مقدمه:

در شرایط کنونی، تلاش در جهت خودکفایی و رفع وابستگی های تکنولوژی کشورمان، یکی از مبرمترین وظایف آحاد ملت ایران است و هرکس بنابه موقعیت خویش بایستی در این راستا گام بردارد. یکی از صنایع کشور که پیشرفت دیگر صنایع در گرو پیشرفت و توسعه آن است، صنعت برق می باشد. نیروگاههای موجود تولید برق از تکنولوژی بسیار بالایی برخوردارند، به طوری که در حال حاضر طراحی و ساخت آنها در انحصار چند کشور خاص می باشد. با توجه به اینکه رسیدن به این تکنولوژی در آینده نزدیک برای مان مقدور نیست، این سؤال پیش می آید که برای تأمین انرژی بدون نیاز به تکنولوژی وارداتی چه باید کرد؟ برج نیرو پاسخ مناسبی است به این سؤال چرا که از یک سو بحران انرژی را حل کرده و از سوی دیگر با داشتن تکنولوژی ساده و در عین حال مناسب برای شرایط اقلیمی کشورمان می تواند ما را در تأمین انرژی موردنیاز یاری نماید.

در ابتدا پیش گفتاری در مورد بحران انرژی در جهان آورده شده و در ادامه آن مقایسه ای اجمالی بین انواع انرژیهای موجود و لزوم استفاده از انرژی خورشید مورد بررسی قرار گرفته است.

در فصل اول پس از آشنایی مقدماتی با برج نیرو، مختصری در مورد کیفیت ساختمانی اجزاء برج و عملکرد آنها بیان شده و نهایتاً امکانات بهره برداری اضافی و افزایش راندمان در برجهای نیرو مطرح شده است.

فصل دوم به تئوری تشعشع خورشید اختصاص داده شده. در این قسمت با توجه به نیازی که مشاهده گردید ابتدا مکانیزم پدیده تشعشع و قوانین مربوط به آن به طور خیلی مختصر

گفته شده است. در ادامه مطلب، تشعشع خورشید و عواملی که بـرروی شـدت تشعشـع آن اثر می گذارند و نهایتاً پوشش ها بررسی شده اند.

فصل سوم شامل محاسبات دودکش است. در این فصل فشار رانش دودکش، دمـای هـوای خروجی از دودکش، تلفات دودکش و بالاخره راندمان دودکش مطرح شده است.

در فصل چهارم به بررسی تئوریک توربین پرداخته شده است. ابتدا با داشتن افت فشار در دوطرف پروانه قدرت ماکزیمم توربین محاسبه شده و سـپس بـا داشـتن قـدرت مـاکزیمم، فاکتور بتز، برای این نوع توربین خاص بدست آمده است. نهایتاً توان واقعی و نیـروی وارد بر پره ها، مورد بررسی قرار گرفته اند.

فصل پنجم شامل اطلاعات مختصری در مورد کلکتور است. در این فصل به بررسی بالانس انرژی در کلکتور، پرداخته شده است. همچنین مقایسه ای بین بالانس انرژی برجهای نیـرو و سایر نیروگاههای خورشیدی انجام شده است.

فصل ششم به ارزیابی اقتصادی برجهای نیرو اختصاص داده شـده. در ایـن قسـمت ابتـدا، هزینه مخصوص اجزاء مختلف (دودکش، توربین، کلکتور) و سـپس هزینـه مخصـوص کـل پروژه برای دو نوع پوشش شیشه ای و پلاستیکی مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه برخی از مزیتهای برج نیرو نسبت به سایر نیروگاهها، بیان شده است.

در فصل آخر مشخصات و نتایج حاصل از اولین برج نیروی آزمایشـی کـه در مانزانـارس اسپانیا احداث گردیده آورده شده است.

پیش گفتار:

چرا انرژی خورشیدی؟

مصرف انرژی در جهان به طور سرسام آوری رو به ازدیاد است. بالارفتن سطح زندگی مردم که با جانشین شدن انرژی مکانیکی بجای انرژیهای انسانی و حیوانی همراه بوده است از یکسو و ازدیاد جمعیت از سوی دیگر باعث بالارفتن میزان مصرف انرژی شده اند. بشر مترقی امروز برای تولید آب آشامیدنی، برای تولید مواد غذایی و برای کلیه کارهای روزمره خود نیازمند استفاده از انرژی می باشد. بطوریکه بدون انرژی زندگی او کلاً مختل می گردد.

طبق برآوردهایی که دانشمندان نموده اند، از ابتدای خلقت تا سال 1852 میلادی، بشر معادل 1.2×10^{15} کیلووات ساعت و در فاصله 1852 تا 1952 نیز معادل 1.2×10^{15} کیلووات ساعت انرژی مصرف نموده است. پیش بینی می شود که در فاصله 1952 تا 2052 مصرف انرژی بشر به 30×10^{15} تا 120×10^{15} کیلووات ساعت برسد.

امروزه بین تقاضای انرژی و انرژیهای در دسترس و قابل مهار هماهنگی وجود ندارد و دنیای امروز با این بحران بزرگ روبروست. آنچه مسلم است منابع شناخته شده انرژی مورد استفاده بشر (نظیر ذغال سنگ، نفت، گاز و غیره) در صورتیکه صددرصد نیزقابل مهار و استخراج باشند نمی توانند پاسخگوی نیازهای آتی بشر باشند و دیری نخواهد پائید که این منابع نیز به اتمام خواهند رسید. در ضمن نگهداری و حفظ بعضی از منابع جهت کاربردهای فوق العاده ویژه نظیر تغذیه و داروسازی ضرورت دارد از سوی دیگر استفاده از اینگونه انرژیها با مشکلاتی توأم می باشد. مثلاً در مورد سوختهای هسته ای، امکان

تبدیل آنها محدود بوده و همچنین استفاده از آنها تکنولوژی پیشرفته ای لازم دارد. بعلاوه از بین بردن فضولات آن نیز مشکلاتی ایجاد می کند.

در مورد سوختهای فسیلی نیز استفاده مداوم از هریک از آنها در درازمدت ضمن داشتن مخاطره های محیط زیست هزینه های اقتصادی فزاینده ای را به دنبال دارد.

منابع شناخته شده انرژی عبارتند از:

- سوختهای فسیلی (شیمیایی) نظیر زغال سنگ، نفت، گاز طبیعی
- چوب، فضولات گیاهی، حیوانی و انسانی (بیوماس)
- مواد غذایی (انرژی مصرفی انسان و حیوان)
- جریان آبهای سطحی مانند رودخانه ها و آبشارها
- باد
- امواج دریا
- جزر و مد
- حرارت زیر پوسته زمین (ژئوترمال)
- حرارت آب سطح دریاها
- واکنشهای هسته ای
- انرژی خورشید.

در این قسمت منابع مختلف انرژی بطور مختصر با یکدیگر مقایسه می شوند.

۱- **سوختهای فسیلی**: سوختهای فسیلی مرسومترین منبع انرژی مورداستفاده بشر است. بشر برای اینکه از منابع سوختهای فسیلی استفاده کند مجبور است که آنها را سوزانده

بصورت انرژی گرمایی درآورد تا هم برای مصارف گرمایی و هم برای تبدیل به سایر انرژیها مثل الکتریکی و مکانیکی مناسب باشد. مشهورترین اثر نامطلوب استفاده از سوختهای فسیلی، آلودگی محیط زیست می باشد، بخصوص سوختن زغال سنگ باعث تولید گازهای اکسید گوگرد، اکسید ازت، دی اکسید کربن و نیز ریزش بارانهای اسیدی می‌گردد. در ضمن گازکربنیک بصورت مانعی در مقابل تشعشع حرارتی زمین به آسمان عمل می کند و در درازمدت موجب افزایش دمای کره زمین می گردد که خود اثرات نامطلوبی برروی محیط زیست می گذارد. مشخصه دیگر سوختهای فسیلی محدود بودن منابع آن است و بشر فقط تا چند سال دیگر قادر خواهد بود که احتیاجات خود را از این منابع تأمین نماید. بدین ترتیب منابعی را که طبیعت در مدت چهار میلیون سال بوجود آورده، بشر در مدتی کمتر از چهارصد سال بکلی مصرف خواهد نمود.

البته کشور ما خوشبختانه بخاطر بهره از منابع عظیم نفت و گاز نسبت به بسیاری از کشورهای جهان، وضعیت خوبی دارد، ولی ناچار به جستجوی راههای مطمئن تر و پایدار تر برای تولید انرژی مصرفی در سالهای آتی هستیم. بخصوص که در وضعیت فعلی، مقدار زیادی از نفت استخراجی کشور در بازارهای جهانی به فروش می رسد.

۲- **چوب، فضولات گیاهی، حیوانی و انسانی**: این مواد که قابل تبدیل به انرژی هستند کلاً به نام بیوماس نامیده می شوند. روش تبدیل این مواد به انرژی به دو صورت زیر می‌باشد: مواد گیاهی، حیوانی یا انسانی فوق الذکر را یا از طریق سوزاندن مستقیماً به حرارت تبدیل می کنند و یا اینکه تحت شرایط خاصی آنها را تخمیر کرده و با تولید بیوگاز، قسمتی از انرژی موردنیاز را تأمین می کنند.

اشکال روش فوق تکنولوژی نسبتاً پیچیده آن است که استفاده از آن را در محیطهای روستایی با توجه به نیروی انسانی متخصص، محدود می کند.

مسأله قابل توجه این است که این گونه انرژیها نیز محدود بوده و نمی تواند به عنوان یک منبع انرژی مطمئن برای بشر محسوب گردند.

۳- دیگر انرژیها: مانند انرژی جریان آبهای سطحی، رودخانه ها و آبشارها، انرژی باد، انرژی جزر و مد دریاها (که بدلیل جاذبه ماه ایجاد می شود) انرژی ژئوترمال (که استفاده از آن محدود به نواحی است که به این انرژی دسترسی دارند). این انرژیها تا حدودی می‌توانند نیازهای انرژی جهان را برطرف کنند، لکن هیچیک از این انرژیها تکیه گاه مطمئنی برای انرژی بشر محسوب نمی گردد.

تنها انرژیهایی که می توانند به عنوان تأمین کننده نیازهای انرژی بشر در آینده موردبحث قرار گیرند، انرژی خورشید و انرژی واکنشهای هسته ای آن هم از نوع فیوژن می باشد.

در این مقاله با اینکه بر آن هستیم که کاربرد انرژی خورشیدی را مطرح کنیم، اما با توجه به اینکه پیش بینی می شود واکنشهای هسته ای فیوژن اهمیت زیادی در تأمین انرژی آتی بشر دارد، لازم می دانیم که تاحدودی نیز در این باره بحث گردد.

واکنشهای هسته ای: واکنشهای هسته ای که بشر می تواند از آنها کسب انرژی نماید عموماً بر دو نوع زیر می باشند.

الف- واکنش هسته ای فیژن:

واکنش هسته ای فیژن عبارتست از شکست هسته اتمهای سنگین و بهره برداری از انرژی حاصل از شکست هسته (فیژن). این کار در واقع در سال 1939 توسط گروهی به

سرپرستی فرمی، آغاز شد. مسأله مبتنی بر فرمول معروف اینشتین یعنی $E=mc^2$ بود. بدین ترتیب که وقتی هسته یک اتم سنگین مثل اورانیوم 235 ، بمباران نوترونی شود، اورانیوم به اتمهای سبکتری شکسته می شود بطوریکه مجموع جرم آنها (اتمهای سبک ایجاد شده و نوترونهای آزاد شده) از مجموع جرم اورانیوم و نوترون بمباران کننده کمتر خواهد بود. برطبق فرمول اینشتین این کاهش جرم بصورت انرژی آزاد می گردد. چنانچه این تبدیل جرم به انرژی بصورت زنجیره ای انجام گیرد، انرژی فوق العاده ای ایجاد می شود که قابل استفاده خواهد بود.

البته تمام انرژی آزاد شده توسط فیژن قابل استفاده و بهره برداری نیست و قسمتی از آن به صورت تشعشع در می آید، ولی بیشتر آن که قابل بهره برداری است، بصورت انرژی جنبشی توسط نوترونهای ساطع شده و ذرات حاصل از فیژن حمل می شود.

در عمل می توان توسط دستگاهی به نام رآکتور این انرژی را به سیالی مانند آب داده و از انرژی بخار آن بهره برداری کرد. طبق آمار سال 1982 جمعاً 277 نیروگاه هسته ای در 24 کشور جهان با ظرفیت تولیدی 160,000 مگاوات قدرت الکتریکی وجود داشته که تقریباً 15% از مصرف برق جهان را در این سال تأمین نموده است. با اینکه با کشف امکان استفاده از واکنش هسته ای فیژن برای تولید انرژی در سطح بسیار گسترده، به یک منبع جدید از انرژی متمرکز دست یافته شده، ولی این منبع نیز بخاطر محدودبودن منابع اورانیوم، نمی تواند نگرانی بشر را برای سالهای پربحران آینده که همچنان سیر صعودی افزایش مصرف ادامه خواهد داشت، رفع کند.

ب- واکنش هسته ای فیوژن:

واکنش هسته ای فیوژن عبارتست از در هم رفتن هسته ای اتمهای سبک. این روش تولید انرژی همان طریقی است که در طبیعت انرژی تولید می شود. بدین معنا که در خورشید و سایر ستارگان، اتمهای هیدروژن درهم رفته و تبدیل به اتمهای هلیوم می شوند. در نتیجه این عمل مقدار زیادی انرژی تولید می گردد. این روش تولید انرژی در کره زمین نیز در ساخت بمبهای هیدروژنی بکار گرفته شده است. بدین ترتیب که در اطراف مخزنی از اتم دوتریم که ایزوتوپی از هیدروژن است یک بمب منفجر می کنند و در نتیجه در هم رفتن هسته انجام می شود که انرژی فوق العاده تولید می نماید. اما تولید کنترل شده انرژی به روش درهم رفتن هسته ای، مسأله مهندسی دشواری است که در دهه های اخیر مورد مطالعه قرار گرفته است. دوتریم را می توان از آب دریا بدست آورد. با توجه به اینکه در 6500 اتم هیدروژن در آب یک اتم دوتریم وجود دارد، محاسبه نشان می دهد که در هر لیتر آب دریا معادل 200 لیتر بنزین، انرژی حرارتی وجود دارد.

برای تولید انرژی درهم رفتن هسته ای لازم است که یک سری فعل و انفعالات هسته ای رخ دهد. این فعل و انفعالات همان فعل و انفعالات انجام شده در خورشید و دیگر ستارگان است که در خورشید در درجه حرارت 15 میلیون درجه کلوین انجام می شود و اگر بخواهیم این فعل و انفعالات در روی زمین انجام گیرد، نیاز به درجه حرارتی در حدود 20 میلیون درجه کلوین می باشد.

دیده می شود که این اعمال در خورشید در درجه حرارت پایین تری انجام می شود و این به علت فشار زیاد و در دسترس بودن مقدار زیادی اتم هیدروژن است.

می دانیم که ماده در طبیعت به صورت جامد، مایع و گاز وجود دارد . اما در درجات خیلی بالا ماده به وضع جدیدی در می آید که به آن پلاسما می گویند و حالت چهارم ماده است. در این حالت انرژی بقدری بالا است که الکترونها هسته های خود را ترک می کنند و ماده به صورت گاز یونیزه شده ای در می آید که مخلوطی از هسته های مثبت و الکترونهای منفی می باشد. البته پلاسما دارای بار الکتریکی نبوده و خنثی می باشد و خواص آن کاملاً با گاز طبیعی فرق دارد.

انرژی تولیدشده در اثر درهم رفتن هسته ای یک گرم دوتریم 2.352×10^{8} کیلوژول می باشد و یک گالن آب دریا در حدود $\frac{1}{8}$ گرم دوتریم دارد که معادل 2.94×10^{7} کیلوژول انرژی تولید می کند مقدار کل دوتریم موجود در آب اقیانوسها، 4.5×10^{19} گرم است که ارزش حرارتی آن 3×10^{24} کیلووات ساعت می باشد و این مقدارا نرژی می تواند میلیاردها سال انرژی لازم بشر را تأمین کند. البته بایستی توجه داشت که دست یافتن به این تکنولوژی بسیار مشکل است، زیرا ایجاد حالت پلاسما برای ماده نیاز به درجه حرارت بسیار بالایی دارد که در این درجه حرارت تمام فلزات بصورت مذاب می باشند و به همین دلیل دست یافتن به این تکنولوژی در آینده نزدیک مقدور نمی باشد. هرچند که اگر بشر به چنین تکنولوژی دست یابد، در واقع انرژی آینده خویش را تأمین کرده است.

انرژی خورشید:

منشأ بسیاری از انرژیهای یادشده انرژی خورشید می باشد. به عنوان مثال: خورشید باعث تبخیر آب و در نتیجه سبب افزایش انرژی پتانسیل آن می شود که این خود منبع نیروی

برق آبی است و یا تولید باد که به علت گرمایش سطح زمین در اثر تابش خورشید بوجود می آید و خود باد باعث بوجود آمدن امواج دریا می شود.

همچنین انرژی که گیاهان سبز تولید می کنند و انرژی فسیلی که ناشی از انباشته شدن آنها می باشد، نیز منشأ خورشیدی دارد و خلاصه با کمی تأمل دیده می شود که تقریباً منشأ اکثر انرژیها، انرژی خورشید می باشد. امروز بیش از 99.9 درصد از مجموع انرژیهایی که به زمین منتقل می گردد از خورشید منشأ می گیرد که مقدار آن 1.8×10^5 تراوات است ($Tera=10^{12}$) انرژی حاصل از تابش خورشید که در هر روز به زمین می رسد 100,000 برابر مقدار انرژی تولیدشده توسط کلیه نیروگاههای جهان است.

بنابراین با توجه به تابش خورشید که به میزان 1.8×10^5 تراوات بوده کمبود بالقوه انرژی در جهان وجود ندارد و انرژی خورشید با مقداری معادل 20,000 برابر مصرف کنونی بشر، بنظر می رسد که منبع مناسبی برای تأمین احتیاجات او باشد، بخصوص اینکه استفاده از آن هیچ گونه آلودگی محیطی و حتی آلودگی حرارتی بوجود نمی آورد.

کاربرد انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع انرژی برای مصارف بزرگ از امیدهای آینده است. اشکال بزرگ در کاربرد انرژی خورشیدی، متمرکز نبودن، تناوبی بودن و ثابت نبودن مقدار تشعشع می باشد که اگر بتوانیم وسیله ای جهت متمرکز کردن آن بسازیم، بطوریکه نوسانات آن تأثیر زیادی برروی آن نگذارد به یک منبع انرژی بسیار بزرگ دست یافته ایم که تا قرنها می تواند تأمین کننده نیاز انرژی بشر باشد. با توجه به وضع انرژی در جهان و رشد جمعیت و مصرف در جهان، اگر بطور هوشمندانه رفتار کنیم خواهیم دید که خورشید تنها منبع انرژی است که انرژی آن بوفور و بصورت رایگان و در همه ادوار

در اختیار می باشد. بعلاوه اینکه در تبدیل انرژی خورشید مسائلی نظیر آلوده کردن محیط زیست وجود ندارد. همان طور که قبلاً ذکر شد انرژی خورشید که در زمین می تواند مورد استفاده قرار گیرد، حدود بیست هزار برابر کل انرژی موردمصرف فعلی بشر می باشد. اگر راندمان تبدیل انرژی خورشید به انرژی موردنیاز بشر را تنها 1% در نظر بگیریم، 0.5% سطح کره زمین برای تقاضای کل انرژی بشر کافی خواهد بود.

برطبق گزارش ERDA (اداره کل تحقیقات و توسعه انرژی)، $\frac{1}{4}$ کل انرژی موردنیاز ایالات متحده در سال 2020 از انرژی خورشیدی تأمین خواهدشد.

با توجه به آلودگی محیط زیست از یکسو و رشد مصرف انرژی و کمبود انرژیهای موجود از سوی دیگر، برخی از دانشمندان تنهاراه حل این بحران را استفاده از انرژی خورشیدی می دانند.خورشیدی که زندگی ما ازبدوخلقتجهان همیشه بدانبستگیداشته و خواهدداشت. با توجه به موقعیت جغرافیایی کشورمان، خواهیم دید که ایران با تقریباً 3600 ساعت تابش خورشید در سال، یکی از غنی ترین ممالک در زمینه انرژی خورشیدی می باشد و می تواند ما را در بکارگیری این انرژی مخصوصاً در تولید برق یاری نماید.

یکی از طرحهای مفید در زمینه تولید برق از انرژی خورشید، طرح برج نیرو می باشد که با استفاده از این طرح می توان حتی نیروگاهی با تولید 1000 مگاوات احداث کرد. مخصوصاً در کشورما که از نعمت آفتاب فراوان بهره مند است و در عین حال هنوز از صنایع و تکنولوژی عالی برخوردار نیست، می توانیم با استفاده از تکنولوژی برجهای نیرو که سادهترین روش تبدیل انرژی خورشید به انرژی الکتریکی است به منبع مطمئن و مداومی در جهت تأمین انرژی کشورمان دست یابیم.

فصل اول

آشنایی با برج نیرو

مقدمه:

برج نیرو مدرن ترین و اقتصادی ترین مولد انرژی الکتریکی، با استفاده از انرژی خورشید است. انرژی خورشید در کلکتور این برج، در مقیاسی وسیع هوای گرم تولید نموده و آن را به سمت یک دودکش بلند هدایت می کند. در اثر تغییر دانسیته هوا بعلت گرم شدن و همینطور اختلاف فشار بالا و پایین دودکش جریان شدیدی از باد بوجود می آید. باد حاصل که اصطلاحاً باد القائی نامیده می شود، دارای انرژی زیادی بوده که می توان بوسیله یک توربین بادی این انرژی را به انرژی الکتریکی تبدیل نمود و آن را مورد استفاده قرار داد.

فکر ایجاد این نیروگاه از جمع سه اصل شناخته شده علمی مربوط به طرز کار گرم خانه‌های آفتابی، آسیابهای بادی و یک دودکش بلند سرچشمه گرفته است که ابتکار آن از پروفسور اشلایش استاد دانشگاه اشتوتگارت می باشد.

برج نیرو از اجزاء زیرتشکیل شده است:

الف- محوطه گلخانه ای یا اصطلاحاً کلکتور که خاک و هوای زیر پوشش بوسیله تشعشع خورشید گرم می شود.

ب- دودکش که در اثر اختلاف فشار طرفین آن، هوا در داخلش به جریان می افتد.

ج- توربین بادی که انرژی باد را از طریق ژنراتور به انرژی الکتریکی تبدیل میکند.

عملکرد برج نیرو را می توان بدین گونه تشریح کرد:

انرژی خورشید پس از عبور از پوشش شفاف کلکتور، جذب خاک می شود. کف کلکتور (سطح زمین) را اصطلاحاً جذب کننده می گوییم. برای افزایش ضریب جذب، سطح

جذب‌کننده را با خاک سیاه می پوشانند. خاک که به عنوان یک جذب کننده طبیعی عمل می کند، پس از گرم شدن با انتقال حرارت به روشهای جابجایی و تشعشع در باند طول موج بلند، باعث افزایش درجه حرارت زیر پوشش می گردد. از آنجا که پوشش برای تشعشعات با طول موج بلند، همانند یک جسم کدر رفتار می کند (مانع عبور تشعشعات حرارتی با طول موج بلند می شود) از تلفات حرارتی زیاد به بیرون جلوگیری می کند. هوا در اثر افزایش درجه حرارت، سبک شده و با توجه به اختلاف فشاری که دودکش ایجاد می کند، جریانی از باد به سمت دودکش روانه می شود. این جریان باد باعث مکش هوا از پیرامون کلکتور به درون آن می گردد. بطور مداوم هوا پس از کسب گرما، منبسط شده و در داخل دودکش جریان می یابد و به این صورت جریان پیوسته ای از باد بوجود آمده که پس از ورود به دودکش و برخورد به توربین، انرژی جنبشی آن به انرژی مکانیکی و در نهایت به انرژی الکتریکی تبدیل می شود.

اجزاء برج نیرو:

در این قسمت مختصری درباره کیفیت ساختمانی این اجزاء بحث می گردد.

۱- دودکش:

تکنیک های مختلفی برای ساخت دودکش وجود دارد که ساده ترین و در عین حال اقتصادی ترین نوع آن دودکش های فلزی پیش ساخته است. در این نوع دودکش، هر قطعه آن از ورق گالوانیزه و مقاوم در مقابل خوردگی و عوامل محیطی ساخته می شود. ضخامت ورق بکاررفته در آن تابع عمر قابل استفاده ای است که برای دودکش درنظر می گیرند که عمر دودکش نیز به نوبه خود، تابع شرایط جوی محل، ارتفاع و قطر دودکش،

خواص فیزیکی هوایی که از دودکش می گذرد و نهایتاً کیفیت بارندگی، باد، زلزله و سایر عوامل محیطی است. در واحدهای با ظرفیت بالا که دارای دودکش فلزی هستند، چون ارتفاع دودکش فوق العاده زیاد است، برای پایداری آن از کابلهای مهارکننده و وزنه های بالانس استفاده می شود.

دودکش های غیرفلزی، معمولاً از بتن مسلح ساخته می شوند. از این دودکش ها هنگامی که نسبت ارتفاع دودکش به قطر آن کوچک باشد استفاده می گردد. اتصال دودکش به فنداسیون به نحو خاصی صورت میگیرد. ضمن اینکه نباید مزاحمتی برای جریان باد به داخل دودکش ایجاد کند، باید قادر باشد نیروی وزن دودکش و ممان خمشی حاصل از بارهای جانبی را کاملاً به فنداسیون منتقل کند.

۲- توربین و ژنراتور:

توربین انرژی باد را به انرژی الکتریکی تبدیل می کند. تغییراندازه حرکت باد در اثر برخورد به پره های توربین باعث چرخش آن و تولید برق در ژنراتور می شود. توان تولیدشده در ژنراتور با سطح مقطع عبور جریان و با توان سوم سرعت متناسب است. به علت ناپایداری توربین در سرعتهای زیاد و در نتیجه افزایش استهلاک توربین، سرعت جریان هوا چندان قابل افزایش نخواهد بود. لذا طراحان برای افزایش توان ژنراتور، مقطع عبور جریان را بیشتر می کنند. به همین علت این نوع توربین ها از ابعاد بزرگتری برخوردار بوده دارای پره‌های طویل می باشند.

اصول کار این نوع توربینها، مشابه اصول کار توبینهای باد طبیعی است، با این اختلاف که در این توربینها محور بصورت قائم است ولی در توربینهای باد طبیعی محور به صورت

افقی قرار می گیرد. بنابراین با اندکی تغییرات در توربینهای بادی، مـی تـوان از آنهـا بـرای برج نیرو نیز استفاده کرد.

پایداری این توربینها در مقایسه بـا توربینهـای بـاد طبیعـی بـه علـت یکنـواختی جریـان در دودکش و کمبود نیروهای دینامیکی بیشتر است.

مقدار انرژی تشعشعی در طی ساعات مختلف روز و بسته به وضعیت جوی تغییر می کند. این تغییرات باعث متغیر بودن سرعت توربین و در نتیجه عدم تثبیت فرکـانس در خروجـی ژنراتور می شود. برای تثبیت فرکانس متدهای مختلفی وجود دارد که در زیر به یکی از آنها اشاره می شود:

- ابتدا جریان متناوب خروجی از ژنراتور که دارای فرکانش متغیر است، به جریان مستقیم تبدیل می شود. سپس جریان مسـتقیم را بـا اسـتفاده از اینورتـور، بـه جریـان متنـاوب بـا فرکانس ثابت تبدیل می کنند. در این صورت با متغیر بودن دور توربین، همـواره فرکـانس، ثابت خواهد ماند و توان خروجی از ژنراتور قابل تزریق به شبکه مصرف کننده خواهد بود. سرعت باد در طول روز متغیراست بطوریکـه سـرعتهای مختلـف، فرکانسـهای مختلفـی را خواهد داشت و فرضاً مقدار متوسطی هم می توان برای آن فرض کـرد. حـال بـا توجـه بـه تعادل اقتصادی بین انرژی و هزینه تجهیزات (توربین ژنراتور) و منحنی فرکـانس- سـرعت باد، ظرفیت ژنراتور را براساس سرعت مشخصه ای تعیین مـی کننـد کـه حـدوداً 1.5 تـا 2 برابر سرعت متوسط باد در یک روز نرمال از سال است.

در سرعتهای بالاتر از سرعت مشخصه، انرژی باد بیشتر از ظرفیت سیستم خواهد بود. لذا برای جلوگیری از صـدمات احتمـالی بـه سیسـتم، آن را طـوری طراحـی مـی کننـد کـه در

سرعتهای بالاتر از سرعت مشخصه، توان ژنراتور همواره ثابت بماند و برابر ظرفیت اسمی آن باشد. در سرعتهای پایین تر از سرعت مشخصه، سیستم عمل می کند، یعنی ژنراتور برق تولید می کند؛ اما تولیدی کمتر از ظرفیت اسمی. برای توربینهای بادی یک سرعت حداقل مجاز تعریف می شود. اگر سرعت باد به حدی برسد که عمل کردن سیستم اقتصادی نباشد به این سرعت، «سرعت حداقل مجاز» گفته می شود. سرعت حداقل مجاز به ظرفیت ژنراتور انتخاب شده بستگی دارد و درواقع هرچه قدرت اسمی ژنراتور بیشتر باشد سرعت حداقل مجاز نیز بیشتر خواهد بود و بالعکس.

۳- کلکتور:

کلکتور از یک محوطه گلخانه ای مانند تشکیل شده و پوشش کلکتور معمولاً از جنس پلاستیک اختیار می شود. مقاومت پوشش باید در حدی باشد که بتواند برف و باران و بادهای محلی را تحمل کند. معمولاً پوشش کلکتور بصورت یک ساختمان آهنی ساده است که به قطعات چهارگوش تقسیم شده و بر روی ستونهای نازک فولادی قرار می گیرد. سوراخهایی جهت تخلیه آب باران و شستشوی پوشش برروی هر قسمت در نظر گرفته می شود. برای جلوگیری از تلفات حرارتی بیشتر، در پیرامون پوشش مستهلک کننده های باد نصب می شود. این عمل از خنک شدن سطح پوشش بوسیله بادهای افقی جلوگیری می کند. نسبت انرژی منتقل شده به داخل دودکش به انرژی جذب شده توسط کلکتور، راندمان کلکتور گفته می شود. راندمان کلکتور تابع عوامل زیادی نظیر موقعیت جغرافیایی نیروگاه، کیفیت و رنگ خاک، سرعت و جهت بادهای محلی، نوع پوشش به کار رفته، ارتفاع دودکش، وضعیت شیب زمین و ... می باشد. لبه های پوشش باید ارتفاع مشخصی در حدود حداقل

دو متر از سطح زمین داشته باشند. این مقدار به این علت در نظر گرفته می شود تـا امکـان قدم زدن در زیر پوشش وجود داشته باشد. هرچه از پیرامـون کلکتـور بـه سـمت دودکـش نزدیک می شویم این فاصله افزایش می یابد. این افزایش ارتفاع به بهبود پروفیـل جریـان و کاهش تلفات انرژی کمک می کند.

هنگام روز تشعشع خورشید باعث افزایش درجه حرارت خاک می شود و هنگـام شـب کـه خورشید وجود ندارد، درجه حرارت زمین به علت انرژی کـه در طـول روز دریافـت کـرده است از هوای محیط بیشتر است. این اختلاف دما عامل انتقـال حـرارت از زمـین بـه هـوای مجاور بوده و باعث می شود که در طول شب نیز تولید داشته باشیم. از این لحاظ، ایزولـه کردن کف کلکتور مناسبت ندارد. گرچه ایزوله کردن آن مانع اتلاف حرارتـی در طـول روز به زمین می شود ولی ترجیح داده می شود که در طول شب نیز تولید داشته باشیم.

سرعت و دمای هوا در محدوده اطراف دودکش نسبتاً زیاد است و باید پوشش این محدوده از جنس مقاوم باشد تا بتواند تحمل سرعتهای زیاد و دماهای بالا را داشته باشد. سعی می شود عمر این قسمت از پوشش به اندازه عمر خود دودکـش و بیشـتر از 25 سـال انتخـاب شود به منظور بهبود شفافیت پوشش و در نتیجه عملکرد بهتر کلکتور، هر 5 الـی 10 سـال پوشش قسمتهای دیگر عوض می شود. در پیرامون دودکـش کـه پایـداری و دوام پوشـش مطرح است (بعلت دمای نسبتاً زیاد) از پوشش مقاوم و تقویت شده کـه اصـطلاحاً پوشـش مسلح گفته می شود، استفاده می کنند.

امکانات بهره برداری اضافی:

از لحاظ امکان بهره برداری اضافی و افزایش راندمان، به موارد زیر اشاره می شود:

- می توان ساختار دودکش را چنان طرح کرد که امکان احداث توربینهای بـاد طبیعـی نیز در انتهای آن وجود داشته باشد. در این صورت با یک ساختار مـی تـوان از دو توربین بهره برداری نمود. یکی از آنها در داخل دودکش و با جریـان بـاد القـایی و دیگری در نوک دودکش که با جریان باد طبیعی و یا مستقلاً بـا جریـان بـاد القـائی انتهای دودکش و یا بصورت ترکیبی از ایندو بهره برداری می شود.
- از آنجا که فضای زیر پوشش از نظر شرایط آب و هـوایی وضـعیت یـک گلخانـه را دارد، می توان از محوطه زیر پوشش به منظور تولید محصولات کشاورزی استفاده نمود.

فصل دوم

انتقال انرژی از طریق تشعشع

مقدمه:

انرژی از طریق تشعشع بدون توجه به نوع آن، با سرعت نور انتشار می یابد. انتقال انـرژی از طریق تشعشع، بصورت امواج الکترومغناطیسی انجام می گیرد. تشعشع در محیط عاری از جرم نیز صورت می گیرد، مانند انتقال انرژی از خورشید به زمین که از میلیونها کیلومتر فضای خلأ می گذرد و به زمین می رسد. در تشریح پدیده تشعشع مـی تـوان از دو نظریـه تئوری الکترومغناطیسی و تئوری ذره ای استفاده کرد.

تئوری الکترومغناطیسی بیان می کند که تشعشع را میتوان بصورت امواجی که با فرکـانس v نوسان می کنند و دارای تولید موج λ هستند، در نظر گرفـت کـه سـرعت انتشـار معـادل سرعت نور است و از حاصلضرب فرکانس درطول موج بدست می آید.

$$c = v\lambda$$

تئوی‌ذره فرض‌می‌کند که‌انرژی‌تشعشعی بصورت‌واحدهای‌کوچک‌انرژی که فوتون نام دارد منتقل‌می شود.هر فوتون با سرعت نورحرکت کرده و مقدار انرژی آن از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$E = vh$$

که در این رابطه h ضریب پلانک است. مکانیزم آزاد شدن انـرژی برمبنـای تئـوری ذره ای بدین صورت توجیه می شود که وقتی جسم گرم می شود الکترونهـای آزاد مـی تواننـد بـه مدار بالاتری جهش نمایند. این وضعیت از نظـر سـاختمان اتمـی ناپایـدار اسـت و الکتـرون مجدداً به مدار قبلی خود باز می گردد. هنگامیکـه یـک الکتـرون بـه مـدار انـرژی خـود بـاز می‌گردد یک فوتون رها می کند که انرژی آن برابر با اختلاف بین انرژی در قسـمت جهـش

یافته و حالت تعادل. انرژی ساطع شده از جسم بصورت طیفی از فرکانسهای مختلف در فضا پراکنده می شود. انتشار انرژی فقط به علت افزایش دمای جسم صورت می گیرد.

همانطوریکه ذکر شد، بر مبنای نظریه الکترومغناطیسی انرژی از طریق تشعشع به صورت امواج الکترومغناطیسی صورت می گیرد. یک طیف الکترومغناطیسی به چند ناحیه از طول موجها تقسیم می گردد. تشعشع حرارتی بین طول موجهای 10^{-4}-10^{-7} متر قرارگرفته است.

خواص تشعشعی:

خواص تشعشعی تابعی از طول موج هستند. این خواص، چگونگی انتشار، انعکاس و جذب را در سطوحی که در معرض تشعشع قرار دارند بررسی می کند. مثلاً یک سطح ممکن است منعکس کننده خوبی برای طول موجهای مرئی و منعکس کننده بدی برای اشعه مادون قرمز باشد. همچنین این خواص، تابع جهتی است که در آن اشعه به سطح برخورد می کند. وقتی انرژی تشعشعی به سطحی برخورد می کند، مقداری از آن منعکس و مقداری جذب و مقداری نیز از آن عبور می کند. اگر ضریب انعکاس را با P_r و ضریب جذب را با α و ضریب انتقال را نیز با t نمایش دهیم، خواهیم داشت:

$$p_r + \alpha + t = 1$$

تقریباً در طیف نور مرئی اغلب سطوح مات می باشند یعنی از خود انرژی تشعشعی را عبور نمی دهند. برای این اجسام $t=0$ است.

برای جسم سیاه ایده آل، ضریب جذب معادل یک است و این نشان می دهد تمام انرژی تابیده شده را جذب می کند.

یکی از خواص مهم تشعشعی کلی، ضریب نشر Emissivity جسم است که بنا بـه تعریـف عبارتست از کل انرژی منتشره از جسم به کل انرژی منتشر شده از یک جسم سیاه با همان درجه حرارت که رابطه ریاضی آن به صورت زیر می باشد:

$$E = \frac{E(T)}{E_b(T)}$$

که در آن b مخفف و حرف اول کلمه black به معنی «سیاه» است.

قانون پلانک:

وقتی یک جسم سیاه با دمای T را در نظـر بگیـریم، فوتونهـا از سـطح جسـم منتشـر مـی گردند. می دانیم که انرژی این فوتونها تابعی از درجه حرارت سطح می باشد. ماکس پلانک نشان داد که انرژی تشعشع یافته در طول موج λ از جسم سیاهی کـه در درجـه حـرارت T قرار دارد عبارتست از :

$$E_{b\lambda}(T) = \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{c2/\lambda T} - 1)}$$

C_2, C_1 ثابتهای تشعشعی هستند و مقدارشان برابر است با:

$C_1 = 3.7418 \times 10^{-16}$ $w.m^2$ اولین ثابت تشعشع

$C_2 = 1.4388 \times 10^{-2}$ $m.k$ دومین ثابت تشعشع

$E_{b\lambda}$ قدرت تشعشعی طیفی یک جسم سیاه در درجه حرارت T می باشد.

قانون جابجایی وین:

طول موجی که در آن طول موج قدرت تشعشعی ماکزیمم است از رابطه زیر بدست می آید:

$$\frac{dEb\lambda}{d\lambda} = \frac{d}{d\lambda}\left[\frac{C_1}{\lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)}\right] = 0$$

$$\lambda_{\max}.T = 2.898 \times 10^{-3} m.k$$

قانون استفان- بولتزمن:

توان تشعشعی کل عبارتست از کل تشعشع در تمام طول موجها در دمـای T . بـرای واحـد سطح، برای جسم سیاه قدرت تشعشعی را می توان با انتگرال گیری از رابطه پلانک برروی تمام طول موجها بدست آورد:

$$E_b(T) = \int_0^\infty E_{b\lambda}(T)d\lambda = \int_0^\infty \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{c2/\lambda T} - 1)} d\lambda$$

نتیجه انتگرال گیری عبارتست از:

$$E_b(T) = \delta T^4$$

δ ضریب استفان- بولتزمن می باشد و برابر است با:

$$\delta = (\frac{\pi}{C_2})^2 (\frac{C_1}{15}) = 5.67 \times 10^{-8} \qquad w/m^2.k$$

قانون کیرشهف:

مقدار انرژی که یک جسم سیاه و یا خاکستری در حالت ثبات حرارتی دریافت می کند برابر همان مقدار انرژی است که از خود منتشر می کند.

$\alpha = \varepsilon$ یا ضریب نشر = ضریب جذب

قانون کسینوسی لامبرت:

انرژی پخش شده در هر زاویه برابر است با انرژی پخش شده در حالـت عمـودی ضـربدر کسینوس زاویه بین جهت پخش و خط عمود.

$I=I_n \cos\emptyset$

قانون جذب لامبرت:

شدت تشعشع در اثر عبور انرژی تشعشعی از اجسام غیرشفاف، کم می شود که این کاهش با ضخامت جسم در ارتباط است.

$$I = I_0^{-\alpha k}$$

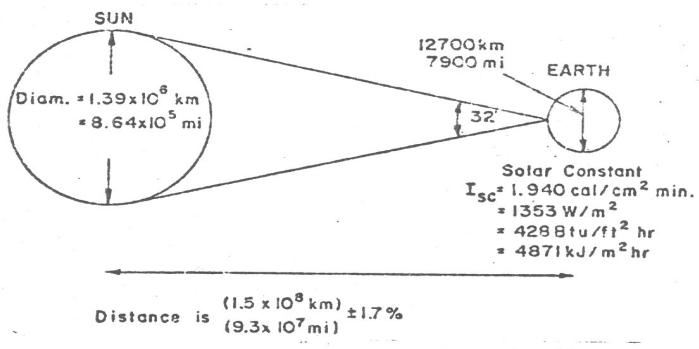
α : ضریب جذب انرژی I_0 : شدت انرژی در ورود به جسم

x : ضخامت جسم I : شدت انرژی پس از عبور از جسم

تشعشع خورشید:

شدت انرژی تابشی خورشید وقتی زمین در فاصله متوسط خودش از خورشید قرار گرفته است، به ثابت خورشید I_{sc} موسوم است. مقدار ثابت خورشیدی در خارج از جو زمین و برروی سطح عمود بر خط واصل زمین به خورشید، تقریباً $1353\ w/m^2$ است. این موضوع در شکل زیر نشان داده شده است. این مقدار، از اندازه گیری های متعدد شدت تشعشع مستقیم خورشیدی در جو زمین و در زوایای مختلف بدست آمده است.

اندازه گیریها بوسیله مشاهدات انجام شده توسط هواپیماهای بلندپرواز، بالنها و دستگاههای پژوهشی فضائی تأیید شده اند.



وضعیت زمین نسبت به خورشید وقتی که زمین در فاصله متوسط خودش از خورشید قرار دارد

مقدار ثابت خورشیدی در اثر پدیده های نجومی گاهگاهی به اندازه چند درصد تغییر می‌کند، ولی با استفاده از اندازه گیریهای متعدد بوسیله پروازهای موشکی مقدار ثابت خورشیدی به مرور تعدیل و دقیقتر می شود.

تابش خورشید در خارج از جو، تقریباً برابر است با تابش یک جسم سیاه در دمای 5672 درجه کلوین. یعنی طیف تشعشعی خورشیدی برای ثابت خورشیدی $1353\ w/m^2$ تقریباً با طیف تشعشعی جسم سیاه در دمای $5672^{o}k$ یکی می باشد.

مقدار انرژی تابشی خورشید در یک صفحه عمود بر جهت تابش خورشید در حد فوقانی اتمسفر، متناسب با عکس مجذور فاصله است. از طرفی فاصله زمین تا خورشید نیز نسبت به زمان تغییر می کند.

اثر فاصله زمین از خورشید:

مقدار انرژی تابشی خورشید در خارج از جو I_0 با تغییر فصلی زمین از خورشید در طول سال تغییر می کند. این مقادیر در ماه ژانویه 3.5% از مقدار I_{sc} بیشتر و در ماه ژوئن به اندازه 3.5% از I_{sc} کمتر است. با استفاده از جدول زیر، مقادیر I_o را می توان با تقریب اندکی از رابطه تجربی زیر حساب کرد:

$$I_o = I_{sc}[1 + 0.033\cos(\frac{360N}{370})]$$

Dates	jan[a]	feb	mar	apr[b]	may	June
I_o , w/m^2	1400	1394	1378	1353	1333	1316
Distance , A.U.	0.9831	0.9852	0.9909	1.000	1.0075	1.0138
Dates	july[c]	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
I_o , w/m^2	1309	1313	1328	1353	1373	1392
Distance , A.U.	1.0167	1.0151	1.0094	1.000	0.9927	0.9859

a: earth-sun distance is at its minimum

b: earth-sun distance is 1.000 astronomical unit: $I_o=I_{sc}$

c: earth-sun distance is at its maximum

تأثیر زاویه میل:

زاویه محدود بین امتداد تابش و صفحه افق در یک نقطه غیرمشخص سطح زمین روز به روز حتی ساعت به ساعت برحسب موقعیت زمین در روی مدار حرکتش بدور خورشید و گردش به دور خود، دائم در حال تغییر است. تغییر زاویه خورشید نسبت به سطح زمین بر مقدار کل انرژی تابشی دریافت شده تأثیر مستقیم دارد.

تغییر فصلی مسیر خورشید در آسمان، ناشی از میل محور چرخش روزانه زمین است. به همین دلیل تمام مناطق بویژه نزدیکترین مناطق به قطبها در تابستان انرژی بیشتر و در زمستان انرژی کمتری از آنچه که باید دریافت می کنند.

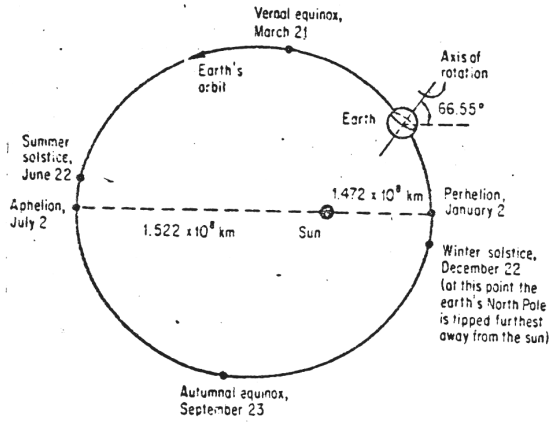
میل ظاهری محور چرخش زمین به سمت خورشید، نسبت به یک استوانه عمود بر مدار زمین، زاویه میل δ نامیده می شود زاویه میل در طول سال بین مقادیر ± 23.45 درجه تغییر می کند.

زوایای میل در یکسال معین با زاویه های میل مربوط به سال قبل حدود یک چهارم روز تفاوت دارد. به همین علت برای هر چهارسال یک تصحیح کبیسه وجود دارد. به گونه ای که مقدار زاویه میل تقریباً، درست در یک دوره چهارساله تکرار می گردد. معادله تجربی زیر برای محاسبه زاویه میل توصیه شده است:

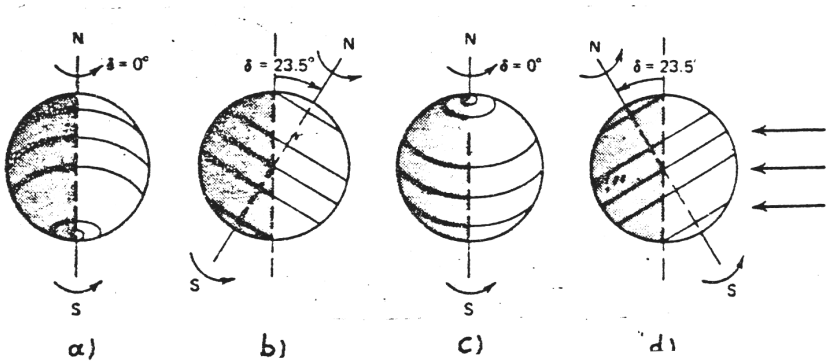
$$\delta = 23.45^{o} \sin(\frac{N-80}{370} \times 360)$$

که در آن N شمار روز در سال می باشد و برای نیمکره جنوبی، باید علامت زاویه میل را تغییر داد. در این رابطه، δ برحسب درجه بدست می آید.

شکلهای زیر بترتیب مدار چرخش زمین به دور خورشید و تغییرات فصلی و نجومی سالیانه را نشان می‌دهند.



(شکل ۴–۲): مدار چرخش زمین به دور خورشید



تغییرات فصلی زمین a) اعتدال بهاری b) تحویل تابستانی (زمستانی در نیمکره جنوبی)

c) اعتدال پاییزی d) تحویل زمستانی (تابستانی در نیمکره جنوبی)

در اعتدال بهاری و پاییزی (حدود بیست و یکم مارس و سپتامبر) پرتوهای خورشیدی بر محور چرخش روزانه عمود و طول روز و شب در همه جا یکسان و معادل 12 ساعت است. در تحویل تابستانی (زمستانی در نیمکره جنوبی) که حدود 21 ژوئن می باشد، آن قسمت از کره زمین که در شمال عرض جغرافیایی 90^o-23.45^o=66.55^o قرار دارد، تمام

روز از تابش برخوردار است. این مناطق به مناطق قطبی موسوم هستند. در شروع زمستان (حدود 21 دسامبر) وضعیت این مناطق معکوس می گردد.

وضعیت مناطق حاره، در نقطه مقابل مناطق قطبی است. مناطق حاره در عرض جغرافیایی کمتر از 23.45^oN و 23.45^oS قرار دارند و در این مناطق خورشید دوبار در سال مستقیماً در بالای سر قرار می گیرد. مناطق بین حاره و قطبی، مناطق معتدل نامیده می شوند. در این مناطق خورشید هرگز مستقیماً در بالای سر قرار نمی گیرد و روزهایی وجود ندارد که خورشید طلوع و غروب نکند. این عوامل فصلی، برروی دریافت کننده های خورشیدی (کلکتور) تأثیر زیادی دارند.

صفحات پوششی:

اثر صفحات پوششی برروی تشعشع خورشید:

یک ماده باید دارای قابلیت عبوردهی زیاد باشد تا به عنوان یک پوشش، مفید واقع شود. از این رو باید قابلیت جذب و قابلیت انعکاس آن را به حداقل کاهش داد.

قابلیت انعکاس پوشش:

قابلیت انعکاس یک جسم شفاف یا نیم شفاف به نماد شکست و زاویه تشکیل شده بین امتداد شعاع تابش ورودی و خط عمود بر سطح پوشش بستگی دارد. اگر زاویه تابش صفر باشد در مورد یک پوشش می توان نوشت:

$$p_r = (\frac{n-1}{n+1})^2$$

که در آن n نماد شکست است و برابر نسبت سرعت نور در خلأ به سرعت نـور در محـیط مادی می باشد. در مورد شیشـه کـه متـداولترین مـاده پوششـی اسـت n=1.53 و نتیجتـاً p_r=0.044 خواهد شد.

برای کاهش تلفات ناشی از انعکاس، اگر رویه پوشش را بوسیله لایه نازکی از یک جسم دی الکتریک (عبوردهنده نور) به ضخامت چند میکـرون یـا بیشـتر بپوشـانیم، قابلیـت انعکـاس کاهش می یابد و می توان آن را از رابطه زیر بدست آورد:

$$P_r = 1 - \frac{4n_1 n_2}{(n_2^2 + n_1)(n_1 + 1)}$$

که در رابطه بالا n_1 نماد شکست پوشش و n_2 نمـاد شکسـت جسـم دی الکتریـک کـه روی پوشش قـرارداده‌شـده مـی‌باشـد. مـی‌تـوان نشـان‌داد کـه‌بـرای $n_2 = \sqrt{n_1}$ قابلیـت‌انعکـاس حداقل‌است.

قابلیت عبوردهی پوشش:

پوششهای ایـده آل بایـد دارای خاصـیت عبوردهنـدگی خـوبی باشـند و جـذب یـا انعکـاس پوشش، شدت انرژی ورودی به جذب کننده را جهت تبدیل به گرمای مفید کاهش می دهد. قابلیت عبور پوشش هایی که ضریب جذب آنها نسبتاً زیاد است، هنگـامی کـه زاویـه تـابش نسبت به خط عمود بیشتر از 45 درجه باشد، می تواند به مقدار قابل تـوجهی کـاهش یابـد. ضریب انعکاس تنها به مقدار کمی با تغییر زاویه تابش تغییر مـی کنـد. ولـی ضـریب جـذب متناسب با طول مسیر نور در پوشش، افزایش می یابد، به طوریکه مقدار نـور عبـور کـرده متناسب با کسینوس زاویه تابش کاهش می یابد.

قابلیت جذب پوشش:

مواد زیادی وجود دارند که نور را از خود بخوبی عبور مـی دهنـد و مقـدار خیلـی کمـی از انرژی تشعشعی را جذب می کنند. پوشش های ایده آل بایسـتی بتواننـد انـرژی تشعشـعی خورشید را بدون آنکه جذب کنند از خود عبور دهند. موادی نظیر شیشه، هوا، آب و بیشـتر پلاستیک های شفاف با درصد کمتری جذب، انرژی نورانی را از خود عبور می دهند؛ حتـی اگریک لایه ضخیم ازاین‌مواد، کمی رنگی به‌نظرآید بخش‌کمی از نور را به‌خود جذب می‌کنند.

جنس پوشش:

متداولترین و بهترین ماده پوششی شیشه است که در فرآیندهای خورشـیدی بـه کـار مـی رود، ولی استفاده از آن در مقیاس وسیع تولید انرژی برج نیرو چون مستلزم هزینه زیادی است اقتصادی نمی باشد.

اغلب پلاستیکهای شفاف در مقابل امواج ماوراء بنفش بسـیار حساسـند و نیـز معـدودی از آنها می توانند دماهای بالاتر از دمای محیط را تحمل کنند.

پلـی کربنـات (لکسـان) و برخـی دیگـر نظیـر آکریلیـک (پلکسـی گـلاس، لوسـیت) کـاربرد خورشیدی دارند تدلار یک پلی فلوئورکربن با خواص اپتیکی بسیار خوب است و چون یـک ماده ترموپلاستیکی است سالهای متوالی دوام می آورد و کار کردن با آن نیز آسان است.

خواص انعکاسی این جسم تا اندازه ای از شیشه کمتر است، زیرا شفافیت آن در ناحیه نـور مرئی به علت نازکی و ضریب شکست کمتـر، کمـی از شیشـه بیشـتر مـی باشـد کـه سـبب انعکاس کمتر می گردد (7% در مقایسه با 8% برای شیشه). لایـه تـدلار ظـاهراً شـبیه پلـی اتیلن می باشد. شیری رنگ و شفاف است. این ماده به قدری قابـل انعطـاف اسـت کـه نمـی

تواند خود را نگه دارد. تدلار اگر به عنوان پوشش به کار رود، باید تحت کشش قرار گیرد و ترتیبی اتخاذ شود که در مقابل افزایش دما کشیدگی خود را حفظ نماید، چون مانند سایر پلاستیک ها ضریب انبساط گرمایی آن زیاد است.

تفلون یک پلی فلوئور کربن گران قیمت کاملاً ترکیب شده با فلوئور است که از نقطه نظر شیمیایی تا حدود 250 درجه سانتی گراد غیرفعال است. با قراردادن آن به مدت 20 سال در معرض خورشید، آسیب قابل اندازه گیری در آن بوجود نیامده است. ضریب شکست آن حدود 1.34 است و در نتیجه قابلیت انعکاس دو رویه آن نصف شیشه می باشد. نه تنها قابلیت انعکاس آن کم است، بلکه میزان افزایش انعکاس آن با افزایش زاویه تابش نیز کمتر از مواد دیگر است.

هرچند دوام فیزیکی تفلون باتوجه به‌خواص ذاتی آن برای کاربرد به عنوان پوشش خارجی نامناسب است ولی با دارا بودن قابلیت انتشار 0.96 یک جسم ممتاز به حساب می‌آید.

یک جایگزین دیگر برای شیشه، فایبرگلاس است که از یک شبکه متراکم از الیاف شیشه ای در بستری از پلاستیکی پلی استر شفاف تشکیل شده است. این جسم بصورت یک پوشش نیم شفاف پلاستیک موجدار سخت، مخصوص سقف است. یک نوع محصول کارخانجات سازنده این جسم که برای کاربردهای درازمدت خورشیدی مناسب است، سان لایت نام دارد. درجه شفافیت آن در طول چندین سال تنها به اندازه درصد کمی کاهش می یابد و ویژگیهای اولیه آن تقریباً مشابه شیشه است. مشخصات اپتیکی آن، شباهت زیادی به شیشه دارد جز اینکه بیشتر نیم شفاف است تا شفاف. این ویژگی در عمل هیچ گونه مسأله‌ای بوجود نمی آورد. این پوشش مزایای متعددی نسبت به شیشه دارد، زیرا از نظر

شکستگی مشکلی ایجاد نمی کند، و از نظر وزن خیلی سبکتر است و همچنین قیمت آن خیلی کمتر از شیشه است.

اثر رنگ برروی جذب انرژی تشعشعی:

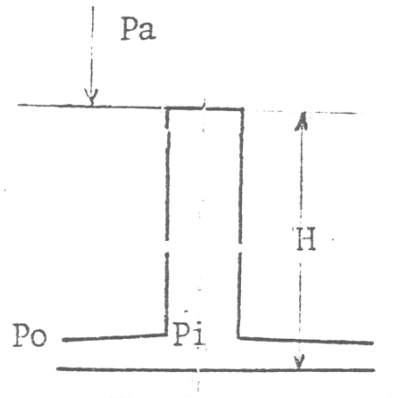
درحالیکه بسیاری از کارشناسان خورشیدی نتایج خوبی از کاربرد تقریباً تمام رنگهای سیاه مات برروی جذب کننده گزارش کرده اند، ولی بهتر است از رنگهای مقاوم در مقابل دمای بالا و یا از رنگهای ویژه کلکتورهای خورشیدی استفاده شود که در آنها با دوامترین مواد ارتباط دهنده به کار رفته است. رنگ سیاه دوده ای جذب کننده خوبی است، ولی چون لایه رنگ، مقاومت حرارتی ایجاد می کند و به هیچ وجه برگزیده نیست، می توان انتظار داشت که قابلیت جذب و قابلیت انتشار آن از 0.95 تا 0.98 باشد. هرگاه رنگها به صورت یک لایه خیلی نازک به ضخامت 0.05 تا 0.1 میلیمتر به کار روند، پاره ای از مواد رنگی در حالیکه قابلیت جذب زیاد خود را در برابر تابش خورشیدی حفظ می کنند، نسبت به تابش گرمایی با طول موج بلند، شفاف می باشند. بهترین رنگها آنهایی هستند که با مخلوط های مختلف از اکسیدهای مس، آهن و منگنز رنگین شده اند.

فصل سوم

محاسبات دودکش

فشار رانش:

فشار رانش در دودکش در اثر اختلاف دانسیته ستون هوای گرم داخل دودکش و هوای سرد بیرون دودکش بوجود می آید.



شکل بالا شماتیک ساده ای از یک دودکش به ارتفاع H را نشان می دهد. با توجه به شکل، فشار در مقطع پایین و در داخل دودکش برابر است با فشار اتمسفر در نوک دودکش بعلاوه فشار هوای ستون گرم داخل دودکش.

$Pi=Pa+\gamma sH$

که در آن γs وزن مخصوص متوسط هوای گرم در داخل دودکش است.

فشار در مقطع پایین و در بیرون دودکش برابر است با فشار اتمسفر در نوک دودکش بعلاوه فشار ستون هوای سرد محیط در بیرون از دودکش.

$Po=Pa+\gamma aH$

که در آن γa وزن مخصوص متوسط هوای سرد بیرون دودکش است.

فشار رانشی خالص از اختلاف فشار Po, Pi بدست می آید.

$$\Delta Pd = Po - Pi = H(\gamma a - \gamma s)$$

و با جایگذاری $\gamma = \frac{P}{RT} g$ معادله بالا بفرم زیر تبدیل می شود:

$$\Delta Pd = gH(\frac{Pa}{RaTa} - \frac{Ps}{RsTs})$$

Pa, Ps : به ترتیب فشار هوای داخل دودکش و فشار هوای اتمسفر

Ra, Rs : به ترتیب ثابت گاز برای هوای داخل دودکش و هوای اتمسفر

Ta, Ts : به ترتیب درجه حرارت متوسط هوای داخل دودکش و هوای اتمسفر

ثابت گاز برای هوای داخل دودکش و هوای اتمسفر یکسان است. یعنی: Ra=Rs=R با جایگذاری در معادله قبل خواهیم داشت:

$$\Delta Pd = \frac{gH}{R}(\frac{Pa}{Ta} - \frac{Ps}{Ts})$$

در شرایط اتمسفر برای یک ارتفاع مشخص از سطح دریا تغییرات فشار نسبت به دما ناچیز است. با توجه به این مطلب می توان فشار اتمسفر در دمای مطلق انجماد آب را معادل فشار اتمسفر در دمای Ts, Ta درنظر گرفت.

اگر دمای مطلق انجماد آب در شرایط اتمسفر را To در نظر بگیریم و po دانسیته هوا در دمای To باشد می توان نوشت:

Po=Pa=Ps= ρoRTo

با جایگذاری مقادیر معادل Ps,Pa از رابطه بالا، در معادله قبل خواهیم داشت:

$$\Delta Pd = \rho oTogH(\frac{Ts - Ta}{TaTs})$$

که در آن:

ρo=1.293 kg/m^3

To=273 ^{o}k

g=9.8 m/s

با جایگذاری مقادیر فوق در معادله بالا، معادله اصلی فشار رانش بـه فـرم زیـر تبـدیل مـی شود:

$$\Delta Pd = 3.4593H(\frac{Ts - Ta}{TaTs}) \qquad (kpa)$$

در این رابطه، H برحسب متر است.

برای محاسبه درحه حرارت متوسط هوای اتمسفر Ta ، دمای اتمسفر در نوک دودکش باید معلوم باشد. با داشتن ارتفاع دودکش، دمای اتمسفر در ارتفاع z از سطح دیا، از رابطه زیـر بدست می آید:

$T=T_{sea.level}-\lambda z$

Z : ارتفاع از سطح دریا برحسب کیلومتر

λ : ضریب ارتفاع که معادل $6.5\ ^{o}c/km$ است.

درجه حرارت متوسط هوای داخل دودکش Ts ، به تغییرات درجـه حـرارت داخـل دودکـش بستگی دارد که این تغییرات نیز تابع تلفات حرارتی، از طریق دیواره دودکش و نفـوذ هـوای سرد محیط به داخل دودکش است.

مقدار دقیق درجه حرارت متوسط هوای داخل دودکش را می توان از انتگرال گیـری توزیـع درجه حرارت در داخل دودکش بعنـوان تـابعی از ارتفـاع و تقسـیم آن بـر ارتفـاع دودکـش بدست آورد. محاسبه مقدار دقیق بصورتیکه گفته شد تا اندازه ای مشکل اسـت. اگـر تلفـات حرارتی را در کل ارتفاع دودکش ثابت در نظر بگیریم، بـا تعریـف درجـه حـرارت متوسـط ریاضی، دمای متوسط هوای داخل دودکش را می توان بصورت زیر نوشت:

$$Ts = \frac{Tis + Tes}{2}$$

که در آن T_{es}, T_{is} بترتیب درجه حرارت ورودی و خروجی هوا در دودکش می باشند. Tes به راندمان دودکش بستگی دارد. با داشتن راندمان دودکش مقدار Tes قابل محاسبه است.

راندمان دودکش:

راندمان دودکش متناسب با ارتفاع دودکش است و بصورت زیر تعریف می شود:

$$\eta_{ch} = \frac{gH.\frac{Tis}{Ta} - 1}{c_p(Tis - Tes)}$$

لازم به ذکر است که ch ابتدای کلمه chimny به معنی دودکش است.

در رابطه بالا، cp گرمای ویژه در فشار ثابت است که واحد آن J/kg^ok می باشد.

بعنوان مثال اگر فرض کنیم:

η_{ch}=2%

H=300 m

Ta=288 ^ok

Tis=298 ^ok

Cp=1005.6 J/kg^ok

در این صورت درجه حرارت خروجی دودکش، با استفاده از رابطه راندمان دودکش بصورت زیر خواهد شد:

$$Tes = Tis - \frac{gH}{\eta_{ch}.cp}.(\frac{Tis}{Ta} - 1)$$

$$Tes = 298 - \frac{9.8(300)}{0.02(1005.6)}.(\frac{273+25}{273+15} - 1)$$

$$Tes = 292.92^o k$$

تلفات اصطکاکی:

هد تلفات اصطکاکی از رابطه زیر بدست می آید:

$$hf = \frac{0.008Hv^2}{D.T_s}$$

v : سرعت متوسط هوا در داخل دودکش برحسب فوت بر ثانیه

Ts : دمای متوسط هوا در داخل دودکش برحسب درجه کلوین (^{o}k)

H : ارتفاع دودکش برحسب فوت (ft)

D : قطر دودکش برحسب فوت (ft)

فصل چهارم

محاسبات توربین

توان کلی:

بدیهی است که قدرت ژنراتورهای بادی بستگی بـه سـرعت وزش بـاد دارد کـه هرچـه ایـن سرعت بیشتر باشد، انرژی بیشتری تولید خواهد شد. توان کلـی انـرژی بـاد برابـر انـرژی جنبشی آن است که به صورت زیر نوشته می شود:

$$Nt = \frac{1}{2}\overset{o}{m}v^2 \qquad (1)$$

که در رابطه بالا $\overset{o}{m}$ دبی (گذر) جرمی جریان باد می باشد که برابر با مقدار زیر است:

$$\overset{o}{m} = \rho A v \qquad (2)$$

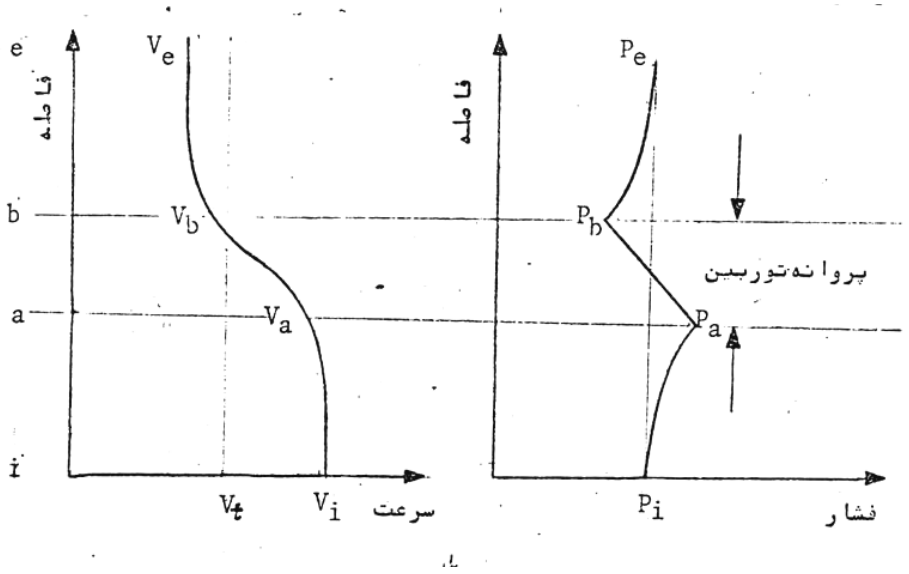
در رابطه اخیر ρ دانسیته این مقدار جریان باد است و A سطح مقطعی است که جریان بـاد از آن عبور می کند که سطح مقطع توربین می باشد و V نیز سرعت جریان باد است وقتـی که به پره های توربین برخورد می کند. با جایگذاری (۲) در (۱) خواهیم داشت:

$$Nt = \frac{1}{2}PAv^3 \qquad (3)$$

بنابراین برای توربینی به ابعاد معین، قدرت باد یا انرژیـی کـه بـه تـوربین در واحـد زمـان می‌رسد، به توان سوم سرعت بستگی دارد. البته تمام این انرژی قابل بهره برداری نیست.

توان ماکزیمم:

بدیهی است به علت تلفات موجود در توربین، توان کلی مورد بحث به توان مکـانیکی تبـدیل نمی‌شود. پروانه یک توربین بادی را در نظر می‌گیریم. فرض می کنـیم ضـخامت پـره هـای توربین مطابق شکل زیر به اندازه مقطع a-b است و جریان باد با سرعت و فشار به ترتیـب Pi, V_i به پروانه توربین نزدیک و با سرعت و فشار Pe, Ve از آن دور مـی شـود. واضـح است که ve از vi کمتر است، زیرا انرژی جنبشی در حین عبور از پروانه کم می شود.



فشار و سرعت باد در مقطع پروانه

اگر پروانه بصورت افقی و تحت جریان آزاد قرار گرفته باشد، با درنظر گرفتن فرضیات‌زیر:

- جریان کاملاً یک بعدی باشد.
- دوران پروانه باعث دوران هوا در پشت دیسک نشود.
- اصطکاک پره با هوا باعث ایجاد حرارت در حجم کنترل نگردد.

افت فشار در پروانه توربین به صورت زیر خواهد بود:

$$\Delta P_T = Pa - P_b = \frac{1}{2} p(v_i^2 - ve^2) \qquad (4)$$

اگر پروانه بصورت عمودی و تحت جریان داخل دودکش قرار گرفته باشد، افت فشار در پروانه بصورت زیر است:

$$\Delta P_T (\text{عمودي}) = 1.125 \Delta P_T (\text{افقي}) \qquad (5)$$

نیروی محوری حاصل از جریان باد بر سطح تصویر شده پروانه توربین از رابطه زیر بدست می آید:

$$Ft = (\Delta P_T)A = 1.125\left[\frac{1}{2}\rho(v_i^2 - V_e^2)\right]A \qquad (6)$$

عمودی

که در آن A سطح تصویرشده پروانه توربین است و عمود بر جریان باد می باشد. نیـروی محوری Ft معادل با تغییرات $\overset{o}{m}v$ در جهت جریان است. بنابراین می توان نوشت:

$$Ft = \Delta(\overset{o}{m}v) = \overset{o}{m}\Delta V \qquad (7)$$

و یا :

$$Ft = \rho AVt(Vi - Ve) \qquad (8)$$

در رابطه (۷)، گذر جرمی جریان باد $\overset{o}{m}$ برابر بـا ρ AVt و همچنـین تغییـرات سـرعت ΔV برابر با vi-ve می باشد.

از تساوی روابط (٦) و (۸) خواهیم داشت:

$$Vt = \frac{9}{16}(vi + ve) \qquad (9)$$

برای گذر جرمی $\overset{o}{m}$ توان N را از رابطه زیر بدست می آید:

$$N = \frac{1}{2}\overset{o}{m}(v_i^2 - v_e^2) \qquad (10)$$

و یا:

$$N = \frac{1}{2}\rho Avt(v_i^2 - v_e^2) \qquad (11)$$

با جایگذاری مقدار معادل vt از رابطه (۹) در رابطه (۱۱) بدست می آوریم:

$$N = \frac{9}{32}\rho A(vi + ve)(v_i^2 - v_e^2) \qquad (12)$$

از رابطه (۱۲) پیداست که ve در یک ترم مثبت و در ترم دیگر منفی است. این مقدار ve هرچند ناچیزهم باشد باعث کاهش توان خواهد شد. برای توان ماکزیمم، یک سرعت اپتیمم خروجی Ve_{opt} تعریف می کنیم که به ازاء آن دارای توان ماکزیمم خواهیم بود. برای محاسبه ve_{opt} از رابطه (۱۲) برای یک مقدار معلوم ve از توان N نسبت به Ve مشتق می‌گیریم و حاصل را معادل صفر قرار می دهیم.

$$\frac{dN}{dVe} = 0$$

$$3v_e^2 + 2vive - v_i^2 = 0$$

که اگر برای مقادیر مثبت ve حل کنیم خواهیم داشت:

$$ve_{opt} = \frac{1}{3}vi \qquad (13)$$

با جایگذاری مقدار معادل ve_{opt} در رابطه (۱۲) توان ماکزیمم به صورت زیر بدست می آید:

$$N_{\max} = \frac{2}{3}(\frac{1}{2}\rho A V_i^3) \qquad (14)$$

ماکزیمم راندمان تئوری یا ایده آل (ضریب توان) یک توربین بادی برابر است با نسبت توان ماکزیمم از رابطه (۱٤) به توان کلی از رابطه (۳) که بصورت زیر است:

$$\eta_{\max} = \frac{N_{\max}}{Nt} = \frac{2}{3} = 0.67 \qquad (15)$$

در توربینهای بادی به ضریب توان، اصطلاحاً فاکتور بتز (Betz) گفته می شود. طبق رابطه (۱٤) فاکتور بتز برای توربینهای عمودی که تحت جریان داخل دودکش قرار دارند معادل $\frac{2}{3}$ است . به عبارت دیگر توربین نمی تواند بیش از $\frac{2}{3}$ توان کلی را به توان مفید تبدیل کند.

از نقطه نظر عملی در توربینهای بادی بعلت وجود تلفات و سایر عوامل، راندمان واقعی از راندمان ماکزیمم کمتر است.

توان واقعی:

راندمان و عملکرد یک سیستم مشخص را می توان برای سرعت معینی بهینه کرد و در این حال برای سرعتهای باد کمتر یا بیشتر از این مقدار معین، راندمان سیستم کم می شود.

توان واقعی از حاصلضرب راندمان واقعی در توان کلی بدست می آید:

$$N_{ac} = \eta_{ac} \times N_t \qquad (16)$$

در رابطه (١٦) ac ابتدای کلمه actual به معنای واقعی می باشد.

راندمان واقعی بین 70 الی 85 درصد راندمان ماکزیمم بوده و در حالت کلی می توان گفت راندمان واقعی بین 45 تا 55 درصد است.

نیروهای وارد بر پره ها:

در توربینهای بادی دو نوع نیرو بر پره اعمال می شود. یکی نیروهای محیطی که در جهت چرخش توربین اعمال می شود و گشتاور را بوجود می آورد و دیگری نیروهای محوری که در جهت جریان باد اعمال شده و نیروی تراست محوری را باعث می شود که البته این نیرو تا حد زیادی با نیروی وزن توربین بادی خنثی می شود.

برای نیروهای محیطی که گشتاوررا بوجود می آورند می توان نوشت:

$$T = \frac{N}{\omega} = \frac{N}{\pi D n}$$

T = گشتاور

ω = سرعت زاویه ای پروانه توربین

D = قطر پروانه

n = دور پروانه توربین بر واحد زمان

برای عملکرد توربین در راندمان ماکزیمم ($\eta_{max} = 0.67$) ، گشتاور ماکزیمم از رابطه زیر بدست می آید:

$$T_{\max} = \frac{N_{\max}}{\pi D n} = \frac{\eta_{\max} \times N_t}{\pi D n} = \eta_{\max} \frac{\frac{1}{2}\rho A V_i^3}{\pi D n} \qquad (18)$$

در رابطه بالا اگر بجای A که سطح مقطع توربین به قطر پروانه D می باشد، $\frac{\pi}{4}D^2$ قرار دهیم به رابطه زیر می رسیم:

$$T_{\max} = \eta_{\max} \frac{\rho D V_i^3}{8n} \qquad (19)$$

همچنین نیروی محوری یا نیروی تراست نیز که قبلاً در مورد آن صحبت شد به صورت زیر می باشد (رابطه ٦)

$$Ft = (\Delta P_T) A = 1.125\left[\frac{1}{2}P(v_i^2 - v_e^2)\right]A$$

نیروی تراست در راندمان ماکزیمم بطریق زیر محاسبه می شود.

طبق رابطه (٨) :
$$Ft = \overset{o}{m}\Delta v = \rho A v_t (vi - ve)$$

طبق رابطه (٩) :
$$vt = \frac{9}{16}(vi + ve)$$

Ve در شرایط راندمان ماکزیمم (رابطه ١٣):
$$ve_{opt} = \frac{1}{3}vi$$

با جایگذاری مقادیر معادل vt, ve در معادله F_t، نیروی تراست در راندمان ماکزیمم بصورت زیرخواهد بود:

$$F_t = \frac{1}{2}\rho A V_i^2 = \frac{\pi}{8} P D^2 v_i^2 \qquad (20)$$

این نیرو که بصورت محوری به سیستم اعمال می شود، در سرعتهای زیـاد قابـل ملاحظـه است و باید در طراحی برج در نظر گرفته شود.

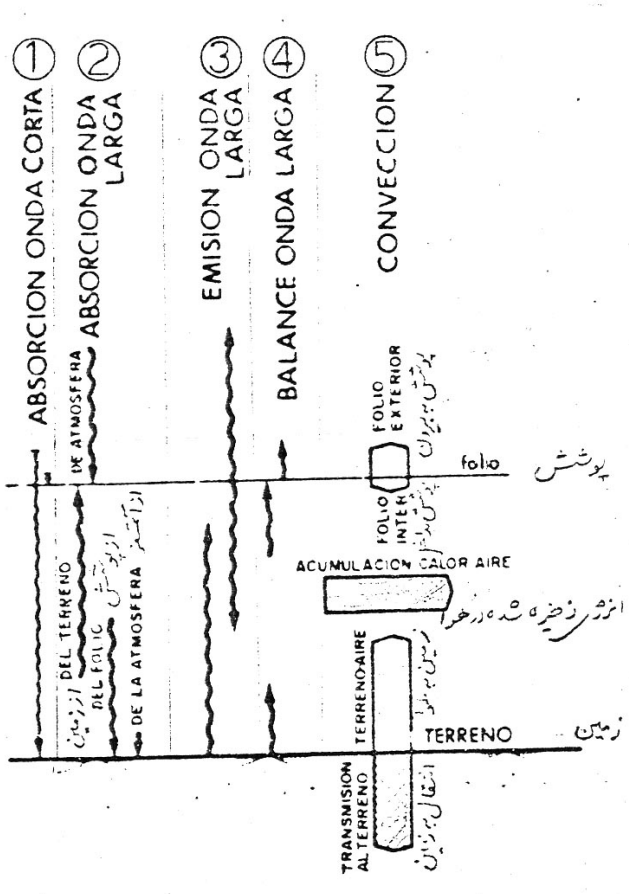
فصل پنجم

مختصری در مورد کلکتور

بالانس انرژی:

بالانس‌انرژی دربرجهای‌نیرو باسایرنیروگاههای‌خورشیدی‌متفاوت‌است. تشعشعات با طول موج‌بلند نقش‌مهمی دربالانس‌انرژی برجهای نیرودارند. برجهای‌نیروحتی در شرایطی‌که هوا کاملاً ابری است، می‌توانند کارایی داشته‌باشند. حال آنکه در سایر نیروگاههای خورشیدی، تشعشعات با طول موج بلند تأثیر قابل ملاحظه‌ای برروی عملکرد متمرکزکننده‌ها و سلولهای فتوولتائیک ندارند و فقط تحت تابش مستقیم می‌توانند کارایی داشته باشند.

عملکرد برجهای نیرو به عوامل مختلفی مانند: دمای محیط و تغییرات آن در لایه های اتمسفر، خصوصیات فیزیکی خاک، کیفیت بادهای محلی و موقعیت مکانی و زمانی (فصل، ماه، روز، ساعت) بستگی دارد. شکل زیر بالانس انرژی در کلکتور را نشان می دهد:



در شکل قبل ترم (۱) معرف تشعشعات با طول موج کوتاه است. این بخش از انـرژی بـدون اینکه پوشش، مقاومتی ایجاد کنند از آن عبور کرده و جذب زمین می شود.

ترم (۲) معرف جذب تشعشعات با طول موج بلند اسـت. مطـابق شـکل در خـارج از کلکتـور تشعشعات اتمسفر وجود دارد.بجز درصد ناچیزی از تشعشع اتمسفر که از پوشـش عبـور می کند، بقیه آن جذب پوشش می شود. همچنین زمین تشعشعاتی با طول موج بلند از خـود ساطع می کند که بدون عبور از پوشش جذب آن می شود. از پوشـش نیـز تشعشـعاتی بـا طول موج بلند به سمت زمین گسل می شود که جذب زمین می گردد.

ترم (۳) نشان دهنده تشعشعات با طول موج بلند از زمین و پوشش است. بخشی از انـرژی جذب شده توسط پوشش به سمت بیرون و درصدی از آن نیز بـه سـمت داخـل، بصـورت تشعشع با طول موج بلند منتقل می شود. زمین نیز تشعشعاتی با طـول مـوج بلنـد از خـود گسیل می دارد.

ترم (٤) انرژی جذب شده توسط زمین و پوشش را نشان می دهد. مقداری از این انرژی به طریق کنوکسیون از پوشش و زمین به سیال عامل (هوا) منتقل شده و انرژی مفید را شامل می شود. درصدی از انرژی جذب شده توسط پوشش به طریق کنوکسیون به محیط منتقـل شده و تلف می شود. مقداری از انرژی جذب شده توسط زمـین نیـز بـه طریـق هـدایت بـه لایه‌های زیرین منتقل می گردد که عمل ذخیره سازی انرژی در طول روز را انجام می دهد. این ترم از انرژی، امکان بهره برداری از برج در طول شب را میسر می سازد. مقدار انرژی انتقالی به زمین، تابع عوامل مختلفی بویژه خواص فیزیکی خـاک (از جملـه ضـرایب هـدایت حرارتی) و تغییرات درجه حرارت در داخل کلکتور می باشد.

بدیهی است که در محدوده اطراف دودکش، بعلت رشد تغییرات درجه حرارت، انرژی انتقالی به زمین و همچنین تلفات حرارتی از طریق پوشش افزایش می یابد. اگر پوشش این محدوده از کلکتور که در آن افزایش دما قابل ملاحظه است را دو لایه اختیار کنیم، تلفات به میزان قابل توجهی کاهش می یابد.

همانطور که گفته شد خاک انرژی تابشی را در طول روز در خود ذخیره می کند و در طول شب که دمای خاک از محیط بیشتر است این انرژی را به فضای داخل کلکتور پس می دهد. از این رو خاک بعنوان یک منبع ذخیره انرژی عمل می کند که این انرژی ذخیره شده در طول روز به هنگام شب مورد استفاده قرار می گیرد.

فصل ششم

ارزیابی اقتصادی برجهای نیرو

بررسی هزینه مخصوص:

طبق تحقیقات انجام شده هزینه احداث برجهای تا ارتفاع 1000 متر، متناسب با سطح جانبی کلکتور و دودکش است.

هزینه‌احداث‌دودکش‌اعم از دودکشهای‌فلزی(مانند دودکش برج‌آزمایشی‌مانزانارس)وبتنی با قطروارتفاع مناسب و همچنین عمرمطلوب، حدود 350 مارک بر متر مربع برآورده شده است.

$a=350\ \ DM/m^2$

لازم به ذکر است که DM مخفف کلمه Dutch Mark می باشد.

هزینه احداث دودکش برج آزمایشی مانزانارس نیز با رقم گفته شده در بالا (350 DM/m^2) تطابق دارد. اگر ساختمان کلکتور را که شامل پوشش، پانل ها، فونداسیون و سایر قسمتها است؛ از نظر کیفیت جنس بکار رفته یکسان در نظر بگیریم، هزینه برج مستقیماً متناسب با سطح جانبی کلکتور خواهد بود. هزینه احداث کلکتور برج آزمایشی مانزانارس، 22 مارک بر مترمربع بوده است.

$b=22\ \ DM/m^2$

هزینه تجهیزات ماشینی نظیر توربین و ژنراتور،سیستم کنترل و تجهیزات انتقال به شبکه نیز متناسب با ظرفیت نیروگاه و معادل 1100 مارک بر کیلووات ساعت پیک برآورده شده است. ($C=1100\ \ DM/kwh$) بنابراین هزینه احداث برج، از مجموع هزینه های ذکرشده بدست می آید:

$$S=a(2\pi R_T H_T)+b(\pi R_c^2)+c.Npk \qquad (I)$$

πR_c^2 : مساحت کلکتور

$2\pi R_T H_T$: مساحت جانبی دودکش

Npk : ظرفیت نیروگاه در بارپیک

برای ظرفیت در بارپیک Npk رابطه زیر را داریم:

$$N_{Pk} = \eta_C . \eta_f . \eta_T . \frac{2}{3} g . \frac{H_T . \pi R_c^2 . I}{Cp.Ta}$$

و یا :

$$Npk = KH_T \pi R_c^2 \qquad \text{(II)}$$

که در آن ضریب k برابر است با:

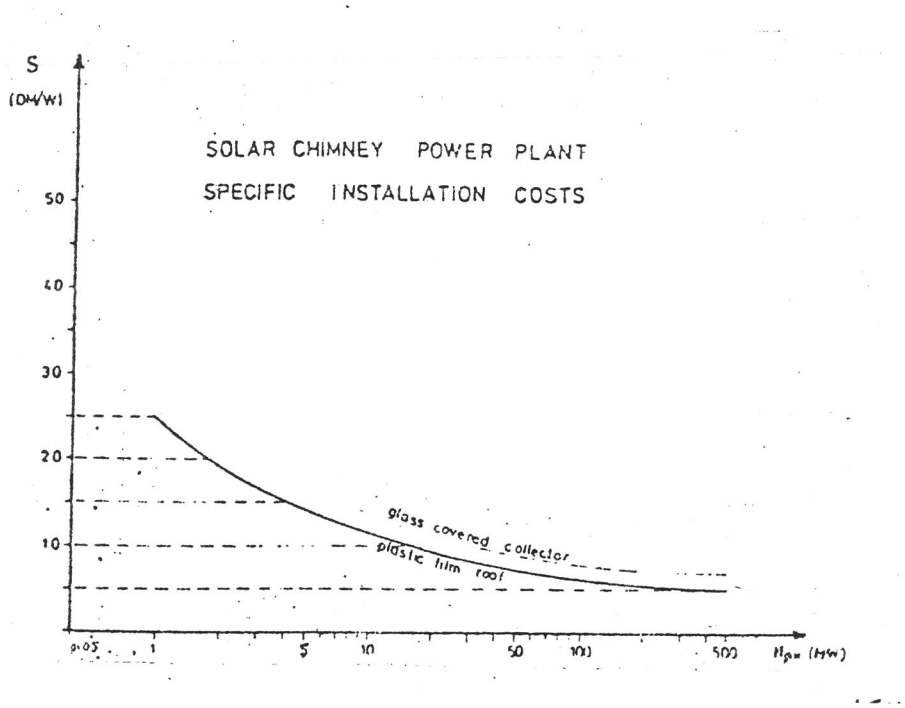
$$k = \frac{\eta_C . \eta_f . \eta_T . \frac{2}{3} g . I}{C_p . T_a}$$

از تقسیم (I) به (II) ، هزینه مخصوص احداث برج بدست می آید:

$$S = \frac{1}{k} . (2a \frac{R_T}{R_C^2} + \frac{b}{H_T}) + C$$

با توجه به رابطه بالا مشاهده می گردد با افزایش ابعاد برج (شعاع کلکتور و ارتفاع دودکش)، هزینه مخصوص احداث برج و در نتیجه هزینه تولید نیز کاهش می یابد.

شکل زیر هزینه مخصوص کلی برای دو نوع پوشش به کار رفته در کلکتور را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می شود حداقل هزینه برای پوشش پلاستیک (با ضخامت حداقل 100 میکرومتر) حدود 5000 مارک بر کیلووات پیک است، درحالیکه برای پوشش شیشه‌ای حداقل هزینه تقریباً 7300 مارک بر کیلووات پیک می باشد. لازم بذکر است که قیمتها مربوط به سال 1982 میلادی در آلمان غربی است.



هزینه مخصوص کلی برای احداث برجهای نیرو

انتخاب جنس از نظر کیفیت، برای احداث نیروگاههای با ظرفیت بالا اساساً بـه هزینـه تولیـد نیروگاه بستگی دارد. مثلاً اگر دو نوع پوشش پلاستیکی و شیشه ای را در نظر بگیریم، ایـن دو نه تنها از نظر بالانس انرژی با هم متفاوتند (میزان شفافیت شیشـه از پلاسـتیک بیشـتر است) بلکه از نظر دوام و طول عمر نیز با یکدیگر اختلاف دارنـد. مسـلماً هزینـه تولیـد نیـز بسته به اینکه پوشش پلاستیکی یا شیشـه ای را انتخـاب کنـیم متفـاوت خواهـد بـود. بـرای روشن شدن موضوع، هزینه تولید برای یک نیروگاه با مشخصات زیر را بررسی می کنیم:

ارتفاع دودکش: 1000 m

شعاع دایره کلکتور: 2182 m

عرض جغرافیایی محل احداث: $28^{o}N$

شدت تشعشع: $1000\ w/m^2$

راندمان کلکتور: $\eta_c=42\%$

ماکزیمم توان خروجی در روز (۲٤ ساعت) براساس رابطه $Npk=KH_T\pi R_c^2$ برابر ۱۰۰ مگاوات و توان متوسط براساس آنالیز مدل برابر ۳٦ مگاوات است. مقدار متوسط هزینه تولید kw از رابطه زیر حساب می شود:

$$k_w = \frac{ko}{E.n}.\sum_{i=1}^{n}(\frac{fw}{(I+r)^i} + r_b)$$

که در رابطه بالا، fw ضریب بهبود بوده و به صورت زیر تعریف می شود:

$$fw = \frac{(1+P)^n.P}{(I+P)^n.I}$$

دیگر پارامترها و مقادیرشان با توجه به داده های مسأله، در زیر ذکر شده است:

I = شدت تشعشع متوسط سالانه در عرض جغرافیایی 28 درجه شمالی با در نظر گرفتن ضریب مه آلودگی $274\ w/m^2$

N_{av} = توان خروجی متوسط در شبانه روز (متوسط 24 ساعت) 36 Mw

E = تولید متوسط انرژی در سال 280 Gwh

H_T = ارتفاع دودکش 1000 m

R_C = شعاع کلکتور 2182 m

ماکزیمم توان خروجی در روز 100 Mw

Ko = سرمایه گذاری کل: ۰ با پوشش شیشه ای 842 میلیون مارک

با پوشش پلاستیکی 633 میلیون مارک

شامل:

دودکش 194 میلیون مارک

کلکتور (با شیشه) 538 میلیون مارک

کلکتور (با پلاستیک) 329 میلیون مارک

تجهیزات ماشینی 110 میلیون مارک

n = سیکل استهلاک:

عمر پوشش پلاستیکی 7 سال

عمر پوشش شیشه ای 20 سال

P = میزان بهره محاسبه شده

rb = هزینه تعمیرات و نگهداری (برای برج آزمایشی مانزانارس rb=1%)

r = میزان تورم 5%

i= تعداد سال پارامتر متغیر

با توجه به داده های مذکور، برای یک نیروگاه 36 مگاواتی با پوشش شیشه ای هزینه تولید برابر است با:

K_w=0.29 DM/KWh

برای پوشش پلاستیکی نیز اگر پوشش هر هفت سال یکبار عوض شود، هزینه تولید برابر همین مقدار است. اگر ظرفیت متوسط نیروگاه 180 مگاوات باشد هزینه متوسط تولید به رقم زیر تنزل پیدا می کند:

K_w=0.25 DM/KWh

می توان نتیجه گرفت که هزینه متوسط تولید، مستقیماً بـه کیفیـت جـنس بـه کاررفتـه و در نتیجه عمر نیروگاه بستگی دارد.

در جدول زیر مقدار مواد مصرفی و انرژی اولیه برای احداث قسمتهای مختلف یک برج 36 مگاواتی لیست شده است.

جنس مصرفی	انرژی مخصوص اولیه بر واحد جرم (GJ/t)	قسمتهای مختلف برج	جرم کلی (10^5t)	انرژی اولیه برای احداث (10^5Mwh)
آهن	۳۰	دودکش فلزی	۵/۵	٤/٦
		استراکچر کلکتور پلاستیکی	۳۲	۲/۷
		استراکچر کلکتور شیشه ای	۹٦	۸
		استحکامات برج	۳۰	۲/۵
		تجهیزات ماشینی		تقریباً ۱/۵
بتن	۰/۸	بتن مصرفی در دودکش	۸۲۵/٦	۱/۸
		فنداسیون کلکتور پلاستیکی	۷۵	۰/۱۷
		فنداسیون کلکتور شیشه ای	۲۵	۰/۰۵
شیشه	۱۳	کلکتور شیشه ای	۱٦۰	۵/٦
پلاستیک	٦٦	کلکتور پلاستیکی	۷/۷	۱/٤

اگر بخواهیم مقایسه ای بین برجهای با ابعاد و ظرفیت بـالا و برجهـای بـا ابعـاد و ظرفیـت پایین انجام دهیم باید گفت که برجهای با ظرفیت بالا اقتصادی تـر مـی باشـند. برجهـای تـا ارتفاع 300 متر با ظرفیت تولید یک تا ده مگـاوات از مزایـای بیشـتری نسـبت بـه برجهـای مرتفع برخوردارند. اما هزینه این برجها حدود 400 DM/Mw یا 0.2 DM/kwh است کـه نسبتاً زیاد می باشد. در حالیکه هزینه برجهای مرتفع (در حـدود 900 متـر) کـه از ظرفیـت

بالایی برخوردارند حدود 1000 DM/KW یا (0.05-0.1) DM/kwh پیش بینی می شود که کاملاً اقتصادی است.

وقتی هزینه سرمایه گذاری برای دو سیستم مختلف انرژی را مقایسه می کنیم، فقط سیستمهای معادل بایستی با یکدیگر مقایسه شوند. بعبارت دیگر سیستمهایی که با بازیاب منابع طبیعی انرژی نظیر خورشید کار می کنند نبایستی با سیستمهایی که با منابع محدود نظیر زغال سنگ، نفت و اورانیوم کار می کنند مقایسه شوند و باید توجه داشت که در شرایط غیر معادل نمی توان یکی را بر دیگری ترجیح داد.

مقایسه برج نیرو با سایر نیروگاهها:

در مقایسه با سیستمهای موجود تولید انرژی، برجهای نیرو از مزایای زیادی برخوردارند که در زیر به شش مورد آن اشاره می شود:

۱- تولید برق بدون مصرف سوخت:

برج نیرو احتیاجی به سوخت ندارد زیرا فقط از انرژی خورشیدی برای تولید برق استفاده می شود و با سیستم ساده و مخصوص ذخیره انرژی شبها نیز کار می کند. از طرفی چون انرژی خورشید رایگان است می توان بهای برق را برای دورانهای طولانی تثبیت نمود. اما در نیروگاههای فسیلی و اتمی باید سوختهایی را مصرف کرد که قیمت آنها معمولاً در بازار ترقی می کند. از این رو در طول زمان از بالا بردن اجباری برق برای مصرف کننده نمی توان جلوگیری کرد.

۲- بدون مصرف آب:

نیاز مبرم به آب فراوان در برجهای خنک کننده و همچنین آب تصفیه شده برای بویلر از لوازم و مسائل اساسی تولید نیرو در نیروگاههای فسیلی و اتمی است. بعلاوه اینکه مصرف آب، توأم با مسائل رسوب گیری و خوردگی نیز می باشد. حال آنکه برجهای نیرو مطلقاً نیازی به مصرف آب ندارند و چون وابستگی به آب ندارد در هر نقطه می توان آن را احداث کرد.

۳- بدون آلودگی محیط زیست:

نیروگاههای فسیلی محیط اطراف خود را با گازها و مواد سمی آلوده می کنند. نیروگاههای اتمی نیز فضولات هسته ای که بسیار خطرناک و رادیواکتیو هستند، تولید می کنند و امروزه مسأله چگونگی از بین بردن این مواد مشکلات عظیمی را بوجود آورده است. اما برجهای نیرو ضمن تولیدبرق، هیچ گونه مواد سمی و مضر تولید نمی کنند و این مزیت بزرگی است.

۴- عمر زیاد:

عمر نیروگاههای فسیلی و اتمی بعلت استهلاک زیاد بین 15 تا 30 سال تخمین زده می شود. ولی برجهای نیرو تا بیشتر از 75 سال می توانند عمر مفید داشته باشند زیرا استهلاک این نیروگاهها بسیار کم است.

۵- بهره برداری کم:

نیاز برجهای نیرو به پرسنل چه از نظر تعداد و چه از نظر تخصص نسبت به سایر نیروگاهها کمتر است و این امر هزینه بهره برداری را کاهش می دهد.

۶- احتیاج کم به لوازم یدکی :

نیروگاههای فسیلی و اتمی در دمای بین 500 تا 1000 درجه سانتی گراد و فشار ده ها اتمسفر با چندین هزار دور در دقیقه کار می کنند و صدها قطعه گردنده دارند . در نتیجه به تعداد زیادی لوازم یدکی مخصوص احتیاج خواهند داشت که همه تخصصی و گران قیمت بوده و تهیه آنها با مشکلات فراوان همراه است. حال آنکه برجهای نیرو در دمایی کمتر از 75 درجه سانتی گراد و با فشاری در حدود فشار محیط کار می کنند و تعداد قطعات گردنده آن بسیار کم است و کمتر به لوازم یدکی احتیاج پیدا می کنند.

فصل هفتم

برج آزمایشی مانزانارس

و نتایج حاصل از آن

مقدمه:

اولین آزمایش درباره عملی بودن طرح برجهای نیرو بوسیله وزارت پژوهشهای صنعتی آلمان، در اسپانیا و در منطقه ای به نام مانزانارس انجام گرفت.

آزمایشات اولیه با موفقیت زیادی به انجام رسید و در اوایل بهار 1983 برج آزمایشی، مورد بهره برداری قرار گرفت. این برج صرفاً بصورت آزمایش احداث شد تا تحقیقات لازم و بررسیهای فنی برروی آن انجام گیرد. نتایج حاصل از این آزمایش بسیار مطلوب بود و اطلاعات علمی و فنی گرانبهایی از آن بدست آمد که ضامن پیشرفت و تکمیل تکنولوژی برجهای نیرو گردید. موفقیت در عملی بودن این طرح، آلمانیها را بر آن داشت تا یک نیروگاه 120 مگاواتی را که جزء برنامه های میان مدت آینده است، طرح ریزی کنند.

مشخصات برج آزمایشی:

کلکتور: پوشش کلکتور بصورت دایره ای و به قطر 250 متر و از مواد پلاستیکی نظیر پلی وینیل کلرید P.V.C و پلی وینیل فلوراید P.V.F در قطعات کوچک هریک به مساحت ٦ متر مربع ساخته شده است که در وسط هریک، یک ناودان جهت برف و باران و یا آب ناشی از شستشوی پوشش درنظر گرفته شده. عمر پوشش را برای 5 سال در نظر گرفته اند. ارتفاع متوسط پوشش از زمین 1.85 متر است.

دودکش: ارتفاع دودکش 195 متر و قطر آن 10.3 متر است که از ورقه های آهنی به ضخامت 1.25-1 میلی متر و عرض 8 متر ساخته شده است. دودکش از سوارکردن قطعات استوانه ای شکل بر روی هم که هرکدام دارای ارتفاع 8 متر می باشند، تشکیل شده. اتصال

و استحکام قطعات‌مجاور به کمک رینگ‌های مخصوصی برقرار شده است. وزن دودکش در حدود200 تن بوده که بوسیله 24 رشته سیم فولادی و چندوزنه بالانس مهارگردیده است.

توربین: توربین از 4 پره هر کدام به طول 5 متر تشکیل شده که در ارتفاع 9 متری از سطح زمین و در داخل دودکش قرار دارد. همچنین پره ها قابل تنظیم می باشند.

ژنراتور: توربین از طریق محور بـه دو ژنراتـور 40 و 150 کیلـوواتی مربـوط مـی شـود. برحسب سرعت باد در داخل دودکـش، یکـی از دو ژنراتـور بطـور خودکـار در مـدار قـرار می‌گیرند تا بهترین نتیجه از تبدیل انرژی باد به انرژی الکتریکـی بدسـت آیـد. بـا توجـه بـه دورهای متفاوت توربین که تابع سـرعت بـاد در داخـل دودکـش اسـت، فرکـانس خروجـی ژنراتور متغیر است. از این رو با استفاده از نسبت تبدیل چرخها در جعبه دنـده، دور ثـابتی برای آرمیچر ژنراتور فراهم می شود. در مورد برج نیـروی مانزانـارس، سـرعت آرمیچـر ژنراتور همیشه روی 150 دور بر دقیقه ثابت نگه داشته می شود تا فرکانس برق تولیدشده ثابت بماند.

مشخصات برج بطور خلاصه در زیر آمده است:

شعاع متوسط کلکتور:	122 m
ارتفاع دودکش:	195 m
ارتفاع متوسط پوشش از زمین:	1.85 m
تعداد پره های توربین:	4
طول پره:	5 m

مدهای بهره برداری توربین:

الف) مد مستقل

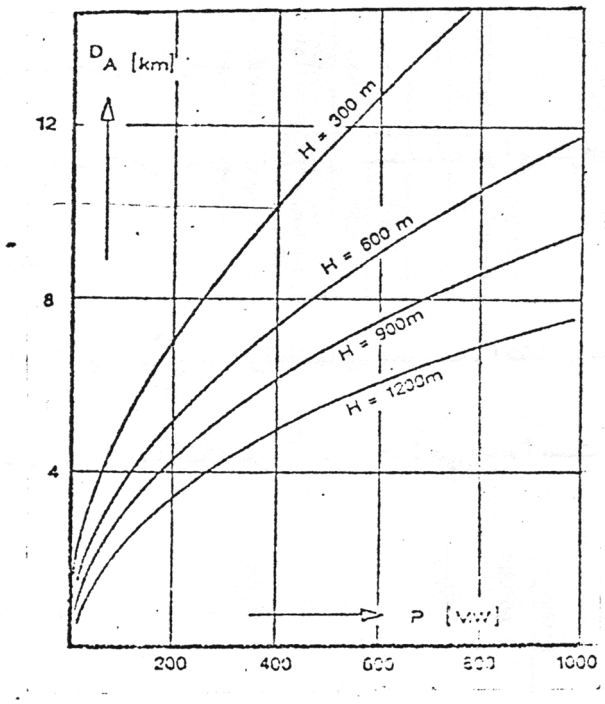
ب) مد اتصال به شبکه

سرعت توربین در مد اتصال به شبکه:	100 rpm
نسبت تبدیل جعبه دنده:	1:10
شدت تشعشع طراحی:	$I=1000\ w/m^2$
درجه حرارت هوای طراحی:	$Ta=302^{o}k$
افزایش درجه حرارت طراحی:	$T=20\ ^{o}k$
راندمان کلکتور:	$\eta_c=0.32$
راندمان توربین:	$\eta_T=0.83$
ضریب تلفات اصطکاکی:	$\eta_f=0.9$
سرعت متوسط باد در شرایط بهره برداری:	$v= 9\ m/s$
ماکزیمم سرعت مجاز:	$v = 15\ m/s$
توان متوسط خروجی براساس نقطه طراحی:	$N= 150\ Kwatt$

محاسبات تئوری و آزمایشات عملی که برروی برج آزمایشی مانزانارس انجام گرفت، نشان داد که تولید برق با استفاده از تکنیک برجهای نیرو برای واحدهای با ظرفیت بیش از 50 مگاوات اقتصادی است. در مناطق آفتابی (نواحی خشک و نیمه خشک) بخصوص اگر قیمت زمین نازل باشد، استفاده از برجهای نیرو بسیار سودمند و مناسب است. که

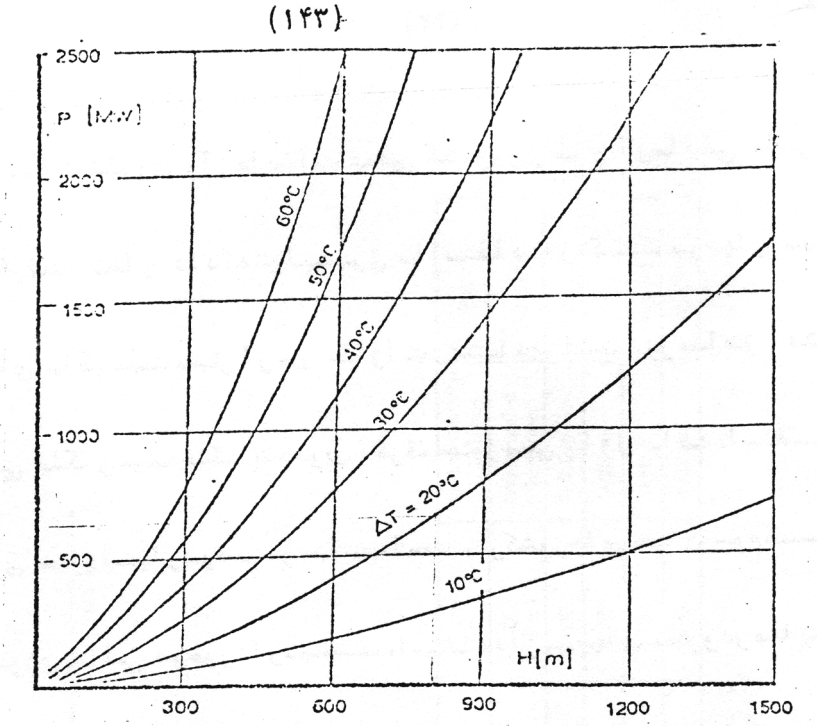
کشورهای جهان سوم که از تکنولوژی عالی برخوردار نیستند، استفاده از برجهای نیرو در مقایسه با سایر سیستمهای تولید انرژی ارجحیت دارد.

نمودارهای رسم شده در زیر، ظرفیت تولیدی نیروگاه برحسب قطر دایره کلکتور و نیز برحسب ارتفاع دودکش را نشان می دهند. در ادامه مشخصات و ابعاد چند برج با ظرفیتهای مختلف که برای نواحی نیمه خشک با 300 روز آفتابی در سال طراحی شده اند، آمده است.

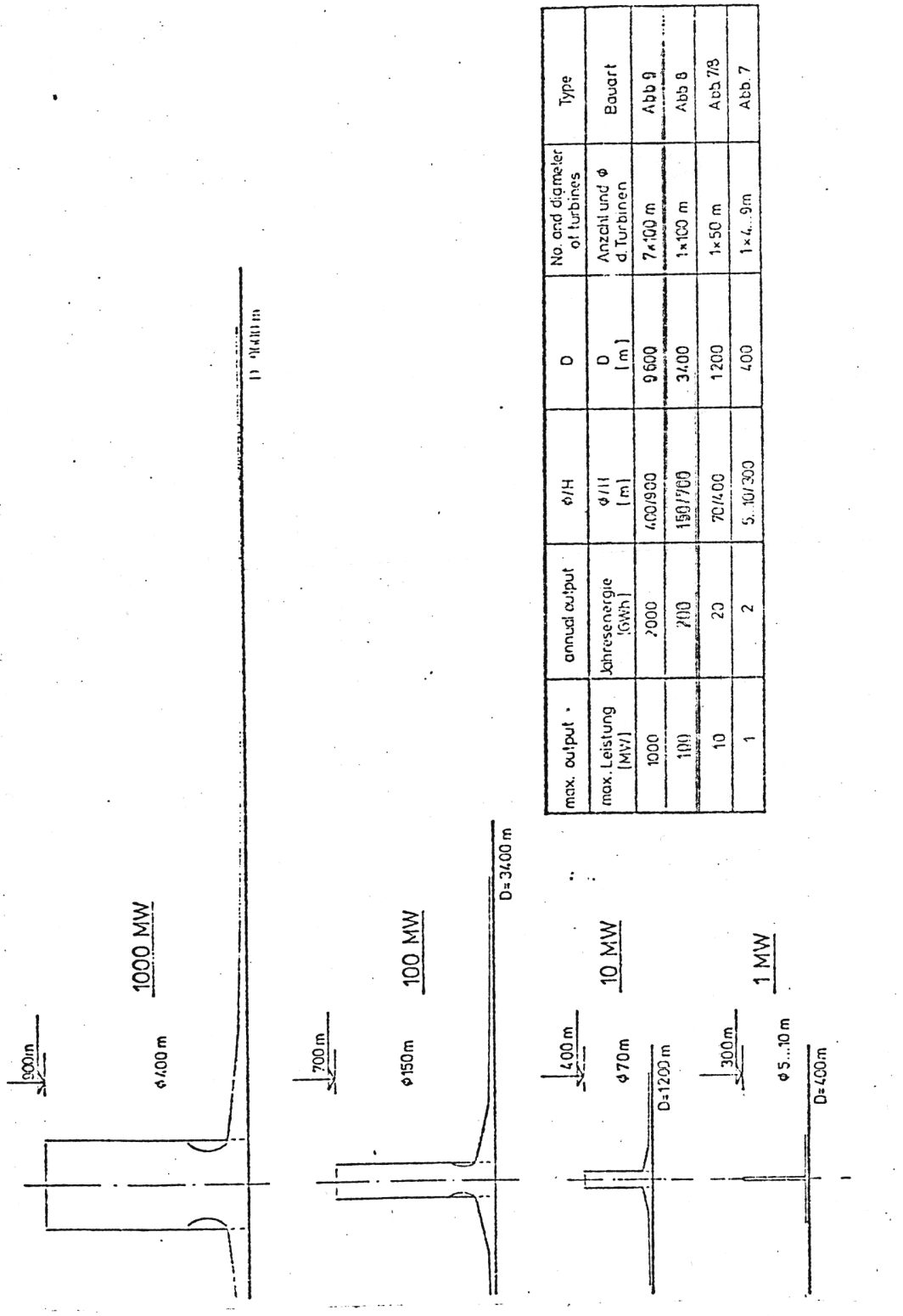


نمودار ظرفیت تولیدی نیروگاه برحسب قطر دایره کلکتور که برای ارتفاعات مختلف دودکش رسم شده است. اختلاف درجه حرارت 30 درجه کلوین فرض شده است

(۱۴۳)



نمودار ظرفیت تولیدی نیروگاه برحسب ارتفاع دودکش که برای اختلاف درجه حرارتهای مختلف رسم شده است



max. output ·	annual output	Φ/H	D	No. and diameter of turbines	Type
max. Leistung (MW)	Jahresenergie (GWh)	Φ/H (m)	D (m)	Anzahl und Φ d. Turbinen	Bauart
1000	2000	400/900	9600	7×100 m	Abb 9
100	200	150/700	3400	1×100 m	Abb 8
10	20	70/400	1200	1×50 m	Abb 7/8
1	2	5...10/300	400	1×4...9m	Abb. 7

برآورد قطر کلکتور و ابعاد برج برای ظرفیتهای مختلف در نواحی نیمه خشک با 300 روز آفتابی در سال

در پایان اگر بخواهیم مقایسه ای بین نیروگاه خورشیدی (برج نیرو) و نیروگاههای فسیلی و اتمی داشته باشیم بسیار مشکل است، زیرا این دو سیستم با یکدیگر معادل نیستند. برای این که این گفته را روشن‌تر بیان نماییم، سؤال فوق را از دود دیدگاه مختلف پاسخ می‌دهیم:

الف- نیروگاههای فسیلی یا اتمی نسبت به نیروگاههای خورشیدی مناسب تر هستند، زیرا: نیروگاههای فسیلی هزینه نصب و تأسیس اولیه پایین تری نسبت به برج نیرو دارند، مگاوات خروجی تثبیت شده تری دارند، در حجم کمتر مگاوات بیشتری می دهند (در مقایسه با برج نیرو که مساحت وسیعی را اشغال می کند و نیاز به زمین زیادی دارد)، مگاوات خروجی نیروگاههای فسیلی در شب و روز یکسان است (درحالیکه برج نیرو دارای توان متغیری در شبانه روز است). به علت اینکه کشورما نسبت به سوختهای فسیلی غنی است، فعلاً نیازی به استفاده از انرژی خورشیدی نداریم.

ب- نیروگاههای خورشیدی (برج نیرو) نسبت به نیروگاههای فسیلی و اتمی بهترند، زیرا: سوخت این نیروگاهها بطور رایگان بوده و منبع انرژی مطمئنی برای هزاران سال آینده به شمار می رود (در حالیکه سوختهای فسیلی یا اتمی رو به اتمام بوده و تکیه گاه انرژی مناسبی در آینده نمی باشند)، هزینه بهره برداری نیروگاههای خورشیدی بسیار پایین میباشد (درحالیکه نیروگاههای فسیلی و هسته ای عکس این هستند)، نیروگاههای خورشیدی از تکنولوژی بسیار ساده ای برخوردار هستند بطوریکه 70% آن را می توان در داخل کشور ساخت و تکنولوژی بقیه را نیز در آینده نزدیک می توان بدست آورد (درصورتیکه نیروگاههای فسیلی و اتمی دارای تکنولوژی بسیار پیچیده ای بوده و رسیدن به آنها در آینده ای نزدیک برایمان مقدور نیست)، نیروگاههای خورشیدی از عمر طولانی و

استهلاک کم برخوردار هستد زیرا دور توربین آنها بسیار پایین و سایر تجهیزات متعلقه بسیار ساده هستند (در صورتیکه نیروگاههای فسیلی و هسته ای بعلت خوردگی اعم از شیمیایی و فیزیکی ، رسوب گذاری و ... دارای استهلاک زیادی هستند)، نیروگاههای خورشیدی نیاز به نیروی انسانی چندان متخصص ندارند و وابستگی کشور ما را از نظر صنعتی و علمی و انسانی و اقتصادی کاهش می دهند (درحالیکه نیروگاههای فسیلی و اتمی با پیچیدگی هایی که دارند وابستگی را روز به روز افزایش می دهند)، کشور ما از نظر داشتن تشعشع خورشیدی مناسب و زمینهای کویری وسیع، محیط مناسبی برای نصب برج نیرو می باشد و از این نظر محدودیتی نداریم، این نیروگاهها نیاز به آب خنک کن ندارند (درحالیکه نیروگاههای فسیلی و اتمی آب خنک کن زیادی نیاز دارند)، این نیروگاهها هیچ گونه آلودگی محیط زیست را به دنبال ندارند (درصورتیکه نیروگاههای فسیلی و مخصوصاً اتمی آلودگیهای بسیار خطرناکی به همراه دارند.)

مراجع:

۱- نشریه امور انرژی، سال دوم، شماره ۱ فروردین ۱۳٦۳

۲- پدیده های جوی، مهندس مهدی بازرگان. ۱۳٦٥

3- Solar and wind technology magazin (Feburary 1984)

4- International Journal solar Energy (vol.2,1983)

٥- مقاله ارائه شده توسط دکتر سایق sayigh استاد دانشگاه ریاد Reyad در کنفرانس جهانی انرژی در دسامبر 1980.