گاز طبیعی تامین شود

هزینه تولید برق برای نیروگاههای 30MW مگاواتی ۱۶-۱۲ C/kwh و نیروگاههای

۸۰ MW مگاواتی ۱۱-۹ C/kwh می باشد.

در حدود دو برابر هزینه تولید برق نیروگاههای فسیلی متعارف می باشد.

پیش بینی می شود با ادغام نیروگاههای خورشیدی با سیکل ترکیب بتوان هزینه تولید

برق را به ۸-۷ C/kwh کاهش داد

یکی از مزایای مهم این نیروگاهها کاهش میزان انتشار و CO₂ در مقایسه با نیروگاههای

فسیلی است برای مثال یک نمونه نیروگاه خورشیدی ۸۰ Mwe با ضریب ظرفیت ۳۵

درصد و بکارگیری ۲۵ درصد سوخت گاز کمکی در مدت ۳۰ سال از انتشار

۳۱۰ میلیون تن CO₂ تولیدی توسط نیروگاه فسیلی مشابه جلوگیری و چنانچه CO₂

زدایی حدود \$/ton ۲۰ در نظر گرفته شود به کارگیری این نیروگاه خورشیدی ۷۰

میلیون دلار از هزینه مذکور خواهد کاست .

نتیجه گیری :

نیروگاه خورشیدی پارابولیک کانون-خط اولین نیروگاه خورشیدی می باشد که جهت تولید برق به صورت تجاری مورد استفاده قرار گرفته است.

که این امر ناشی از عوامل زیر می باشد :

- طرح فنی ساده کلکتور و در دسترس بودن تکنولوژی ساخت و تولید انبوه آنها
- امکان بکارگیری سیستم تلفیقی با سوخت فسیلی کمکی به منظور اطمینان از عملکرد سیستم در شرایط آب هوایی مختلف ممانعت از کارکرد نیروگاه در بار

غیرنامی و تولید برق دربار پیک

- قابلیت اطمینان پذیری بالای سیستم در مقایسه با سایر نیروگاه های حرارتی خورشیدی که ناشی از دمای کارکرد مناسب کلکتورها باشد.

- سیستم ردیابی کلکتورها تک محوره است و تجربیات بدست آمده نشان می دهد که آرایش شمالی- جنوبی در مقایسه با آرایش شرقی غربی امکان دستیابی به

انرژی خورشیدی بیشتری را در طول سال فراهم می سازد.

- با توجه به اینکه قسمت تمرکز کلکتورهای پارابولیک کانون خطی در حدود ۱۰۰ الی ۲۰ و دمای کارکرد آنها ۴۰۰-۳۰۰ درجه سانتیگراد می باشد. استفاده از کروم سیاه یا آلیاژهای سرامیک- فلز برای سطوح جاذب رسیور و روغنهای حرارتی به عنوان سیال

جهت خرید فایل word به سایت www.kandoo.cn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

عامل کلکتورها مورد توجهی بیشتر قرار دارد بررسی به عمل آمده نشان می دهد برای

ظرفیت های کمتر از ۳۰ Mwe بکارگیری سیکل رانیگن و بولیر کمکی در مدار ثانویه

نیروگاه مناسب ترین طرح می باشد.

در صورتیکه برای فلز بالاتر از ۱۰۰Mwe به علت افزایش انرسی حرارتی مزرعه

خورشیدی استفاده از هیتر- روغن با سوخت فسیلی در مدار اولیه نیروگاه مناسبتر

می باشد.

هزینه سرمایه گذاری این نیروگاهها ۴۲۰۰-۲۹۰۰\$/kwe و هزینه های بهره برداری و

نگهداری آنها در هر سال حدود ۸۴-۸۵\$/kwe می باشد و چنانچه ۵۰-۲۰ درصد

انرژی حرارتی مورد نیاز نیروگاهها توسط سوخت فسیلی تامین شود هزینه تولید برق

۹-۱۱ \$kwh خواهد بود.

جهت خرید فایل word به سایت www.kandoocn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۵۱۱ تماس حاصل نمایید

Filename: Document1
Directory:
Template: C:\Documents and Settings\hadi tahaghoghi\Application
Data\Microsoft\Templates\Normal.dotm
Title: فصل اول
Subject:
Author: 2
Keywords:
Comments:
Creation Date: 3/28/2012 5:29:00 PM
Change Number: 1
Last Saved On:
Last Saved By: H.H
Total Editing Time: 0 Minutes
Last Printed On: 3/28/2012 5:29:00 PM
As of Last Complete Printing
Number of Pages: 154
Number of Words: 21,033 (approx.)
Number of Characters: 119,891 (approx.)