

تولید و نیروگاه ویرایش دوم



نیروگاه



نویسنده: دکتر مرتضی آیین



LAMBERT
Academic Publishing

Publisher: PowerEn.ir

دانشکده فنی و مهندسی شهید چمران



دانشگاه فنی و حرفه ای

دانشکده شهید چمران کرمان

انسیتو برق

تولید و نیروگاه

دکتر مرتضی آیین

دی 1394

@techpower



@techpower



چکیده

در این کتاب شما با انواع نیروگاه های موجود در دنیا جهت تولید برق پایدار آشنا خواهید شد.

@techpower



فهرست عناوین

3	نیروگاه خورشیدی
3	مقدمه
4	موقعیت ایران
5	تاریخچه
6	دلیل نیاز به انرژی جایگزین
8	استفاده از انرژی حرارتی خورشید
8	کاربردهای نیروگاهی
8	کاربردهای غیر نیروگاهی
9	نیروگاه های حرارتی خورشیدی
10	شماتیک کلی نیروگاه حرارتی خورشید از نوع سهموی خطی
14	نیروگاه خورشیدی شیراز
15	نمونه هایی از سیستم SEGS که در دنیا نصب شده
16	نیروگاههای حرارتی از نوع دریافت کننده مرکزی
20	نمونه هایی از نیروگاه های دریافت کننده مرکزی
22	سیستم تولید برق خورشیدی بشقابی – استرلینگ
23	اساس کار این نیروگاه
23	موتور استرلینگ چگونه کار می کند؟
26	مزایای روش بشقابی – استرلینگ
27	معایب روش بشقابی استرلینگ

@techpower



28	..... دودکش خورشیدی
30	..... عملکرد
31	..... مزایای نظریه روش تولید دودکش خورشیدی
32	..... معایب نظریه روش تولید دودکش خورشیدی
34	..... تولید الکتریسیته توسط سلولهای نوری (فتو ولتائیک)
34	..... تاریخچه سلولهای فتوولتایی
35	..... اساس کار سلولهای خورشیدی
37	..... اجزای سیستمهای فتوولتائیک
38	..... انواع سیستمهای فتوولتائیک
41	..... معایب نظریه نیروگاههای سلول نوری
42	..... نیروگاه های بزرگ فتو ولتائیک جهان
42	..... برآورد قیمت سیستم فوتو ولتائیک برای واحد های مسکونی
46	..... نیروگاه هسته ای
46	..... مقدمه
46	..... ساختمان اتم
48	..... شکافت هسته ای (تقطیع)
50	..... اورانیوم
50	..... غنی سازی اورانیم
51	..... روش غنی سازی اورانیوم
56	..... انواع رآکتورهای قدرت
64	..... نیروگاه بخار
64	..... مقدمه
65	..... سیکل ترمودینامیکی نیروگاه بخاری
66	..... سیکل کارنو با استفاده از بخار آب
69	..... سیکل رانکین
90	..... شکل کلی وطرز کار نیروگاه بخار
98	..... نیروگاه سیکل ترکیبی
98	..... مقدمه

@techpower



99	..... نحوه عملکرد سیکل ترکیبی
99	..... پاک کننده گاز و خنک کن
99	..... مبدل گرمایی گاز به گاز
99	..... چرا سیکل ترکیبی دارای مقبولیت بیشتری است؟
104	..... اصول ترمودینامیکی نیروگاههای سیکل ترکیبی
105	..... راندمان حرارتی نیروگاه سیکل ترکیبی
107	..... انواع نیروگاه های سیکل ترکیبی
109	..... نیروگاه های سیکل ترکیبی از نظر نوع توربین ها و بازیاب ها و وجود مشعل
111	..... توضیح هزینه و راندمان
111	..... بخش های نیروگاه سیکل ترکیبی
111	..... واحد های گازی
	..... واحد بخار 112
112	..... تجهیزات جانبی
112	..... پست نیروگاهی
112	..... اجزای اصلی واحد های گازی نیروگاه سیکل ترکیبی
	..... کمپرسور 113
113	..... محفظه احتراق
	..... توربین 117
118	..... سیکل ترکیبی (سیکل برایتون و رانکین)
119	..... مولدهای بخار
121	..... اصول طراحی سیکل ترکیبی
122	..... اندازه معمول نیروگاههای سیکل ترکیبی
124	..... آرایش نیروگاههای CCGT
126	..... راندمان نیروگاههای CCGT
127	..... نیروگاههای سیکل ترکیبی برای تولید همزمان برق و حرارت
127	..... مزایای تولید همزمان برق و حرارت
128	..... انواع نیروگاه های تولید همزمان
128	..... مقایسه نیروگاه سیکل ترکیبی با سایر نیروگاههای حرارتی
129	..... 2. مقایسه هزینه ها

@techpower



129	.....	مقایسه زمان ساخت	3
130	.....	مقایسه اقتصادی نیروگاهها	4
131	.....	سوخت ها	5
131	.....	نیروگاه سیکل ترکیبی باغین	
134	.....	نیروگاه گازی	
134	.....	مقدمه	
136	.....	نیروگاه های حرارتی	
136	.....	محل نیروگاه حرارتی	
138	.....	تاریخچه توربین گاز	
138	.....	مقدمه	
155	.....	چرخه های توربین های گازی	
155	.....	چرخه باز غیرمستقیم	
156	.....	چرخه بسته مستقیم	
157	.....	چرخه بسته غیرمستقیم	
158	.....	چرخه ایده آل برایتون	
159	.....	سیکل عملی برایتون	
171	.....	بررسی زیست محیطی	
175	.....	شکل (2-5) تغییرات درجه حرارت شعله با نسبت هوای اضافی	
176	.....	شکل (3-5) غلظت NO_x با نسبت هوای اضافی و نسبت فشار کمپرسور	
176	.....	روشهای مورد استفاده برای کاهش NO_x	
177	.....	نصب سیستم SCR	
179	.....	حرارت تلف شده	
180	.....	صدا	
180	.....	بهره برداری از توربین گازی	
181	.....	راه اندازی توربین گازی	
190	.....	بارگیری از توربین گازی	
192	.....	بهره برداری بهینه از توربین گازی	
199	.....	نیروگاه آبی	

@techpower



199	مقدمه.....
200	مزایا نیروگاه های آبی
200	معایب نیروگاه های آبی
201	معیارهای محل انتخاب نیروگاه
201	انواع نیروگاه آبی
203	نیروگاه های آبی با فشار متوسط
204	نیروگاه آبی با فشار زیاد
204	نیروگاه های آبی از نظر نوع آب
206	ساختمان توربین های آبی
208	طبقه بندی بر اساس نوع جریان آب
212	نیروگاه بادی.....
213	انواع توربین های بادی از لحاظ اندازه
214	تقسیم بندی توربین های بادی از نظر نوع چرخش
219	بادها در ایران
220	نیروگاه های بادی در ایران
220	قسمت های نیروگاه بادی
224	پایان.....

@techpower



@techpower



فصل اول

@techpower



نیروگاه

خورشیدی

@techpower



نیروگاه خورشیدی

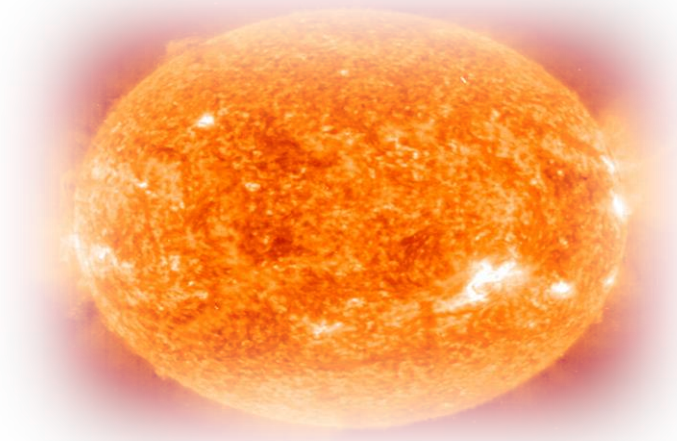
مقدمه

خورشید منبع عظیم انرژی بلکه سرآغاز حیات و منشأ تمام انرژیهای دیگر است. در حدود ۶۰۰۰ میلیون سال پیش به وجود آمده ست و در هر ثانیه $4/2$ میلیون تن از جرم خورشید به انرژی تبدیل می‌شود. با توجه به وزن خورشید که حدود ۳۳۳ هزار برابر وزن زمین است. این کره نورانی را می‌توان به عنوان منبع عظیم انرژی تا ۵ میلیارد سال آینده به حساب آورد.

انرژی چهل روز تابش خورشید با انرژی مورد نیاز یک قرن برابر بوده خورشید از گازهایی نظیر هیدروژن ($86/8$ درصد) هلیوم (۳ درصد) و ۶۳ عنصر دیگر که مهم‌ترین آنها اکسیژن، کربن، نئون و نیتروژن است تشکیل شده است.

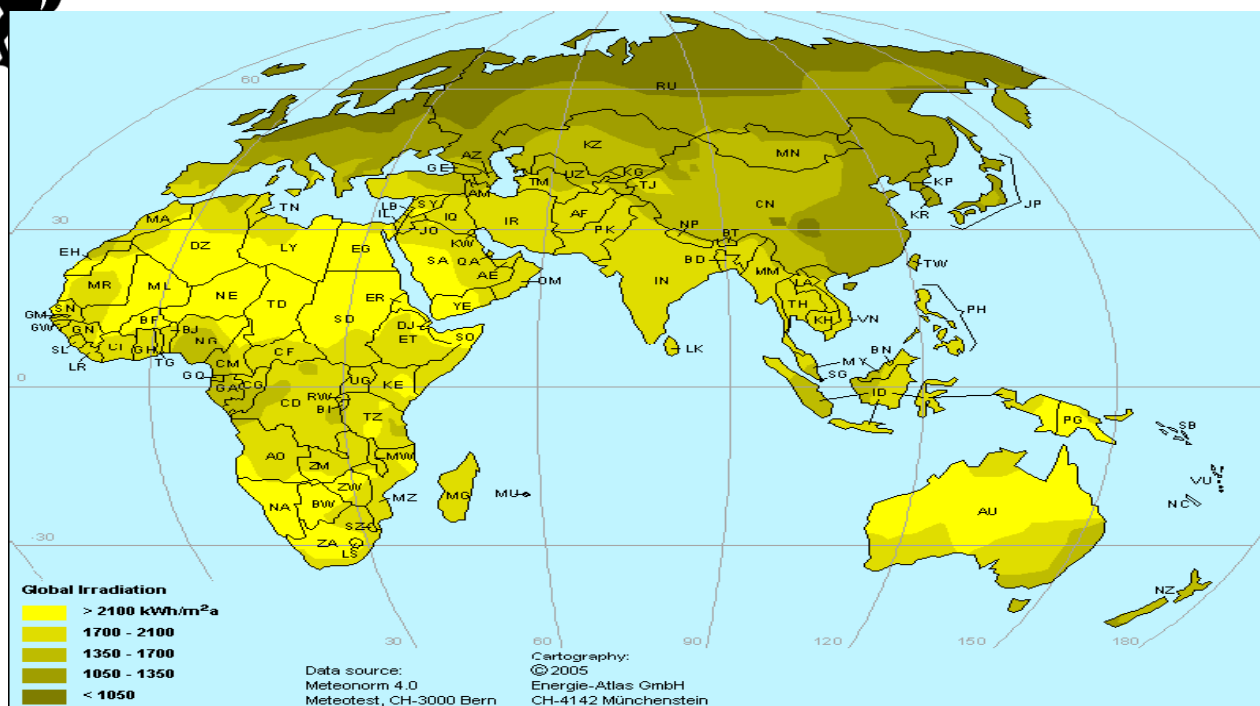
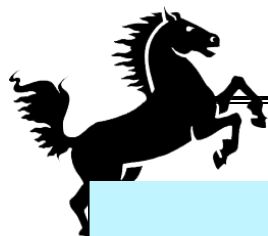
میزان دما در مرکز خورشید حدود ۱۰ تا ۱۴ میلیون درجه سانتیگراد می‌باشد که از سطح آن با حرارتی نزدیک به ۵۶۰۰ درجه و به صورت امواج الکترو مغناطیسی در فضا منتشر می‌شود.

زمین در فاصله ۱۵۰ میلیون کیلومتری خورشید واقع است و ۸ دقیقه و ۱۸ ثانیه طول می‌کشد تا نور خورشید به زمین برسد. بنابراین سهم زمین در دریافت انرژی از خورشید میزان کمی از کل انرژی تابشی آن می‌باشد.



موقعیت ایران

- ایران دارای بیش از 300 روز آفتابی و متوسط تابش 2200 کیلووات ساعت در هر متر مربع است.
- دو ماه تابش خورشید در ایران معادل کل ذخایر نفت و گاز شناخته شده در کشور است.
- اگر تنها 1٪ مساحت ایران با انواع سیستم‌های خورشیدی پوشانده شود، قابلیت تامین کل انرژی مورد نیاز کشور وجود خواهد داشت.
- تاکنون بیش از یکصد هزار متر مربع کلکتور خورشیدی حرارتی با صرفه جویی سالانه 60 میلیون مترمکعب گاز طبیعی در سراسر کشور نصب شده است.



حتی سوختهای فسیلی ذخیره شده در زمین، انرژیهای باد، آبشار، امواج دریاها و بسیاری موارد دیگر از جمله نتایج همین انرژی دریافتی زمین از خورشید می باشد.

انرژی خورشید برای حرارت آب، استفاده دینامیکی، حرارت فضایی ساختمانها، خشک کردن تولیدات کشاورزی و تولید انرژی الکتریسیته مورد استفاده قرار می گیرد.

تاریخچه

شناخت انرژی خورشیدی و استفاده از آن برای منظورهایی مختلف به زمان ماقبل تاریخ باز می گردد. شاید به دوران سفالگری، در آن هنگام روحانیون معابد به کمک جامهای بزرگ طلائی صیقل داده شده و اشعه خورشید، آتشدانههای محرابها را روشن می کردند. یکی از فراغنه مصر معبدی ساخته بود که با طلوع خورشید درب آن باز و با غروب خورشید درب بسته می شد.

ولی مهم ترین روایتی که درباره استفاده از خورشید بیان شده داستان ارشمیدس دانشمند و مخترع بزرگ یونان قدیم می باشد که ناوگان روم را با استفاده از انرژی حرارتی خورشید به آتش کشید گفته

PowerEn.ir



می‌شود که ارشمیدس با نصب تعداد زیادی آئینه‌های کوچک مربعی شکل در کنار یکدیگر که روی یک پایه متحرک قرار داشته‌است اشعه خورشید را از راه دور روی کشتیهای رومیان متمرکز ساخته و به این ترتیب آنها را به آتش کشیده‌است. در ایران نیز معماری سنتی ایرانیان باستان نشان دهنده توجه خاص آنان در استفاده صحیح و مؤثر از انرژی خورشید در زمان‌های قدیم بوده‌است.

با وجود آنکه انرژی خورشید و مزایای آن در قرون گذشته به خوبی شناخته شده بود ولی بالا بودن هزینه اولیه چنین سیستمهایی از یک طرف و عرضه نفت و گاز ارزان از طرف دیگر سد راه پیشرفت این سیستمها شده بود تا اینکه افزایش قیمت نفت در سال ۱۹۷۳ باعث شد که کشورهای پیشرفته صنعتی مجبور شدند به مسئله تولید انرژی از راههای دیگر (غیر از استفاده سوختهای فسیلی) توجه جدی‌تری نمایند.

دلیل نیاز به انرژی جایگزین

امروزه بشر با دو بحران بزرگ روبرو است که بیش از آنچه ما ظاهراً تشخیص می‌دهیم با یکدیگر ارتباط دارند. از یک طرف جوامع صنعتی و همچنین شهرهای بزرگ با مشکل آلودگی محیط زیست مواجهند و از طرف دیگر مشاهده می‌شود که مواد اولیه و سوخت مورد نیاز همین ماشینها با شتاب روز افزون در حال اتمام است.

اثرات مصرف بالای انرژی در زمین و آب و هوا آشکارا مشخص می‌باشد و ما تنها راه حل را در پایین آوردن میزان مصرف انرژی می‌دانیم، حال آنکه این امر نمی‌تواند به طور موثر ادامه داشته باشد. توجه و توصل به انرژی اتمی به عنوان جانشینی برای سوختهای فسیلی نیز چندان موفقیت آمیز نبوده است.

صرف هزینه‌های سنگین و همچنین تشعشعات خطرناکی که از نیروگاههای اتمی در فضا پخش شده، نتیجه مثبتی نداشته است و اگر یکی از این نیروگاهها منفجر شود زیانهای فراوان و جبران ناپذیری به بار خواهد آورد. به علاوه به مشکل اساسی که در مورد مواد سوختی نظیر نفت، گاز و زغال سنگ داشتیم

PowerEn.ir



بر می خوریم بدین معنی که معادن اورانیم که سوخت این نیروگاهها را تامین می کند منابع محدودی هستند و روزی خواهد رسید که این ذخایر پایان خواهد یافت و ماده ای که جایگزین آن شود وجود نخواهد داشت.



که انرژی خورشید به عنوان یکی از منابع بی پایان انرژی می تواند حلال مشکلات موجود در مورد انرژی و محیط زیست باشد. انرژی بدون خطر... این انرژی که به زمین می تابد هزاران بار بیشتر از آنچه که ما نیاز داریم و مصرف می کنیم، می باشد. حتی نور کمی که از پنجره به اتاق میتابد دارای انرژی بیشتری از سیم برقی است که به داخل اتاق کشیده شده است. از انرژی خورشیدی می توان استفاده های مهم و کاملاً مفید، به عنوان یک انرژی تمیز و قابل دسترس در همه جا استفاده کرد. اما از نور خورشید به طور مستقیم نمی توان به جای سوخت های فسیلی بهره برد بلکه باید دستگاههایی ساخته شود که بتوانند انرژی تابشی خورشید را به انرژی قابل استفاده نظیر انرژی مکانیکی، حرارتی الکتریسیته و ... تبدیل کنند.

در عصر حاضر از انرژی خورشیدی توسط سیستم های مختلف استفاده می شود که عبارت اند از:

1. استفاده از انرژی حرارتی خورشید برای مصارف خانگی، صنعتی و نیروگاهی.



2. تبدیل مستقیم پرتوهای خورشید به الکتریسیته بوسیله تجهیزاتی به نام فتوولتائیک.

استفاده از انرژی حرارتی خورشید

این بخش از کاربردهای انرژی خورشید شامل دو گروه نیروگاهی و غیر نیروگاهی می‌باشد.

کاربردهای نیروگاهی

تأسیساتی که با استفاده از آنها انرژی جذب شده حرارتی خورشید به الکتریسیته تبدیل می‌شود نیروگاه حرارتی خورشیدی نامیده می‌شود این تأسیسات بر اساس انواع متمرکز کننده‌های موجود و بر حسب اشکال هندسی متمرکز کننده‌ها به صورت زیر تقسیم می‌شوند:

- نیروگاههای حرارتی خورشید از نوع سهموی خطی (SEGS)
- نیروگاههایی که گیرنده آنها در یک برج قرار دارد و نور خورشید توسط آینه‌های بزرگی به نام هلیوستات به آن منعکس می‌شود. (دریافت کننده مرکزی)
- سیستم تولید برق خورشیدی بشقابی – استرلینگ
- دودکش‌های خورشیدی

کاربردهای غیر نیروگاهی

کاربردهای غیر نیروگاهی از انرژی حرارتی خورشید شامل موارد متعددی می‌باشد که اهم آنها عبارت‌اند از: آبگرمکن و حمام خورشیدی – سرمایش و گرمایش خورشیدی – آب شیرین کن خورشیدی – خشک کن خورشیدی – اجاق خورشیدی – کوره‌های خورشیدی و خانه‌های خورشیدی.

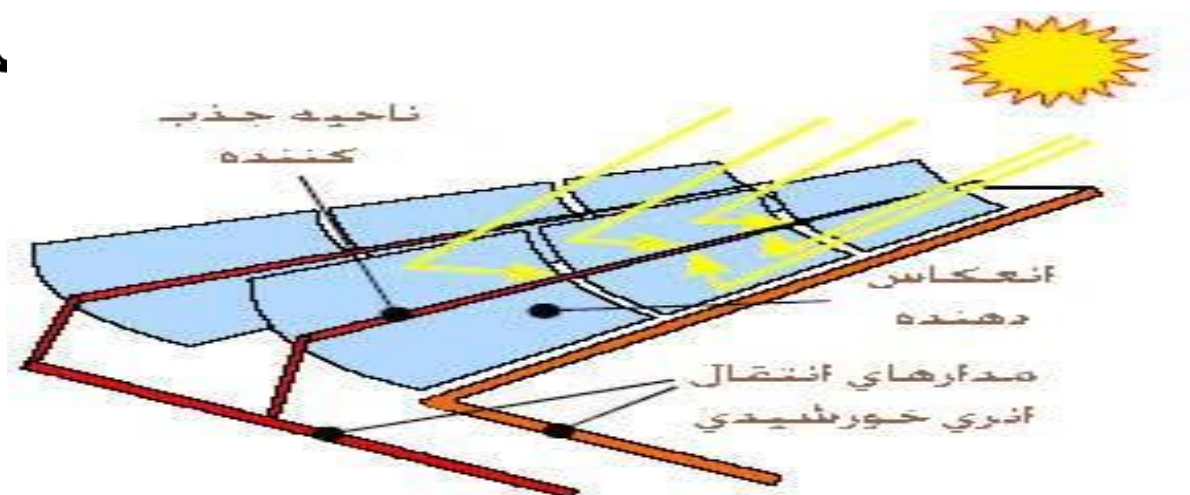


نیروگاه های حرارتی خورشیدی

1) نیروگاههای حرارتی خورشید از نوع سهموی خطی (SEGS)



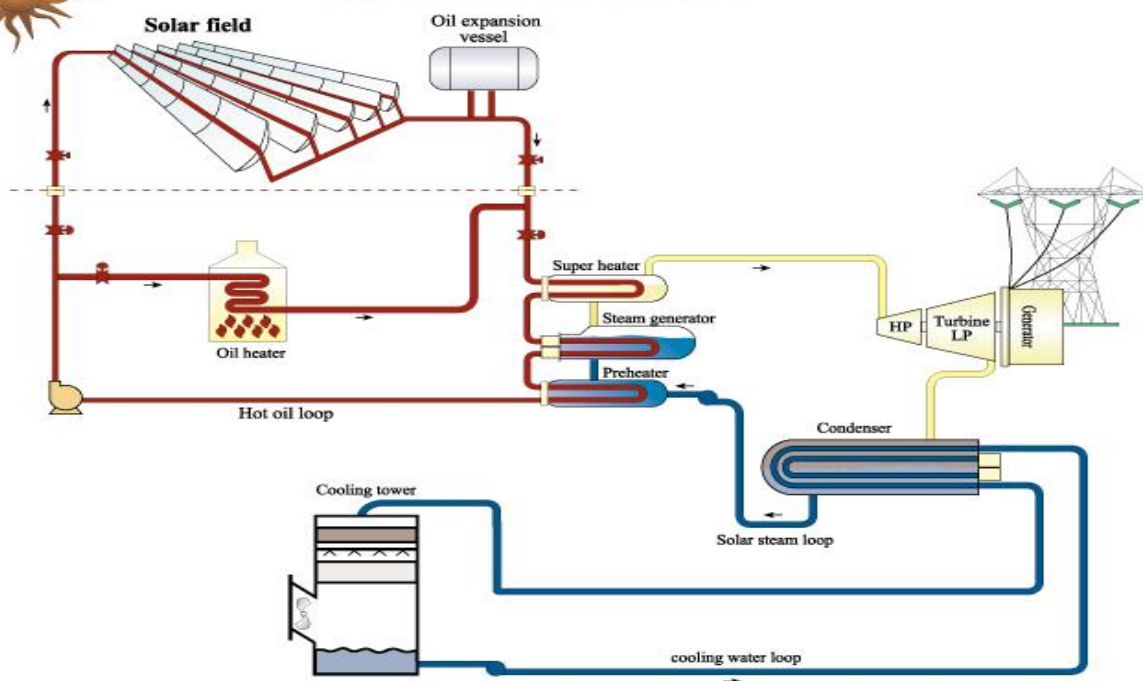
در این نیروگاه‌ها، از منعکس کننده‌هایی که به صورت سهموی - خطی می‌باشند جهت تمرکز پرتوهای خورشید در خط کانونی آنها استفاده می‌شود و گیرنده به صورت لوله‌ای در خط کانونی منعکس کننده‌ها قرار دارد. در داخل این لوله روغن مخصوصی در جریان است که بر اثر حرارت پرتوهای خورشید گرم و داغ می‌گردد. روغن داغ از مبدل حرارتی عبور کرده و آب را به بخار به مدارهای مرسوم در نیروگاه‌های حرارتی انتقال داده می‌شود تا به کمک توربین بخار و ژنراتور به توان الکتریکی تبدیل گردد.



شماتیک کلی نیروگاه حرارتی خورشید از نوع سهموی خطی

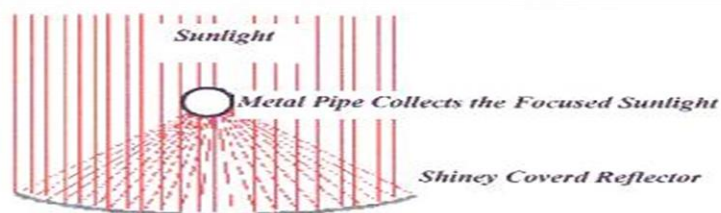


The Solel Solar Field Application to Power Plant

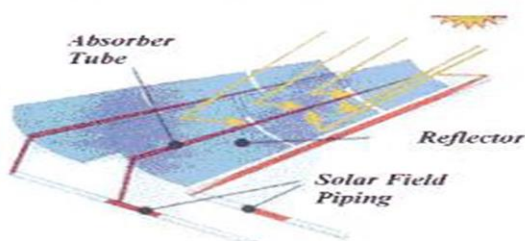




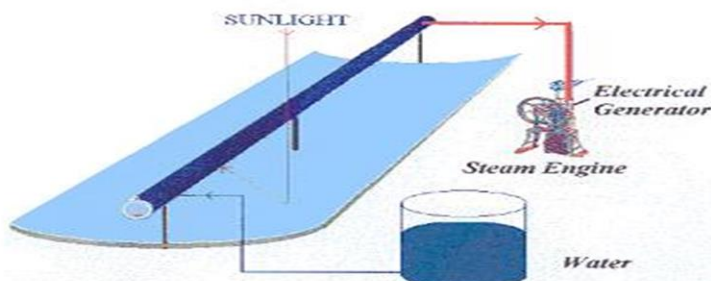
PowerEn.ir



شکل ۱- بازتاب نور خورشید بر روی لوله گیرنده انرژی



شکل ۲- شماتیک کلکتور سهموی خطی



شکل ۳- شماتیک تولید برق با استفاده از کلکتورهای سهموی

برای بهره‌گیری بیشتر و افزایش بازدهی لوله دریافت کننده سطح آن را با اکسید فلزی که ضریب بالایی دارد پوشش می‌دهند و همچنین در محیط اطراف آن لوله شیشه‌ای به صورت لفاف پوشیده می‌شود تا از تلفات گرمایی و افت تشعشعی جلوگیری گردد و نیز از لوله دریافت کننده محافظت بعمل آید.

در این نیروگاه‌ها یک سیستم ردیاب خورشید نیز وجود دارد که بوسیله آن آینه‌های شلجمی دائماً خورشید را دنبال می‌کنند و پرتوهای آن را روی لوله دریافت کننده متمرکز می‌نمایند.

تغییرات تابش خورشید در این نیروگاه‌ها توسط منبع ذخیره و گرمکن سوخت فسیلی جبران می‌شوند. در چند کشور نظیر ایالات متحده آمریکا، اسپانیا، مصر، مکزیک، هند و مراکش از نیروگاه‌های سهموی

PowerEn.ir



خطی استفاده شده است که این نیروگاه‌ها یا در مرحله ساخت و یا در مرحله بهره‌برداری قرار دارند. در

ایران نیز تحقیقات و مطالعاتی در زمینه این نیروگاه‌ها انجام شده و پروژه یک نیروگاه تحقیقاتی با

ظرفیت ۳۵۰ کیلووات توسط سازمان انرژی‌های نو ایران در شیراز ساخته شده است.

آخرین نوع از این نیروگاه‌ها SEG(IV-IX) دارای بازده ۱۱٪ تا ۱۳٪ می باشد.

نوع جدیدی از لوله‌های جاذب اخیراً مورد استفاده قرار گرفته، که دیگر نیازی به چرخه سیال حامل گرما

HTF ندارد و مستقیماً بخار تولید می کند.

مزایا

- پیوند ساده با سیستم پشتیبان
- امکان تولید قطعات انبوه
- امکان تولید گرما و برق هم زمان
- فن آوری قابل اعتماد با بیش از ۵ هزار گیگا وات ساعت تجربه کارکرد

معایب

- برای آئینه‌های جمع‌کننده به پایه‌های صلب پایدار نیاز است.
- انرژی قابل ملاحظه‌ای برای چرخش HTF نیاز است.
- اتلاف‌های قابل ملاحظه‌ای در زاویه تابش بخاطر تعقیب‌کننده‌ی تک محوری وجود دارد

PowerEn.ir



نیروگاه خورشیدی شیراز

نیروگاه خورشیدی شیراز از 48 عدد کلکتور سهموی در 8 ردیف 6 تایی تشکیل شده است که در راستای شمال- جنوب نصب گردیده است. طول هر کلکتور 25 متر و دهانه آن 3/4 متر میباشد. انرژی حرارتی پرتوهای خورشید توسط لوله های گیرنده جذب شده و به سیال انتقال حرارت که روغن می باشد منتقل میشود. سیال تا 265 درجه سانتیگراد گرم میشود و سپس روغن داغ وارد مبدل های حرارتی شده و پس از عبور از مبدل، آب را به بخار سوپر هیت تبدیل میکند و بخار حاصل وارد ماشین بخار شده و توسط ژنراتور برق تولید میشود.





نمونه هایی از سیستم SEGS که در دنیا نصب شده

نام و محل نصب	توان (مگاوات)	نوع کارکرد	زمان اتصال به شبکه
کولیدیج (آمریکا)	۱۵ / .	خورشیدی	۱۹۸۰ - ۱۹۸۲
آفتاب (ژاپن)	۱/۰	خورشیدی	۱۹۸۱ - ۱۹۸۴
IEA - DCS (اسپانیا)	۰/۵	خورشیدی	۱۹۸۱ - ۱۹۸۵
STEP-100 (استرالیا)	۰/۱	خورشیدی	۱۹۸۲ - ۱۹۸۵
SEGI (آمریکا)	۱۴	پیوندي خورشیدی فسیلی	۱۹۸۵ تاکنون
SEGII (آمریکا)	۳۰	پیوندي خورشیدی فسیلی	۱۹۸۶ تاکنون
SEGI-III-IV (آمریکا)	۳۰	پیوندي خورشیدی فسیلی	۱۹۸۷ تاکنون
SEGV (آمریکا)	۳۰	پیوندي خورشیدی فسیلی	۱۹۸۸ تاکنون
SEGV.I.VII (آمریکا)	۳۰	پیوندي خورشیدی فسیلی	۱۹۸۹ تاکنون
SEGVII (آمریکا)	۸۰	پیوندي خورشیدی فسیلی	۱۹۹۰ تاکنون
SEGIX (آمریکا)	۸۰	پیوندي خورشیدی فسیلی	۱۹۹۱ تاکنون

نیروگاههای حرارتی از نوع دریافت کننده مرکزی



PowerEn.ir



در این نیروگاه‌ها پرتوهای خورشیدی توسط مزرعه‌ای متشکل از تعداد زیادی آینه منعکس کننده بنام هلیوستات بر روی یک دریافت کننده که در بالای برج نسبتاً بلندی استقرار یافته است متمرکز می‌گردد. در نتیجه روی محل تمرکز پرتوها انرژی گرمایی زیادی بدست می‌آید که این انرژی بوسیله سیال عامل که داخل دریافت کننده در حرکت است، جذب می‌شود و بوسیله مبدل حرارتی به سیستم آب و بخار مرسوم در نیروگاه‌های سنتی منتقل شده و بخار فوق گرم در فشار و دمای طراحی شده برای استفاده در توربین ژنراتور تولید می‌گردد.

این سیال عامل در مبدل‌های حرارتی در کنار آب قرار گرفته و موجب تبدیل آن به بخار با فشار و حرارت بالا می‌گردد. در برخی از سیستم‌ها سیال عامل آب است و مستقیماً در داخل دریافت کننده به بخار تبدیل می‌شود.

- سیستم هوایی امکان افزایش دما تا 800 درجه را می‌دهد که باعث افزایش بازده می‌شود.
- چرخه نمک مذاب برای افزایش بازده ذخیره گرمایی، مناسب می‌باشد.
- برای استفاده دائمی در زمانی که تابش خورشید وجود ندارد، از سیستم‌های ذخیره کننده حرارت و یا از تجهیزات پشتیبانی که ممکن است از سوخت فسیلی استفاده کنند برای تولید برق کمک گرفته می‌شود.
- گستره تولید توان در این نیروگاه‌ها بین 30 تا 160 مگاوات است.



ایران

مطالعات ساخت اولین نیروگاه خورشیدی ایران از نوع دریافت کننده مرکزی توسط سازمان انرژیهای نو ایران و با کمک شرکتهای مشاور و سازنده داخلی با ظرفیت یک مگاوات و سیال عامل آب و بخار در طالقان جریان دارد. کلیه مطالعات اولیه و پتانسیل سنجی و طراحی نیروگاه به انجام رسیده و یک نمونه هلیوستات نیز ساخته شده است

مزایا

PowerEn.ir



دارای تعقیب کننده دو محوری

بازده بالای انرژی خورشید

دمای بالای بخار تولید شده

پیوند ساده با سیستم پشتیبان سوخت نفت یا گاز طبیعی

امکان تولید انبوه قطعات خورشیدی مشابه

راهبری ساده کارکرد

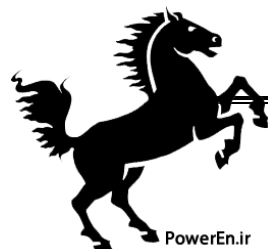
تولید بخار برای تولید همزمان گرما و الکتریسیته

معایب

اتلافهای انرژی گرمایی و نوسانهای مزاحم در شیوه تولید چرخه بازهویی

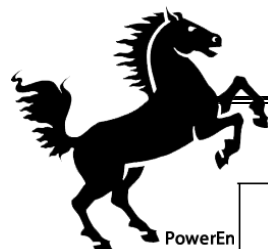
برای آئینه ها و سیستم آفتابگردان به پایه های بسیار بادوام نیاز است

برای تمیز کردن آئینه ها به آب نیاز است (جایگزینهایی موجود است)



نمونه هایی از نیروگاه های دریافت کننده مرکزی

نام و محل نصب	توان مگاوات	خنك کننده دریافت کننده مرکزي	دوره کارکرد
ارولئوس (ایتالیا)	۱	بخار آب	۱۹۸۰-۱۹۸۴
آفتاب (ژاپن)	۱	بخار آب	۱۹۸۱-۱۹۸۴
IEA .CRS (اسپانیا)	۰ / ۵	سدیم	۱۹۸۱-۱۹۸۵
خورشید يك (آمریکا)	۱۰	بخار آب	۱۹۸۲-۱۹۸۸
CESAI (اسپانیا)	۱ / ۲	بخار آب	۱۹۸۳-۱۹۸۴
متیس (فرانسه)	۲ / ۵	نمك مذاب	۱۹۸۳-۱۹۸۶
MSEE (آمریکا)	۰ / ۷۵	نمك مذاب	۱۹۸۴-۱۹۸۵
Ses 5 (روسیه)	۵	بخار آب	۱۹۸۵-۱۹۸۹
PHOEBUS .TSA (اسپانیا)	۲ / ۵	هوا	۱۹۹۲ تا کنون
خورشید دو (آمریکا)	۱۰	نمك مذاب	شروع کار در سال ۱۹۹۵



۱۹۸۴-۸۸	هیدروژن	شیشه یا پوشش نقره روی فولاد غشاء متسمع	۲۲۷	۵۲/۵	SBP (عربستان سعودی)
۱۹۹۱ تا کنون	هلیوم	شیشه یا پوشش نقره روی فولاد غشاء متسمع	۴/۲	۹	SBP (اسپانیا- آلمان)
۱۹۹۲ تا کنون	هلیوم	پلاستیک یا پوشش آلومینیوم ، غشاء متسمع	۴۱/۵	۷/۵	کامینس CPS (آمر یکا)
۱۹۹۲ تا کنون	هلیوم	پلاستیک یا پوشش آلومینیوم ، غشاء متسمع	۴۴	۸/۵	ایسین - میاکو (ژاپن)
۱۹۹۳ تا کنون	هلیوم	کلکتور ندارد	اعلام نشده	۲۵	STM- PCS (آمریکا)



سیستم تولید برق خورشیدی بشقابی – استرلینگ



در این نیروگاهها از منعکس کننده‌هایی که به صورت شلجمی بشقابی می‌باشد جهت تمرکز نقطه‌ای پرتوهای خورشیدی استفاده می‌گردد و گیرنده‌هایی که در کانون شلجمی قرار می‌گیرند به کمک سیال جاری در آن انرژی گرمایی را جذب نموده و به کمک یک ماشین حرارتی و ژنراتور آن را به نوع مکانیکی و الکتریکی تبدیل می‌نماید.

مشخصات

● جمع کننده های خورشیدی (آینه های بشقابی) و موتور استرلینگ بر روی یک پایه قرار می گیرند.

● دارای تعقیب کننده های دو محوری.

PowerEn.ir



● در کانون موتور استرلینگ که سیال عامل در آن گاز هلیوم است، قرار دارد.

● هر کدام به تنهایی قادر به تولید 10 تا 50 کیلووات الکتریسیته اند.

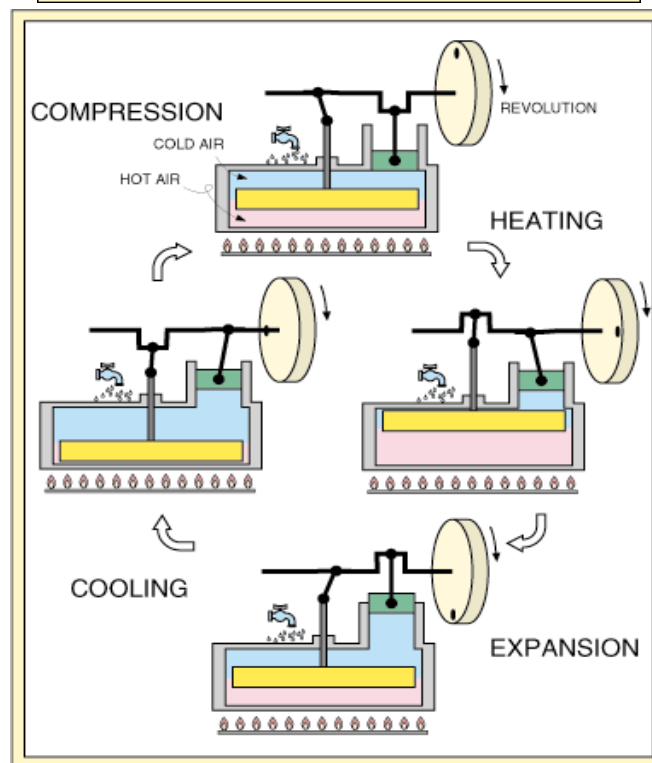
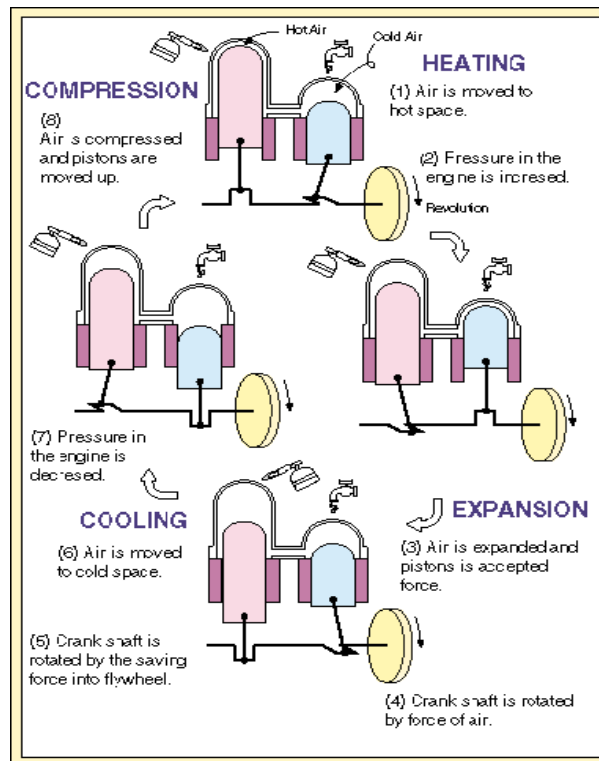
● پیوند این نیروگاهها با سوخت فسیلی امکان پذیر است. (اما هنوز محقق نشده)

اساس کار این نیروگاه

همانطور که در تصویر مشاهده می کنید این سیستم پرتوهای خورشید را توسط متمرکز کننده بشقابی در مرکز کانونی متمرکز کننده که موتور استرلینگ قرار دارد متمرکز می کند و با حرارت دادن به این موتور استرلینگ شروع به چرخش میکند که این موتور استرلینگ را با یک ژنراتور کوپل می کنند و تولید برق می نماید. و در ادامه می توانید نحوه عملکرد موتور استرلینگ مطالعه کنید .

موتور استرلینگ چگونه کار می کند؟

موتورهای استرلینگ دو پیستون دارند که با هم اختلاف فاز زاویه ای 90 درجه دارند و دو مخزن دمایی مختلف دارند. گاز درون این مجموعه کاملاً محبوس شده است و از مجموعه خارج نمیشود. دو نوع اصلی این موتورها عبارتند از موتورهای استرلینگ دو پیستونه و موتورهای استرلینگ جابجا کننده . که نحوه کار هر کدام در شکل های زیر توصیف شده است.



این دو نوع اصلی می‌توانند در مدل‌ها و ساختارهای مختلف منطبق با نوع کاربرد آن طراحی شوند.



موتور استرلینگ یک موتور احتراق خارجی است و تقریباً مثل موتور بخار عمل میکند اما سوخت آن

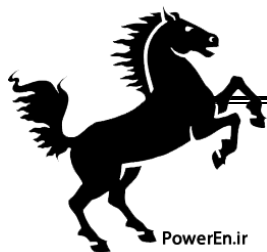
موضوع مهمی نیست و میتواند با هر منبع تولید گرما کار کند. گاز محصور شده در آن (هوا، هلیوم یا هرچیز دیگر) با گرم شدن دچار افزایش فشار میشود. این افزایش فشار باعث هل دادن پیستون و انجام کار میشود. گاز سپس سرد میشود و فشار آن کاهش مییابد و پیستون دوباره به محل اولیه خود برمیگردد. این گاز مرتباً با همان مقدار گاز ثابت اولیه تکرار میشود. در این فرایند هیچ احتراق، جرقه، مصرف سوخت و ... اتفاق نمی‌افتد.





مزایای روش بشقابی – استرلینگ عبارتست از :

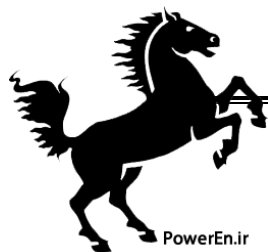
- - کاملاً به طور مستقل قابل نصب است .
- - دارای نسبت تمرکز ، دمای کارکرد و بازده بالاست .
- - در مدت طولانی به صورت نیروگاههای کوچک یا واحدهای مستقل کوچک آزمایش شده است .
- - امکان تولید مجزا برای مناطق دور افتاده با تولید متمرکز برای شبکه با این روش وجود دارد .
- - امکان تولید انبوه سیستمهای مشابه و بدون محدودیت در اندازه وجود دارد .
- - راهبری ، کارکرد و نصب و نگهداری ساده ای دارد .



معایب روش بشقابی استرلینگ عبارتند از :

- - سیستم پشتیبان سوخت فسیلی پیوندی هنوز در دسترس نیست .
- - توان تولید در ساعاتی از سال که سیستم کامل کار کند کم است .
- - نیاز به پایه های صلب و آفتابگردان کامل دارد که هزینه را افزایش می دهد .
- - برای تمیزکاری به آب نیاز دارد .





دودکش خورشیدی

PowerEn.ir



روش دیگر برای تولید الکتریسیته از انرژی خورشید استفاده از برج نیرو یا دودکش‌های خورشیدی می‌باشد در این سیستم از خاصیت دودکش‌ها استفاده می‌شود به این صورت که با استفاده از یک برج بلند به ارتفاع حدود ۲۰۰ متر و تعداد زیادی گرم خانه‌های خورشیدی که در اطراف آن است هوای گرمی که بوسیله انرژی خورشیدی در یک گرمخانه تولید می‌شود و به طرف دودکش یا برج که در مرکز گلخانه‌ها قرار دارد، هدایت می‌شود.



این هوای گرم بعلت ارتفاع زیاد برج با سرعت زیاد صعود کرده و با عث چرخیدن پروانه و ژنراتوری که در پایین برج نصب شده است می گردد و بوسیله این ژنراتور برق تولید می شود هم اکنون یک نمونه از این سیستم در ۱۶۰ کیلومتری جنوب مادرید احداث گردیده که ارتفاع برج آن به ۲۰۰ متر می رسد.

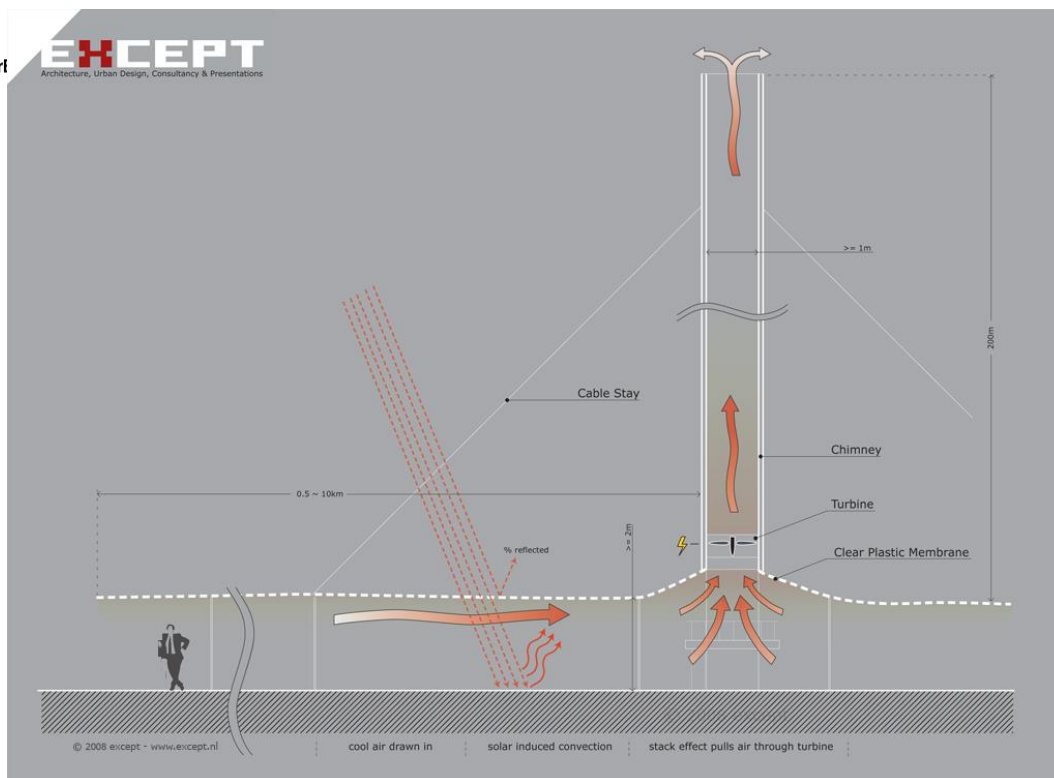
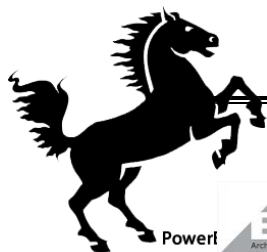
عملکرد

● خاک و هوای زیر پوشش شیشه ای تقریباً تا 35 درجه سانتیگراد گرمتر از محیط

● شیب ملایمی از مرکز به سمت کناره ها

● در دود کش جریانی با سرعت 15 m/s ایجاد می شود.

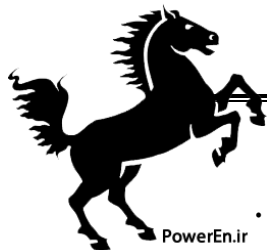
● نصب توربین بصورت افقی یا عمودی.



مزایای نظریه روش تولید دودکش خورشیدی :

- امکان استفاده از تشعشع پراکنده یا مستقیم خورشید برای جمع کننده ها وجود دارد .
- خاک زیر جمع کننده ها به عنوان ذخیره ساز گرما عمل می کند و از تغییرات شدید جلوگیری می کند.

PowerEn.ir



● - برای ساخت نیروگاه به مصالح ارزان قیمت که به سادگی در دسترس اند نیاز است .

● - عملکرد نیروگاه بسادگی خودکار می شود .

● - به آب نیاز نیست .



معایب نظریه روش تولید دودکش خورشیدی :

● - بازده تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریسیته بسیار کم است .

PowerEn.ir



- - پیوند با سیستم پشتیبان سوخت فسیلی ناممکن است .
- - ساعات کامل کارکرد سالانه به دوهزار و 500 ساعت محدود می شود .
- - سطح زمین صاف و بزرگی برای ساخت دودکش و جمع کننده مورد نیاز است .
- - مقادیر زیادی مواد اولیه برای ساخت دودکش و جمع کننده مورد نیاز است .
- - برای توانهای تولید بالا به دودکش بسیار بلندی نیاز است. برای مثال برای تولید 300 MW نیاز به دودکش به ارتفاع 750m داریم.

تولید الکتریسیته توسط سلولهای نوری (فتو ولتائیک)



تاریخچه سلولهای فتوولتایی:

PowerEn.ir



● تحقیق علمی اثر فتوولتایی سال 1839 شروع شد.

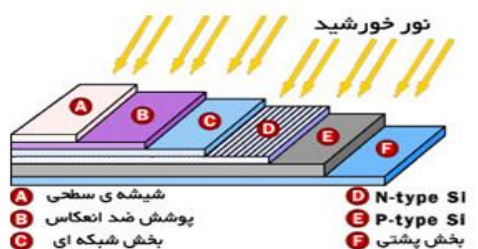
● در 1877 این تاثیر ابتدا در یک جامد فلزی مشاهده شد (در فلز سلنیوم). این فلز سالهای بسیاری برای سنجش نور به کار رفته بود و فقط به مقادیر خیلی کم توان داشت.

● یک درک عمیق تر علمی، در سال 1905 توسط انیشتین و در سال 1930 به وسیله اسکاتکی فراهم شد

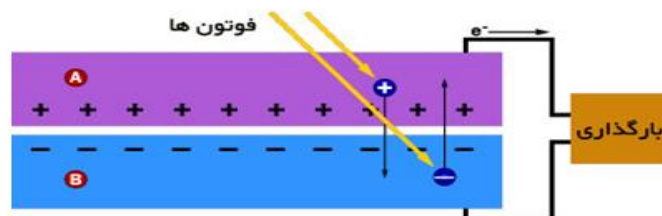
● در سال 1954 یک سلول خورشیدی سیلیسیمی که 6٪ از انرژی خورشید را به الکتریسیته تبدیل می کرد به وسیله پیرسون و فولر ساخته شد، این نوع باتری از 1958 در شاتل های فضایی به کار رفت.

● امروز سلول های خورشیدی سیلیسیمی به طور تجارتي در حدود 18٪ از نور خورشید را به الکتریسته تبدیل می کنند.

اساس کار سلولهای خورشیدی:



ساختار يك مولد سلول سيليكوني PV



(A) -سیلیکون نوع N و (B) سیلیکون نوع P
عملکرد سلول فوتوولتایی

سلول خورشیدی (به انگلیسی: solar cell یا photovoltaic cell یا photoelectric cell) عبارت از قطعات نیم رسانایی هستند که انرژی تابشی خورشید را به انرژی الکتریکی تبدیل میکنند. رسانندگی این مواد به طور کلی به دما، روشنایی، میدان مغناطیسی و مقدار دقیق ناخالصی موجود در نیم رسانا بستگی دارد.



نور خورشید از فوتون‌ها یا ذرات انرژی خورشیدی ساخته شده است. این فوتون‌ها که مقادیر متغیر انرژی را شامل می‌شوند، درست مشابه با طول موجهای متفاوت طیف‌های نوری هستند.

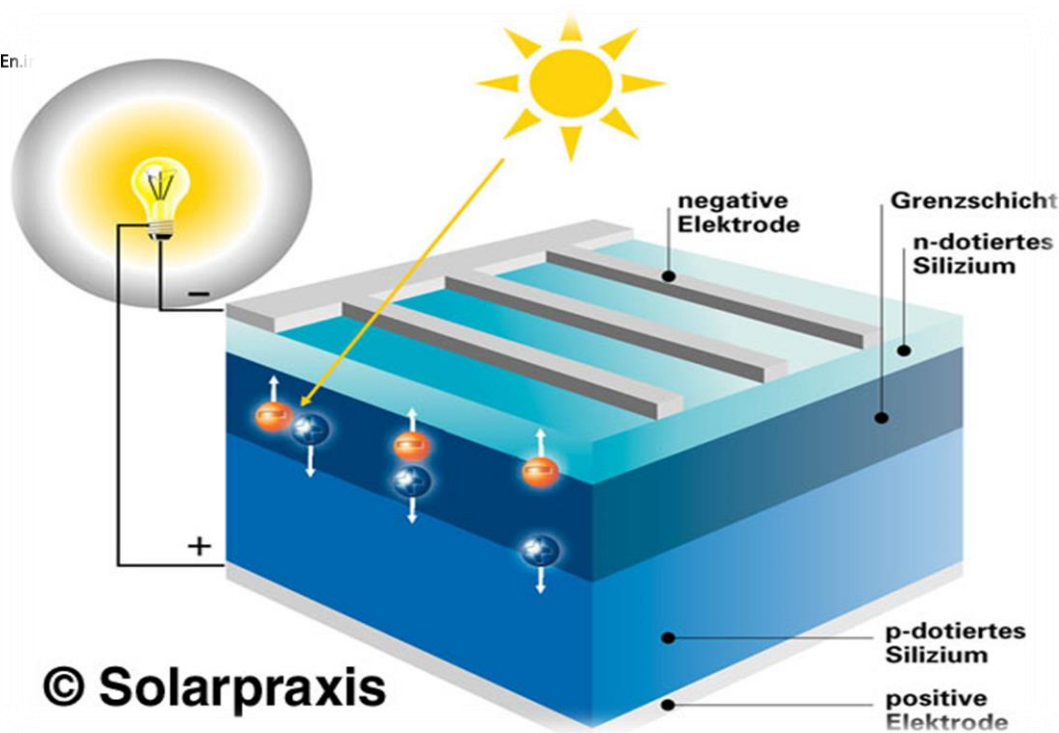
وقتی فوتون‌ها به یک سلول فوتوولتاییک برخورد می‌کنند، ممکن است منعکس شوند، مستقیم از میان آن عبور کنند و یا جذب شوند. فقط فوتون‌های جذب شده انرژی را برای تولید الکتریسیته فراهم می‌کنند. وقتی که نور خورشید کافی یا انرژی توسط جسم نیمه رسانا جذب شود، الکترون‌ها از اتم‌های جسم جدا می‌شوند. (به دلیل اینکه آخرین الکترون یک اتم با گرفتن انرژی فوتون به لایه بالاتر رفته و می‌تواند از میدان پروتون خلاص شده و آزادانه در نیمه رسانا حرکت کند).

رفتار خاص سطح جسم در طول ساختن باعث می‌شود سطح جلویی سلول که برای الکترون‌های آزاد بیشتر پذیرش یابد. بنا براین الکترون‌ها بطور طبیعی به سطح مهاجرت می‌کنند.

زمانی که الکترون‌ها موقعیت n را ترک می‌کنند، سوراخ‌هایی شکل می‌گیرد. تعداد الکترون‌ها زیاد بوده و هر کدام یک بار منفی را حمل می‌کنند و به طرف جلو سطح سلول پیش می‌روند، در نتیجه عدم توازن بار بین سلول‌های جلویی و سطوح عقبی یک پتانسیل ولتاژ شبیه قطب‌های مثبت و منفی یک باتری ایجاد می‌شود.

وقتی که دو سطح از میان یک راه داخلی مرتبط می‌شود، الکتریسیته جریان می‌باشد

با این وجود، توان ۱ یا ۲ وات تولید می‌کند، که برای بیشتر کار بردها این مقدار از انرژی کافی نیست. برای اینکه بازده انرژی را افزایش دهیم، و به ولتاژ و جریان مورد نظر برسیم آنها را به صورت سری و موازی اتصال می‌دهیم.



اجزای سیستمهای فتوولتائیک (برق خورشیدی)

1- سلولهای فتوولتائیک (مولد برق خورشیدی)

این سلولها مربعهای نازک، دیسکها یا فیلمهایی از جنس نیمه هادی هستند که ولتاژ و جریان کافی را در زمان قرار گرفتن در معرض تابش نور خورشید، تولید میکنند.

2- کنترل کننده شارژ

تجهیزاتی هستند که ولتاژ باتریها را تنظیم و کنترل میکنند و از آسیبهای احتمالی وارد بر باتریها جلوگیری میکنند.

3- ذخیره کننده باتری خورشیدی

PowerEn.ir



وسیله ایست که انرژی الکتریکی تولیدی DC را در خود ذخیره میکند. بخاطر وجود تغییر در میزان

شدت تابش پرتوهای خورشیدی در طول روز و در

فصول مختلف، یک باتری به منظور ذخیره کردن انرژی الکتریکی تولیدی توسط آرایه های فتوولتائیک

و به عنوان یک عامل واسطه بین آرایه های خورشیدی و مصرف کننده انرژی الکتریکی برای بهره وری

بیشتر مورد نیاز می باشد.

4-مبدل (اینورتر)

وسیله ایست که جریان DC را به جریان AC برای مصرف، تبدیل میکند.



انواع سیستمهای فتوولتائیک

1. سیستمهای استفاده در روز

سادهترین و ارزانترین سیستمهای فتوولتائیک برای استفاده در روز طراحی شده اند. این سیستمها

معمولاً شامل مدولهایی میشوند که ابزار ذخیره سازی

PowerEn.ir



ندارند و مستقیماً با تابش خورشید، الکتریسیته تولید می کنند. برخی فن‌ها، دمنده‌ها یا پره‌های توزیع انرژی حرارتی در سیستم‌های گرمایش آب، و نیز وسیله‌های استفاده کننده، از انرژی خورشیدی چون ماشین‌های حساب و ساعت‌های مچی از این دست‌هاند.

2. سیستم جریان مستقیم با باتری ذخیره خورشیدی DC

برای استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک در شب یا مواقع ابری، از سیستم‌های مجهز به باتری ذخیره استفاده می‌شود. اجزای کنترل کننده‌های شارژ، باتری‌های ذخیره و سایر وسایل است. (PV) اصلی این سیستم یک مدول فتوولتائیک سیستم‌های با باتری ذخیره می‌توانند شامل وسایل کوچکی مانند چراغ قوه با یک باتری تا ابزار آلات بزرگ با تعداد زیادی باتری صنعتی باشند. نکته مهم در مورد باتری‌های شارژی آنست که باید بمنظور دوام بیشتر، بطور کامل تخلیه شوند و سپس کاملاً شارژ گردند. اندازه و شکل منبع باتری باید متناسب با عملکرد ولتاژ سیستم، مقدار استفاده در شب، شرایط آب و هوایی محل و ... طراحی گردند. در برخی از این سیستم‌ها یک کنترل کننده شارژ، طراحی شده است که از شارژ بیش از حد باتری‌ها یا تخلیه غیرعادی آنها با قطع اتصال مدول از منبع باتری، جلوگیری میکند و این موضوع در حفظ کیفیت و دوام باتری موثر است.

3. سیستم‌های خورشیدی جریان مستقیم تغذیه کننده جریان متناوب

مدول‌های فتوولتائیک در اثر تابش آفتاب انرژی الکتریکی DC را تولید می‌کنند اما اکثر لوازم الکتریکی به انرژی AC نیازمندند. لذا سیستم‌های فتوولتائیک باید تبدیلی را جهت تبدیل جریان DC به AC داشته باشند، این مبدل‌ها انعطاف پذیری سیستم را افزایش داده و تسهیلاتی را ایجاد میکنند. اما افزایش هزینه را نیز در پی دارند.

4. سیستم‌های برق خورشیدی متصل به شبکه شهری

این سیستم‌ها به باتری ذخیره نیازی ندارند. چون خود شبکه برق، عمل ذخیره سازی انرژی را انجام میدهد. انرژی اضافی تولید شده را مالک سیستم به شبکه شهری می‌فروشد و در صورت نیاز از شبکه شهری دریافت میکند. بر این اساس شرایطی باید فراهم شود تا خرید و فروش انرژی بین مالک و شبکه شهری امکانپذیر باشد. بدین منظور برخی از کمپانی‌های شبکه برق شهری کنترلهایی را به مشتریان خود میدهند که مقدار خرید و فروش الکتریسیته را معین میکند.



مزایای تکنولوژی فتوولتائیک (تولید برق خورشیدی)

دوام:

تکنولوژی بکار رفته در ساخت مدولهای فتوولتائیک از مصالح بادوامی است. در گذشته دوام سیستمها را حدود 10 سال در نظر میگرفتند اما با پیشرفتهای انجام شده، متوسط عمر مفید این سیستمها به 25 سال رسیده است.

هزینههای پایین حفظ و نگهداری:

در سیستم منابع تجدیدناپذیر، هزینههای حمل و نقل مواد و نیروی کار بسیار بالا است. اما در سیستمهای فتوولتائیک چنین هزینههایی در چرخه تولید وجود ندارد. زیرا سیستم به بازرسیهای دورهای و نگهداری با هزینه اندک نیاز دارد.

عدم نیاز به مواد سوختی:

در سیستمهای فتوولتائیک نیازی به منابع سوختی فسیلی و ... نمیباشد. بنابراین مضرات زیست محیطی ناشی از این منابع و هزینههای حمل و نقل و انبارداری آنها حذف میشود.

کاهش آلودگی صوتی:

سیستمهای فتوولتائیک بدون حرکت و کاملاً بی صدا بوده و آلودگی صوتی ندارد.

قابلیت نصب و راه اندازی سیستمهای فتوولتائیک در ظرفیتهای گوناگون:

با توجه به مدولهای پیش ساخته در این سیستمها می توان الکتریسیته را در مقیاسهای مختلف تولید کرد. چنانچه با سیستمهای فتوولتائیک میتوان از چند میلی وات تا چندین مگاوات انرژی بدست آورد. اگر این سیستم را بصورت مدولهای کوچک و منفرد استفاده کنیم، برای نیازهای بسیار ناچیز و اگر در مزرعهای مجموعه ای از آرایشهای گسترده فتوولتائیک را بکار ببریم، نیروگاه خورشیدی عظیم را ایجاد کردهایم.

عدم وابستگی به شبکه برق شهری:

در مواقعی که انتقال برق شهری امکانپذیر نباشد، میتوان از این سیستمها بهرهگیری کرد زیرا بصورت مستقل الکتریسیته تولید کرده و نیازی به نگهداری فراوان ندارند. پس در مناطق دورافتاده و صعب العبور، استفاده از این سیستمها گزینه مناسبی خواهد بود.



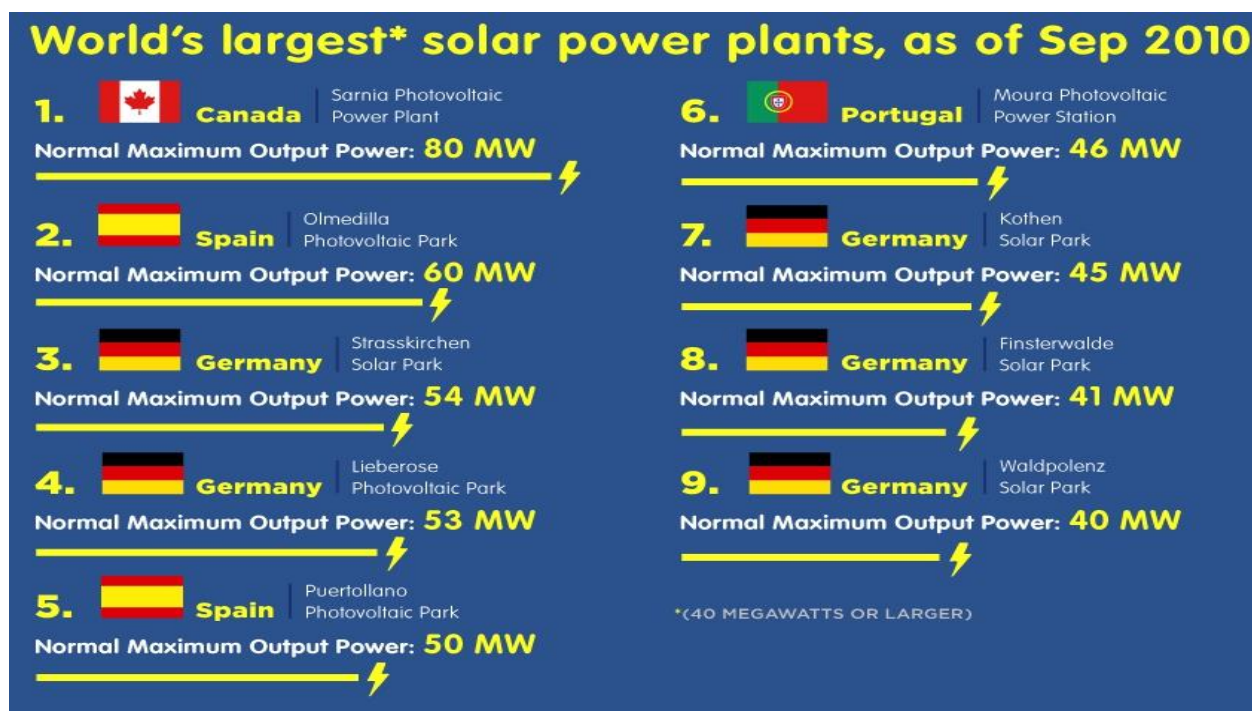
معایب نظریه نیروگاههای سلول نوری :

- - بازده نسبتاً کمی دارد .
- با وجود ساخت سالانه 80MW تجهیزات سلولهای فتوولتائیک، هزینه سرمایه گذاری آنها همچنان بسیار زیاد است .
- ساعت کارکرد با تمام ظرفیت در طول سال محدود است .
- پیوند با سیستم پشتیبان سوخت فسیلی ناممکن است .
- سلولهای نوری نیاز به سیستم مجزای پشتیبانی یا برق شبکه برای جبران نوسازی انرژی خورشیدی دارند .
- ذخیره سازی با باتریهای الکتروشیمیایی برای این شیوه تولید بسیار گران قیمت است .

کاربردهای سلولهای خورشیدی:

- 1) تامین نیروی حرکتی ماهواره ها و سفینه های فضایی
- 2) تامین انرژی لازم دستگاههایی که نیاز به ولتاژهای کمتری دارند مثل ماشین حساب و ساعت
- 3) تهیه برق شهر توسط نیروگاههای فتوولتائیک
- 4) تامین نیروی لازم برای حرکت خودروها و قایقهای کوچک

نیروگاه های بزرگ فتو ولتائیک جهان:



برآورد قیمت سیستم فتو ولتائیک برای واحد های مسکونی

متأسفانه انرژی ارزان و سود بانکی بالا هر دو باعث می شود که هزینه کردن در سیستم برق خورشیدی در کشور ما مقرون به صرفه به نظر نیاید در صورتی که در دراز مدت این سیستم ها بسیار مقرون به صرفه هستند و تاثیر بسزایی در کم کردن آلودگی هوا نیز خواهند داشت. هر متر مربع از سطحی که خورشید - در یک روز بدون ابر و آلودگی - بر او می تابد حدوداً ۱۰۰۰



وات توان تابشی دریافت می کند. (در جاهایی این مقدار کمی کمتر یا بیشتر است)

این انرژی تقریباً شامل تمام طیف های مرئی و نامرئی نور هست که تبدیل همه اون به الکتریسیته ممکن است.

پنل های خورشیدی موجود در بازار تجاری، راندمان حدود ۱۲ تا ۱۷ درصد دارند و با توجه با اینکه تمامی سطح یک پنل خورشیدی شامل سیلیکون های دریافت انرژی نیست، هر متر مربع از این پنل ها حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ وات دریافت انرژی می توانند داشته باشند.

البته باید توجه کرد که این مقدار انرژی در صورت تابش عمود نور خورشید به پنل است و زاویه پنل ها در فصول مختلف سال باید تنظیم بشود. (برای مثال در مناطق مرکزی ایران در تابستان تقریباً عمود و در زمستان حدود ۴۰ درجه نسبت به خط عمود)

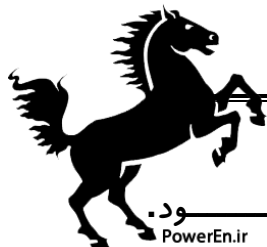
نکته دیگری که باید به اون توجه کرد این هست که نور خورشید در طول روز متغیر است و در ساعات زیادی -منجمله شب ها- به خصوص در زمستان این پنل ها انرژی تولید نمی کنند و حتی در روزهای ابری، پنل خورشیدی تقریباً یک دهم یا کمتر دریافت انرژی خواهد داشت. (بر خلاف تصور عمومی)

مقدار متوسط انرژی در هر منطقه تابع روزهای ابری و طول روز و غیره است و محاسبه اون بسیار پیچیده، ولی خوشبختانه این مقادیر برای بیشتر مناطق دنیا محاسبه شده و در دسترس هستند.

در مناطقی مثل تهران و اصفهان ضریب یک پنل سولار حدود یک ششم است به این معنا که یک پنل ۶ وات به طور متوسط در طول سال یک وات توان تولید می کند. نتیجتاً برای خانه ای با مصرف متوسط ۵۰۰ وات نیاز به یک پنل ۳۰۰۰ واتی خواهد بود.

هر وات پنل در حال حاضر حدود ۶۰۰۰ تومان بوده که برای ۳۰۰۰ وات این مقدار حدود ۱۸ میلیون

PowerEn.ir



تـــومـــان خـــواـــهـــد بـــود.

سیستم مبدل الکترونیکی که این انرژی را از پنل دریافت و اون را به شبکه تزریق می کند قیمتی حدود 2 میلیون تومان دارد و اگر سیستم پایه و سازه های مربوطه حدود 4 میلیون تومان قیمت داشته باشد، نهایتاً حدود 24 میلیون تومان هزینه خواهیم داشت. البته هزینه ای نصب و غیره هم به اون اضافه می شود که باید با بسته های حمایتی دولت به حداقل یا حتی صفر برسند.

ضمناً کارکرد این سیستم طوری است که وقتی مصرف برق منزل از تولید پنل بیشتر شود این اختلاف از برق شهر تامین میشه و در حالت معکوس این انرژی به شبکه داده میشه و از مصرف کلی قبلی کسر خواهد شد.

نگهداری این سیستم ها شامل پاک کردن دوره ای پنل ها است به خصوص در شهرهای آلوده و عمر این پنل ها هم حدود ۲۰ سال است. (عمر مفید نقطه ای هست که پنل ۸۰ درصد انرژی اولیه را تولید می کند)

همچنین سیستم الکترونیک ممکن است هر چند سال نیاز به تعمیر جزئی داشته باشد که در کل قابل صرف نظر کردن هست و یک سیستم خوب سال ها بدون دردسر کار خواهد کرد.

برای محاسبه مصرف متوسط منزل خود بر حسب وات کافیه از فرمول زیر استفاده کنید:

(کیلو وات ساعت مصرفی تقسیم بر تعداد روز قبض تقسیم بر ۲۴) ضربدر ۱۰۰۰ به طور مثال اگر مصرف یک ماهه شما ۳۶۰ کیلو وات ساعت باشد مصرف متوسط شما (۳۶۰ تقسیم بر ۳۰ تقسیم بر ۲۴) ضربدر ۱۰۰۰ = ۵۰۰ وات خواهد بود.

PowerEn.ir



فصل دوم

نیروگاه هسته ای

PowerEn.ir



نیروگاه هسته ای

مقدمه:

امروزه

حدود 440 نیروگاه هسته‌ای در 31 کشور جهان برق تولید می‌کنند. که سهم فرانسه با تولید بیش از 75٪ درصد انرژی الکتریکی خود از این طریق از سایرین بیشتر بوده است. تمامی نیروگاه‌های گرمایی متداول از نوعی سوخت برای تولید گرما استفاده می‌کنند. برای مثال گاز طبیعی، زغال سنگ یا نفت. در یک نیروگاه هسته‌ای این گرما از شکافت هسته‌ای که در داخل راکتور صورت می‌گیرد تامین می‌شود. در این فرآیند تعدادی نوترون و مقدار نسبتاً زیادی انرژی آزاد می‌شود.

ساختمان اتم:

PowerEn.ir



هر اتم از سه قسمت نسبتاً سنگین تشکیل شده است. از بارهای منفی سبکتر به نام الکترون که در مداری متفاوت

ودر اطراف هسته قرار دارند و تعدادی در درون هسته که از ذرات به نام نوترون که از نظر الکتریکی خنثی و پروتون دارای بار مثبت می باشد تشکیل شده است بار الکتریکی پروتون هم اندازه بار الکتریکی الکترون است اما بار مخالف آن می باشد یعنی تعداد الکترونها در مدارشان با تعداد پروتونها برابر می باشد. و به مجموع نوترون ها و پروتون ها که در درون هسته قرار دارند نوکلئون می گویند.

به تعداد پروتون ها عدد اتمی یک عنصر و به تعداد کل پروتونها و نوترون های یک اتم عدد جرمی گفته می شوند برای مثال در $(8D^{16})$ عدد 8 (عدد اتمی) و عدد 16 (عدد جرمی) می باشد. یک اتم میتواند با از دست دادن و یا گرفتن بعضی از ذرات به اتم دیگر تبدیل شود. amu واحد جرم اتم است که تقریباً برابر با $1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$ می باشد

ایزوتوپ: به عناصری که دارای عدد اتمی یکسان اما عدد جرمی متفاوت باشند گفته می شوند

برای مثال ایزوتوپ ها آب: $(1H^1)$ هیدرژن بدون نوترون یا همان آب سبک است $(1H^2)$ هیدرژن با یک نوترون یا همان آب سنگین است که به آن دوتریوم نیز می گویند $(1H^3)$ هیدرژن با دو نوترون یا همان آب خیلی سنگین است که به آن تری تیوم نیز می گویند.

برای مثال ایزوتوپ ها اورانیوم: $(92U^{238})$ اورانیوم طبیعی $(92U^{235})$ در اورانیوم طبیعی یافت می شوند $(92U^{234})$ در اورانیوم طبیعی یافت می شوند $(92U^{234})$ عنصر ناپایداری است

طبق قانون فیزیک بارهای مثبت یکدیگر را باید دفع کنند اما در داخل هسته یک اتم با وجود اینکه بارها مثبت در کنار هم قرار گرفته اند یکدیگر را دفع نمی کنند به نیرویی که این بارها را در کنار هم نگه داشته است نیروی یا انرژی هسته ای گفته می شود و این انرژی با استفاده از رابطه $E=MC^2$ یعنی رابطه جرم و انرژی که آلبرت اینشتین نخستین بار آنرا کشف کرد قابل محاسبه است. که در فرمول بالا (c) سرعت نور و (M) جرم هسته می باشد.

PowerEn.ir

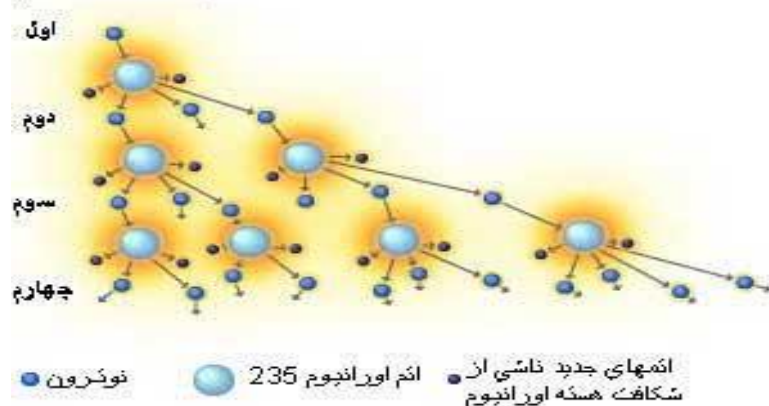


شکافت هسته ای (تقطیع)

شکافتن میتواند بوسیله نوترون انجام شود که از نظر الکتریکی خنثی می باشد و می تواند با برخورد کردن به هسته هایی با بار الکتریکی مثبت رادر سرعت های بالا ، متوسط و پایین بدون آنکه دفع شود ان را بشکافد. شکافت هسته ای می تواند بوسیله ذرات دیگر نیز انجام شود اما نوترون تنها ذره ای است که باعث تند شدن واکنش می شود زیرا

واکنش زنجیره ای شکافت هسته

حلقه های واکنش زنجیره ای



به ازای هر نوترونی که در یک شکافت جذب می شود ، دو یا سه نوترون آزاد می شود. این باعث می شود که واکنش ادامه داشته باشد. فقط چند ایوتوپ U^{235} , PU^{239} , U^{233} رایجترین ایزوتوپهایی هست

زمانی که نوترون به اولین هسته اورانیوم برخورد کند هسته به دو قسمت شکسته می شود. مقادیر زیادی نیز انرژی آزاد می گردد در حدود (200Mev) (مگا الکترون ولت). این مقدار انرژی در سطح اتمی بسیار ناچیز ولی در مورد یک گرم از اورانیوم در حدود صدها هزار مگاوات است. به عنوان مثال نیروگاهی که دارای 10 تن اورانیوم طبیعی است قدرتی معادل با 100 مگاوات خواهد داشت. اما مسئله مهمتر این است که نتیجه شکستن هسته ورنیوم 235 آزادی دو نوترون است که می تواند دو هسته دیگر را شکسته و چهار نوترون را بوجود آورد. این چهار نوترون نیز چهار هسته اورانیوم 235 را می شکند. چهار هسته شکسته شده تولید هشت نوترون می کنند که قادر به شکستن

PowerEn.ir



همین تعداد هسته اورانیوم می باشند. سپس شکست هسته ای و آزاد شدن نوترون ها بصورت زنجیروار به سرعت

تکثیر و توسعه می یابد. در هر دوره تعداد نوترونها دو برابر می شود در یک لحظه واکنش زنجیره ای خود بخودی شکست هسته ای را شروع می کند. در واکنش های کنترل شده تعداد شکست در واحد زمان و نیز مقدار انرژی به تدریج افزایش یافته و پس از رسیدن به مقداری دلخواه ثابت نگهداشته می شود. برای بدست آوردن بالاترین بازدهی در فرایند زنجیره ای شکافت هسته باید از اورانیوم ^{235}U استفاده کرد که هسته آن به سادگی شکافته میشود. اما بدلیل "نیمه عمر" کوتاه اورانیوم ^{235}U و فروپاشی سریع آن، این ایزوتوپ در طبیعت بسیار نادر است بطوری که از هر ۱۰۰۰ اتم اورانیوم موجود در طبیعت تنها هفت اتم از نوع ^{235}U بوده و مابقی از نوع سنگین تر ^{238}U است.

اشعه هایی که در اثر برخورد نوترون به هسته ساطع میشوند:

شامل ذره آلفا، ذره بتا و اشعه گاما است.

خواص ذره

آلفا :

جنس ذره آلفا مانند هسته اتم هلیوم است که از دو نوترون و دو پروتون تشکیل یافته است. جرم آن حدود ۴ برابر جرم پروتون و بار الکتریکی آن $+2$ و علامت اختصاری آن ^4_2He است. قابلیت نفوذ ذره آلفا بسیار کم است .

خواص

ذره بتا:

جنس ذره بتا منفی واز جنس الکترون می باشد، بار الکتریکی آن -1 و علامت آن بتای منفی است. برد ذره بتا در هوا در حدود چند سانتیمتر تا حدود یک متر است. قدرت نفوذ ذره بتا بطور متوسط ۱۰۰ برابر بیشتر از ذره آلفا است.

PowerEn.ir



اشعه گاما :

جنس اشعه گاما از

جنس امواج الکترومغناطیسی می باشد، یعنی از جنس نور است. سرعت آن برابر سرعت نور، بار الکتریکی آن صفر است. قدرت نفوذ این اشعه به مراتب بیشتر از ذرات بتا و آلفا است.

اورانیوم:

میزان اورانیوم موجود در پوسته زمین نسبتاً زیاد است به طوری که با منابع فلزاتی همچون قلع و ژرمانیوم برابری می کند و تقریباً ۳۵ برابر میزان نقره موجود در پوسته زمین است. اورانیوم ماده تشکیل دهنده بسیاری از اجسام اطراف ما مانند سنگ ها و خاک است. طبق آمارگیری جهانی معادن شناخته شده جهان در حال حاضر برای تامین بیش از ۷۰ سال انرژی الکتریکی جهان کافی هستند. اورانیوم طبیعی (که بشکل اکسید اورانیوم است) شامل ۹۹/۳٪ از ایزوتوپ اورانیوم ۲۳۸ و ۰/۷٪ اورانیوم ۲۳۵ می باشد.

غنی سازی اورانیم:

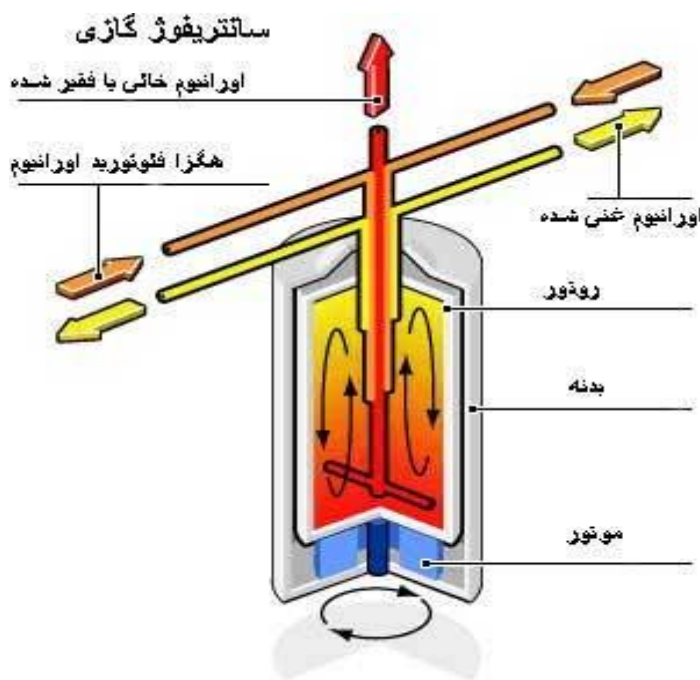
منظور از غنی شدن یا غنی سازی افزایش ایزوتوپ طبیعی اورانیم-۲۳۵ از ۰/۷ درصد به ۳/۵-۴ درصد است. بطور بسیار خلاصه غنی سازی عبارت است از انجام عملی که بواسطه آن مقدار اورانیوم ۲۳۵ بیشتر شود و مقدار اورانیوم ۲۳۸ کمتر. که پس از جمع آوری اورانیوم ۲۳۸، آن را زباله اتمی می نامند.



روش غنی سازی اورانیوم:

روش سانتریفیوژ گازی: سانتریفیوژ دستگاهی است که برای جدا سازی مواد از یکدیگر بر اساس وزن آنها استفاده می شود. این دستگاه مواد را با سرعت زیاد حول یک محور به گردش در می آورد و مواد متناسب با وزنی که دارند از محور فاصله می گیرند. در واقع در این روش برای جدا سازی مواد از یکدیگر از شتاب ناشی از نیروی گریز از مرکز

استفاده می گردد، کاربرد عمومی این دستگاه برای جداسازی مایع از مایع و یا مایع از جامد است. غنی سازی اورانیوم به روش سانتریفیوژ هزینه کمتری را شامل شده و اقتصادی تر باشد.





تعریف راکتور هسته ای:

راکتورهای هسته ای دستگاه هایی هستند که در آنها شکافت هسته ای کنترل شده رخ می دهد. راکتورها برای تولید انرژی الکتریکی و نیز تولید نوترون ها بکار می روند. اندازه و طرح راکتور بر حسب کار آن متغیر است. فرآیند شکافت که یک نوترون بوسیله یک هسته سنگین (با جرم زیاد) جذب شده و بدنبال آن به دو هسته کوچکتر همراه با آزاد سازی انرژی و چند نوترون دیگر شکافته می شود. راکتورها در اصل سیستم هایی هستند که واکنش های هسته ای مثل شکافت هسته ای در آنها صورت می گیرد. و انرژی تولیدی در آنها تحت کنترل در می آید. به عنوان مثال خورشید یک راکتور هسته ای طبیعی است که در آن عناصر سبک هسته ای به هم جوش می خورند (همجوشی هسته ای) و تولید انرژی می کنند.

راکتورهای هسته برای اهداف فراوانی طراحی و ساخته می شوند که بعضی از آنها عبارتند از:

- راکتورهای تولید حرارت و برق - راکتورهای تکثیر - راکتورهای تحقیقاتی - راکتورهای تولید پلوتونیم - راکتورهای اختصاصی برای مقاصدی همچون ساخت زیردریایی، فضا پیما، آب شیرین کن و...

یک راکتور هسته ای به طور کلی از قسمت های زیر تشکیل شده است:

PowerEn.ir



1. مجموعه های سوخت 2. کند کننده ها 3. خنک کننده ها 4. سیستم های ایمنی 5. میله های کنترل 6. حفاظ های

مختلف

1-مجموعه های سوخت:

سوخت راکتور در چندین مجموعه سوخت و هر مجموعه متشکل از چندین میله سوخت و هر میله شامل تعداد معینی از قرص ها یا حبه های مواد شکافت پذیر هسته ای مثل اورانیوم و یا در بعضی موارد پلوتونیم می باشد. سوخت راکتور مخصوصاً راکتورهای قدرت به طور اصولی یا از عناصری شامل اتم های قابل شکافت تامین می شوند و یا از اتم های ایزوتوپ عناصری که قابلیت تبدیل به اتم های قابل شکافت را دارند. سوخت راکتورها معمولاً به صورت میله - ورقه - گلوله و یا شبکه ای می باشد

سوخت راکتورها ممکن است به یکی از سه روش زیر عمل گردد:

- یکبار استفاده از اورانیوم و ارسال سوخت مصرف شده به انبار موقت و سپس دفن همیشگی آن
- استفاده چندباره از اورانیوم و برقراری سیکل اورانیوم-پلوتونیم با اعمال عملیات باز فرآوری روی آن
- استفاده از سیکل اورانیوم-توریم به این معنی که توریم 232 ابتدا تبدیل به اورانیوم 233 می شود و سپس این اورانیوم به عنوان سوخت در راکتورها مورد استفاده قرار می گیرد.



2- کند کننده ها:

کند کننده ماده ای است که برای کند کردن نوترون های سریع است تا انرژی های حرارتی در راکتورهای هسته ای مورد استفاده قرار می گیرند. گاهی اوقات همین کندکننده ها عمل سرد کنندگی راکتور را هم انجام می دهد. موادی که می توانند به عنوان کندنده مورد استفاده قرار گیرند عبارتند از: آب، آب سنگین، گرافیت و گاهی اوقات هم برلیوم آب به دلیل داشتن هیدروژن که عنصری سبک است و نیز فراوانی و ارزانی آن مورد استفاده قرار می گیرد. به طور کلی هرچه ماده کندکننده دارای قابلیت کندکنندگی بهتری برای نوترون ها باشد درجه کمتری از سوخت غنی شده مورد نیاز خواهد بود.

3- خنک کننده ها:

خنک کننده برای انتقال حرارت از میله های سوخت به طور مستقیم مورد استفاده قرار می گیرد. این فقط در صورتی است که خنک کننده نقش کند کننده هم داشته باشد. اکثراً آب به عنوان سرد کننده مورد استفاده قرار می گیرد. گاهی اوقات آب سنگین، فلزات مایع (سدیم و پتاسیم) یا حتی گازها (دی اکسید کربن) هم ممکن است مورد استفاده واقع شوند. امروزه در اکثر راکتورهای تجاری آب به عنوان سردکننده مورد استفاده قرار می گیرد. در اینصورت آب علاوه بر نقش سرد کنندگی وظیفه کند کنندگی را نیز انجام می دهد.

4- سیستم های ایمنی در راکتور:

وظایف دستگاه ها و سیستم های کنترل (C&I) در راکتورهای هسته ای شامل اندازه گیری، کنترل، تنظیم، چک کردن و حفاظت است. سیستم دستگاهی و کنترل ممکن است به دوازش ایمنی و اپراتوری یا کارگردانی تقسیم



شوند. حفاظت راکتور و محیط زیست به عهده سیستم های ایمنی گذاشته شده است. این سیستم ها غالباً در مواقع

ضروری کاری کنند و در دوران بهره برداری و خارج از وضعیت اضطراری اکثراً غیرفعال هستند.

5- میله های کنترل:

میله های کنترل برای تنظیم توزیع قدرت در راکتور در زمان اپراتوری مورد استفاده قرار می گیرند. مهمترین وظیفه میله های کنترل که بین میله های سوخت قرار می گیرند، برای خاموش کردن یا متوقف کردن فرآیند شکافت هسته ای در زمان هایی که لازم است، میله هارا تا انتها داخل راکتور می برند. میله های کنترل از موادی ساخته شده اند که خیلی سریع با جذب نوترون ها واکنش های هسته ای را متوقف می کنند. موادی که به این منظور استفاده می شوند عبارتند از بور نقره، ایندیم، کادمیم و هافنیوم. میله های کنترل به داخل و خارج از میله های سوخت حرکت کرده و نرخ واکنش هسته ای را تنظیم می نمایند.

6. حفاظت راکتور

وظیفه سیستم حفاظت از راکتور اطمینان از آشکارسازی تمام حوادث پیش بینی شده در طراحی و اعتماد از امکان انجام عملیات حفاظتی می باشد. این برنامه و تمهیدات باید اطمینان دهد راکتور همیشه بطور ایمن کار می کند. در تست های دوره ای با دستگاه های مخصوص تست کردن انجام می شوند. قصورهای آشکار و نهان در کانال های مربوطه اعلام می شوند. نوع دیگر حفاظت با نام حفاظت رادیولوژیکی و کنترل پرتوگیری وجود دارد که وظیفه آن عبارتست از کاهش پرتوگیری و آلودگی داخل راکتورها و محیط زیست در کمترین حد ممکن.

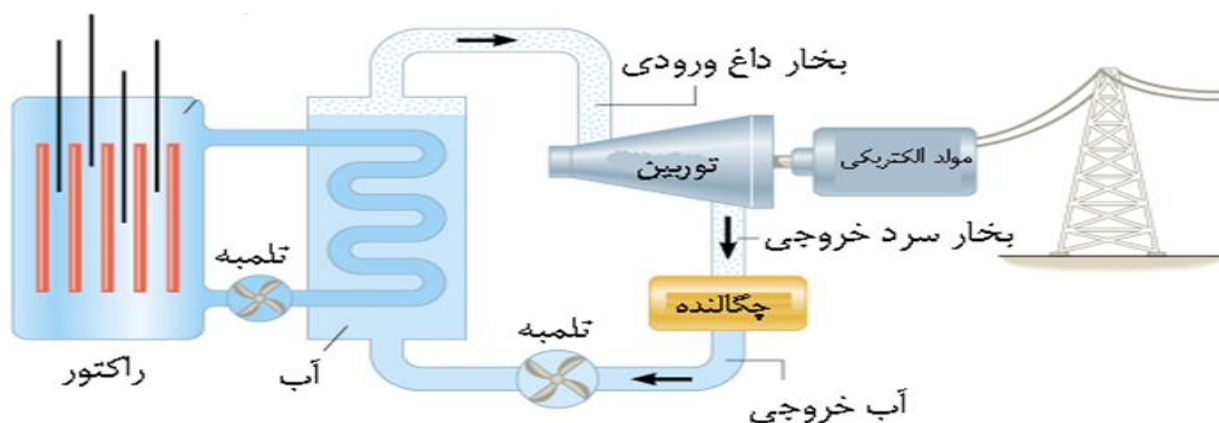


انواع رآکتورهای قدرت

- 1- رآکتور آب تحت فشار (PWR) 2- رآکتور آب جوشان (BWR) 3- رآکتور پیشرفته با خنک کنندگی گازی (AGR) 4- رآکتور D2G 5- رآکتور با آب سنگین CANDU 6- رآکتور همجوشی هسته ای (FUSION)

1- رآکتور آب تحت فشار، PWR:

رآکتور PWR یکی از رایج ترین رآکتورهای هسته ای است که از آب معمولی هم به عنوان کند ساز نوترونها و هم به عنوان خنک ساز استفاده می کند. در یک PWR، مدار خنک اولیه از آب تحت فشار استفاده می کند. آب تحت فشار، در دمایی بالاتر از آب معمولی به جوش می آید، از این دو چرخه خنک ساز اولیه را به گونه ای طراحی می کنند



که آب با وجود آنکه دمایی بسیار بالا دارد، جوش نیاید و به بخار تبدیل نشود. این آب داغ و تحت فشار در یک مبدل حرارتی، گرما را به چرخه دوم منتقل میکند که یک نوع چرخه بخار است و از آب معمولی استفاده می کند. در این چرخه آب جوش می آید و بخار داغ تشکیل می شود، بخار داغ یک توربین بخار را می چرخاند، توربین هم یک ژنراتور و در نهایت ژنراتور، انرژی الکتریکی تولید می کند. PWR به دلیل دارا بودن چرخه ثانویه با BWR تفاوت دارد. از گرمای تولیدی در PWR به عنوان سیستم گرم کننده در نواحی قطبی نیز استفاده شده است. این نوع رآکتور، رایج ترین نوع رآکتورهای هسته ای است و در حال حاضر، بیش از 230 عدد از آنها در نیروگاههای هسته ای تولید برق و صدها رآکتور دیگر برای تأمین انرژی تجهیزات دریایی مورد استفاده قرار می گیرند.



2- رآکتور آب جوشان، BWR

در رآکتور آب جوشان، از آب سبک استفاده می‌شود. آب سبک، آبی است که در آن فقط هیدروژن معمولی وجود دارد. BWR اختلاف زیادی با رآکتور آب تحت فشار ندارد، غیر از اینکه در BWR فقط یک چرخه خنک کننده وجود دارد و آب مستقیماً در قلب راکتور به جوش می‌آید. فشار آب در BWR کمتر از PWR است، به طوری که در بیشترین مقدار به 75 برابر فشار جو می‌رسد (7/5 مگا پاسکال) و بدین ترتیب آب در دمای 285 درجه سانتی گراد به جوش می‌آید. بخار تولید شده در قلب رآکتور از شیرهای جدا کننده بخار و صفحات خشک کن (برای جذب هر گونه قطرات آب داغ) عبور می‌کند و مستقیماً به سمت توربین های بخار که بخشی از مدار رآکتور محسوب می‌شوند

در حالت کلی سه مکانیسم برای کنترل BWR وجود دارد: الف- استفاده از میله های کنترل ب- تغییر جریان آب درون راکتور ج- سیستم کنترلی اسید بوریک (بورون)

الف- بالا بردن یا پایین آوردن میله های کنترل، روش معمولی کنترل توان رآکتور در حالت راه اندازی رآکتور تا رسیدن به 70 درصد حداکثر توان است. میله های کنترل حاوی مواد جذب کننده نوترون هستند؛ در نتیجه پایین آوردن آنها موجب افزایش جذب نوترون در میله ها، کاهش جذب نوترون در سوخت و در نهایت کاهش آهنگ شکافت هسته ای و پایین آمدن توان رآکتور می‌شود. بالا بردن میله های سوخت دقیقاً نتیجه معکوس می‌دهد.

ب- تغییرات جریان آب درون رآکتور، زمانی برای کنترل رآکتور مورد استفاده قرار می‌گیرد که راکتور بین 70 تا صد درصد توان خود کار می‌کند. اگر جریان آب درون رآکتور افزایش یابد، حباب های بخار در حال جوش سریع تر از قلب راکتور خارج می‌شوند و آب درون قلب رآکتور بیشتر می‌شود. افزایش مقدار آب به معنی افزایش کندسازی



نوترون و جذب بیشتر نوترونها از سوی سوخت است و این یعنی افزایش توان راکتور. با کاهش جریان آب درون

راکتور، حبابها بیشتر در راکتور باقی میمانند، سطح آب کاهش مییابد و به دنبال آن کندی سازی نوترونها و جذب

نوترون هم کاهش مییابد و در نهایت توان راکتور کاهش مییابد.

ج-سیستم کنترلی اسید بوریک (بورون) نیز استفاده شود، بدین شکل که در سیستم پشتیبان خاموش کننده

اضطراری، محلول اسید بوریک با غلظت بالا به چرخه خنک کننده تزریق می شود. خوبی این سیستم این است که

اسید اوریک، یک خوردنده قوی است و معمولا در PWR سبب می شود تلفات ناشی از خوردگی قابل توجه باشد. در

بدترین شرایط اضطراری که تمام سیستم های امنیتی از کار افتاد و هر راکتور به وسیله یک ساختمان حفاظتی از

محیط اطراف جدا شده است.

3-راکتور پیشرفته با خنک کننده گازی (GCR)

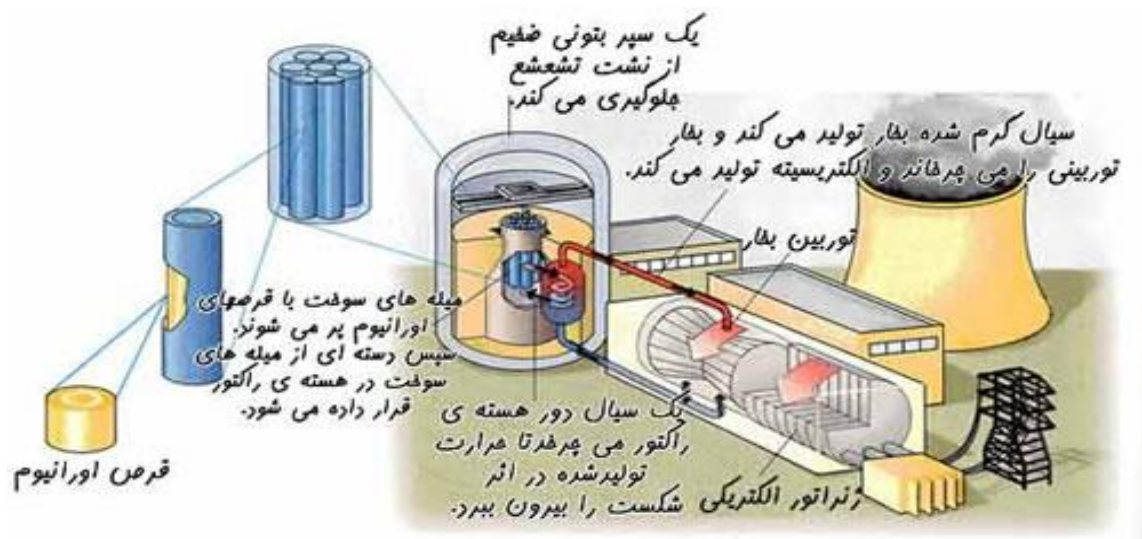


در راکتور های GCR گرافیت به عنوان کند کننده و دی اکسید کربن یا گاز هلیوم به عنوان خنک کننده در مدار

اول نقش انتقال حرارت را بعهده دارد. این حرارت به مدار بعدی که آب است منتقل و بخار حاصله توربین را به

حرکت در می آورد. و یا گاز به حدی داغ میشود که خود مستقیماً توربین را به حرکت در می آورد. راکتور های

AGCR نسل دوم راکتور های خنک شونده با گاز هستند. در این دسته از راکتور ها هم گرافیت به عنوان کند



کننده و دی اکسید کربن به عنوان ماده خنک کننده مورد استفاده قرار گرفته است. سوخت این راکتور ها، قرص

های اکسید اورانیوم که تا $2/5_3/5$ درصد غنی شده و در غلاف های استیل زنگ نزن قرار داده شده اند.

4- راکتور D2G

راکتور هسته ای D2G را می توان در تمام ناوهای دریایی ایالات متحده می توان پیدا کرد.



این رآکتور برای تولید حداکثر 150 مگا وات انرژی الکتریکی و عمر مفید 15 سال مصرف معمولی طراحی شده

است. در این رآکتور، برای مخزن بخار دو رآکتور وجود دارد و طوری طراحی شده که بتوان هر دو اتاق توربین را با

یک رآکتور به راه انداخت. اگر هر دو رآکتور فعال باشند، ناو به سرعت 32 گره می‌رسد. اگر یک رآکتور فعال

باشد و توربین‌ها متصل به هم باشند، سرعت ناو به 25 تا 27 گره خواهد رسید و اگر فقط یک رآکتور فعال باشد ولی

توربین‌ها جدا باشند، سرعت فقط 15 گره خواهد بود.

5- راکتور با آب سنگین CANDU

راکتورهای فوق از نوع آب سنگین تحت فشار است که با سوخت اورانیم طبیعی کار می‌کند. نام دیگر این راکتور ها

به CANDU موسوم است. در راکتور های "کندو" از اورانیم طبیعی به عنوان سوخت و از آب سنگین به منظور کند

کننده و خنک کننده راکتور (کند کننده و خنک کننده هر یک دارای سیستم جدا از هم می باشد) استفاده می شود. از

آنجاییکه این راکتور نیز توانایی جا دادن صدها مجتمع سوخت در لوله ها یا کانال های تحت فشار خود را در قلب

راکتور دارد، لذا عمل سوخت گذاری راکتور در حال کار با تمام ظرفیت قابل اجرا است. راکتورهای CANDU قابلیت

دارند تا از اورانیوم غنی نشده استفاده کنند و دلیل این قابلیت استفاده آب سنگین به جای آب سبک برای تعدیل

سازی و خنک کنندگی است چراکه آب سنگین مانند آب سبک نوترون‌ها را جذب نمی‌کند.

6- راکتور همجوشی هسته ای (FUSION)

PowerEn.ir



همجوشی هسته ای یک منبع انرژی پتانسیل است. که آلودگی آن نسبتاً کم ، تقریباً پایان ناپذیر ، ارزان قیمت و می تواند در دسترس همگان قرار گیرد. دوتریوم و تریتیوم ، ایزوتوپ های هیدروژنی مواد قابل احتراق همجوشی هسته ای را تشکیل می دهند. هسته ها در حالت آزاد همدیگر را دفع می کنند. برای اینکه همجوشی هسته ای بین دو هسته صورت گیرد، باید انرژی هسته ها نسبت به رانش کولنی به قدر کافی زیاد باشد. وقتی هسته ها به حد کافی به هم نزدیک می شوند یک نیروی جاذبه ای هسته ای قوی سبب اتصال هسته ها می شود. و در این صورت انرژی آزاد شده مساوی با انرژی همبستگی هسته است.

واکنش همجوشی که در شرایط آزمایشگاهی انجام می شود و جهت تولید توان مناسب واکنش دوتریوم با تریتیوم است که از این واکنش یک اتم هلیوم و یک نوترون و به مقدار 17.6 MeV انرژی تولید می شود. از آنجا که راکتورها ی همجوشی هسته ای سوختشان دوتریوم و تریتیوم می باشد، تحقیقات انجام شده نشان می دهد که اقیانوس های جهان و همچنین دریاچه های آب شیرین و رودخانه ها نیز در برگیرنده ی دوتریوم ، کافی هستند.

مدیریت زباله های هسته ای:

در هر هشت مگاوات ساعت انرژی الکتریکی تولید شده در نیروگاه هسته ای، 30 گرم زباله رادیواکتیو به وجود می آید. برای تولید همین مقدار برق با استفاده از زغال سنگ پر کیفیت، هشت هزار کیلوگرم دی اکسید کربن تولید می شود که در دما و فشار جو، 3 استخر المپیک را پر می کند.

زباله های رادیواکتیو براساس مقدار و نوع ماده رادیواکتیو به 3 گروه تقسیم می شوند:

PowerEn.ir



الف- سطح پایین: لباس حفاظتی، لوازم، تجهیزات و فیلترهایی که حاوی مواد رادیواکتیو با عمر کوتاه هستند. اینها

نیازی به پوشش حفاظتی ندارند و معمولاً فشرده شده یا آتش زده می‌شوند و در چاله های کم عمق دفن شده و انبار می‌شوند.

ب- سطح متوسط: رزین ها، پس مانده های شیمیایی، پوشش میله سوخت و مواد نیروگاههای برق هسته ای جزو زباله های سطح متوسط طبقه بندی می‌شوند. اینها عموماً عمر کوتاهی دارند، ولی نیاز به پوشش محافظ دارند. این زباله ها را می‌توان درون بتون قرار داد و در مخزن زباله ها گذاشت.

ج- سطح بالا: همان سوخت مصرف شده راکتورها است و نیاز به پوشش حفاظتی و سردسازی دارند.

مزایای نیروگاه هسته ای: 1- پاکیزه بودن این روش نسبت به نیروگاههای سوخت فسیلی 2- عدم تولید گازهای گلخانه ای 3- قیمت تامین سوخت در یک نیروگاه هسته ای نسبت به دیگر تجهیزات موجود نسبتاً اندک است و بنابراین چند برابر شدن قیمت اورانیوم تأثیر چندانی بر روی قیمت انرژی الکتریکی تولیدی نخواهد داشت. 4- بازدهی بالا نسبت به سایر نیروگاهها .

معایب نیروگاه هسته ای: 1- زباله های هسته ای 2- بیماری های ناشی از تشعشعات هسته ای 3- حوادث هسته ای (انفجار) 4- مشکلات تهیه تجهیزات و دستگاههای غنی سازی اورانیوم 5- به دلیل طولانی بودن زمان راه اندازی فقط برای برق پایه مناسب می باشد.



فصل سوم

نیروگاه بخار

PowerEn.ir



نیروگاه بخار

مقدمه

نیروگاه های بخاری یکی از مهم ترین نیروگاه های حرارتی می باشد که در اکثر کشورها از جمله ایران سهم بسیار زیادی را در تولید انرژی الکتریکی بر عهده دارد. بطوریکه سهم تولید این نیروگاه حدود 47.3 درصد کل تولید انرژی کشورمان می باشد. از مهم ترین ای نیروگاه ها می توان به نیروگاه های شهید سلیمی نکا، شهید رجایی قزوین، رامین اهواز و طوس مشهد و ... اشاره کرد.

در این نیروگاه ها از منابع انرژی فسیلی از قبیل نفت گاز طبیعی مازوت و ... استفاده میشود به این ترتیب که از این سوخت ها جهت تبدیل به انرژی حرارتی استفاده شده سپس این انرژی به انرژی مکانیکی و در مرحله بعد به انرژی الکتریکی تبدیل می گردد. به عبارت دیگر در این نیروگاه سه نوع تبدیل انرژی صورت می گیرد اولین نوع تبدیل انرژی شیمیایی (انرژی نهفته در سوخت) به انرژی حرارتی است که این تحول در وسیله ای به نام دیگ بخار صورت می گیرد. دومین نوع تبدیل انرژی حرارتی به انرژی مکانیکی است که این تحول در توربین نیروگاه صورت می گیرد و انرژی حرارتی نهفته در بخار ورودی به توربین تبدیل به انرژی مکانیکی چرخشی محور توربین می شود. سومین و آخرین نوع از تبدیل انرژی در نیروگاه های بخار تبدیل انرژی مکانیکی رتور به انرژی الکتریکی می باشد که این تحول در ژنراتور نیروگاه صورت می گیرد.



سیکل ترمودینامیکی نیروگاه بخاری

تقریباً تمام سیستم هایی که انرژی ذخیره شده در سوخت را به انرژی مکانیکی تبدیل می کنند دارای یک سیال در گردش سیکل هستند. این سیستم ها را می توان بر اساس نوع سیال در گردش به صورت زیر دسته بندی نمود:

الف) سیکل های قدرت گازی:

سیستم های قدرتی هستند که در آنها سیال در گردش به صورت گازی باشد و تغییر فازی صورت نمی گیرد. از مهمترین این سیستم ها می توان به توربین های گازی، موتورهای دیزلی و... اشاره کرد.

بدین ترتیب اگرچه این سیستم های سیکل مکانیکی را طی می کنند ولی دارای یک سیکل ترمودینامیکی نیستند و اصطلاحاً از نظر ترمودینامیکی به سیستم های باز مشهور هستند.

ب) سیکل های قدرت بخاری:

سیستم های قدرتی هستند که در آنها سیال در گردش ضمن طی کردن سیکل تغییر فازی دهد و برخلاف سیکل های گازی یک سیکل ترمودینامیکی را طی می کنند. این



سیکل ها از نظر ترمودینامیکی یک سیکل بسته راتشکیل می دهند که سیال در گردش

همواره در سیستم جریان دارد. سیالی که معمولاً مورد استفاده قرار میگیرد آب است که به صورت دو فاز مایع و بخار در سیکل جریان دارد.

سیکل قدرت بخاری که در نیروگاه های بخاری استفاده می شود سیکل رانکین می باشد. قبل از تشریح سیکل رانکین نیروگاه بخاری اشاره ای به سیکل ایده ال کارنو می شود.

سیکل کارنو با استفاده از بخار آب

سیکل کارنو یک سیکل ایده ال می باشد که بازده آن فقط به درجه حرارت های منابع گرم و سرد بستگی دارد و به سیال در گردش ارتباطی ندارد

سیکل کارنو از چهار مرحله اصلی تشکیل شده است:

1) یک فرایند دما ثابت برگشت پذیر که گرما از یک منبع بادمای بالا به سیال منتقل می شود (تحول 2-3)

2) یک فرایند آدیاباتیک برگشت پذیر انبساطی که با آنجا کار در توربین دمای سیال از دمای منبع گرم به دمای منبع سرد کاهش می یابد (تحول 3-4)

3) یک فرایند دما ثابت برگشت پذیر که گرما از سیال به منبع بادمای پایین منتقل می شود (1-4)

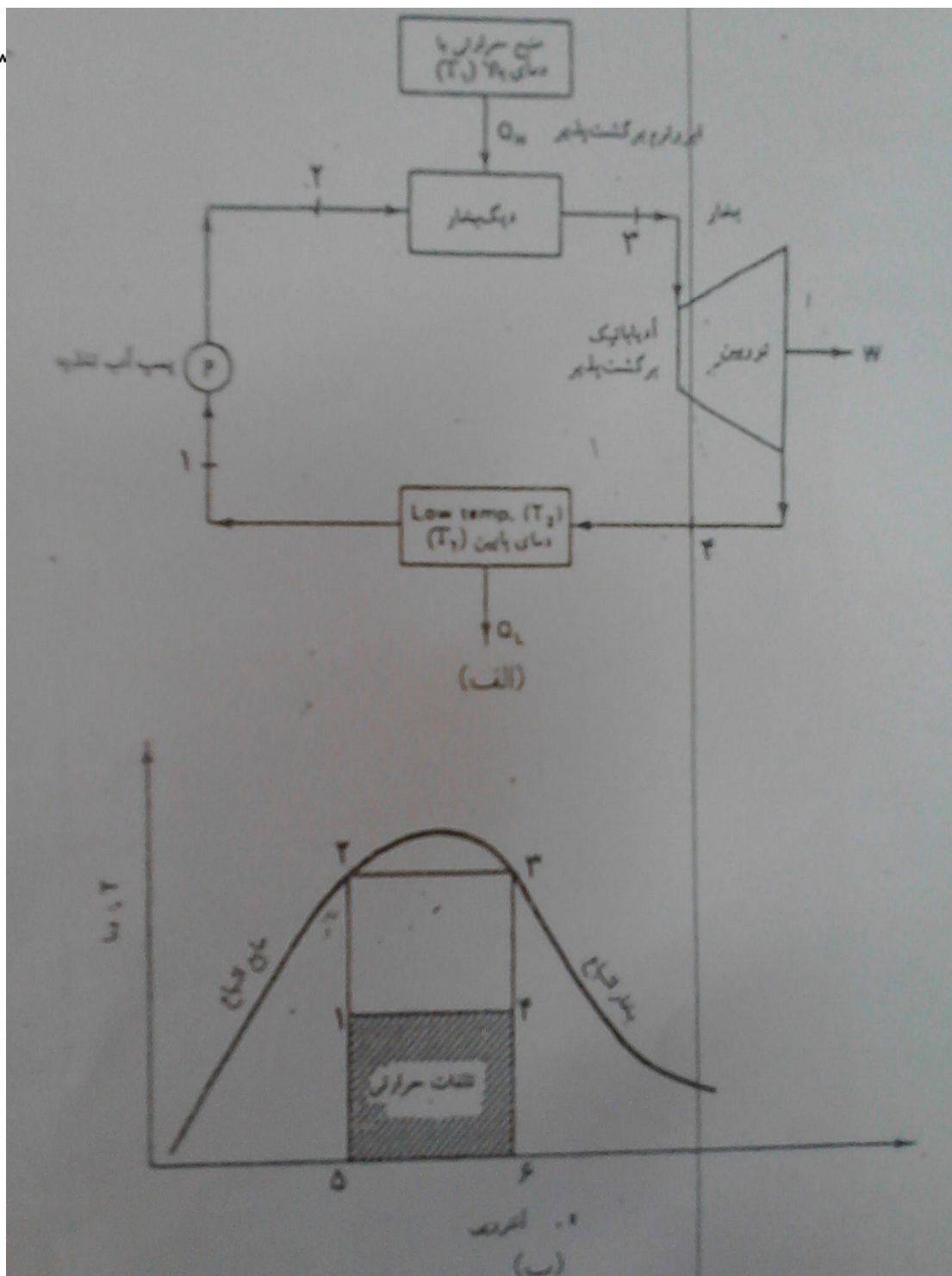
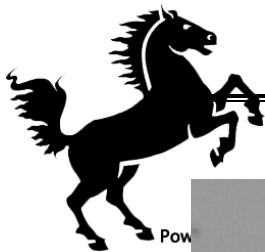
4) یک فرایند آدیاباتیک برگشت پذیر تراکمی که با انجام کار دمای سیال از دمای منبع

PowerEn.ir



سرد دمای منبع گرمافزایش می یابد (تحول 1-2)

PowerEn.ir





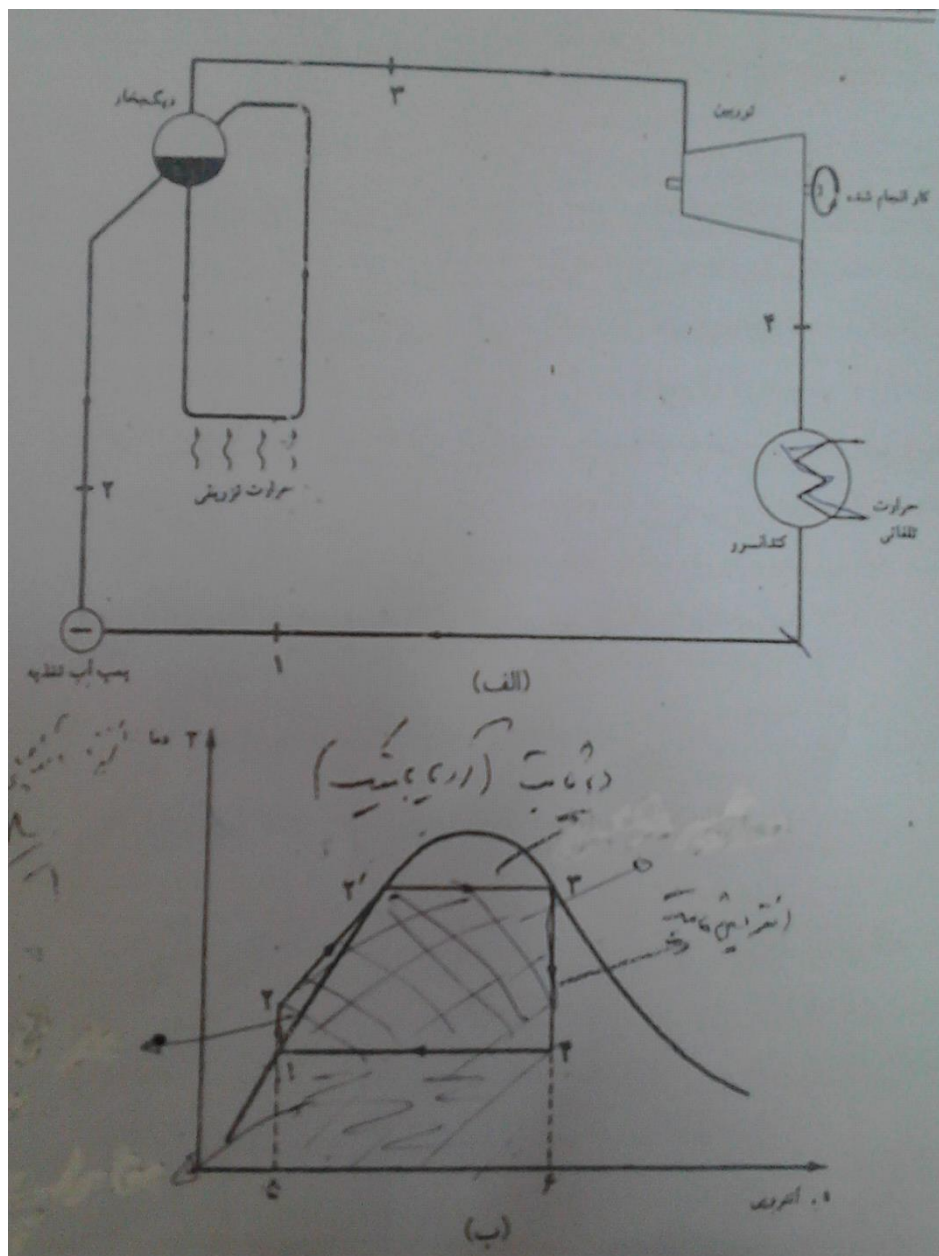
سیکل رانکین

دراین سیکل ابتدا آب با فشار کم توسط پمپ تغذیه به آب با فشار زیاد تبدیل می شود

و آب با فشار زیاد به سمت دیگ بخار منتقل می شود در دیگ بخار با انتقال حرارت از منبع گرم به سیال آب دمای آب ورودی افزایش می یابد و باعث تبدیل شدن آب به بخار می شود بخار اشباع خارج شده از توربین پس از عبور از پره های توربین منبسط می شود که این انبساط باعث ایجاد کار می شود این تحول باعث می شود سیال خروجی از توربین به ورت بخار مرطوب در آید حرارت موجود در این بخار مرطوب در کندانسور جذب می شود نهایتاً سیال خروجی از کندانسور به صورت مایع اشباع وارد پمپ می شود.



PowerEn.ir



در نمودار دما-آنترופی سطح (5-2-3-6-5) مقدار گرمای داده شده به سیال و سطح (1-2-3-4) مقدار کار انجام شده توسط توربین و در نتیجه مقدار حرارت تلف شده در توربین (5-1-4-6-5).

PowerEn.ir



مقدار گرمای داده شده به سیکل / مقدار کار انجام شده = بازده

از مشکلات سیکل مذکور کاهش بازده آن نسبت به کارنو و وجود مایع در سیال بخار خروجی از توربین می باشد در سیکل های عملی نیروگاه های بخاری به منظور افزایش بازده سیکل رانکین و رفع مشکلات مربوطه تمهیداتی صورت می گیرند که عبارت اند از :

1. افزایش دمای بخار ورودی به توربین به وسیله ی پس تافتن بخار

2. افزایش فشار سیال ورودی به توربین

3. کاهش فشار سیال خروجی از توربین

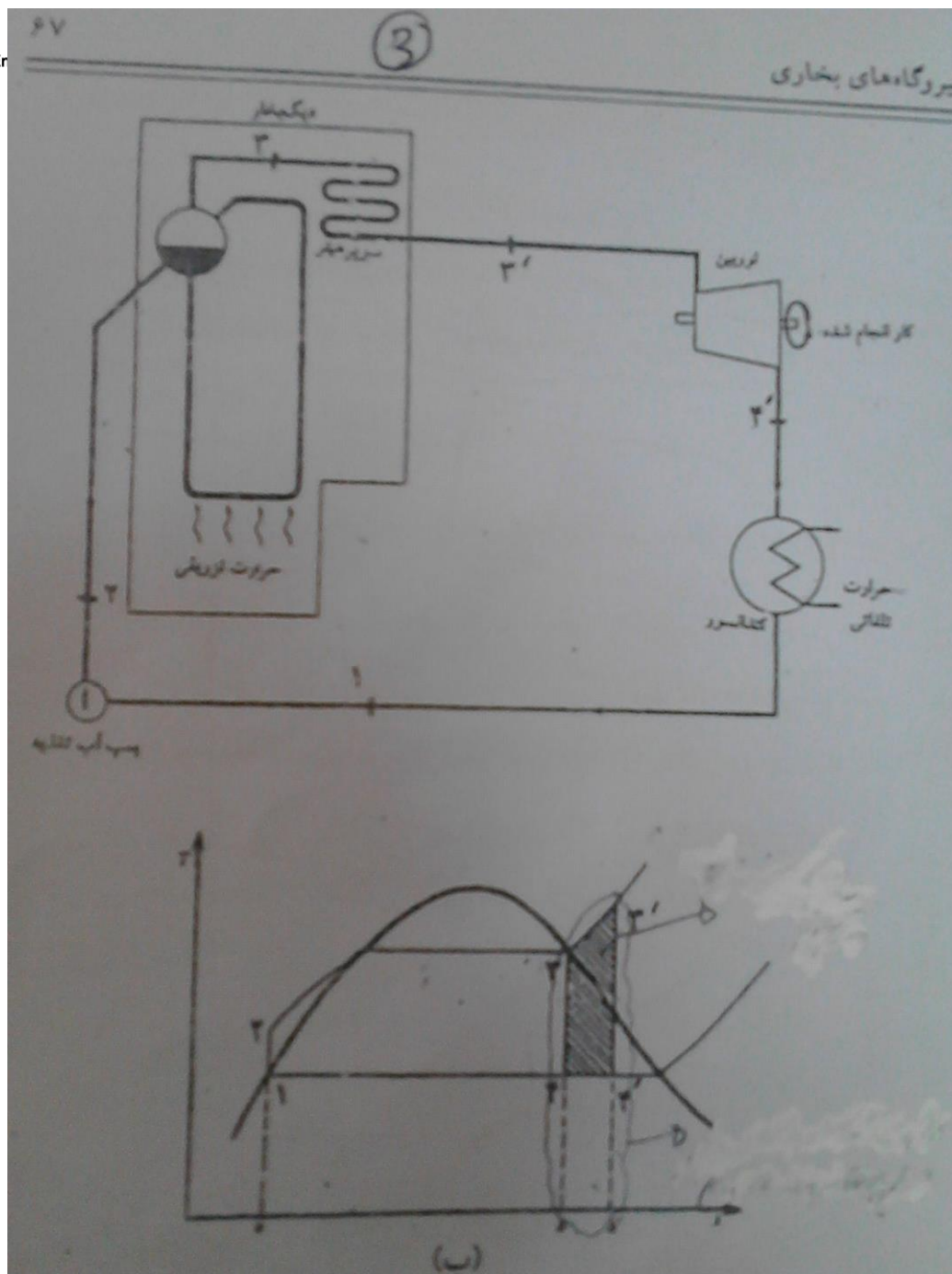
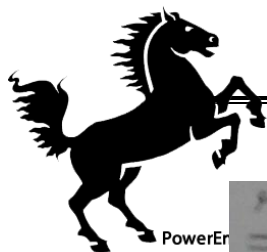
سیکل رانکین با افزایش دمای سیال ورودی به توربین

اولین توسعه ی عملی در سیکل رانکین ساده بالا بردن درجه حرارت بخار ورودی به توربین می باشد .

همانگونه که در شکل زیر مشخص است قبل از اینکه بخار اشباع خارج شده از مخزن آب دیگ بخار وارد توربین شود از وسیله ای به نام سوپر هیتر عبور می کند تا این بخار با دریافت حرارت بیشتری و افزایش درجه حرارت آن به بخار پس تافته تبدیل شود با این کار درجه حرارت بخار ورودی به توربین از نقطه سه به سه پریم افزایش

می یابد

PowerEn.ir



با توجه به نمودار فوق مقدار کار اضافه شده به سیکل به اندازه سطح (4-3-4-3) با توجه به نمودار فوق مقدار کار اضافه شده به سیکل به اندازه سطح (4-3-4-3) است و حرارت انتقال یافته به بخار به اندازه سطح (b-3-3-b) افزایش می یابد.

PowerEn.ir



از آنجایی که در عمل نسبت این دو سطح بیشتر از نسبت کار خالص به حرارت دریافتی برای بقیه سیکل است لذا می توان نتیجه گرفت که با پس تافتن بخار ورودی به توربین بازده سیکل افزایش می یابد همچنین این عمل سبب می گردد تا رطوبت بخار خروجی از توربین کم گردد که این موضوع باعث کاهش خوردگی پره های دهانه خروجی توربین می شود .

سیکل رانکین با افزایش دما و فشار سیال ورودی به توربین یکی دیگر از راه های افزایش بازده سیکل رانکین افزایش فشار بخار ورودی به توربین است .





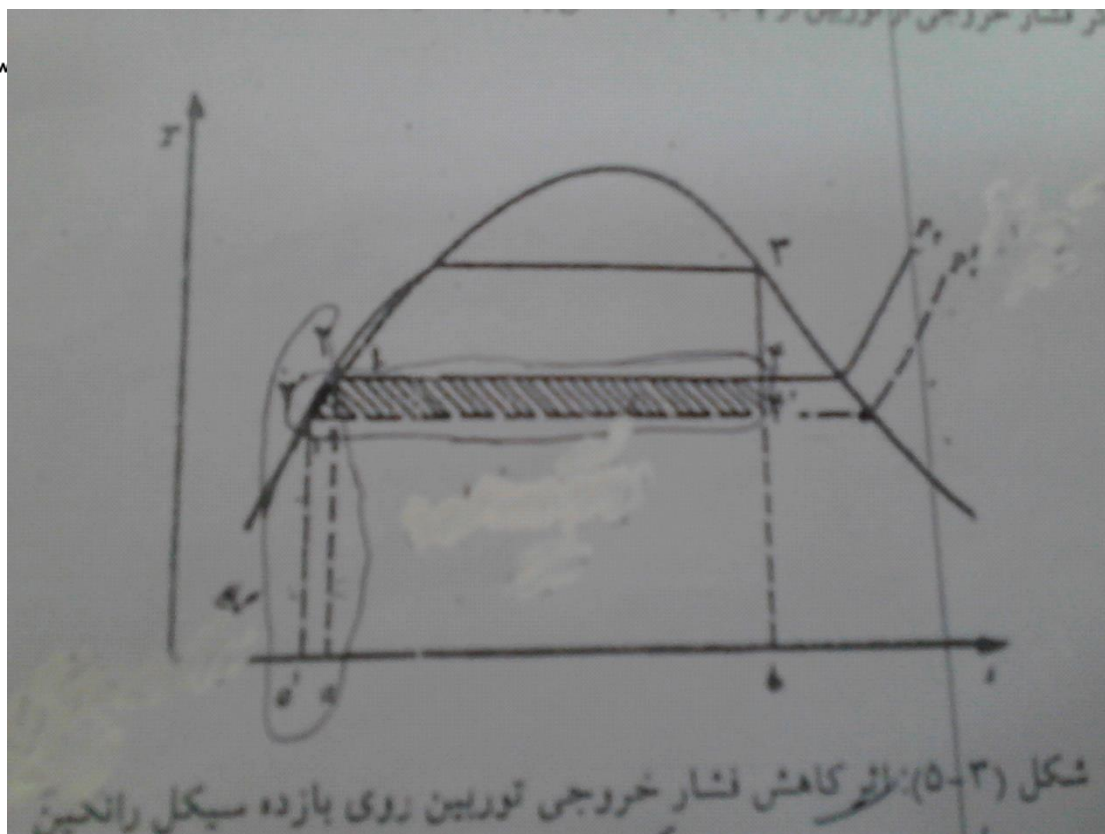
با توجه به نمودار حرارت تلفاتی خارج شده از سیکل به اندازه سطح

کم می شود. ($b''-4''-4-b-b''$)

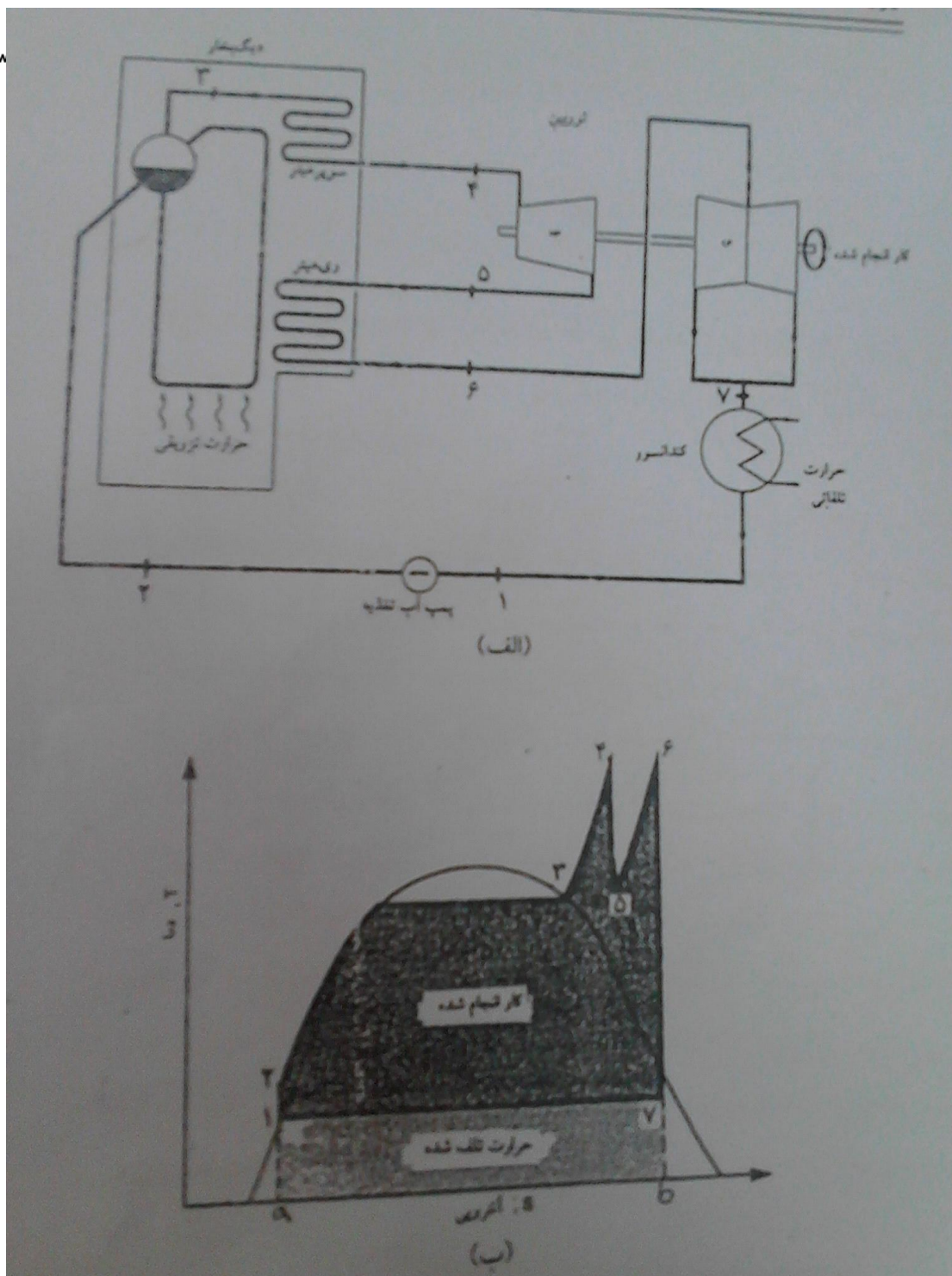
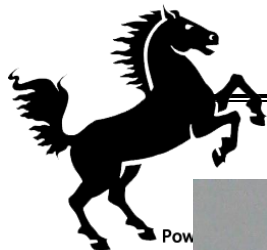
کار خالص سیکل هم به اندازه سطح هاشور خورده زیاد و به اندازه سطح شطرنجی کم می شود در سیکل های واقعی مساحت این دو سطح تقریباً با هم برابر است ولی چون حرارت تلفاتی خارج شده از سیکل کاهش می یابد لذا می توان نتیجه گرفت بازده سیکل افزایش می یابد. عیب عمده این روش افزایش میزان رطوبت موجود در سیال خروجی از توربین می باشد که باعث خوردگی پره های توربین می شود.

سیکل رانکین با کاهش فشار سیال خروجی از توربین

اثر کاهش فشار بخار خروجی از توربین در نمودار زیر نشان داده شده است. با کاهش فشار خروجی از توربین به میزان سطح هاشور خورده کار خالص سیکل نسبت به حالت قبلی به مقدار سطح ($1-2-2-1''-4''-4-1$) افزایش پیدا می کند. حرارت منتقل شده به سیکل نیز افزایش می یابد با توجه به اینکه در سیکل های عملی مقدار این دو سطح (سطح کار اضافه شده و سطح حرارت اضافه شده به سیکل) تقریباً برابر هستند لذا بازده سیکل افزایش می یابد. عیب عمده این روش نیز مانند حالت قبل افزایش رطوبت در سیال خروجی است که باعث خوردگی پره های توربین می شود.



با توجه به قسمت های قبل افزایش فشار سیال ورودی به توربین و کاهش فشار سیال خروجی از توربین باعث افزایش بازده سیکل می شد ولی مشکل افزایش رطوبت موجود در بخار خروجی از توربین ایجاد می گردید یکی از راه های اساسی برای رفع این مشکل آن است که بخار پس تافته ی خارج شده است سوپر هیتر پس از انبساط در توربین فشار قوی (روند 5-4) در وسیله ای به نام ری هیتر دوباره گرم شود (روند 6-5) و سپس آن را جهت بقیه انبساط خود تا فشار کندانسور به توربین فشار ضعیف برگشت دهیم.



سیکل رانکین با تحول بازیاب

PowerEn.ir

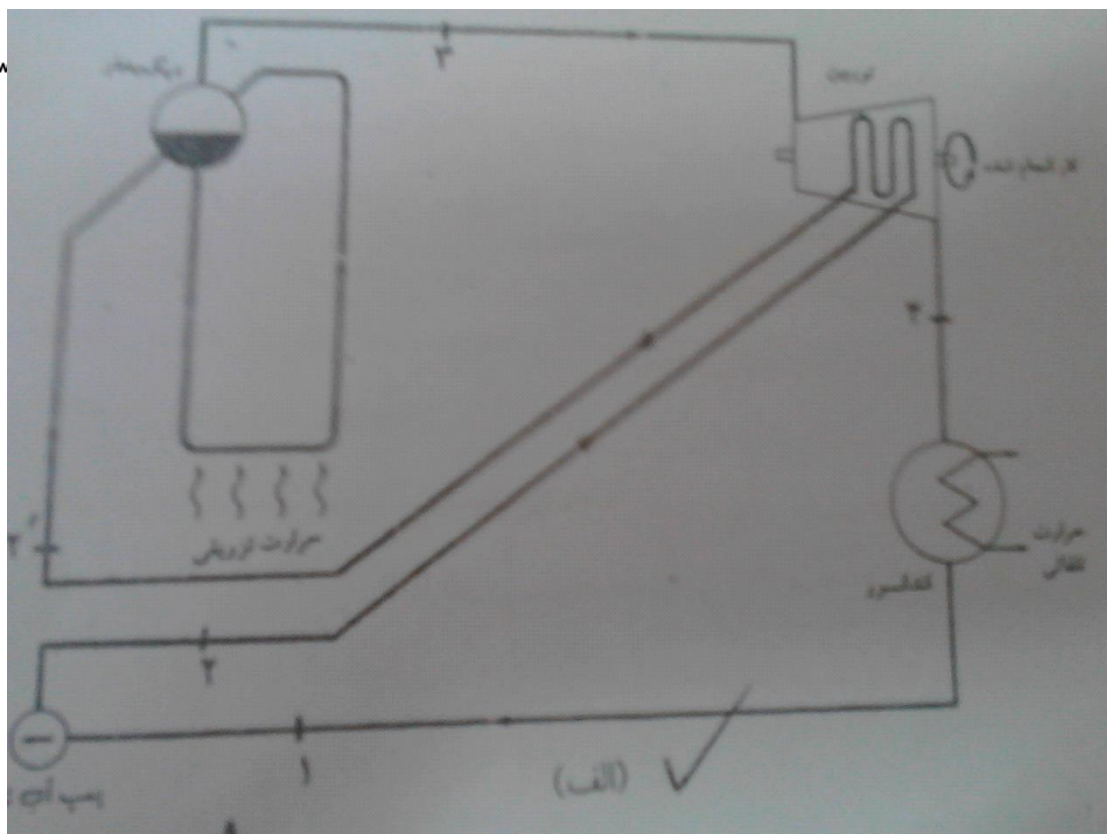
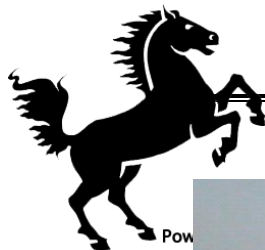


به منظور تکمیل مبحث پیشرفت های حاصل شده در ارتباط با سیکل رانکین ارائه شده

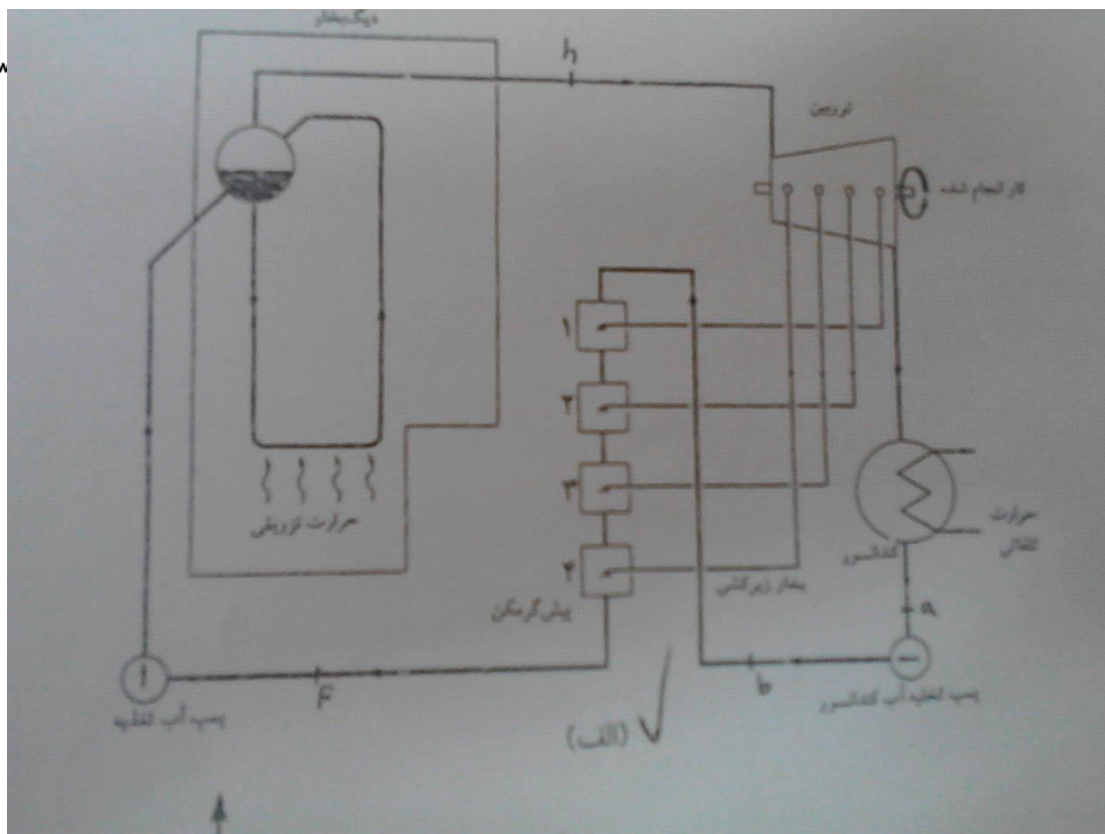
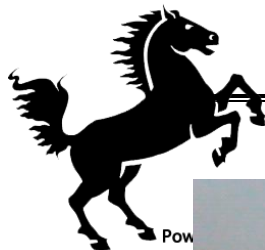
در شکل زیر اثر وجود پیش گرمکن ها را در مسیر آب ورودی به پمپ تغذیه مورد بحث قرار می دهیم. از آنجایی که می دانیم بازده سیکل رانکین کمتر از بازده سیکل کارنو می باشد. لذا جهت ازدیاد این بازده باید روشی در پیش گرفت تا بتوان متوسط دمای حرارتی سیال را در سیکل رانکین بالا برد .

در این سیکل سیال در گردش پس از عبور از پمپ تغذیه به محفظه ای که در جدار توربین تعبیه شده است وارد می شود و جهت جریان سیال بر خلاف جهت جریان بخار عبوری از توربین است در نتیجه با توجه به اختلاف دمای این دو سیار حرارت از بخار عبوری از توربین به مایع خارج شده از پمپ تغذیه منتقل شده و باعث افزایش دمای مایع مذکور می گردد .

البته این سیکل رانکین با بازیاب ایده آل غیر عملی است زیرا انتقال حرارت بصورت برگشت پذیر بین بخار عبوری از توربین و سیال خروجی از پمپ تغذیه امکان پذیر نیست و با توجه به دریافت حرارت از بخار عبوری از توربین میزان رطوبت موجود در بخار خروجی از توربین افزایش می یابد که این از معایب این سیکل می باشد.



شکل زیر سیکل رانکین با بازیاب واقعی را نشان می دهد مطابق شکل قسمتی از بخار عبوری از توربین پس از انبساط از آن خارج می شود و وارد یک مبدل حرارتی می گردد تا در آن انتقال حرارت بین بخار زیر کشی شده از توربین و سیال خروجی از پمپ تغذیه صورت گیرد.



مبدل های حرارتی بکار رفته در سیکل بازیاب به دو نوع باز و بسته تقسیم می شوند در نوع باز بخار زیر کشی شده از توربین با مایع خروجی از کندانسور بطور مستقیم مخلوط می شود و سعی می شود که سیال خروجی از این مبدل حرارتی بصورت مایع اشباع باشد.

در مبدل حرارتی از نوع بسته بخار زیر کشی شده از توربین با مایع خروجی کندانسور مخلوط نمی شود بلکه تبادل حرارت توسط سطوح انتقال حرارت (لوله) در مبدل انجام می گیرد



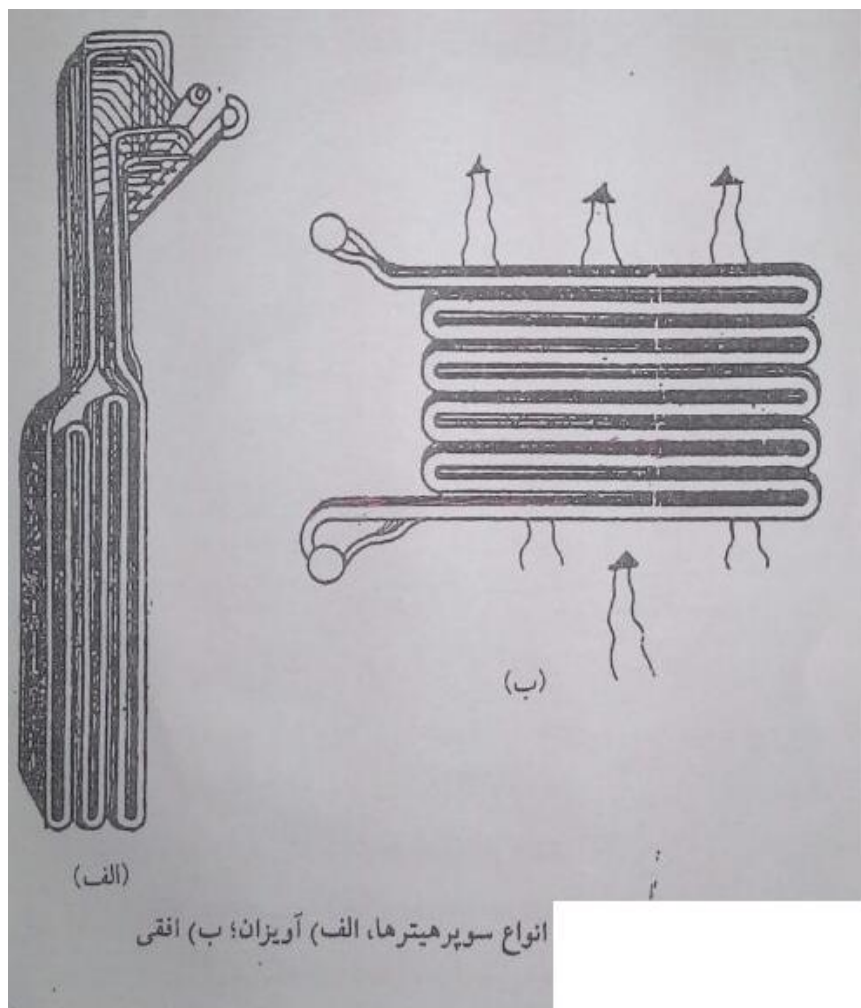
سوپرهیتر: برای استفاده بیشتر از انرژی و حرارت بخار در نیروگاه ها، بخار اشباع شده را مجدداً

توسط گازهای گرم کوره و در وسیله ای بنام سوپرهیتر حرارت می دهند پس تافته (خشک یا داغ) تبدیل شود. سوپرهیترها از مجموعه لوله های موازی تشکیل شده اند که در تماس با حرارت گازهای کوره هستند و حرارت این گازها را به سیال بخار عبوری از درون خود منتقل می کنند تا بخار خروجی از آن به صورت بخار پس تافته با دمای بسیار بالا درآید و معمولاً بخار خروجی از سوپرهیترها بیش از 500 درجه سانتی گراد می باشد. به عنوان مثال، این دما در نیروگاه های شهید رجایی، تبریز، طوس، شهید محمد منتظری، نکا، بندرعباس و ایرانشهر به ترتیب در حدود 538، 540، 545، 530، 540 درجه سانتی گراد می باشد.

سوپرهیترها براساس تعداد زیاد لوله ها و محل هدرها به دو دسته تقسیم می شوند:

الف) سوپرهیترهای آویزان: در این نوع سوپرهیترها، لوله ها از هدرها آویزان می شوند و توسط آنها نگهداری می شوند.

ب) سوپرهیترهای افقی: در این سوپرهیترها تخلیه بار به صورت طبیعی انجام میشود.



نوع دیگر تقسیم بندی سوپرهیترها بر اساس نوع جذب حرارت می باشد که عبارتند از:

الف) سوپرهیتر تشعشعی یا ثانویه: در صورتی که لوله های سوپرهیتر مستقیماً در بالای محفظه احتراق قرار گرفته باشند، قسمت اعظم حرارت این محوطه به صورت تشعشعی به سیال درون لوله ها منتقل می شود که به این نوع، سوپرهیتر تشعشعی یا سوپرهیتر ثانویه گویند.

ب) سوپرهیتر جابجایی یا اولیه: این نوع سوپرهیترها معمولاً در خارج از محفظه احتراق و در مسیر گازهای خروجی از کوره قرار میگیرند که قسمت اعظم حرارت خود را از طریق جابجایی گازهای سوخته شده دریافت می کنند.



ابتدا بخار وارد سوپرهیتر اولیه شده و پس خروج از آن در دی سوپرهیتر از نظر درجه حرارت کنترل گردیده و سپس وارد سوپرهیتر ثانویه می شود و در نهایت پس از خروج از آن به سمت توربین هدایت میگردد.

دی سوپرهیتر یا اتمپراتور:

وظیفه دی سوپرهیتر، کنترل درجه حرارت بخار است. بخار خروجی از دیگ بخار باید دارای درجه حرارت مشخصی باشد که در غیر این صورت، مشکلاتی را از قبیل آسیب رساندن به پره های توربین، کاهش بازده سیکل و..... را به همراه خواهد داشت به همین منظور بین دو سوپرهیتر اولیه و ثانویه از وسیله ای بنام دی سوپرهیتر استفاده می شود که عموماً وظیفه آن کاهش دمای بخار موجود در سوپرهیترها می باشد.

دی سوپرهیترها به دو نوع زیر ساخته می شوند؛

الف) دی سوپرهیتر غیر تماسی: این نوع دی سوپرهیتر، شبیه یک مبدل حرارتی است که آب تغذیه دور بدنه آن جریان پیدا می کند و بخاری را که از لوله های تعبیه شده عبور می کند، خنک می سازد.

ب) دی سوپرهیتر تماسی یا پاششی: در این دی سوپرهیتر، آب تغذیه مستقیماً به داخل بخار موجود پاشیده می شود و درجه حرارت بخار را به مقدار مطلوب کم می کند.

لازم به ذکر است که آب ورودی به این دی سوپرهیتر باید کاملاً خالص باشد تا هیچ گونه مشکلی برای توربین ایجاد نکند.



انواع برج های خنک کننده:

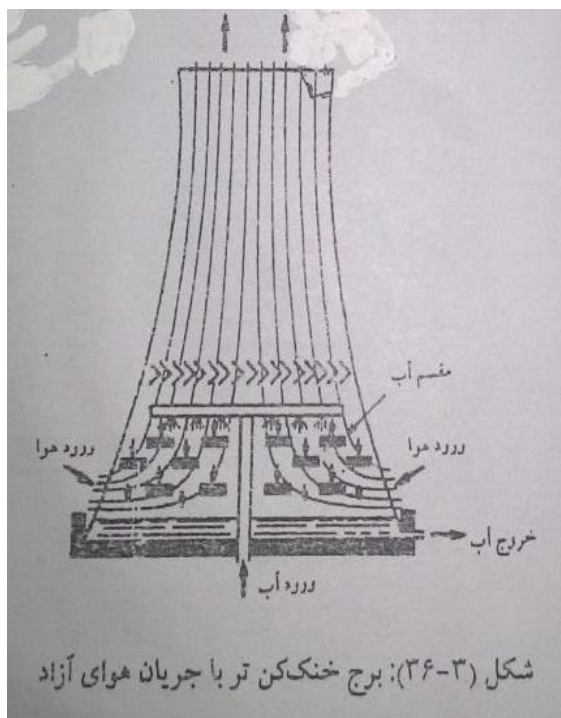
الف) برج های خنک کننده تر: در این برج ها آب پس ورود به آن به وسیله اسپری شدن به قطرات ریزی تبدیل شده و به طرف پایین برج سرازیر می شود. آب اسپری شده با برخورد با هوا و تبخیر شدن خنک شده و به مخزن انتهای برج ریزش می کند. در این برج ها حدود 2 درصد از آب تبخیر می شود و مقداری هم با جریان هوا از برج خارج می شود که باد به طریقی این کمبود آب را جبران نمود.

دمای آب ورودی به این برج ها 37.22 درجه سانتیگراد است که بعد از خنک شدن دمای آن به 25 درجه می رسد. ارتفاع این برج ها بسیار زیاد است معمولا 125 متر و قطر درپایه به 100 متر می رسد.

هوایی که در این برج ها با آب برخورد می کند، به دو طریق جریان می یابد:

1- جریان هوا به طور طبیعی

2- جریان هوا با استفاده از فن های نصب شده در برج



ب) برج های خنک کننده خشک: در این نوع برج هوا با آب در تماس نیست، بلکه با مبدل های حرارتی در تماس است که این مبدل ها، حرارت آب یا بخار را به بیرون منتقل می کنند.

بازده این برج ها نسبت به برج های خنک کننده تر پایین تر بوده اما از آنها استفاده زیادی می شود چون مزایای زیادی دارد که عبارتند از:

1- عدم آلودگی محیط زیست

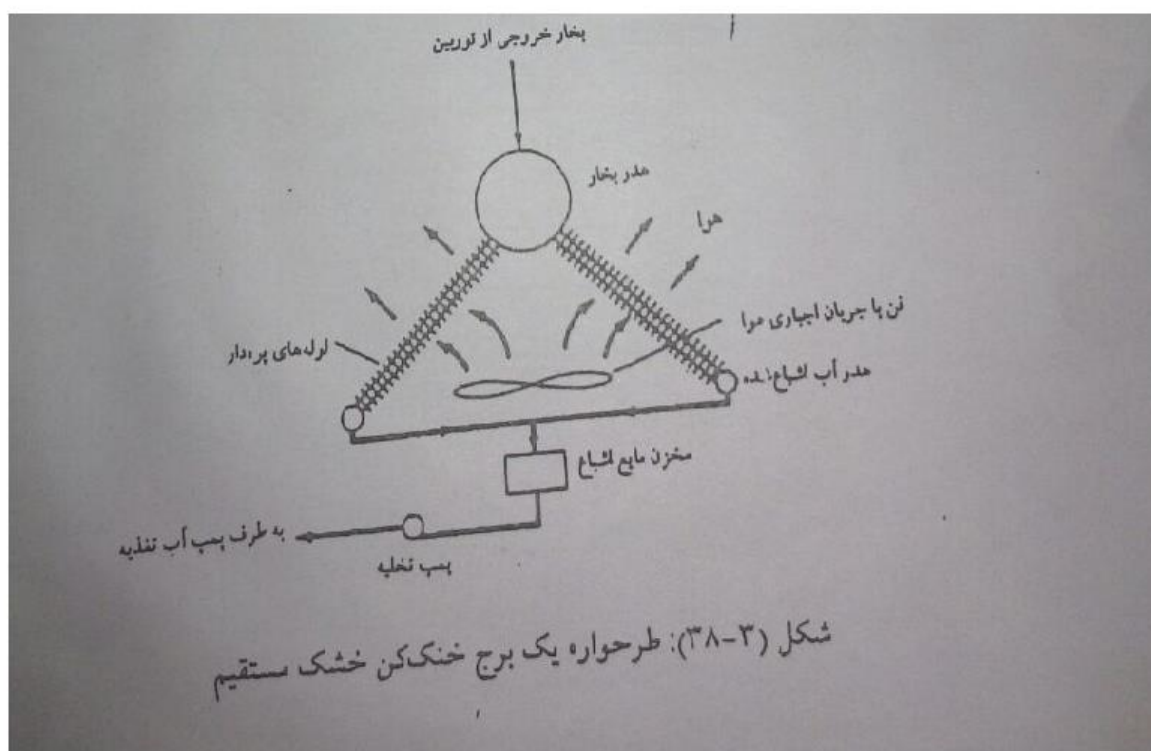
2- هزینه نگهداری کمتر نسبت به برج های تر به خاطر عدم نیاز به مواد شیمیایی و تمیز کننده های برج

PowerEn.ir



3- توسعه نیروگاه های احداث شده بدون توجه به منابع آب کافی

4- با استفاده از این برج محل نیروگاه را می توان بدون توجه به منابع آب بزرگ انتخاب کرد ، که این موضوع باعث کاهش هزینه ی نیروگاه می شود چون میتوانیم نیروگاه ها را نزدیک منبع سوخت بسازیم



توربین های بخار

توربین های بخار از جهات مختلف دسته بندی میشوند:

1- از نظر کاربرد صنعتی:

الف -1- توربین های مولد قدرت : در توربین های مولد قدرت با استفاده از کندانسور ،بخار با فشار کم از توربین خارج شده و تبدیل به آب اشباع می شود. فشار عملکرد کندانسور کمتر از فشار جو



است. کاربرد این توربین ها در کارخانه جات از قبیل، کارخانه های قند، کاغذ سازی و آب شیرین کن استفاده میشود.

ب-1- توربین های صنعتی : در این توربین ها از کندانسور استفاده نمی شود در نتیجه فشار بخار خروجی از توربین تقریباً مساوی فشار جو است که به این نوع توربین ها، توربین های تراکمی پس فشار میگویند. نوع دیگر توربین های صنعتی، توربین های عبوری میباشند که شامل کندانسور هستند. کاربرد این توربین ها برای تولید برق در مواقعی که مصرف بخار صنعتی کمتر از بخار مورد نیاز باشد.

2- از نظر جهت انبساط بخار در توربین :

الف -2- توربین هایی که جهت انبساط آن ها به صورت جریان محوری است: از این توربین ها در نیروگاه های جدید و بزرگ استفاده زیادی می شود که در آنها جریان بخار به موازات محور رتور می باشد و در این مسیر بخار منبسط می شود.

ب-2- توربین هایی که جهت انبساط آنها به صورت شعاعی است : این نوع توربین ها کمی قدیمی تر از نوع اول است که در آنها بخار از مرکز پره ها به بیرون و به طرف بدنه خارجی توربین جریان پیدا می کند. این توربین ها بازده خوبی دارند ولی در محدوده های با قدرت کم طراحی میشوند.

پ-2- توربین هایی که جهت انبساط آنها به صورت مماسی است: در این نوع توربین ها بخار به وسیله نازل های متعددی تحت زوایای معینی نسبت به محور رتور و به صورت مماسی به پره های توربین برخورد میکند. این توربین ها دارای قدرت بالایی هستند ولی بازدهی مناسبی ندارند به همین جهت از آنها در نیروگاه ها استفاده چندانی نمیشود.

3- از نظر فشار کارکرد:

الف -3- توربین های با فشار قوی : در این توربین تمام بخار پس از عبور از یک توربین فشار قوی وارد کندانسور می شود .



ب-3- توربین های با فشارهای قوی و متوسط : بخار پس از عبور از دوتوربین فشار قوی و فشار ضعیف وارد کندانسور می شود. در واحدهای 145 مگا واتی نیروگاه زرگان اهواز از این توربین ها استفاده شده است.

پ-3- توربین های با فشار قوی ،متوسط و ضعیف: این توربین ها در نیروگاه های با توان بالا مورد استفاده قرار میگیرد. در نیروگاه های 120 مگاواتی اسلام آباد و بندرعباس از این توربین ها استفاده شده است.

اجزا مختلف توربین :توربین های بخار شامل قسمت های مختلفی از قبیل :فوندانسیون ،پوسته ،رتور ،پره ها ،یاتاقان ها، گلند و می باشند که در مورد هر کدام به طور مختصر توضیح می دهیم.

الف) فوندانسیون :هر توربین از دو قسمت ثابت و متحرک تشکیل شده که قسمت متحرک رتور میگویند. برای ثبات توربین قسمت های ثابت بر روی یک صفحه فلزی به نام صفحه ی فوندانسیون نصب میشوند.

ب) پوسته : پوسته توربین به عنوان یک مخزن تحت فشار است که وزن آن توسط پایه های یاتاقان ها تحمل می شود.

جنس این پوسته برای توربین های با دمای بخار کم از نوع چدن و برای توربین های با دمای بخار بالا از فولاد مخصوص است. بر روی پوسته توربین ها پره های ثابت که بر روی حامل های متعددی نصب شده اند قرار میگیرند. علاوه بر این در محل های تقاطع رتور با پوسته از تجهیزاتی جهت آب بندی پوسته به نام گلند استفاده می شود.

ج) رتور: رتور توربین محوری است که توسط یاتاقان های توربین نگه داری می شوند و بر روی آن تعدادی دیسک به همراه پره های متحرک نصب شده است. انرژی مکانیکی ایجاد شده توسط انبساط بخار موجب چرخش رتور می شود. از نظر ساختمان ، رتور توربین های مختلف به رتور های استوانه ای ، رتور های دیسکی ،رتور های یک پارچه و رتور های جوش داده شده تقسیم می شوند. جنس این رتور ها معمولا از فولاد است .

PowerEn.ir



د) پره های توربین : به دو نوع پره های ثابت و متحرک تقسیم می شوند.

پمپ های نیروگاه

در نیروگاههای بخاری ، تعداد بسیار زیادی پمپ به منظور انجام کارهای مختلف و برآوردن اهداف مورد نظر استفاده می شود. در این قسمت به مهمترین این پمپ ها اشاره می شود.

1) پمپ تخلیه هوای کندانسور:

همان گونه که در مباحث قبل هم بیان شد ، تخلیه هوای موجود در کندانسور به منظور رسیدن به عمل کرد مطلوب خنک کنندگی بخار خروجی از توربین اجتناب ناپذیر است. روند تخلیه هوای کندانسور با دو هدف انجام می شود:

الف) خارج کردن هوای نشتی ورودی به کندانسور از طریق فلنج ها و لوازم آب بندی

ب) خارج کردن گازهای غیر قابل حل موجود در بخار خروجی از توربین.

زدودن هوای نشتی و گازهای غیر قابل حل از کندانسور بسیار مهم است زیرا وجود آن ها به هر اندازه که باشد باعث اختلال در کار انتقال حرارت کندانسور می شود.

2) پمپ در گردش آب خنک کنندگی:

در بحث برج های خنک کننده بیان کردیم که در بعضی روش ها برای تبدیل بخار خروجی از توربین به مایع اشباع ، نیاز به آب خنک کننده می باشد. دمای این آب در برج هایی بنام برج های خنک کننده پایین می آید. با توجه به تفاوت سطح لوله های کندانسور و برج خنک کننده نیاز به پمپ هایی بنام پمپ در گردش آب خنک کننده می باشد تا آب را با فشار مناسب از برج های خنک کننده به سمت لوله های کندانسور پمپاژ کند. تعداد دور این پمپ ها با توجه به تفاوت در ارتفاع مذکور بین 150 تا 500 دور بر دقیقه می باشد.

3) پمپ تخلیه آب کندانسور:

این پمپ ها برای تخلیه آب خنک شده از کندانسور به طرف پیش گرم کن ها



به کار می رود. در نیروگاه نکا برای هر واحد دو پمپ از این نوع استفاده شده است که قدرت هر کدام 1.6 کیلو وات می باشد و تحت ولتاژ 6.3 کیلو ولت کار می کند.

(4) پمپ های تغذیه آب دیگ بخار:

این پمپ ها به عنوان بزرگترین و پر قدرت ترین پمپ نیروگاه های بخاری قلمداد می شوند. در نتیجه طرح مناسب این گونه پمپ هابر قابلیت بهره برداری کل واحد تاثیر چشم گیری خواهد داشت. قبل و بعد از پیش گرم کن های فشار قوی از این پمپ ها استفاده می شود. در نیروگاه های با قدرت پایین محرک این پمپ ها موتور الکتریکی می باشد ولی در نیروگاه ها با قدرت بالا ، قدرت موتور های الکتریکی برای به حرکت درآوردن پمپ ها بسار زیاد می شود و با توجه به سطح ولتاژ فشار قوی مصرف داخلی نیروگاه ها ، جریان کارکرد نامی و راه اندازی آن ها بسایر زیاد می شود.

(5) پمپ روغن:

پمپ های روغن نیروگاه وظیفه ی تامین روغن را برای تجهیزات مورد نیاز بر عهده دارند. عموما این پمپ ها به چهار دسته تقسیم می شوند.

- 1- پمپ اصلی روغن: پمپی است که مستقیما به محور توربین متصل می شود که به تعداد دور توربین می چرخد و عمل روغن کاری توربین را به طور دائمی و در حال کار توربین انجام می دهد.
- 2- پمپ کمکی روغن: این نوع پمپ ها از نوع پمپ های سانتیریفوژ است و دارای ظرفیتی برابر با پمپ اصلی روغن است.

- 3- پمپ روغن اضطراری: در مواقع اضطراری از این نوع پمپ استفاده می شود که اکثرا با جریان مستقیم کار می کند و در مواقع خاموشی های اتفاقی عمل روغن کاری را انجام می دهد.

- 4- پمپ روغنی بلند کننده: در مواقع راه اندازی و برای بلند کردن محور توربین از روی یاتاقان ها به منظور کاهش اصطکاک از این نوع پمپ استفاده می شود. لازم به ذکر است این پمپ بعد از راه اندازی از مدار خارج می شود.

(6) پمپ های متفرقه



6-1) پمپ های چاه عمیق: در بعضی از نیروگاه ها که آب مصرفی را توسط ایجاد چاه های عمیقی در محل نیروگاه به دست می آورند، لازم است تا از پمپ های فشار قوی برای بیرون آوردن آب مصرفی از چاه نیروگاه استفاده میشود.

6-2) پمپ های آب مصرفی نیروگاه: در هر نیروگاهی تعدادی پمپ وجود دارد که وظیفه تامین آب مصرفی نیروگاه در سیستم اصلی و کمکی نیروگاه، از قبیل سیستم تصفیه آب را به عهده دارند. مثلاً در نیروگاه بعثت یک پمپ آب جبران کننده سیکل وجود دارد که موتور پمپ آن با توان 74.5 کیلووات و 440 ولت و 1500 دور بر دقیقه، یک پمپ را با سرعت 1450 دور بر دقیقه و ظرفیت 511 متر مکعب بر ساعت به چرخش در می آورد.

6-3) پمپ چرخش آب اواپراتور: در بعضی از نیروگاه های بخاری که لازم باشد چرخش آب در اواپراتور با نیروی اجباری انجام گیرد، از پمپ چرخش آب اواپراتور استفاده می شود.

6-4) پمپ های آب خنک کننده: وظیفه ای گونه پمپ ها، تزریق آب به خنک کننده های هیدروژن مصرفی نیروگاه، خنک کننده های روغن مصرفی، خنک کننده تجهیزات پمپ ها، کمپرسورها، یا تاقان ها و..... می باشد.

6-5) پمپ های تزریق مواد شیمیایی: این گونه پمپ ها به منظور تزریق مقدار معینی از مواد شیمیایی به داخل آب سیکل نیروگاه به کار می روند. به عنوان مثال در نیروگاه بعثت به منظور بدست آوردن شرایط مناسب آب سیکل، از یک پمپ تغذیه هیدرازین، یک پمپ تغذیه فسفات، یک پمپ انتقال اسید سولفوریک و یک پمپ تغذیه هگزامتافسفات سدیم استفاده می شود.

6-6) پمپ های آتش نشانی: این پمپ ها دارای ساختمان ساده ای هستند که باید قابلیت اعتماد بسیار بالایی را برای کار در شرایط اضطراری داشته باشند. محرک این پمپ ها دارای سیستم مستقلی است که به وسیله موتورهای دیزلی راه اندازی می شود.

شکل کلی و طرز کار نیروگاه بخار:

PowerEn.ir



پمپ آب (1) آب مورد نیاز را با فشار زیاد به منبع پیش گرم

کن (2) که توسط زیر کش بخار از توربین گرم می شود

میرساند.

این پیش گرم کن باعث بالا بردن ر اندمان حرارتی توربین می شود.

در مولد بخار (بویلر) (3) آب پیش گرم شده پس از عبور

از لوله ها که در اثر حرارت دود و گاز مواد سوختنی گرم

شده است (این لوله ها در شکل با حرف { ای } مشخص شده

است) وارد محوطه { بی } می شود و در آنجا تبدیل به بخار

می شود .

این بخار مرطوب یا اشباع که از سطوح داغ { بی } خارج

می شود در گرم کن { سی } تحت فشار ثابت مجدداً حرا

رت می بیند و درجه حرارت آن به حدود 560 درجه سانتی گراد می رسد.

که این بخار را بخار خشک می نامیم.

بخاری که از خشک کن { سی } خارج می شود وارد قسمت

فشار قوی توربین (4) که از چند طبقه تشکیل شده است می

گردد و پس از عبور از طبقات مختلف به جز آن قسمت که

زیر کش شده است مجدداً به مولد بخار برگشت داده می شود (5).



در آنجا بخار مجدد آگرم می شود و حرارت از دست رفته

را باز می یابد.

سپس این بخار مجدد آ داغ می شود وبا فشار کم وار فسمت

های فشار متوسط وفشار کم توربین (6) شده و پس از زیر

کش شدن قسمتی از آن ، بقیه وارد کندانسور شده و در آنجا

تقطیر می شود.

در کندانسور به علت تقطیر وکم شدن حجم ، خلا تولید می شود .

برای نگهداشتن خلا هوا وگاز های داخل شده توسط پمپ

تخلیه (34) خارج می شود. برای بازیابی رطوبت

اشباع شده می توان از کولر (35) که در پشت پمپ تخلیه

نصب شده است استفاده نمود.

آب مقطر در کندانسور توسط پمپ کندانسور (8) وارد منبع

پیش گرم کن (9) که با زیر کش شدن بخار از طبقه فشار کم

توربین گرم می شود می گردد . وآب گرم شده از منبع (9)

وارد دگازر حرارتی (10) می شود و در آنجا با اضافه

شدن بخار زیرکش شده از توربین تقریباً ، به جوش می آید و

مقدار هوایی که هنوز درآب باقی مانده ازآب خارج می

شود.



هوای مرطوب وارد کولر (30) شده و در آنجا مقداری آب

بازیا فت می شود.

آب مقطر بدون گاز با آبی که جبران کمبود و تلفات آب مقطر

می کند وارد منبع پیش گرم کن (11) که در حال جوشیدن

است می شود و از این منبع توسط پمپ (1) مجدداً به مدار

بسته بخار راه پیدا می کند.

مواد سوختنی (در اینجا زغال سنگ) از یک انباری به طور

دایم به مخزن (12) که تقریباً گنجایش مصرف روزانه را

دارد منتقل می شود و از آنجا توسط دستگاه نقال (13) وارد

آسیای (14) می شود .

زغال سنگ در آسیا خرد شده تبدیل به پودر زغال سنگ

می گردد و از آنجا به کوره (16) وارد می شود.

هوای تازه جهت سوخت توسط فن (15) از خارج مکیده می

شود پس از گرم شدن در گرم کن (18) به داخل کوره دمیده می شود.

در اثر فشار هوا پودر زغال سنگ در داخل کوره پاشیده می

شود و در همین حال می سوزد و خاکستر آن توسط دستگاه

نقال (17) تخلیه می شود.

گازی که در اثر سوختن زغال سنگ و هوا به وجود می آید



(گاز سوخته) وارد منبع پیش گرم کن (18) می شود و بدین

ترتیب تا آنجا که ممکن است حرارت دود بازیافتی می شود

و پس از عبور از فیلتر صافی الکتریکی (19) و مجزا شدن

ذرات شناور توسط فن (20) به داخل دود کش (21) دمیده می شود و از آنجا به هوای آزاد راه پیدا می کند.

ژنراتور (22) مستقیماً به توربین بخار وصل است و انرژی

الکتریکی تولید شده توسط ترانسفورماتور (24) با فشار

زیاد به شبکه نقل انرژی داده می شود در ضمن قسمتی از

انرژی الکتریکی ژنراتور برای تأمین مصرف داخلی خود

نیروگاه توسط ترانسفورماتور (25) گرفته می شود تقطیر در کندانسور (7) توسط آب سردی که به کمک پمپ آب (28)

در لوله های سرد کن (28) فرستاده می شود .

در آنجا آب گرم در مجاورت با هوا خنک شده و قسمتی از آن

در اثر بخار شدن از بین می رود به کمک پمپ آب (29)

جبران می شود و پمپ آب سرد (28) مجدداً آب سرد شده را به داخل لوله های کندانسور هدایت می کند .

تلفات آب و بخار در اثر جذب نمودن لوله ها و درزهای مختلف و تلفات دستگاه دگازر و تصفیه آب

از گازها و غیره توسط اضافه کردن آب تصفیه شده از منبع خارجی جبران

می گردد.



آب اضافی برای جبران تلفات آب و بخار توسط پمپ (32) از

چاه عمیق و یا استخری که قبلاً از چاه عمیق پر شده است

گرفته می شود.

آب چاه پس از گذشتن از تصفیه خانه (33) تبدیل به آب

سبک و کاملاً بدون املاح و نمک می گردد و سپس به آب

داخل دگازر (10) اضافه می شود.

فصل چهارم

نیروگاه سیکل

ترکیبی



نیروگاه سیکل ترکیبی

مقدمه

نیروگاه چرخه ترکیبی نیروگاهی است که شامل تعدادی توربین گاز و توربین بخار می‌شود. در این نوع نیروگاه، با استفاده از بویلر بازیاب، از حرارت موجود در گازهای خروجی از توربین‌های گاز، برای تولید بخار آب مورد نیاز در توربین‌های بخار استفاده می‌شود. اگر توربین گاز به صورت سیکل ترکیبی نباشد، گازهای خروجی آن، که می‌توانند تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد دما داشته باشند، مستقیماً وارد هوا شده و انرژی باقی‌مانده در آن هدر می‌رود. در حالی که در نیروگاه سیکل ترکیبی، از این انرژی استفاده شده و بویلر توربین بخار بدون نیاز به سوخت، بخار آب تولید می‌کند. بنابراین، با استفاده از این روش، راندمان سیکل افزایش می‌یابد. نیروگاه‌های سیکل ترکیبی (Combined cycle power plant) راه حل بسیار کارآمد، انعطاف پذیر، قابل اعتماد، مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست برای تولید برق است. نیروگاه سیکل ترکیبی در واقع ترکیبی از توربین بخار و توربین گازی می‌باشد به نحوی که ژنراتور توربین گازی برق را تولید می‌کند، در عین حال انرژی حرارتی تلف شده از توربین گاز (توسط محصولات احتراق) برای تولید بخار مورد نیاز توربین بخار مورد استفاده قرار می‌گیرد و به این طریق برق اضافی تولید می‌شود. با ترکیب کردن این دو سیکل بهره‌بری از نیروگاه افزایش پیدا می‌کند. بازده الکتریکی از یک چرخه ساده کارخانه نیروگاه برق بدون استفاده از اتلاف گرما به طور معمول راندمانی بین ۲۵ تا ۴۰ درصد دارد، در حالی که همان نیروگاه با سیکل ترکیبی راندمان الکتریکی حدود ۶۰ درصد را دارد. همانطور که گفته شد این نیروگاه‌ها از ترکیب توربین‌های بخار و گاز ساخته می‌شوند و بسته به نوع توربین‌ها، دیگ‌های بازیافت گرما، و دستگاه‌های بازیابی انواع متعددی دارند. با به کارگیری توربین‌های گازی در چرخه‌های ترکیبی می‌توان پایین بودن بازده آن را بر طرف کرد و در نتیجه آن را برای تامین بار پایه به کار گرفت، در عین حال از مزایای دیگر آن نیز مانند راه اندازی سریع و انعطاف پذیری آن در محدوده‌ی گسترده‌ای از بار بهره‌مند شد. به صورت تئوریک، انرژی قابل بازیابی از آگروز توربین‌های گازی حدود نصف انرژی تولید شده توسط خود توربین گاز است. بنابراین، توان توربین



بخار حدود نصف توربین گاز خواهد بود. در برخی از طراحی‌ها، دو توربین گاز، انرژی مورد نیاز برای یک توربین بخار را ایجاد می‌کنند و در نتیجه، توان تولیدی توربین‌های بخار در حدود توربین‌های گاز می‌شود.

نحوه عملکرد سیکل ترکیبی

واحد تهیه گاز: این واحد با ارزش گرمایی پایین بسته به نوع فرایند مورد استفاده در فشارها و دماهای مختلف عمل می‌کند. کارکرد بعضی از این واحدها در فشار حداکثر تا 3/5 MPa و دمای خروجی 540C تا 1100C صورت می‌گیرد.

پاک کننده گاز و خنک کن:

گاز خروجی باید جهت تصفیه و پاکسازی خنک شود. در حالت عادی این خنک شدن با مقدار زیادی اتلاف انرژی و دفع آن به محیط همراه است.

مبدل گرمایی گاز به گاز:

مزیت این چرخه ترکیبی در آن است که از فشار بالای واحد تهیه گاز استفاده نموده و به کمک این مبدل تا حد زیادی مانع اتلاف انرژی و دفع آن به محیط می‌شود.

سیکل ترکیبی دارای مقبولیت بیشتری است در این نیروگاه از حرارت اتلافی توربین گاز برای تولید بخار استفاده می‌شود. سایر ترکیب‌ها هم امکان پذیر است برای مثال فرایند بخار جیوه یا جایگزینی آب با سیالات آلی یا آمونیاک.

فرایند بخار کاربرد چندانی ندارد چرا که فرایند بخار آب منجر به راندمان بالاتر می‌شود. سیالات آلی یا آمونیاک هم در رنج‌های دمایی پایین برتری‌های نسبی نسبت به آب دارد مانند جریان‌های حجمی کاهش یافته و عدم وجود رطوبت. معایب هم اثرات هزینه‌های توسعه و اثرات زیست محیطی به حد کافی مشکلات بزرگی هستند که از آمونیاک استفاده نشود.

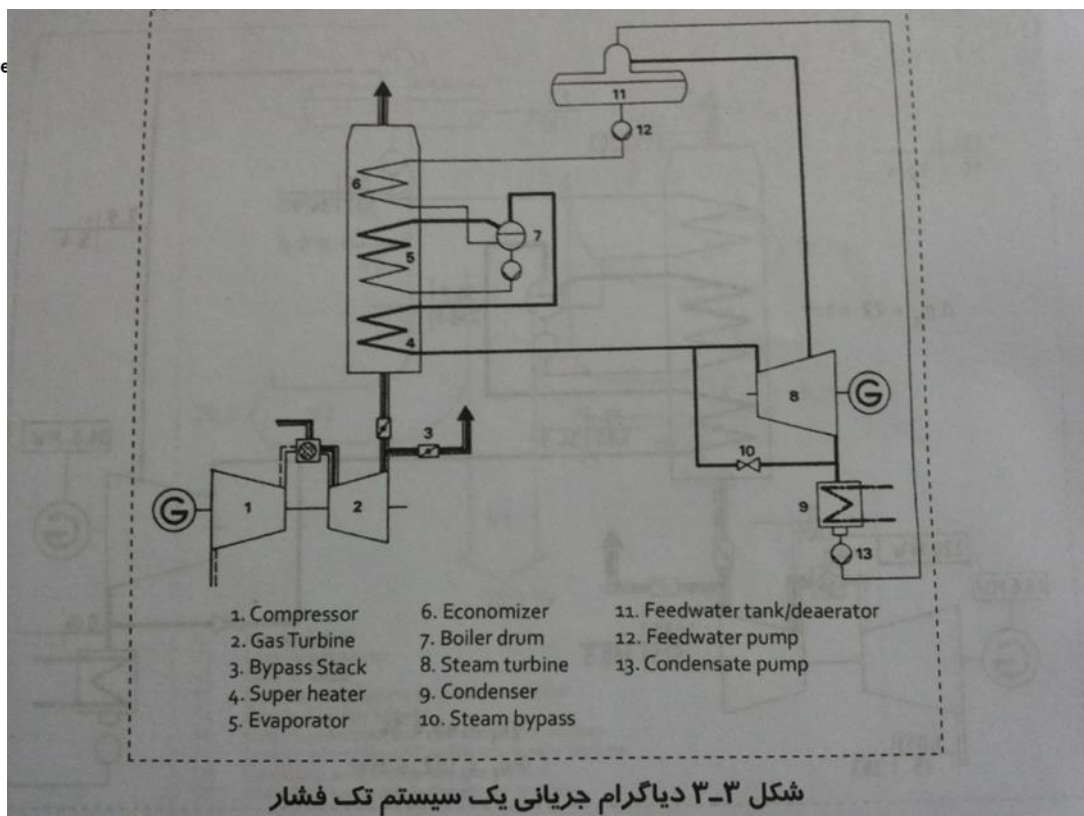
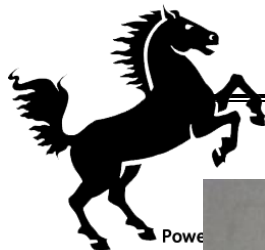
چرا سیکل ترکیبی دارای مقبولیت بیشتری است؟

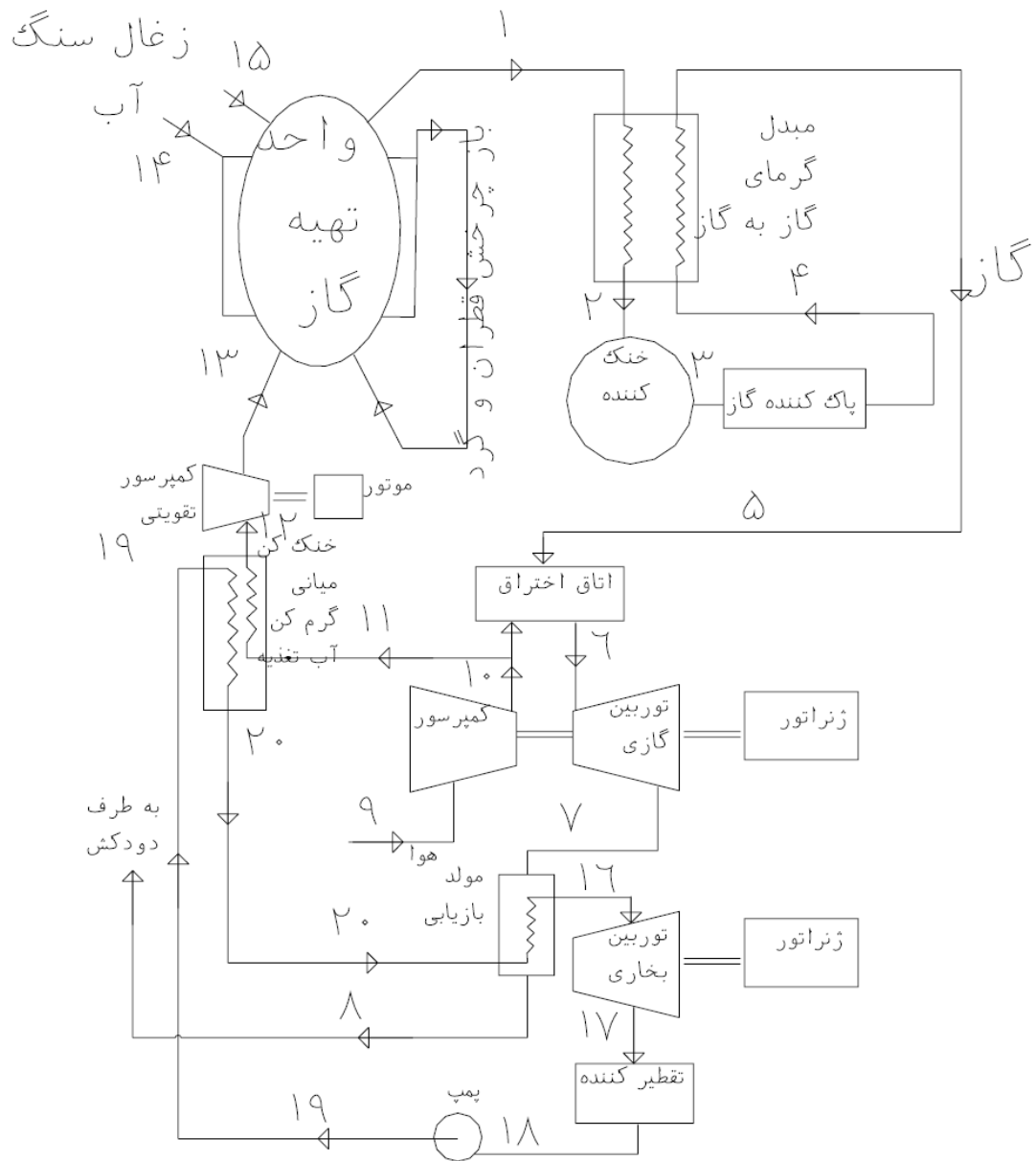
PowerEn.ir



1- این ترکیب نیروگاهی استفاده از تجهیزاتی را که در نیروگاههای با سیکل منفرد بکار گرفته میشود ممکن میسازد لذا هزینه های توسعه کاهش داده می شود.

2- هوا سیال عامل نسبتا بی مشکل و ارزانی است که می تواند در توربین های گازی پیشرفته در سطح دمای بالا (بالتر از 1100) استفاده شود این ویژگی پیش نیازهای لازم برای داشتن یک چرخه بالای مناسب را فراهم میکند.







گاز خروجی از واحد تهیه گاز در نقطه 1 در دمای 540C و فشار 2MPa مقداری از گرمای خود را در مبدل گرمایی گاز به گاز از دست داده و در نقطه 2 از آن خارج می شود. سپس در مبدل گرمایی خارجی (خنک کننده) تا دمای پایین نقطه 3 خنک شده و دمای آن برای فرایند تصفیه و پاکسازی در طی مراحل 3-4 آماده می شود. پس از آن گاز به مبدل گرمایی برگشته و گرمای دفع شده را دوباره باز پس می گیرد و در نقطه 5 آن را ترک می کند.

سپس این گاز وارد اتاق احتراق گازی می شود و در آنجا با هوای متراکم خروجی از کمپرسور ترکیب شده و در نقطه 6 با دمای 980C ترک می کند. سپس گاز در توربین گازی منبسط شده و در نقطه 7 با دمای 520 درجه سانتی گراد خارج می شود. آنگاه گاز وارد مولد بخار بازیابی شده و پس از تولید بخار مولد را در نقطه 8 با دمای 1250 درجه سانتی گراد ترک کرده و به دودکش می رود.

توربین گازی، ژنراتور و کمپرسور را تغذیه می کند و کمپرسور هوای جو را در نقطه 9 با دمای 150 درجه سانتی گراد دریافت و تا دمای 315 درجه متراکم می کند. وظایف کمپرسور شامل تامین هوای مورد نیاز اتاق احتراق در نقطه 10 و تامین هوای مورد نیاز واحد تهیه گاز در نقطه 11 می باشد.

هوای واحد تهیه گاز قبلاً در گرم کن آب تغذیه تا دمای نقطه 12 خنک شده سپس فشار آن در کمپرسور تقویتی که توسط موتور الکتریکی می چرخد تا فشار واحد تهیه گاز در نقطه 13 افزایش یابد. در واحد تهیه گاز، بخار مورد نیاز خود را از آب تغذیه در نقطه 14 تامین نموده و ذغال در نقطه 15 با ترکیب با مخلوط هوا و بخار در انتها، تولید گاز بارز را گرمایی پایین در نقطه 1 می شود.

در چرخه بخار، بخار فوق گرم در مولد بخار بازیابی در فشار 2 MPa و دمای 480 درجه در نقطه 16 تولید می شود. سپس بخار در توربین بخار منبسط شده و توربین بخار ژنراتور دوم را به حرکت در می آورد و پس از آن بخار در نقطه 17 به تقطیر کننده می رسد. مایع تقطیر شده خروجی در تقطیر کننده در نقطه 18 وارد پمپ شده و پس از خروج از آن در نقطه 19 وارد گرم کن آب تغذیه می شود و در آنجا گرما از هوای متراکم واحد تهیه گاز می گیرد. آب تغذیه در نقطه 20 وارد مولد بخار بازیابی شده و چرخه کامل می شود.



بازده این چرخه برابر 34/3٪ است. در طرحهای بعدی و در دمای ورودی 1540 درجه توربین گازی و بخار 540

PowerEn.ir

درجه سانتی گراد 16/5 MPa بازده برابر 43/4٪ خواهد شد که نسبت به بازده نیروگاه های بخار مدرن و متداول

540 درجه 16/5 MPa دارای تصفیه گاز قابل مقایسه است.

در این راه حل طبیعی توربین گازی ماشینی با درجه حرارت زیاد ($1100-1650^{\circ}\text{C}$) و توربین حرارتی ماشینی با درجه حرارت پایین ($540-650^{\circ}\text{C}$) است. این عملکرد اشتراکی بین توربین گازی با شرایط "Hot End" و توربین حرارتی با شرایط "Cold End" به نام نیروگاه چرخه (سیکل) ترکیبی نامیده می شود. این نیروگاه دارای مزایای زیر خواهد بود:

- ۱- راندمان بالا
 - ۲- قدرت خروجی بالا
 - ۳- قابلیت انعطاف
 - ۴- راه اندازی سریع برای بارهای کوچک
 - ۵- مناسب برای عملکرد Base-Load و Cyclic
 - ۶- راندمان بالا برای رنج وسیعی از بارها
- اما به خاطر پیچیدگی نیروگاه و کار با دو نوع تکنولوژی نیروگاهی در یک نیروگاه مرکب، از معایب آن می باشد.

اصول ترمودینامیکی نیروگاههای سیکل ترکیبی

راندمان کارنو = حداکثر راندمان یک فرایند حرارتی ایده ال

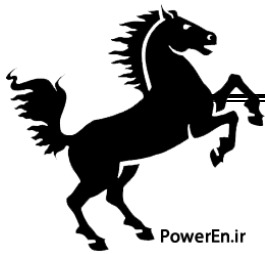
$$\text{راندمان} = (T_w - T_k) / T_w$$

دمای انرژی داده شده به فرآیند T_k =

دمای محیط T_w =

در حالت واقعی راندمان فرایندهای واقعی و غیر ایده ال کمتر از این است. چون شامل برخی تلفات است یکی از این تلفات در تلفات انرژی و اکسرژی یک نهفته است. تلفات انرژی و تلفات حرارتی (تشعشع و جابجایی) می باشد. تلفات اکسرژی تلفات درونی هستند که ناشی از برگشت ناپذیری های موجود در فرایند هستند

PowerEn.ir



دلایل عمده ای که چرا راندمان فرایند های واقعی پایین تر از راندمان کارنو است:

1- اختلاف دمای حرارتی تحویل داده شده به فرایند بسیار زیاد است.

2- دمای حرارت اتلافی از فرایند بالاتر از دمای محیط است.

بهترین راهکار افزایش راندمان فرایند کاهش این تلفات است که می توان از طریق افزایش دادن حداکثر دمای سیکل یا پس دادن حرارت اتلافی در پایین ترین سطح دمای ممکن به محیط صورت پذیرد.

راندمان حرارتی نیروگاه سیکل ترکیبی:

$$\text{راندمان} = (P_{gt} + P_{st}) / (Q_{gt} + Q_{st})$$

$$\text{راندمان با بویلر بازیافت با احتراق} = Q_{sf}$$

$$\text{در بدون احتراق} = Q_{sf} = 0$$

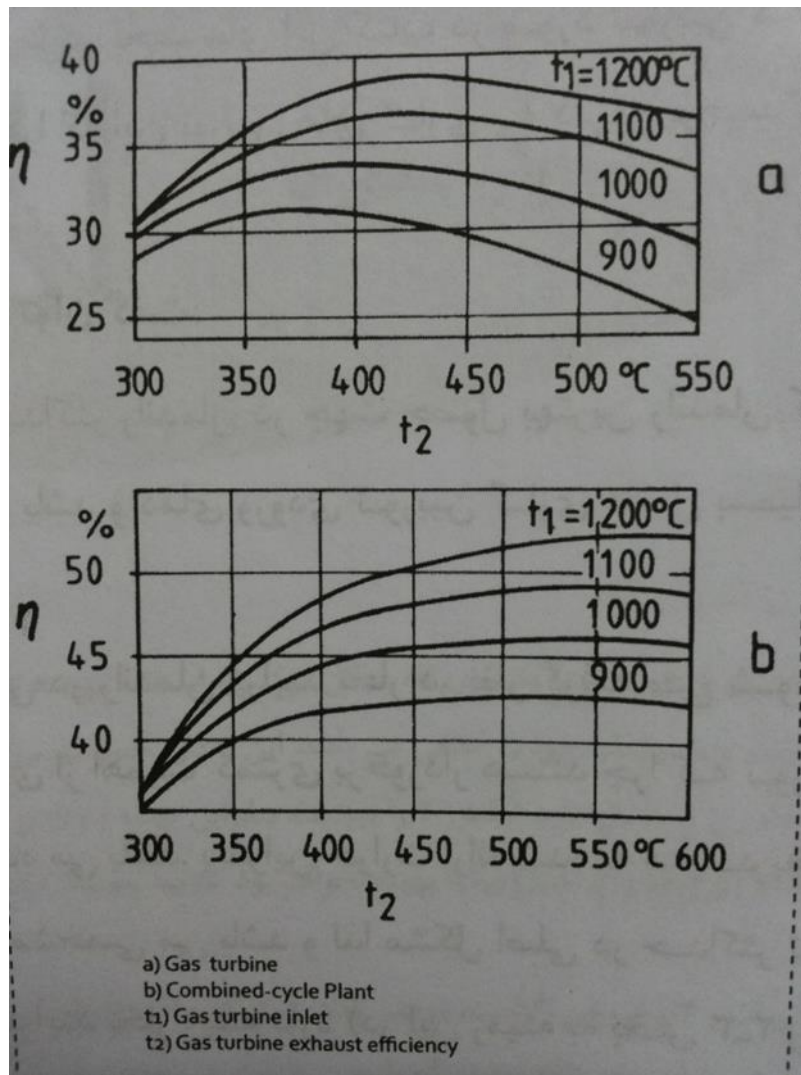
$$\text{راندمان} = (P_{gt} + P_{st}) / Q_{gt}$$

راندمان حرارتی توربین گازی نیروگاه سیکل ترکیبی به عنوان از دمای ورودی و خروجی

شکل a:



PowerEn.ir



شکل b:

شکل b مقایسه با شکل a نقطه بهینه به سمت دماهای خروجی توربین گازی بالاتر جابجا شده است بنا به ملاحظات اقتصادی توربین های گازی امروزی نه تنها صرفا برای دستیابی به راندمان های بالاتر بلکه برای حداکثر دانسیته توان

خروجی نیز بهینه سازی می شود.

PowerEn.ir



انواع نیروگاه های سیکل ترکیبی

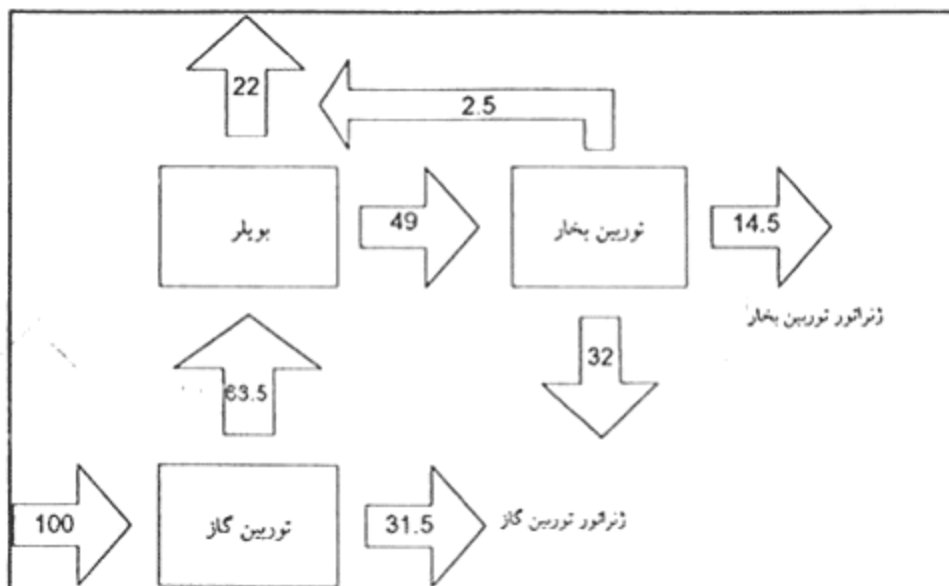
بر اساس نحوه استفاده از گاز خروجی ، نیروگاههای سیکل ترکیبی به سه دسته تقسیم بندی می شوند .

1- نیروگاههای سیکل ترکیبی بدون مشعل

در این نوع ، دود خروجی از انگوز توربین گاز که حجم بالا و دمای زیادی (دمای گاز خروجی در بار اسمی در حدود 500 درجه سانتی گراد است) دارد به بویلری هدایت می شود و به جای مشعل و سوخت در واحدهای بخاری ، جهت تولید حرارت به کار می رود. بخار تولید شده نیز توربین بخار را به چرخش در می آورد. این امر باعث بالا رفتن راندمان مجموعه نیروگاهی می گردد ، ضمن آنکه هزینه های سرمایه گذاری به ازای هر کیلو وات تا حد قابل ملاحظه ای کاهش پیدا می کند . این مجموعه برای تولید برق پایه استفاده می شود و کارآیی آن در صورتی که فقط برای تولید برق به کار رود تا 50 درصد هم بالا می رود .

در مناطق سردسیر با بکارگیری توربین بخار با فشار خروجی زیاد (pressure Back) به جای کندانسور و برج خنک کن در تامین آب گرم و بخار مصرفی گرمایش مناطق شهری و صنعتی نیز استفاده می شود که در این صورت راندمان تا 80 درصد هم افزایش می یابد.

در شکل زیر شمای حرارتی نیروگاههای سیکل ترکیبی بدون مشعل آورده شده است :



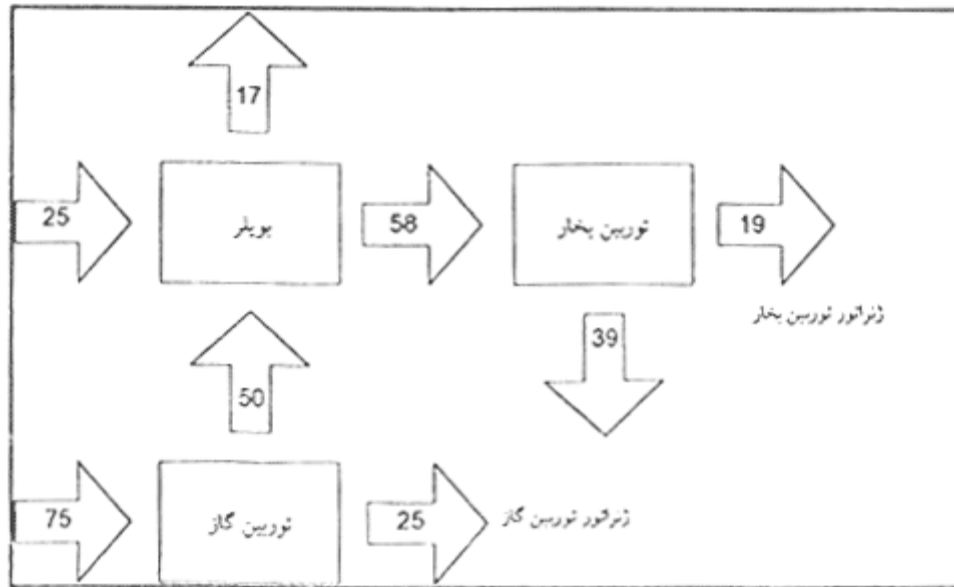
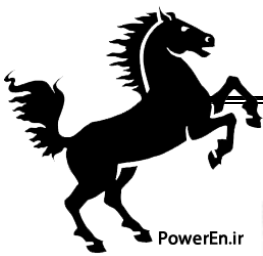
2- نیروگاههای سیکل ترکیبی با سوخت اضافی (مشعل)

در نیروگاههای سیکل ترکیبی بدون مشعل ، کارکرد بخش بخار وابستگی کامل به کارکرد توربین گاز دارد . در مواردی که نیاز به کارکرد دائمی بخش بخار وجود دارد با تعبیه مشعل در بویلر ، به گونه ای که در صورت توقف بخش گاز کارکرد قسمت بخار با اشکال مواجه نگردد ، عملکرد مستقل این دو بخش تامین می شود و بدین ترتیب ، این نوع نیروگاههای سیکل ترکیبی شکل گرفته اند .

این نوع سیکل ترکیبی عموماً به منظور بالا بردن قدرت و جلوگیری از نوسانات قدرت توربین بخار با تغییر بار توربین گاز به کار گرفته می شود . امکان کارکرد واحد بخار در نقطه کار مناسب تر با تعبیه مشعل ساده ، به کارگیری سوخت مناسب و استفاده از گاز داغ خروجی توربین گاز به عنوان هوای دم عملی است . قدرت واحد گاز و واحد بخار در حداکثر بار سیستم مساوی است . راندمان این نوع سیکل ترکیبی از واحد بخاری ساده بیشتر و از سیکل ترکیبی بدون مشعل کمتر می باشد . این نوع واحدها غالباً در مواردی که علاوه بر تامین انرژی الکتریکی ، تامین آب مصرفی و یا بخار مورد نیاز واحدهای صنعتی نیز مد نظر باشد ، به کار می رود .

شکل زیر شمای حرارتی عمومی نیروگاههای سیکل ترکیبی با مشعل را نمایش می دهد :

PowerEn.ir



3- نیروگاههای سیکل ترکیبی جهت تامین هوای دم کوره بویلر

این نوع سیکل ترکیبی مشابهت زیادی با توربین بخار معمولی دارد با این تفاوت که در نیروگاه بخاری ساده از سیستم پیش گرم کن هوا و فن تامین کننده هوای دم که خود مصرف کننده انرژی است استفاده می گردد. لیکن در این گونه سیکل ترکیبی، سیستم گرمایش و فن دمنده هوای احتراق کوره را توربین گاز بر عهده گرفته است. بدین ترتیب راندمان واحد بخاری ساده با جانشین کردن سیستم تامین هوای دم با توربین گاز، بطور نسبی بهبود می یابد.

معمولاً این نوع سیکل ترکیبی در نیروگاههای بخاری بزرگ که سوخت آن ذغال سنگ و یا مازوت می باشد، به کار می رود. قدرت تولیدی توربین گاز در این نوع سیکل حداکثر 20 درصد قدرت تولید کل نیروگاه است.

نیروگاه های سیکل ترکیبی از نظر نوع توربین ها و بازیاب ها و وجود مشعل
به دسته های زیر تقسیم می شوند:

PowerEn.ir



1. نیروگاه های سیکل ترکیبی با مشعل

2. نیروگاه های سیکل ترکیبی بدون مشعل

3. نیروگاه های سیکل ترکیبی با دیگ بازیافت گرما مجهز به بازیابی و یا گرمایش آب تغذیه

4. نیروگاه های سیکل ترکیبی با دیگ بازیافت گرما با فشار بخار چند گانه

در چرخه بخار در **نوع اول** از نیروگاه ها یک مشعل در داخل بویلر قرار می دهند و بیشتر در نیروگاه هایی مورد استفاده قرار می گیرد که قرار باشد بخش بخار آن به طور دائم کار کند، که در این صورت نباید وابستگی به توربین گازی داشته باشد. در **نوع دوم** از این نیروگاه ها از گاز های داغی که به عنوان محصولات احتراقی از توربین گازی خارج می شود مورد استفاده قرار می گیرد. این دود خروجی دارای حجم بالا و دمایی حدود 500 درجه سانتی گراد است و به داخل بویلر برای تبدیل آب به بخار ارسال می شود تا از انرژی بخار برای به حرکت در آوردن ژنراتور مورد استفاده قرار بگیرد. کاربرد گونه های مختلف سیکل های ترکیبی متفاوت است. از نیروگاه سیکل ترکیبی بدون مشعل بیشتر برای تامین بار پایه و میانی مورد استفاده قرار می گیرد. در **نوع سوم** از این نیروگاه ها در چرخه ترکیبی، گاز های خروجی یک چرخه ساده توربین گازی که شامل کمپرسور هوا (AC)، اتاق احتراق (CC) و توربین گازی (GT) است، وارد دیگ بازیافت گرما (HRB) می شود و در آنجا برای تولید بخار فوق گرم مورد استفاده قرار می گیرد. در چرخه های ترکیبی که قدرت پائینی دارند توان توربین بخار در حدود 50 درصد کمتر از توربین گازی است. در **نوع چهارم** این نیروگاه ها که بخار با فشار چندگانه تولید می شود، دمای گاز های خروجی دیگ بازیافت گرما کاهش می یابد و به این ترتیب بازده نیروگاه به طور کلی افزایش پیدا می کند. ساده ترین نوع این چرخه، چرخه با فشار دوگانه است، هرچند که چرخه با فشار سه گانه نیز مورد استفاده قرار گرفته است. به عنوان مثال در



یک سیکل با فشار دوگانه، دیگ بازیافت گرما دارای دو مدار برای تولید بخار است. مدار اول مدار فشار بالاست که بخار تولید شده در آن از مجرای ورودی توربین وارد آن می شود، و مدار دوم مدار فشار پایین است که بخار تولید شده در آن از طبقات با فشار پایین تر وارد توربین می شود. در یک چرخه ترکیبی پیشنهادی با فشار سه گانه، بخار دیگری با فشاری بین فشارهای ورودی به دو توربین بخار تولید می شود. این بخار به اتاق احتراق توربین گازی تزریق می شود تا میزان گسیل اکسید های نیتروژن تا حد استاندارد تعیین شده، کاهش یابد. در صورتی که از این روش استفاده شود، مقداری آب تلف خواهد شد که به طور پیوسته باید آن را جبران کرد

توضیح هزینه و راندمان

البته برای برق تولیدی مقدار هزینه ای که برای نیروگاه صرف می شود برای واحدهای مختلف فرق می کند. برای واحد گازی هزینه سرمایه گذاری شده برای هر کیلو وات 270 دلار است و برای واحد بخار 550 الی 600 دلار می باشد که این ارقام برگرفته از استانداردهای کشورهای اروپایی می باشد. باید توجه کرد که طبق نتایج تجربی به دست آمده بازده نیروگاه های گازی 27 تا 34٪ و نیروگاه های بخار در حدود 30 الی 35٪ است و این در حالیست که بهره وری نیروگاه های سیکل ترکیبی 50٪ می باشد و در واقع جزء بهترین حالت های موجود برای یک نیروگاه می باشد.

بخش های نیروگاه سیکل ترکیبی

واحد های گازی

هر ماژل نیروگاه سیکل ترکیبی از دو واحد گازی و قدرت تولیدی هر کدام مساوی در شرایط استاندارد با تجهیزات مشابه با یک واحد بخار تشکیل می شود.



واحد بخار

برای افزایش قدرت تولیدی نیروگاه و بازیابی انرژی حرارتی خروجی از توربین های گازی و با نصب دو دستگاه بویلر بازیاب با یک توربین بخار و سیکل خنک کاری با تجهیزات کامل بخش بخار را تشکیل می دهند .

تجهیزات جانبی

شامل بویلرهای کمکی ، تجهیزات سوخت رسانی ، تانکهای ذخیره سوخت و آب ، دیزلهای اضطراری و ...

پست نیروگاهی

برای انتقال قدرت تولیدی که براساس قدرت تولیدی نیروگاه و قدرت انتقال در منطقه و فاصله نیروگاه تا مصرف طراحی و تجهیز می شود .

اجزای اصلی واحد های گازی نیروگاه سیکل ترکیبی

کمپرسور

محفظه احتراق

توربین



ژنراتور

کمپرسور

هوای تمیز از اتاق فیلتراسیون وارد کمپرسور می شود . اتاق فیلتر شامل چندین عدد فیلتر در چند طبقه (بسته به طراحی) می باشد که هوای اتمسفر بعد از عبور از این فیلترها که دارای مش بندیهای مختلف در حدود پنج میکرون ، وارد کمپرسور می شود.

کمپرسور در چند مرحله هوا را متراکم می کند. تراکم هوا توسط پره های ثابت و متحرک که یک در میان چیده شده اند صورت می پذیرد.

پره های ثابت به پوسته کمپرسور متصل بوده و پره های متحرک نیز روی دیسک های قرار گرفته روی محور کمپرسور سوار می باشند و همراه محور می چرخند. در شرایط عملکردی استاندارد هوای خروجی از مرحله آخر کمپرسور دارای دمای حدود 350 درجه سلسیوس و فشار 12/5 بار می باشد

محفظه احتراق



محفظه احتراق شامل چند اتاقک احتراق می باشد. هوای فشرده شده پس از خروج از کمپرسور وارد این اتاقکهای

PowerEn.ir

احتراق می شود .

در این مجموعه از اتاقکها , از چند عدد (حداقل چهار عدد) شعله بین (flame detector) برای تشخیص وجود شعله

استفاده می شود.

در این مجموعه فقط در دو اتاقک دارای دستگاه جرقه زن می باشد . بعد از اینکه در این دو اتاقک شعله ایجاد شد توسط کانال های مخصوصی که بین محفظه های احتراق تعبیه شده است شعله به سایر محفظه ها نیز سرایت می کند. جهت انجام فرآیند احتراق معمولاً از دو نوع سوخت که بستگی به فصل کاری نیروگاه دارد استفاده می شود. سوخت مصرفی در فصول سرد سال معمولاً گازوییل یا مازوت بوده و در فصول گرم بیشتر از سوخت گاز استفاده می شود.

گاز شهری مورد استفاده با توجه به وجود ناخالصیهای موجود و برای به دست آوردن کیفیت مطلوب از فیلترهایی با مش بندی در حدود 5 میکرون عبور می دهند. با انجام این عمل کیفیت گاز تا حدود زیادی بهبود یافته و مورد استفاده در واحد قرار می گیرد . در فصل زمستان به علت بالا بودن مصرف سوخت گاز شهری , سوخت گاز نیروگاه قطع شده و در این مواقع از سوخت گازوییل به عنوان سوخت دوم استفاده می شود.

باید توجه داشت که به علت گران بودن گازوییل و همچنین مشکل حمل و نقل آن و آلودگی محیط زیست نسبت به سوخت گاز , استفاده از این سوخت مقرون به صرفه نبوده و به همین دلیل بیشتر در زمان پیک بار از این سوخت استفاده می شود .

PowerEn.ir



محفظه احتراق وظیفه سوزاندن سوخت تزریقی از طریق سوخت پاش (نازل سوخت) به همراه هوایی که از کمپرسور

PowerEn.ir

تأمین می شود را برعهده دارد .

مقدار سوختی که به هوا تزریق می شود بستگی به حداکثر افزایش دمای مورد نیاز دارد و چون این فاکتور توسط مقاومت مواد محدود می شود افزایش درجه حرارت معمولا در حدود 700 درجه سانتیگراد الی 1200 درجه سانتیگراد می باشد البته چون هوا در اثر کار انجام شده بر روی آن توسط کمپرسور تا حدی گرم شده است ، لذا افزایش دمای مورد احتیاج در محفظه احتراق معمولا بین 500°C تا 800°C است.

اجزای اتاقک احتراق

پوسته محفظه

Liner

Flow Sleeve

Gasket

Cover

Fuel Nozzle

PowerEn.ir



Transition Piece

Cross Fire Tube

فرآیند احتراق

هوا از کمپرسور با سرعت وارد محفظه احتراق می گردد و این سرعت جهت احتراق بسیار زیاد است لذا وظیفه احتراق ابتدا دیفیوز کردن هوا می باشد. سپس سوخت به صورت اسپری توسط نازل هایی، در جلو مشعل تزریق می شود. البته شکل مشعل و محفظه احتراق طوری است که سوخت فقط با قسمتی از هوایی ورودی به محفظه احتراق سوزانده پائین پسته وارد می شود. مخلوط را جهت احتراق آماده می کند و توربولانس شدیدی را که جهت مخلوط کردن سوخت و هوا جهت انتقال انرژی از گازهای سوخته به گازهای نسوخته لازم است، ایجاد می کند و در میان دیوار لاینر تعدادی حفره موجود می باشد که از میان آنها 15-10 درصد اضافی از جریان هوا به منطقه اولیه وارد می شود، لذا هوای وارد شده از پره های گردابی و هوای وارد شده از حفره های اولیه با یکدیگر بر خورد نموده و منطقه ای از گردش جریان هوا با سرعت کم را ایجاد می کنند و این برخورد اثر پایدار کنندگی شعله و تسریع عمل احتراق را دارا می باشد.

دمای احتراق گازها در منطقه احتراق حدود 1800°C تا 2000°C می باشد که جهت ورود به پره های راهنمای شیپوره توربین بسیار داغ است، بنابراین حدود 60 تا 75 درصد هوایی که جهت احتراق مصرف نشده، در لوله شعله (لاینر) وارد می شود که حدود نیمی از آن هوا جهت پایین آوردن دمای قبل از ورود به توربین مصرف می شود و نیم دیگر جهت خنک کاری دیواره های لوله شعله (لاینر) استفاده می گردد. جهت شروع احتراق از چند جرقه زن الکتریکی در محفظه احتراقهای فوقانی استفاده شده که پس از تشکیل شعله در این محفظه احتراق ها از طریق گراس فایرتیوبها به سایر محفظه های احتراق انتقال می یابد که سوخت در تمامی محفظه های احتراق از نازل های مربوط به صورت اسپری به داخل محفظه های احتراق اسپری می شود.

PowerEn.ir



توربین

وظیفه توربین ایجاد توان جهت چرخاندن کمپرسور و در مواردی چرخاندن محورها های کمکی می باشد توربین توان لازم را به وسیله استخراج انرژی از گازهای آزاد شده از محفظه احتراق که از میان پره های توربین منبسط می گردند بدست می آورد.

جهت ایجاد گشتاور لازم، توربین گازی چند مرحله ای می باشد که هر طبقه دارای یک ردیف پره های ثابت و یک ردیف پره های متحرک می باشد. تعداد طبقات به تعداد محورها های به توان مورد نیاز ، سرعت دورانی و قطر مجاز توربین بستگی دارد.

از آنجا که افت فشار کل در توربین متناسب با توان دوم سرعت پره می باشد، لذا سرعت میانگین پره در یک توربین اثر قابل توجهی در حداکثر بازده ممکن برای خروجی یک طبقه دارد و در دیسک توربین، تنش ها با توان دوم سرعت افزایش می یابند. پره های توربین ابتدا یک نیروی ضربه ای حاصل از ضربه ابتدایی گازهای داغ را متحمل شده و سپس یک نیروی عکس العمل ناشی از انبساط و شتاب گرفتن گاز در میان گذرگاه های بین پره ها را تحمل می کنند. توربین جزء اصلی ترکیب یک واحد گازی را تشکیل می دهد که توربین جهت تولید برق 3000 RPM (دور در دقیقه) می چرخد و محور توربین در زمان چرخش در اثر نیروی گریز از مرکز تمایل دارد محل نشیمن گاه خود را ترک کند که توسط یاتاقان های ژورنال این حرکت مهار و حرکت محوری توسط یاتاقان های تراست مهار می شود و اصطکاک بین یاتاقان و محور باعث بالا رفتن دمای یاتاقان می گردد که لازم است دما و اصطکاک کنترل شود و جهت این کار از روغن (مخصوص توربین) روغنکاری استفاده می شود هم در اثر تشکیل فیلم روغن حول محور در داخل یاتاقان باعث کاهش اصطکاک بین یاتاقان و محور می شود و هم حرارت آن توسط روغن گرفته می شود حرارت اینها را هم روغن به خود می گیرد و خود روغن نیز گرم می شود و لازم است دمای روغن نیز در محدوده ای کنترل شود جهت اینکار با استفاده از آب و کولر روغن استفاده می شود که این سیستم ها از اجزاء مختلف تشکیل شده اند



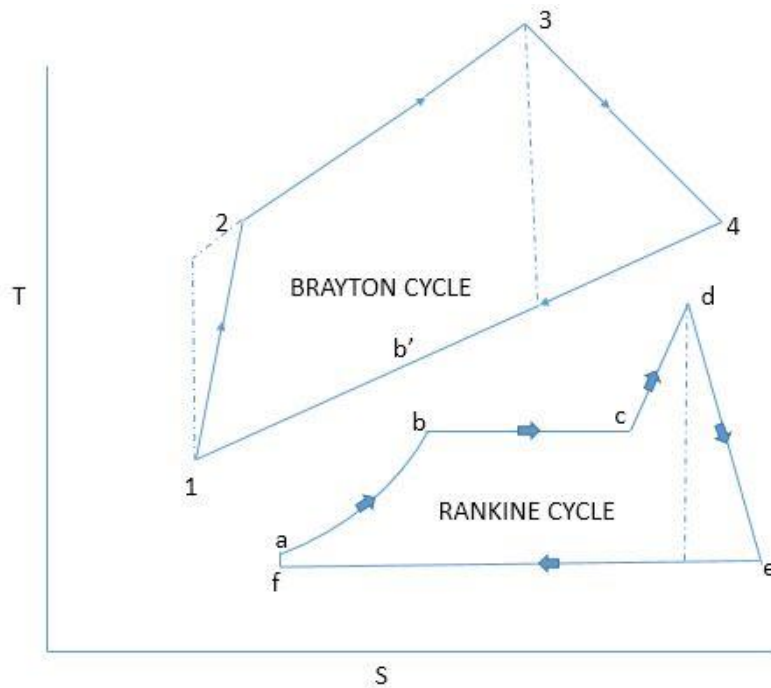
سیکل ترکیبی (سیکل برایتون و رانکین)

سیکل ترکیبی خصوصیت موتور یا نیروگاه تولید کننده برق است که از بیش از یک سیکل ترمودینامیک در آن استفاده شده است. موتورهای حرارتی فقط می‌توانند بخشی از انرژی را که سوخت آنها تولید می‌کنند مصرف کنند (معمولاً کمتر از 50 درصد) حرارت باقیمانده حاصل از احتراق سوخت عموماً هدر می‌رود. ترکیب تعداد 2 سیکل یا بیشتر مانند سیکل برایتون (Brayton) و سیکل رانکین (Rankine) باعث راندمان بیشتر خواهد شد.

در مبحث تولید برق (electric power generation)، سیکل ترکیبی (combined cycle) عبارت است از ترکیبی از موتورهای حرارتی (heat engines) که با یک منبع حرارتی کار می‌کنند و آن را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند و این انرژی مکانیکی معمولاً یک ژنراتور الکتریکی (electrical generator) را به حرکت در می‌آورد.

خصوصیت سیکل ترکیبی در این است که دود خروجی یک موتور حرارتی به عنوان منبع حرارتی یک موتور حرارتی دیگر به کار می‌رود و بنابراین انرژی مفید بیشتری از حرارت استخراج می‌شود و راندمان کلی سیستم افزایش می‌یابد. دلیل عملی بودن این سیستم این است که موتورهای حرارتی تنها قادر به استفاده از بخشی از انرژی هستند که سوخت تولید می‌کند (معمولاً کم‌تر از 50 درصد). در یک موتور حرارتی معمولی (غیر سیکل ترکیبی) حرارت باقی‌مانده احتراق مانند دود گرم اگزوز، به طور کلی تلف خواهد شد.

ترکیب دو یا چند سیکل ترمودینامیکی باعث در بهبود راندمان کلی و کاهش هزینه‌های سوخت می‌شود. در نیروگاه‌های ثابت از ترکیبی از توربین‌های گاز و بخار استفاده می‌شود. توربین گاز (gas turbine) با سیکل برایتون (Brayton cycle) کار می‌کند و گاز طبیعی و یا گاز به دست آمده از زغال‌سنگ می‌سوزاند و گازهای داغ خروجی از آن در یک نیروگاه بخار (steam power plant) که با سیکل رانکین (Rankine cycle) کار می‌کند استفاده می‌گردد. این آرایش یک نیروگاه توربین گاز سیکل ترکیبی (combined cycle gas turbine) یا CCGT نامیده می‌شود، و می‌تواند به راندمان حرارتی حدود 60 درصد برسد. در مقایسه با آن یک نیروگاه بخار سیکل ساده (single cycle steam power plant) در محدود راندمان حدود 35 تا 42 درصد قرار دارد. بسیاری از نیروگاه‌های گازی جدید از این نوع هستند.



سیکل‌های بالایی و پایینی

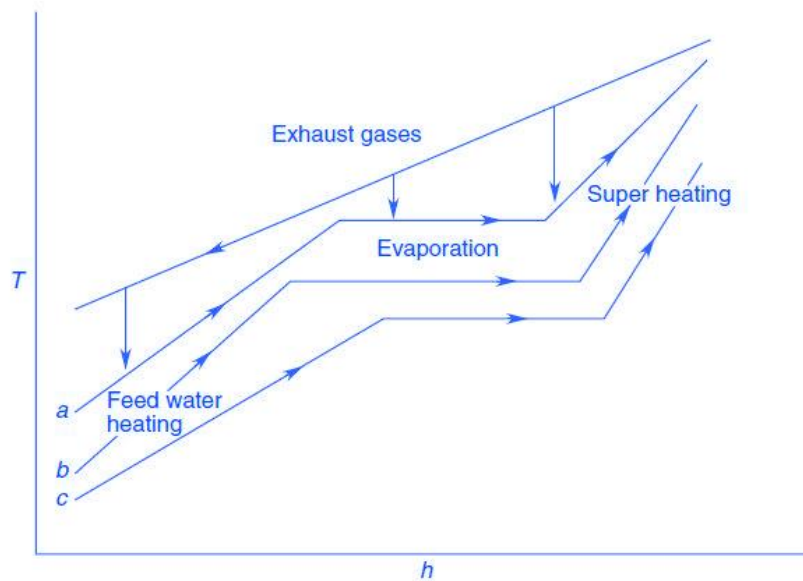
دیگر سیکل‌های ترکیبی که در طول تاریخ موفق بوده‌اند از توربین‌های بخار جیوه (mercury vapor turbines)، ژنراتورهای هیدرودینامیکی مغناطیسی (magneto hydrodynamic generators) و یا پیل‌های سوختی کربنات مذاب (molten carbonate fuel cells) در کنار نیروگاه‌های بخار به عنوان سیکل پایین‌دست (bottoming cycle) دما پایین استفاده کرده‌اند. سیکل‌های پایین‌دستی که از حرارت خروجی از کندانسور (condenser) بخار استفاده می‌کنند از لحاظ تئوری امکان پذیر هستند اما به دلیل بسیار بزرگ و گران شدن تجهیزاتی که از اختلاف دمای کوچک بین بخار کندانس شونده و هوای خارج و یا آب استخراج انرژی می‌کنند، غیر اقتصادی می‌شوند. البته در آب و هوای سرد مانند فنلاند استفاده از حرارت کندانسور نیروگاه برای سیستم‌های گرمایش جامعه رایج است. چنین سیستم‌های تولید همزمان (cogeneration systems) می‌توانند منجر به راندمان تئوری بالای 95 درصد شود.

مولدهای بخار

PowerEn.ir



نیروگاه بخار حرارت ورودی خود را از گازهای خروجی از نیروگاه توربین گاز (gas turbine) با دمای بالا به دست می‌آورد. بخار تولید شده را می‌توان برای راندن توربین بخار (steam turbine) استفاده کرد. بویلر بازیافت حرارت (waste heat recovery boiler) یا WHRB یا مولدهای بخار بازیافت حرارتی (heat recovery steam generators) یا HRSG دارای سه بخش اکونومایزر (economiser)، اواپراتور (evaporator) و سوپرهیتر (superheater) می‌باشند.



انتقال حرارت از گازهای داغ به آب و بخار



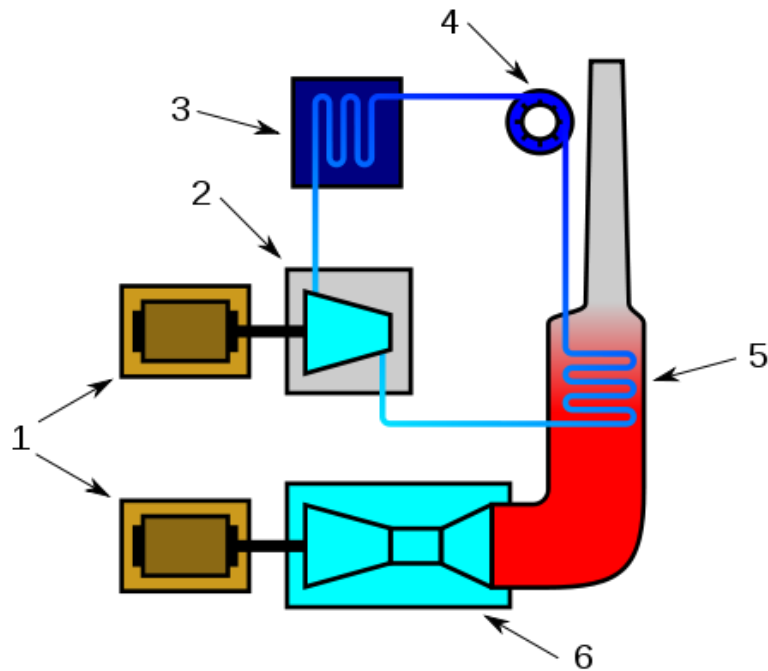
اصول طراحی سیکل ترکیبی

راندمان یک موتور حرارتی که بخشی از انرژی حرارتی ورودی است که می‌تواند به کار مفید تبدیل شود، به وسیله اختلاف دمای بین حرارت ورودی به موتور و حرارت اگزوز موتور محدود می‌شود.

در یک نیروگاه حرارتی (thermal power station) آب سیال کاری است. بخار آب فشار بالا نیاز به قطعات قوی و بزرگ دارد. دماهای بالا نیاز به آلیاژهای گران قیمت ساخته شده از نیکل یا کبالت به جای فولاد ارزان قیمت دارند. این آلیاژها دماهای عملی بخار آب را تا دماهای 655 درجه سانتی‌گراد محدود می‌کنند، در حالی که دمای پایین‌تر نیروگاه بخار به وسیله نقطه جوش آب ثابت شده است. با این محدودیت‌ها، یک نیروگاه بخار دارای بیشینه راندمان 35 تا 42 درصد می‌باشد.

یک سیکل توربین گاز مدار باز دارای کمپرسور (compressor)، محفظه احتراق (combustor) و توربین (turbine) می‌باشد. برای توربین‌های گاز، مقدار فلزی که باید در برابر دما و فشار بالا مقاومت کند، کم است و از مقادیر کم‌تری از مواد گران قیمت استفاده می‌شود. در این نوع سیکل، دمای ورودی به توربین (حرارت احتراق) نسبتاً بالا (900 تا 1400 درجه سانتی‌گراد) است. دمای گاز خروجی دودکش نیز بالا (450 تا 650 درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. به این ترتیب این گاز دارای دمای به اندازه کافی بالا برای تامین حرارت برای یک سیکل دوم است که از بخار به عنوان سیال کاری استفاده می‌کند (سیکل رانکین).

PowerEn.ir



دیاگرام یک سیکل ترکیبی (1) ژنراتور الکتریکی (2) توربین بخار (3) کندانسور (4) پمپ (5) بویلر، مبدل حرارتی (6) توربین گاز

یک نیروگاه سیکل ترکیبی، با عبور گاز آگزوز توربین گاز از یک مولد بخار بازیافت حرارتی (HRSG) از حرارت آن برای تولید بخار زنده با دمای بین 420 و 580 درجه سانتی گراد استفاده می کند. کندانسور سیکل رانکین معمولاً توسط آب دریاچه، رودخانه، دریا و یا برج خنک کن (cooling tower) سرد می شود. این دما می تواند تا 15 درجه سانتی گراد سرد شود.

اندازه معمول نیروگاه های سیکل ترکیبی

برای تولید برق در مقیاس بزرگ، یک مجموعه معمولی می تواند شامل یک توربین گاز 270 مگاواتی به همراه توربین بخار 130 مگاواتی باشد که در کل 400 مگاوات توان ایجاد می کند. یک نیروگاه معمولی می تواند از 1 تا 6 مجموعه این چینی تشکیل شده باشد.

PowerEn.ir



سایز نیروگاه در قیمت آن بسیار مهم است. اندازه‌های بزرگ‌تر پلانت از اقتصاد مقیاس (economies of scale)

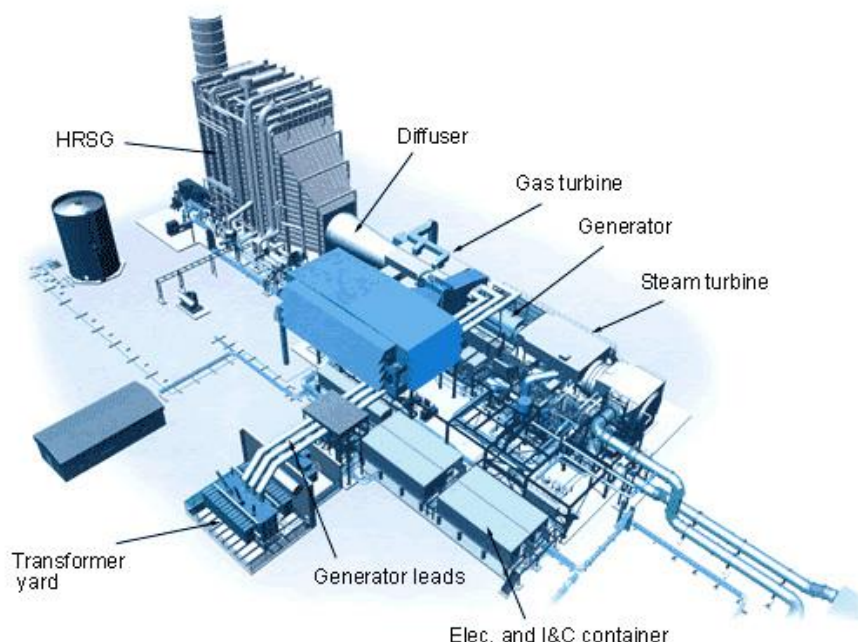
بهره‌مند می‌شوند (هزینه‌های اولیه پایین‌تر در هر کیلووات ساعت) و دارای بهبود راندمان خواهند بود.

یک نیروگاه سیکل ترکیبی تک محوره (single shaft combined cycle plant) از یک توربین گاز و یک توربین بخار تشکیل شده است که یک ژنراتور مشترک را می‌چرخانند. در یک نیروگاه سیکل ترکیبی چند محوره (multi-shaft combined cycle plant)، هر توربین گاز و هر توربین بخار ژنراتور خود را دارد. طراحی تک محوره هزینه اولیه کم‌تر و راندمان اندکی بهتری را نسبت به حالتی که توربین گاز و بخار ژنراتور خود را داشته باشند فراهم می‌کند. طراحی چند محوره امکان کارکرد دو یا چند توربین گاز را با یک توربین بخار فراهم می‌کند که می‌تواند مقرون به صرفه‌تر از یونیت‌های تک محوره باشد.

عیب اصلی نیروگاه‌های سیکل ترکیبی تک محوره این است که تعداد توربین‌های بخار، کندانسورها (condensers) و سیستم‌های کندانس و شاید تعداد برج‌های خنک‌کننده (cooling towers) و سیستم‌های آب در گردش برای مطابقت با تعداد توربین گاز افزایش می‌یابد. برای نیروگاه سیکل ترکیبی چند محوره برای تا سه توربین گاز، تنها یک توربین بخار، کندانسور و بقیه چاه حرارتی وجود دارد و تنها اندازه آن‌ها افزایش می‌یابد. داشتن تنها یک توربین بخار و چاه حرارتی بزرگ باعث کاهش هزینه به دلیل اقتصاد مقیاس (economies of scale) می‌شود. همچنین توربین بخار بزرگ‌تر امکان استفاده از فشارهای بالاتر را فراهم می‌کند که منجر به بالا رفتن راندمان سیکل بخار می‌شود. بنابراین اندازه کلی نیروگاه و تعداد توربین‌های گاز مورد نیاز تاثیر زیادی در مورد این که آیا یک نیروگاه سیکل ترکیبی تک محوره و یا نیروگاه سیکل ترکیبی چند محوره مقرون به صرفه‌تر است دارد.



PowerEn.ir



جانمایی یک نیروگاه سیکل ترکیبی

آرایش نیروگاه‌های CCGT

سیستم سیکل ترکیبی شامل آرایش‌های تک محوره و چند محوره می‌باشد. سیستم تک محوره متشکل از یک توربین گاز، یک توربین بخار، یک ژنراتور و یک مولد بخار بازیافت حرارت (HRSG) می‌باشد که توربین گاز و توربین بخار به صورت پشت سر هم روی یک محور واحد به یک ژنراتور کوپل شده‌اند. مزایای کلیدی آرایش تک محوره شامل سادگی بهره‌برداری، اندازه کوچک‌تر و هزینه راه‌اندازی کم‌تر می‌باشد. با این حال آرایش تک محوره دارای انعطاف‌پذیری و قابلیت اطمینان کم‌تر از بلوک‌های چند محوره می‌باشد. برای افزایش انعطاف‌پذیری عملیاتی می‌توان از یک توربین بخار با قابلیت قطع به وسیله یک کلاچ خود تغییر هم سرعت (synchro-self-shifting) یا کلاچ SSS برای راه‌اندازی توربین گاز به صورت سیکل ساده استفاده نمود.

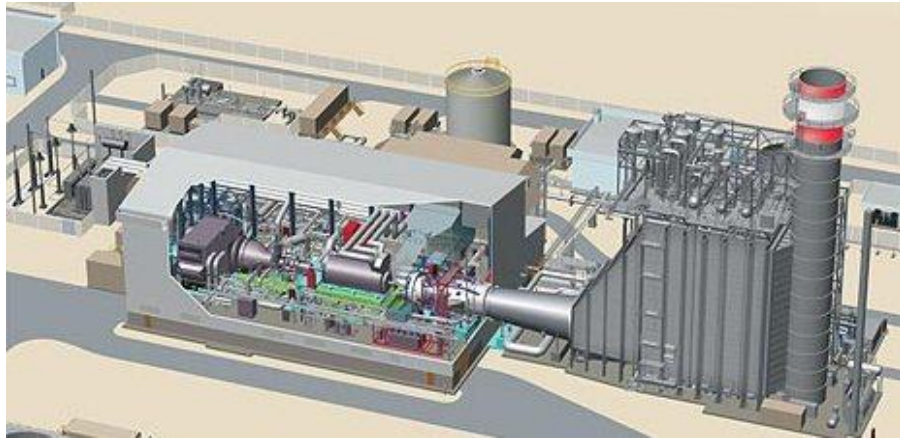
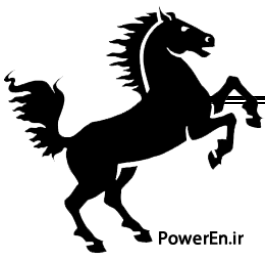


یک نیروگاه سیکل ترکیبی چند محوره

سیستم های چند محوره دارای یک یا چند توربین گاز، ژنراتور و HRSG هستند که بخار را از طریق یک هدر مشترک به یک واحد توربین ژنراتور بخار جداگانه فراهم می کنند. بر حسب سرمایه گذاری کلی، یک سیستم چند محوره حدود 5 درصد هزینه بیش تر دارد.

سیکل های بخار تک و چند فشاره غیر ری هیت دار مجهز به توربین های گازی با دمای گاز خروجی حدود 540 درجه سانتی گراد و یا کم تر می باشند. انتخاب یک سیکل بخار تک و یا چند فشاره برای یک کاربرد خاص با در نظر گرفتن یک ارزیابی اقتصادی بر اساس هزینه تجهیزات نیروگاه، هزینه سوخت و کیفیت، سیکل کاری نیروگاه و هزینه های بهره برداری و نگهداری انجام می شود.

سیکل های بخار چند فشاره ری هیت دار از توربین های گاز با دمای گاز خروجی حدود 600 درجه سانتی گراد استفاده می کنند.



یک نیروگاه سیکل ترکیبی تک محوره

راندمان نیروگاه‌های CCGT

برای جلوگیری از سردرگمی، راندمان موتورهای حرارتی و نیروگاه‌ها را باید بر حسب HHV یا ارزش حرارتی بالا (Higher Heating Value) و یا LHV یا ارزش حرارتی پایین (Lower Heating Value) بیان کرد. همچنین باید توان ناخالص خروجی در ترمینال ژنراتور و یا توان خالص در مرز نیروگاه مورد استفاده قرار گیرند.





یک نیروگاه سیکل ترکیبی تک محوره

به طور کلی راندمان سیکل‌های ترکیبی بر حسب ارزش گرمایی پایین و تولید ناخالص بیش از 50 درصد می‌باشد. بیش‌تر یونیت‌های سیکل ترکیبی، به خصوص یونیت‌های بزرگ‌تر دارای راندمان پیک در شرایط ثابت از 55 تا 59 درصد می‌باشند. تحقیقات با هدف رسیدن به 1370 درجه سانتی‌گراد دمای ورودی به توربین منجر به راندمان‌های بیش‌تری برای سیکل ترکیبی تا نزدیک به 60 درصد و بیش‌تر شده است.

نیروگاه‌های سیکل ترکیبی برای تولید همزمان برق و حرارت :

COMBINED HEAT AND POWER

نیروگاه سیکل ترکیبی یکی از انواع CHP ها است. CHP یعنی تولید همزمان برق و حرارت.

برتری ترمو دینامیکی سیکل ترکیبی تنها از بابت استفاده در نیروگاه‌های تولید کننده برق نیست بلکه در سیستم‌های تولید کننده حرارت یا بخار نیز مورد نظر می‌باشد.

تولید هم زمان برق و حرارت یا CHP ها یعنی تولید برق و حرارت از یک منبع انرژی است. عموماً در سیستم‌های تولید هم زمان توان مکانیکی برای راندن یک ژنراتور برق مورد استفاده قرار گرفته و حرارت تولید شده مفید به شکل بخار اب داغ و یا هوای داغ در فرایندهای مختلف خشک کردن گرمایش و غیره به مصرف می‌رسد. مثل آنچه که در نیروگاه سیکل ترکیبی روی می‌دهد.

مهمترین قابلیت تولید همزمان برق و حرارت امکان بیشترین بهره برداری از انرژی مفید سوخت در مقایسه با سیستم‌های رایج مانند نیروگاه‌هایی که تنها از سوخت برای تولید برق استفاده می‌کنند.

مزایای تولید همزمان برق و حرارت

- 1- افزایش بازدهی انرژی
- 2- تامین انرژی اولیه برای مصرف کننده
- 3- تامین انرژی الکتریکی با کیفیت بسیار بالاتر



4- امکان فروش برق تولید شده اضافی به شبکه

5- تبدیل نیروگاههای گازی به سیکل ترکیبی جهت ارتقا بهره وری

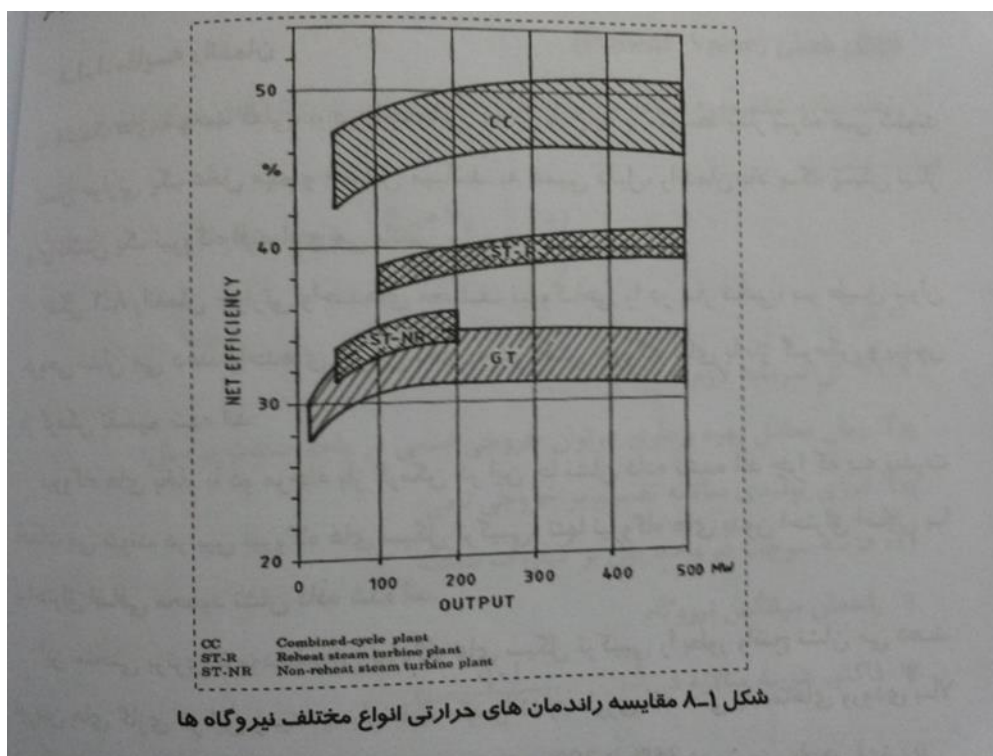
انواع نیروگاه های تولید همزمان

نیروگاههای تولید همزمان می توانند در سه دسته زیر طبقه بندی شوند:

- 1- واحدهای نیروگاهی و صنعتی جهت تولید و عرضه بخار به فرآیندهای صنعتی
- 2- نیروگاههای حرارتی جهت عرضه انرژی حرارتی برای سیستم های حرارت و گرمایش مناطق و نواحی
- 3- نیروگاههای کوپل شده با تاسیسات نمک زدایی آب دریا

مقایسه نیروگاه سیکل ترکیبی با سایر نیروگاههای حرارتی

1. مقایسه راندمان:





منحنی مقایسه راندمان حرارتی انواع مختلف نیروگاه

این منحنی برتری ترمودینامیکی نیروگاههای سیکل ترکیبی را نسبت به دیگر نیروگاههای حرارتی نشان می دهد.

2. مقایسه هزینه ها:

بعد از راندمان هزینه مهمترین مسیله بحرانی برای انتخاب نیروگاه است. برای نیروگاه گازی هزینه های سرمایه گذاری پایین است که همین دلیل بر مقبولیت گسترده این نیروگاه است. نیروگاه بخار بطور چشمگیری گران قیمت تر از سیکل ترکیبی هستند یک نیروگاه زغال سوز برای مثال دو یا سه برابر بیش از یک نیروگاه سیکل ترکیبی با همان توان خروجی هزینه بر می دارد. نیروگاههای سیکل ترکیبی پیشرفته از این رو ساده تر و ارزان قیمت تر از نیروگاههای بخار هستند.

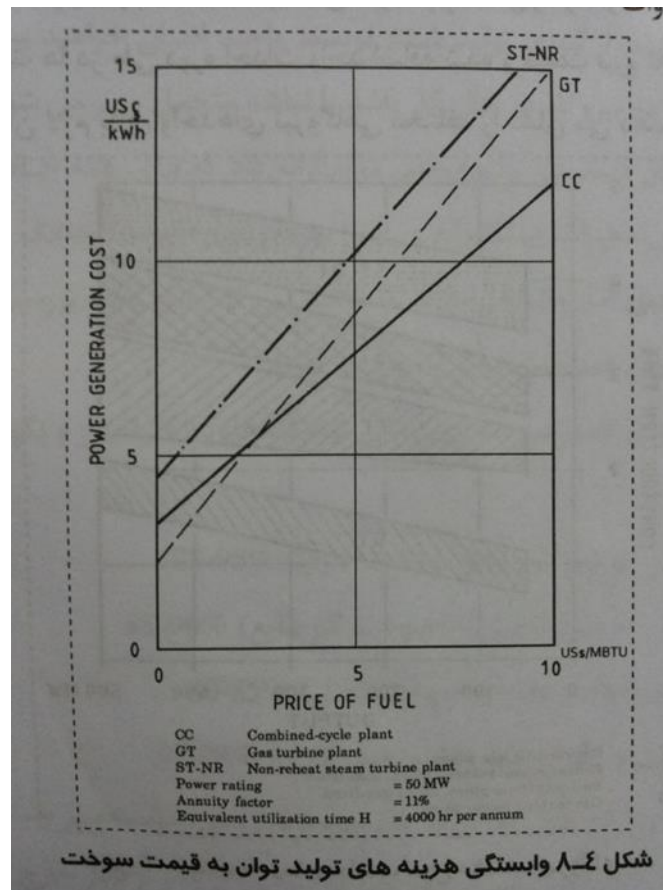
3. مقایسه زمان ساخت:

زمان لازم برای احداث نیروگاه بر اقتصاد واحد تاثیر گذار است. هرچه این زمان طولانی تر باشد سرمایه ی بیشتری لازم است تا صرف آن شود چرا که بهره و سود احداث افزایش قیمت مواد و بیمه و مالیات ها در طی دوره احداث واحد اضافه شده و قیمت نیروگاه بالاتر می رود.

نیروگاه توربین گازی از انجایی که طراحی استاندارد شده ای دارند می توانند در کوتاه ترین دوره زمانی احداث شوند که عامل مفیدی بر مقبولیت گسترده آنها شده است. برای تکمیل نیروگاه سیکل ترکیبی زمان بیشتری نیاز است اما یک راه وجود دارد و آن اینکه واحد های گازی پیش از بخش بخار مورد بهره برداری قرار بگیرند و لذا 60 الی 70 درصد توان خروجی برابر مقدار توانی که نیروگاه گازی مشابه تولید خواهد نمود در اختیار قرار خواهد گرفت. این یک مزیت بزرگ برای نیروگاه های سیکل ترکیبی نسبت به نیروگاههای توربین بخار مرسوم است که می تواند توان الکتریکی را تنها بعد از 2 تا 4 سال تولید کند.



PowerEn.ir



4. مقایسه اقتصادی نیروگاهها:

منحنی وابستگی هزینه های تولید توان به قیمت سوخت

برای دوره های بهره برداری کوتاه مدت (به عنوان پیک بار) نیروگاه های گازی اقتصادی تر هستند با قیمت های سوخت امروزی این محدودیت حدود 1000 تا 2000 ساعت برسال برای واحدهای نیروگاهی بزرگ می باشد. حتی چنانچه از مازوت استفاده شود که قیمت بشکه ای برابر 20 دلار (امریکا) دارد این محدودیت بین 1000 تا 1500 ساعت بر سال می باشد.

نیروگاه های توربین بخار مرسوم برای استفاده در بار پایه یا نهایتاً بار متوسط با مصرف سوخت ذغال مناسب می باشند هرچند اختلاف هزینه بین ذغال و سوخت توربین گازی باید به حد کافی بزرگ باشد.

PowerEn.ir



نیروگاه های سیکل ترکیبی با حداکثر احتراق اضافی می توانند در جاهایی که مقادیر کمی از گاز یا سوخت مایع در دسترس باشد بکار برده شوند و مابقی سوخت مورد نیاز می تواند توسط ذغال و در قسمت احتراق اضافی پوشش داده شود.

5. سوخت ها:

انتخاب سوخت و تطابق آن با نوع نیروگاه نه تنها متاثر از ملاحظات اقتصادی کوتاه مدت می باشد به مسایل سیاسی نیز مرتبط است.

عوامل زیر می تواند در انتخاب نوع نیروگاه در حال احداث اهمیت داده شوند:

- 1- قابل دسترس بودن بلند مدت سوخت در یک قیمت منطقی
- 2- ریسک کمبود در عرضه سوخت ناشی از مناقشات سیاسی مانند جنگ تحریم و...
- 3- مخالفت های سیاسی با واحد های نیروگاهی هسته ای
- 4- مسایل حفاظت زیست محیطی

نیروگاه سیکل ترکیبی باغین

این نیروگاه از نوع نیروگاه های سیکل باز بوده و تجهیزات اصلی آن شامل 8 واحد توربین گازی تک محور با ظرفیت اسمی 160 مگاوات ساعت با دو سوخت گاز طبیعی و گازوئیل و فرکانس بهره برداری می باشد. واحد بخاری مشتمل بر 4 واحد با همان ظرفیت توربین های گازی بوده که در مجموع با بهره گیری کامل از تاسیسات بخش بخار ظرفیت نامی این نیروگاه به رقمی بالغ بر 1900 مگاوات می باشد. میزان مصرف سوخت گاز و گازوئیل نیروگاه به ازای هر مگاوات تولید انرژی الکتریکی در حالت سیکل باز به ترتیب معادل 335 متر مکعب و 335 لیتر با ده درصد تقریب می باشد.

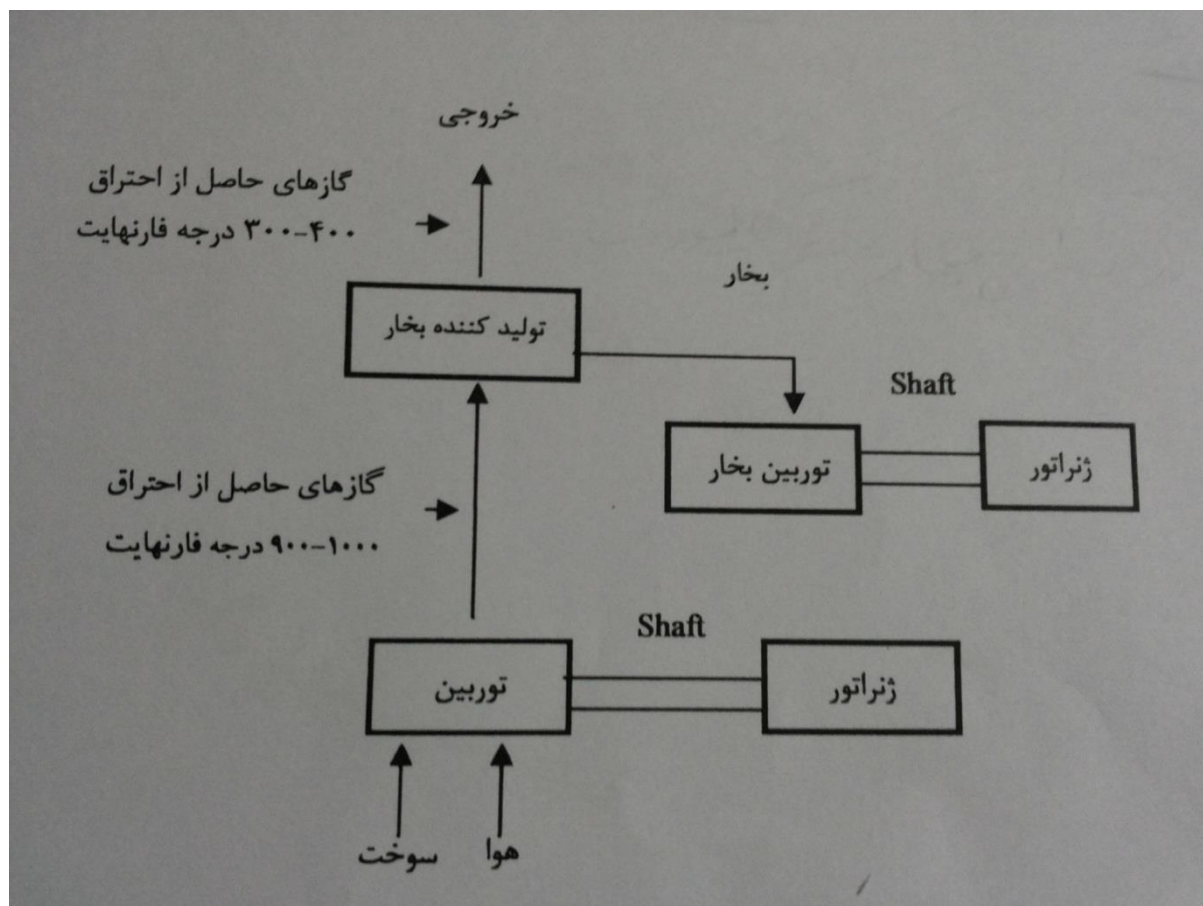
هزینه احداث نیروگاه حدود 300 میلیون یورو بوده و هزینه راه اندازی بخش بخار دو برابر هزینه بخش گاز است.

PowerEn.ir



سطح ولتاژ پست در بخش گاز 230 کیلو ولت و در بخش بخار 400 کیلو ولت است.

شماتیک ساده نیروگاه:





فصل پنجم

نیروگاه گازی

PowerEn.ir



نیروگاه گازی

مقدمه

تنها وسیله تولیدکننده انرژی الکتریکی بصورت عملی و کاربردی ژنراتورها (مبدل انرژی مکانیکی به الکتریکی) هستند.

توربین ها به دو نوع تقسیم می شوند: آبی و بخاری

منابع انرژی به دو دسته تقسیم می شوند: حرارتی و غیر حرارتی

۱-۲. منابع انرژی حرارتی عبارتند از:

۱- زغال سنگ: از منابع عمده انرژی است ولی تنها عیب آن مساله آلودگی محیط زیست از لحظه استخراج تا لحظه احتراق است.

۲- نفت و گاز طبیعی: هزینه زیاد و کمیابی آنها و استفاده در صنایع پتروشیمی.

۳- تجزیه هسته ای اورانیوم (Nuclear Fission): این منابع آلودگی محیط زیست را در برداشته و رشد آن بصورت زیر بوده است: ۱۹۳۹- در نتیجه تحقیقات به عمل آمده مشخص شد، هرگاه ذرات هسته ای بخصوصی تجزیه شوند جرم کل عناصر باقیمانده یا حاصله از جرم اصلی کمتر بوده و ما به التفاوت به انرژی تبدیل می شود. ۱۹۴۹- در شهر شیکاگو گروهی به سرپرستی فرمی (Fermi)، حالت کنترل شده ای واکنش بالا را با ساخت اولین راکتور هسته ای با استفاده از اورانیوم را برقرار نمودند. ۱۹۵۰- ورود راکتور هسته ای بر اساس تجزیه هسته ای به صنعت برق ^{238}U و قابل تجزیه بوده و بقیه اورانیوم از نوع ^{235}U اورانیوم از نوع ایزوتوپ سبک ^{235}U می باشد. راکتورهای ^{235}U به عنوان سوخت استفاده می کنند، نوع دیگری از راکتورهای هسته ای که از فعل و



انفعالات هسته ای در عمل از P می باشند که خود دارای هسته ای قابل تجزیه بوده و U 239 به

پولوتونیوم 238 انفعالات هسته ای ناشی از تبدیل به عنوان سوخت استفاده می شود.

۴- ترکیب هسته ای: در ترکیب ذرات سبک با هم و تبدیل آنها به ذرات سنگین ترما به تفاوت جرم حاصل به صورت انرژی ظاهر می شود. ممکن است این فعل وانفعالات قابل کنترل نباشد و باعث تخریب شوند. عناصر متداولی مانند ایزوتوپ هیدروژن به عنوان سوخت در طبیعت وجود دارند. تنها اشکال این نوع انرژی نیازمندی آن به درجه حرارت های زید و تمرکز ذرات برای مدت زمان کافی است.

۵- انرژی خورشیدی: تمرکز دادن مستقیم انرژی خورشیدی بر روی بویلرها در این نوع انرژی مساله اصلی پراکنگی انرژی خورشیدی است و نیز به محل های وسیع برای نصب کلکتورها (جمع کننده ها) می باشد. این انرژی تحت تاثیر شرایط جوی و آب و هوایی بوده و عدم نیاز به سوخت وعدم آلودگی محیط زیست از دیگر ویژگی های آن است.

۶- انرژی حرارت داخل زمین (Geothermal) یا انرژی تحت العرضی: در این نوع انرژی ترکیب حرارت داخل زمین با آب های سطحی پمپاژ شده به داخل زمین تولید بخار طبیعی نموده و سپس بخار حاصله به چرخه نیروگاه حرارتی ارسال می گردد. از نظر تولید انرژی الکتریسیته زیاد نمی توان از این منبع انرژی استفاده کرد.

۷- انرژی بیوماس یا انرژی گیاهی (Biomass) در این نوع انرژی مواد آلی طی فرایندی به گاز سنتتیک تبدیل شده و سپس به سمت نیروگاه ارسال می گردند. ناچیز بودن انرژی الکتریکی حاصل از این نوع انرژی از معایب آن می باشد.

۸- انرژی زباله و فاضلاب: در این حالت مواد موجود در زباله به مواد قابل احتراق تبدیل شده و به عنوان سوخت نیروگاه استفاده می گردند. جدا سازی مواد قابل احتراق و غیر قابل احتراق از فرآیندهای مهم این نوع انرژی بوده و پس از آن مخلوط نمودن مواد قابل احتراق زباله با زغال سنگ انجام می شود. در حالت استفاده از انرژی حاصل از فاضلاب، گازهای حاصله جمع آوری شده



و سپس جهت تولید حرارت به سمت نیروگاه ارسال می گردند. از تاسیسات فوق به عنوان بخش کمکی و مکمل استفاده شده و از سیستم حاصله به میزان ناچیزی استفاده می شود. بيوگاز (گاز زیستی)

نیروگاه های حرارتی (Thermal Power Plants)

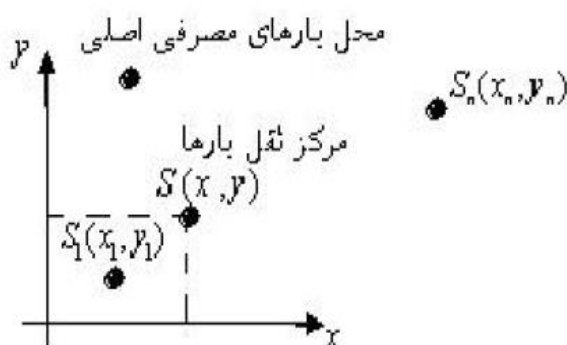
طراحی نیروگاه های حرارتی نیز به تجارب زیاد در بهره برداری و نگهداری دارد تا نیروگاه با امنیت مناسب در حال کار باشد.

طراحی رضایت بخش این نیروگاه ها شامل مراحل زیر است:

- 1 - انتخاب محل سایت
- 2 - ظرفیت نیروگاه
- 3 - انتخاب دیگ بخار بویلر و تجهیزات کمکی آن
- 4 - انتخاب توربین
- 5 - انتخاب واحد های تقطیر کننده یا کندانسور
- 6 - طراحی سیستم های خنک کننده Cooling Tower
- 7 - انتخاب ژنراتورهای الکتریکی
- 8 - طراحی بخش های کنترل و اندازه گیری

محل نیروگاه حرارتی

انتخاب محل نیروگاه در مسائل اقتصادی نیروگاه اهمیت دارد. در حالت ایده آل و کاملاً اقتصادی محل نیروگاه بایستی به محل بار نزدیک بوده و در طول خطوط نیرو و کابل ها با کمترین مسافت را دارا باشند. محاسبه مرکز ثقل بارهای مصرف کننده بصورت زیر محاسبه می شود.





$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}$$

قرار گرفتن نیروگاه در مرکز ثقل بارها بهترین حالت است ولی ممکن است در حالت عملی محدودیت هایی وجود داشته باشد. یعنی محل در حالت فیزیکی در دسترس نبوده و یا به مراکز شهری بسیار نزدیک می باشد.

در حالت عملی محدودیتها و مسائل زیر نیز در تعیین محل نیروگاه بایستی در نظر گرفته شوند:

۱- نزدیک بودن به محل مصارف بزرگ تولیدی و اقتصادی و دور بودن از مراکز زندگی و شهری

۲- در دسترس بودن منابع آبی و نزدیک بودن آنها و عدم آلوده آردن آنها

۳- نزدیک بودن و در دسترس بودن سوخت ارزان

۴- دور بودن از معادن و مرغوب بودن و سفت بودن خاک روی آن و بدون صخره و مرداب

۵- قابل توسعه بودن آتی نیروگاه (وسعت آافی نیروگاه

۶- وسعت نیروگاه برای گروههای آاری و عملیاتی و نگهداری و تعمیرات آن

۷- محل کافی برای جمع آوری باقیمانده سوخت (خاکستر) و بقیه مواد زائد

۸- عدم نزدیکی به فرودگاه و امتداد کانال های هوایی

۹- امنیت بالای آن در هنگام بروز سوانح و جنگ

ظرفیت نیروگاه به وسیله عوامل زیر تعیین می شود:

۱- تقاضای بار Demand مصرف صنعتی و غیر صنعتی

۲- تقاضای بار مصرف آینده طی ۱۵-۱۰ سال آینده

۳- امکان اتصال به سایر نیروگاههای موجود

۴- دسترسی به منابع آب و سوخت



تاریخچه توربین گاز

از حدود 70 سال قبل توربین های گازی جهت تولید برق مورد استفاده قرار می گرفته اند، اما در بیست سال اخیر تولید این نوع توربین ها بیست برابر افزایش یافته است. اولین طرح توربین گازی مشابه توربین های گازی امروزی در سال 1791 به وسیله «جان پایر» پایه گذاری شد که پس از مطالعات زیادی بالاخره در اوایل قرن بیستم اولین توربین گازی که از یک توربین چند طبقه عکس العملی و یک کمپرسور محوری چند طبقه تشکیل شده بود، تولید گردید. اولین دستگاه توربین گازی در سال 1933 در یک کارخانه فولادریزی در کشور آلمان مورد بهره برداری قرار گرفت و آخرین توربین گازی با قدرت 2/212 مگاوات در فرانسه نصب و مورد بهره برداری می گردد. در صنعت برق ایران اولین توربین گازی در سال 1343 در نیروگاه شهر فیروزه (طرشت) مورد استفاده قرار گرفته است که شامل دو دستگاه بوده و هر کدام 5/12 مگاوات قدرت داشته است. در حال حاضر کوچکترین توربین گازی موجود در ایران توربین گاز سیار «کاتلبرگ» با قدرت اسمی یک مگاوات و بزرگترین آن توربین گازی 7-49 شرکت زیمنس با قدرت 150 مگاوات می باشد. نقش توربین گاز در صنعت برق توربین های گاز جدا از تولید برق به خاطر خصوصیات ویژه ای که دارند می تواند در موارد دیگری مثل موتورهای جت در هواپیماها برای تأمین نیروی محرکه هواپیما و نیروی جلوبرندگی به کار رود یا مثلاً جهت به گردش درآوردن یک پمپ قوی به کار رود. اما چون بحث ما پیرامون توربین های گازی است که در صنعت برق وجود دارد، لذا مطالب خود را براساس همین موضوع پیگیری می کنیم. با توجه به آمار و ارقام مشخص می شود که میزان مصرف برق در ساعات مختلف شبانه روز متفاوت است مثلاً در بعضی از ساعات شبانه روز (فاصله ساعت 10:00 تا 12:00 صبح و از تاریک شدن هوا به مدت تقریباً دو ساعت در شب) مصرف برق خیلی زیاد است و به میزان حداکثر خود می رسد (پیک بار) و در بعضی ساعات مثل ساعات بین نیمه شب تا بامداد مصرف برق خیلی پایین است و در بقیه اوقات یک مقدار متعادل را دارد

مقدمه



منبسط شدن گازهای حاصل از احتراق که دارای دما و فشار بالایی می باشند در چندین طبقه از پره

های ثابت و متحرک قدرت در توربین گاز تولید می شود. برای تولید بالا جهت محفظه احتراق (حدود 4 تا 13 اتمسفر) از کمپرسورهای محوری با چندین طبقه استفاده می شود. در هر طبقه بر میزان فشار هوای مکیده شده توسط کمپرسور افزوده می شود. کمپرسور توسط توربین به گردش در می آید به همین منظور محور کمپرسور و توربین به هم متصل است. اگر همه چیز را ایده آل فرض کنیم یعنی اصطکاک و تلفات ترمودینامیکی سیال صفحه فرض شوند. همه فرآیندها در تمام طبقات کمپرسور و توربین

ایده آل است و افت فشار در محفظه احتراق نیز صفر است. بعد از راه اندازی توربین گاز اگر کل سیستم را به حالت خود رها کنیم (بدون اینکه سوختی مصرف کنیم) قاعدتاً باید قدرت تولید شده در توربین مساوی قدرت مصرف شده در کمپرسور باشد. اما این از لحاظ علمی غیرممکن است. در توربین گاز حدود قدرت تولید شده در توربین صرف به گردش آوردن کمپرسور شده و آن به عنوان کار خروجی جهت تولید برق (یا هر مصرف دیگر) مصرف می شود. بنابراین لازم است که قدرت تولیدی در توربین بیشتر از قدرت مصرفی در کمپرسور باشد. برای این منظور می توان با اضافه کردن حجم سیال عامل در فشار ثابت یا افزایش فشار آن در حجم ثابت قدرت تولیدی توربین را افزایش داد. هریک از دو روش فوق را

می توان با بالا بردن دمای سیال عامل پس از متراکم ساختن آن به کار برد. برای افزایش دمای سیال عامل یک محفظه احتراق لازم است تا با احتراق سوخت دمای هوا بالا رود.

نیروگاه های گازی، کاربردهای ویژه ای دارند.

. نیروگاه گازی به نیروگاهی می گویند که بر مبنای سیکل گاز (سیکل برایتون) کار می کند و از سیکل های حرارتی می باشد، یعنی سیال عامل کار یک گاز است. (عامل انتقال و تبدیل انرژی) گازی است، مثلاً هوا در نیروگاه های بخار عامل انتقال

«بخار مایع» می باشد. نیروگاه گازی دارای توربین گازی است، یعنی با سیکل برایتون کار می کند.

PowerEn.ir



نیروگاههای گازی در رنج وسیعی از حالت‌های زیر مورد بهره برداری قرار می گیرند:

- ۱ - تغذیه دستگاههای مکانیکی نیروگاه اصلی از قبیل پمپها , کمپرسورها
 - ۲ - اتصال به ژنراتورهای الکتریکی کوچک قدرت
 - ۳ - تولید انرژی الکتریکی برای ساعات پیک بار
 - ۴ - تامین انرژی الکتریکی برخی بارهای اساسی شبکه بر اساس قرارداد حاصله از دلایل دیگر توسعه و رشد این نیروگاههاست سیکل ترکیبی آن (Combined-Cycle Power Plants) با نیروگاه بخار (حرارتی) است. در این حالت توربین های بخار و گازی با هم ترکیب شده و در مشخصات مختلف با همدیگر کار می کنند.
- حسن نیروگاه:

- 1- سادگی آن است تمام آن روی یک شافت سواراست
- 2 - ارزان است - چون تجهیزات آن کم است .
- 3 = یکی از عواملی که بر روی راندمان تأثیر می گذارد این است که هوای ورودی چه دمایی دارد .
-
- 4-سریع نصب است - .
- 5-کوچک است .
- 6-درسکوهای نفتی که نیاز به برق زیادی می باشد بایدازنیروگاه گازی استفاده کرد، تاجای کمتری بگیرد
- 7- احتیاج به آب ندارد (درسیکل اصلی نیروگاه نیاز به آب نیست) اما درتجهیزات جنبی نیازبه آب است مثلاً برای خنک کردن هیدروژن به کاررفته جهت سردکردن ژنراتور درسرعتهای بالا
- راه اندازی این نیروگاه سریع است
- 8- پرسنل کم



. زمـانی نیروگاهـه گازی خاموش است که دراتاق احتراق

سـوخت نباشد . یک نیروگاه بخار را بعد از راه اندازی نباید خاموش کرد. اما نیروگاه

گازی بدین صورت است که صبح

می توان روشن کرد و آخر شب خاموش نمود. نیروگاه گازی بسیار مناسب برای بار پیک است و

نیروگاه بخار برای بار پیک نامناسب است .

معایب:

1-آلودگی محیط زیست زیاد است

2- عمر آن کم است. (فرسودگی توربین و کمپرسور) سوخت مازوت به علت آلودگی بیشتری

که نسبت به سوخت گازوئیل دارد، کمتر به کار می رود

3- استهلاک زیاد است. (پره توربین ، پره کمپرسور)

4- راندمان کم است (مصرف سوخت آن زیاد است) ؛ این نقیصه ای است که کشورهای اروپایی با

آن مواجهند .

دلایل راندمان پایین:

الف) خروج دود با دمای زیاد

ب) حدود 1/3 توان توربین صرف کمپرسور می شود . بنابراین درنیروگاه گازی برای استفاده

درازمدت اصلا جایز نیست چراکه هزینه مصرف سوخت گران است.

5 -امکان استفاده از سوخت جامد فراهم نیست . (مانند زغال سنگ) چراکه بلافاصله پره های رتور

پر ازدود می شود . نیروگاه های گازی را اگر بخواهیم برای مدت طولانی استفاده کنیم ، هزینه

نیروگاه گازی بالا است. نیروگاه گازی را از جایی استفاده کنند که امکان بهره برداری و زمان بهره

برداری زیر 2000 ساعت باشد . اگر زمان بهره برداری بالای 2000 ساعت باشد از نیروگاه بخار اگر

زمان بهره برداری در سال بالای 5000 ساعت باشد ، نیروگاه آبی استفاده می شود . در کشور ما،

برق عمده مصرفی برق خانگی است (60٪) و حدود 30٪ برق صنعتی است . در نتیجه 50٪

PowerEn.ir



نیروگاه های کشور باید هر شب روشن شود ؛ بنابراین قسمت عمده برق تولیدی ماباید از نوع

نیروگاه گازی باشد . نیروگاه گازی را به دلیل ارزانی در کارخانجات نیز می توان به کاربرد . نیروگاه گازی را در نیروگاه اتمی نیز استفاده می کنند. جهت سرد کردن رآکتور هوا به کار می رود که در نتیجه هوا داغ و فشرده می شود و در نتیجه به نیروگاه گازی داده و برق مصرفی نیروگاه اتمی را تأمین می کنند.

در نیروگاه های گازی جهت افزایش راندمان روش هایی را اتخاذ می کنند:

1 - دود خروجی هوای ورودی به اتاق را گرم می کند (سیکل پیچیده تر شده اما راندمان بالا می رود)

حالت اول : دود با هوای ورودی کمپرسور کنار یکدیگر قرار داده در این صورت راندمان تجهیزات به شدت افت می کند.

حالت دوم : دود با هوای ورودی کمپرسور به صورت غیر مستقیم در کنار یکدیگر قرار داده که با این روش راندمان 1 الی 2 درصد قابل افزایش است ؛ (هوای ورودی به اتاق احتراق گرم می شود)
2- استفاده از توربین های دو مرحله ای : زیاد شدن راندمان مستلزم مخارج و صرف هزینه نیز می باشد.

3- استفاده از کمپرسور دو مرحله ای : هر چه دمای ورودی کمپرسور پایین تر باشد ؛ راندمان بیشتر است با این روش دمای ورودی کمپرسور به طور مصنوعی پایین نگه داشته می شود در مرحله L_p به دلیل بالا رفتن فشار هوا گرم می شود که از کولر استفاده می کنند ؛ آب سرد بر روی لوله فشار هوا ریخته و هوا را خنک کرده آب گرم می شود و خارج می شود بالاترین راندمان چیزی در حدود 35٪ است که نیروگاه دارای کمپرسور دو مرحله ای توربین دو مرحله ای و پیش گرم کن می باشد . نیروگاه گازی به این معنا نیست که سوخت آن گاز است ، بلکه توربین آن گازی است و سوخت آن مایع یا گازوئیل است که اکثراً گازوئیل است . در کشور ما به دلیل زیاد بودن سوخت گازوئیل ، نیروگاه گازی با سوخت گازوئیل به کار می رود و مرسوم است. اما در کشورهای



اروپایی به دلیل زیاد بودن سوخت جامد ، نیروگاه گازی به نحو دیگری طراحی شده که با سوخت

جامد کار می کند ، به این نیروگاه ها ، نیروگاه گازی سیکل بسته می گویند. هوای داغ ناشی از احتراق را داخل گرم کن می چرخانیم و بعد هوا را بیرون میفرستیم .ملاحظه می شود که هوای داغ ناشی از احتراق داخل توربین می شود. لذا میتوان از سوخت جامد استفاده کرد که این نوع ساده ترین نوع نیروگاه گازی سیکل بسته می باشد.

می توان سیکل فوق را کامل تر کرد. اگر هوای ورودی به کمپرسور تصفیه شده باشد، پره های توربین دارای عمر زیادی خواهد بود. مشکل ایجاد این است که هوای خارج شده از توربین به دلیل تصفیه بودن باید استفاده شود ، پس هوای خروجی از توربین را استفاده می کنیم ، اما این هوا داغ است و گاز وارد کمپرسور شود راندمان افت می کند ؛ لذا از کولر استفاده می کنیم و هوا را سرد می کنند .در نیروگاه گازی هرچه هوای ورودی به کمپرسور سردتر باشد، راندمان افزایش می یابد. لذا نیروگاه های گازی در زمستان راندمان بهتری دارند.

تغییرات بار به ازاء شبانه روز

-یک مقدار از بار مصرفی تقریباً در تمام ساعات شبانه روز ثابت است که به آن بار پایه می گوئیم.
-یک مقدار بار نیز تنها در ساعات محدودی از شبانه روز اتفاق می افتد و مقدار آن بیشتر از بار در بقیه ساعات شبانه روز

می باشد. این بار را بار حداکثر یا پیک می گوئیم.

-نوسانات بین بار پایه و بار پیک را نیز بنام بار متوسط یا میانی می گوئیم.

برای تأمین بار پایه به نوعی نیروگاه احتیاج داریم که مخارج جاری آن پایین باشد. این نیروگاه ها شامل نیروگاه های بخار (به خاطر سوخت ارزان- چون سوخت مصرفی آنها معمولاً سوخت های سنگین مثل مازوت است) نیروگاه های هسته ای و نیروگاه های آبی می باشد. اما برای تأمین بار پیک به نوعی نیروگاه احتیاج داریم که مخارج نصب پایین و سرعت راه اندازی و باردهی بالا داشته باشد. حتی اگر مخارج جاری آن بالا باشد و در رابطه با تأمین بار پیک توربین های گازی مطرح

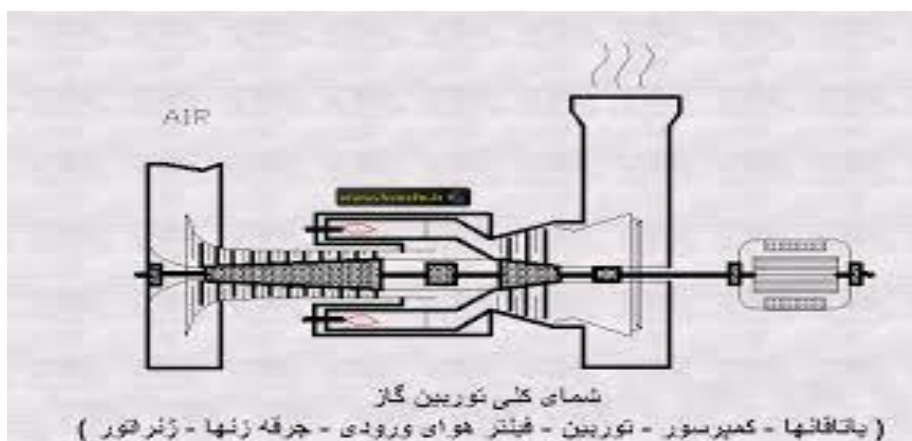
PowerEn.ir



می شوند، زیرا خصوصیات تقاضا شده فوق را دارا می باشند. توربین های بخار به خاطر آنکه برای

راه اندازی و رسیدن به مرحله باردهی چندین ساعت وقت لازم دارند و استفاده از آنها به صورت رزرو به صرفه نیست در این مورد استفاده

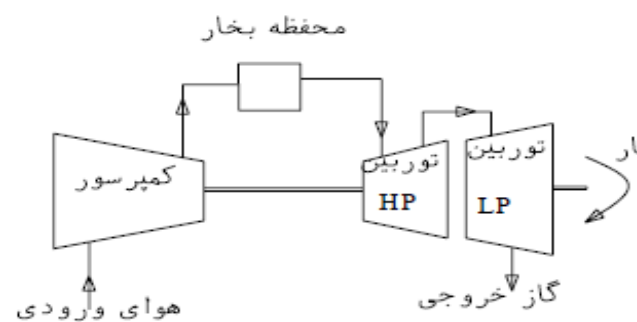
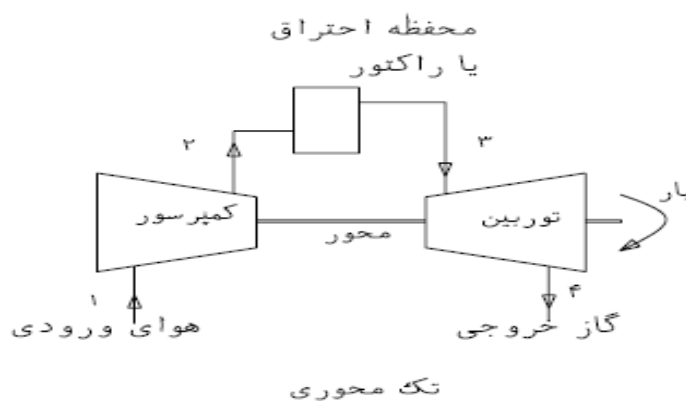
نمی شوند. بار میانی نیز توسط ترکیبی از نیروگاه های مختلف که اقتصادی تر باشد، تأمین می شود. بنابراین یکی از بارزترین موارد استفاده توربین های گاز در صنعت برق، تأمین بار پیک توسط این واحدهاست البته در کشورهایی مثل ایران که مسأله سوخت حتی گاز و گازوئیل مسأله مهمی را ایجاد نمی کند از واحدهای گازی برای تأمین بار پایه نیز استفاده می شود. از ویژگی های دیگر واحدهای گازی که با دیزل استارت می شود قادرند با استفاده از باتری های موجود در باتری خانه که همواره شارژ کامل هستند بدون وابستگی به شبکه استارت شده و به مرحله باردهی برسند لذا از واحدهای گازی می توان برای مناطقی که به شبکه سراسری متصل نیستند و نیز برای شروع برقرار کردن شبکه پس از خاموشی کامل شبکه استفاده کرد. در بعضی از واحدهای گازی کلاچ مخصوص بین محور توربین و محور ژنراتور وجود دارد که می توان این دو محور را از هم جدا کند و در واحدهایی که به این نوع کلاچ مجهز هستند می توان در حالی که ژنراتور به شبکه متصل است با خاموش کردن توربین و باز شدن کلاچ موردنظر که با افت دور توربین نسبت به ژنراتور صورت می گیرد ژنراتور را به صورت موتور درآورد و به این وسیله عمل تنظیم ولتاژ شبکه را انجام داد. این کار معمولاً در شبکه هایی که بخاطر پایین بودن مصرف در شبکه ولتاژ بالا می رود انجام می شود به این نوع استفاده از ژنراتور اصطلاحاً کندانسور کردن گویند.



اجزای نیروگاه گازی



شامل توربین، کمپرسور، محفظه احتراق و ژنراتور می باشد. توربینهای گاز در دو مدل یک یا دو محوری طراحی می شوند. در مدل دو محوری هر توربین (توربین فشار پایین و توربین فشار بالا) در سرعت متفاوتی در حال چرخش است



دو محوری

دو نوع مختلف از توربین های گازی وجود دارد:

جریان محوری (Axial Flow)

جریان شعاعی (Radial Flow)

توربین های گازی جریان شعاعی شبیه یک کمپرسور سانتریفوژ هستند، با این تفاوت که جریان گاز به جای خارج شدن به صورت شعاعی وارد می شود. این توربین ها به صورت گسترده در اندازه های کوچک با کمپرسور سانتریفوژ به صورت یکپارچه ساخته می شوند. چنین ترکیبی برای Turbo Chargers به صورت موتور دیزلی معدنی ساخته شده اند. این



توربین ها برای گاز با فشار بالا برای دستیابی به راندمان خوب مناسب نیستند. توربین های گازی

جریان محوری در

اندازه های بزرگ ساخته می شوند. طبقات توربین های گازی نیز شبیه توربین های بخار است. در این حالت فشار گاز ورودی توربین بسیار کمتر از فشار بخار در توربین بخار است. تعداد طبقات در توربین گازی با سوخت فسیلی کم است (۱ تا ۳ طبقه). در صورتی که تعداد طبقات در توربین گازی با سوخت هلیوم زیاد است.

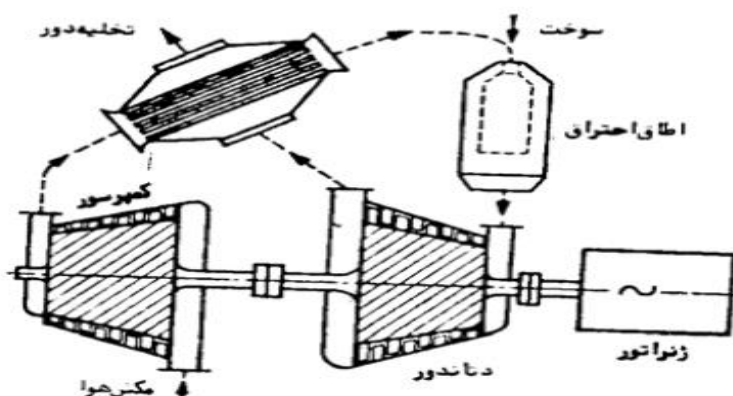
آشنایی با واحد نیروگاه و تجهیزات مربوطه :

در صنایع پتروشیمی عموماً جهت تولید انرژی الکتریکی اصلی مجتمع های تولیدی از نیروگاههای گازی بدلیل مقرون به صرفه بودن و همچنین ارزان بودن و در دسترس بودن سوخت اولیه آنها استفاده می گردد

. هر نیروگاه گازی تشکیل شده از دو بخش اصلی به نامهای توربین گازی و ژنراتور می باشد ، با توجه به اهمیت این دو بخش می توان به تشریح آنها پرداخت:

توربین گاز: توربین گاز در حقیقت نوعی از موتورهای احتراق داخلی است ، در این دستگاه به عوض آنکه اعمال اصلی ، تراکم ، احتراق و انبساط در داخل عضو واحدی به طور متناسب یکی بعد از دیگری صورت گیرد در سه محل و یا عضو جداگانه با نامهای کمپرسور (Compressor) اتاق احتراق (Combustion Chamber) و توربین (Turbine) به طور دائم انجام می پذیرد .

شکل ۱-۱ این سه قسمت را به طور کاملاً شماتیک نمایش می دهد:

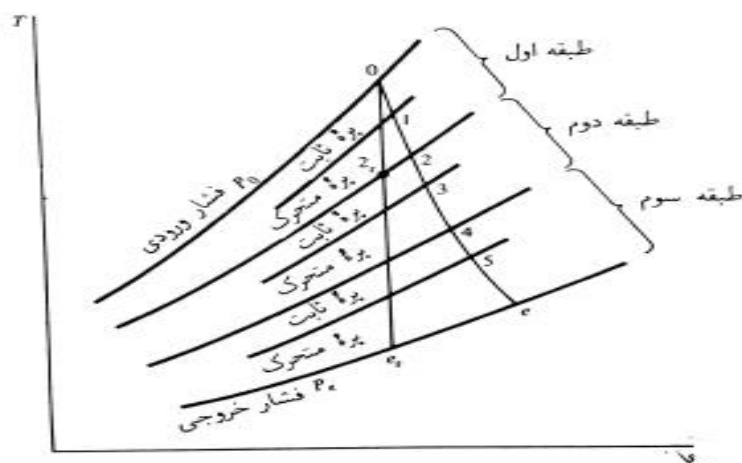


شکل ۱-۱



توربین و کمپرسور به صورت استوانه هایی هستند که در محیط آنها در چند ردیف یا حلقه متوالی پره های مورب کار گذاشته اند و یک در میان مابین ردیف پره های متحرک ، پره های ساکن وجود دارد که منصوب به جدار خارجی است . چرخها حرکت دورانی سریع دارد و گاز از میان پره ها حرکت می نماید . مابین پره های متحرک و ذرات گاز توافق

سرعت و تبادل انرژی سینتیک بعمل می آید و در داخل پره های ساکن سرعت و فشار گاز به یکدیگر تبدیل می شوند . به این ترتیب در کمپرسور مرتباً پره های متحرک به ذرات گاز سرعت می دهند و این سرعت در پره های ساکن بعد مبدل به فشار می شود تا اینکه فشار بقدر کافی بالا رود . هوای فشرده گرم اتصالاً وارد اطلاق احتراق شده و در آنجا با سوخت ترکیب می شود و درجه حرارت بالا می رود . گاز سوخته داغ متراکم در لابلای پره های ساکن توربین در نتیجه تغییر مقطع کسب سرعت می نماید و چون به پره های متحرک برخورد می کند آنها را به گردش در آورده و انرژی سینتیک خود را از دست می دهد . در ردیف پره های بعد مجدداً فشار تبدیل به سرعت و سرعت تبدیل به انرژی مکانیکی و منتقل به چرخ می گردد تا آنکه بالاخره فشار به اندازه فشار جو رسیده و گاز سوخته انبساط یافته از دهانه خروجی تخلیه می گردد



نمودار T-s برای فرایند انبساط توربین گازی.



. انواع توربینهای موجود در صنایع پتروشیمی

مهمترین انواع توربینهایی که در صنایع پتروشیمی برای تولید برق از آنها استفاده می شود را میتوان به سه دسته تقسیم نمود

توربینهای بخار آب : توربینهای بخار آب قدیمیترین توربینها در صنعت پتروشیمی می باشند و از نیروی بخار آب برای حرکت درآوردن توربینها استفاده می شود و از نقطه نظر اینکه احتیاج به دیگ بخار و وسایل دیگر و مخارج زیاد برای نگهداری آنها دارد کمتر مورد استفاده واقع می گردند

(۲) توربینهای انبساطی گازی (Gas Expulsion Turbine)

توربینهایی که گاز طبیعی با فشار و حرارت معین وارد توربین شده و به تیغه ها برخورد کرده و سبب چرخش توربین می شود و این توربین ها بعلت مصرف زیاد گاز طبیعی مقرون به صرفه نیستند.

(3) توربینهای احتراقی گازی (Gas Combustion Turbine)

در این توربینها مقداری گاز طبیعی و هوای فشرده در محفظه احتراق می سوزد و در اثر سوختن و حرارت ایجاد شده حجم گاز زیاد می شود و گاز با حجم زیاد و فشار بالا و درجه حرارت معین به تیغه های توربین برخورد کرده و سبب چرخش توربین می شود . اساس کار این توربینها بر آن می باشد که فشار هوا در یک طرف دستگاه چرخنده توربین بالا می رود و فشار هوای سریع بر روی تیغه ها (Blades) منحنی شکل که روی Rotor قرار دارند اثر کرده و محور را به چرخش در می آورد ، باید توجه داشت که برای چرخاندن تیغه ها ، هوا باید حرکت داشته باشد . انرژی فشار هوا به انرژی جنبشی هوای متحرک تبدیل شده و در نتیجه محور چرخنده توربین حرکت در می آید و انرژی هوای سریع تبدیل به انرژی مکانیکی در توربین می گردد .

رتور یک توربین شامل قسمتهای زیر است:

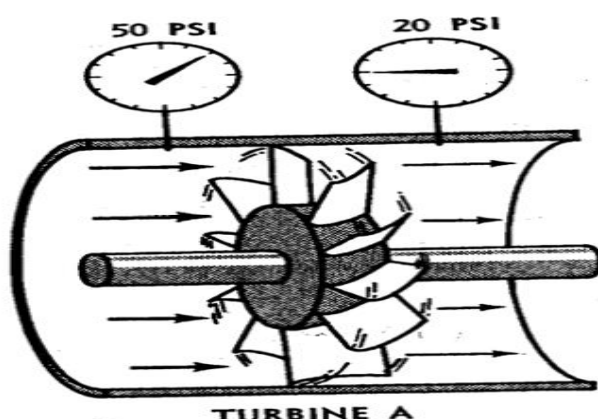
PowerEn.ir



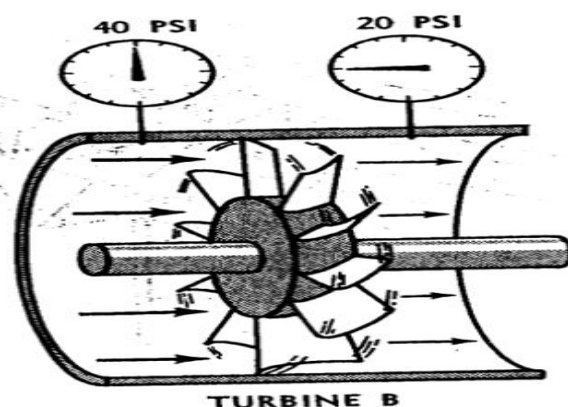
الف (محور Shaft

ب (صفحه مدور Disc

ج (تیغه ها Blades



ای خروج
می شود



نیرو و یا انرژی منتقل شده به محور چرخنده (Rotor) توربین است. توربینی که فشار هوای ورودی آن بیشتر است دارای قدرت بیشتری است اگر دو توربین فشار خروجی یکسانی داشته باشند، آنکه فشار ورودی اش بیشتر است قدرت زیادتری دارد، هر گاه دو توربین فشار ورودی یکسان داشته باشند آنکه فشار خروجی کمتر دارد، نیروی بیشتری جذب کرده است، هوای خروجی توربین احتراقی معمولاً از طریق دریچه Exust و یا Stack وارد جو می گردد.

کمپرسور (Compressor)

کمپرسور جهت فشردن هوا بکار می رود و باعث می شود که هوا با فشار زیاد بداخل توربین رانده شود.

یک توربین گازی ساده شامل یک کمپرسور و یک توربین می باشد، کمپرسور هوا را با فشار زیاد جهت توربین تهیه

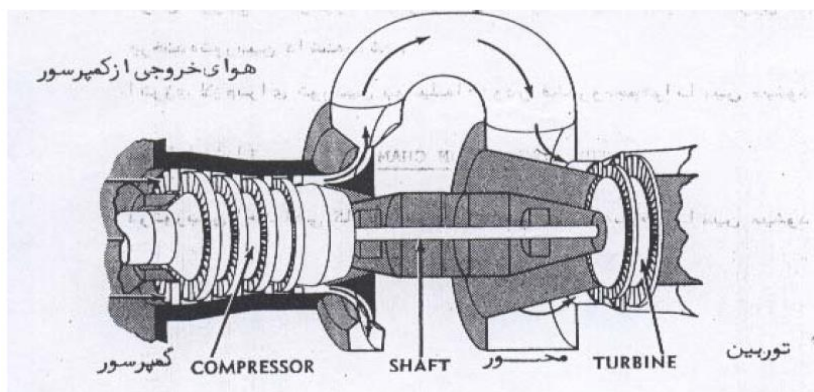
می نماید و در واقع تعدادی تیغه های دوار (Rotating Blades) که بر روی صفحه قرار دارند باعث به جلو راندن هوا به طرف توربین می گردند. نظر به اینکه هوا بین کمپرسور و توربین جمع شده و فشارش آنقدر زیاد می شود تا اینکه قادر به چرخاندن توربین گشته و سپس از انتهای



توربین خارج می شود . هنگامی که محور چرخنده توربین شروع به دور زدن کند ، هوا جریان پیدا

کرده و فشارش کم می شود و فشار هوای ورودی توربین بستگی به آن دارد که کمپرسور با چه سرعتی هوا را به داخل توربین می فرستد و با چه سرعتی توربین و یا محور چرخنده به آن اجازه خروج می دهد

از انرژی مکانیک جهت چرخاندن Rotor کمپرسور استفاده می شود.



کمبرسور را
نآمین مینماید و

شکل ۱-۳

در شکل ۱-۳
بحرکت در می

کمبرسور باعث فشرده شدن هوا می شود .

در شکل ۱-۳ توربین از هوای فشرده توسط کمپرسور نیرو می گیرد ، به هر حال کمپرسور نمیتواند قدرتی بیش از آنچه که از توربین می گیرد تولید نماید . قسمتی از نیروی توربین در اثر اصطکاک قسمت‌های متحرک هدر می رود و توربین نمی تواند نیروی کافی از کمپرسور جهت چرخاندن کمپرسور و همچنین جهت نیروی هدر رفته بوسیله اصطکاک بدست آورد ، بنابراین مقدار انرژی اضافی باید برای توربین فراهم گردد تا بتواند کمپرسور را چرخانده و جبران نیروی هدر رفته توسط اصطکاک را بنماید و برای سایر عملیات قدرت لازم را داشته باشد بنابراین هرگاه حجم هوا را زیاد کنیم انرژی آن افزوده می شود ، پس هرگاه حجم هوای خروجی کمپرسور را زیاد کنیم ، دارای انرژی بیشتری می گردد در اثر حرارت حجم آن بدون اینکه فشار بالا رود زیاد می شود هوای خروجی کمپرسور باید حرارت داده شود تا اینکه بتواند

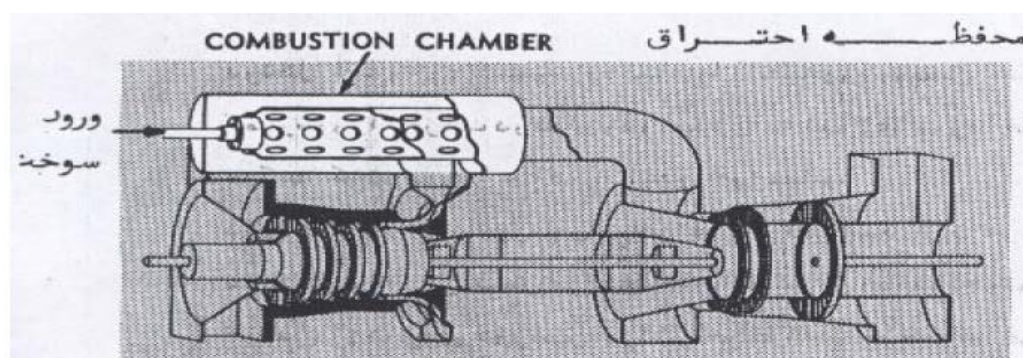


انرژی کافی جهت چرخاندن محور Rotor توربین را داشته باشد. انرژی لازم برای توربین بوسیله

افزودن فشار و حجم هوا تأمین می شود.

محفظه احتراق (The Combustion Chamber)

در توربین احتراق گازی انرژی اضافی بوسیله سوخت تأمین می گردد که در واقع این عمل از طریق محفظه احتراق صورت می گیرد. شکل زیر محفظه احتراق محلی است که سوخت در آن وارد شده و با هوای خروجی از کمپرسور مخلوط شده و می سوزد و در اثر سوختن درجه حرارت هوا بالا می رود و در نتیجه حجم هوا به نسبت زیادی منبسط می شود، هر گاه به یک محفظه بسته حرارت داده شود در اثر انبساط گازهای داخل محفظه فشارش بالا میرود ولی چون در توربینهای احتراقی محفظه احتراق به تیغه های توربین راه دارد و بنابراین فشار در محفظه احتراق بالا نمی رود.



شکل 1-4

در شکل 1-4 ف

(1) سرعت هوا

(2) انبساط هوا

احتراق خارج شده و به محور چرخنده جریان پیدا میکند. بنابراین هر چه فشار هوا بیشتر باشد، توربین نیروی بیشتری جهت چرخش کمپرسور تولید میکند، پس در اثر ازدیاد حجم هوا در محفظه احتراق هوا انرژی زیادتری کسب کرده و از این نیرو برای جبران اصطکاک، چرخش کمپرسور و قسمت های چرخنده دیگر توربین استفاده میشود.

تشریح جریان هوا و گاز داغ در یک توربین احتراق گازی ساده:

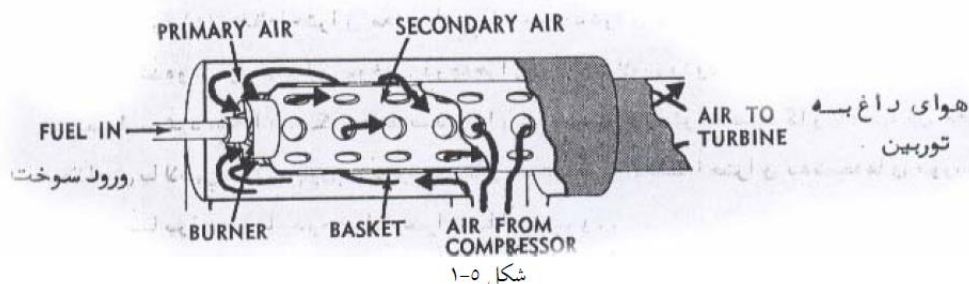
هوای سرد از طریق مجرای ورودی کمپرسور، به درون آن کشیده می شود (فشار 14/7 اتمسفر و درجه حرارت محیط) محور Rotor کمپرسور از چند ردیف تیغه هایی که بر روی

PowerEn.ir



صفحه‌هایی قرار دارند و شیب تیغه‌های Rotor توربین هستند تشکیل شده است. در کمپرسور

هوا فشرده شده و در نتیجه حجم هوا کم می‌شود و درجه حرارت هوا بالا می‌رود، بنابراین یک پوند هوای خروجی کمپرسور جای کمتری را اشغال می‌کند تا یک پوند هوای ورودی به کمپرسور مطابق شکل 1-5 هوای گرم فشرده شده از کمپرسور خارج گشته و به محفظه احتراق هدایت می‌شود

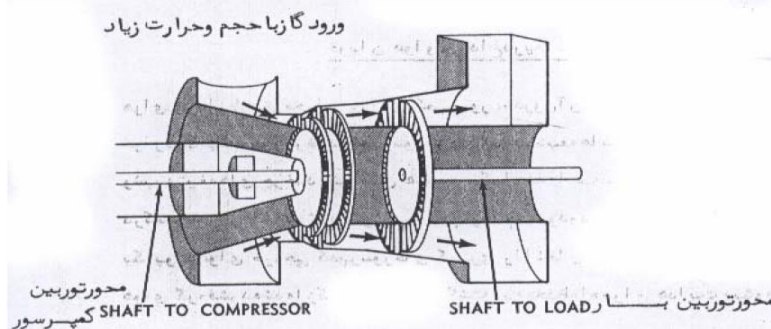


در محفظه احتراق گاز، سوخت یا مواد سوختنی با هوای فشرده مخلوط شده و شعله‌ور می‌شود، در اثر سوختن مواد سوختنی، درجه حرارت هوا بالا می‌رود و با ازدیاد درجه حرارت حجم هوا بسیار زیاد می‌گردد.

پس گرمای حاصل از مواد سوختنی باعث ازدیاد درجه حرارت و حجم هوا می‌گردد، ولی چون محفظه احتراق به تیغه‌های توربین راه دارد فشار هوا بالا نمی‌رود، پس هوا با حجم و حرارت

شود.

زیاد و فشار معی



شکل ۱-۶



همانطوریکه در کمپرسور وقتی که هوا از بین تیغه های متحرک و ثابت می گذشت فشارش بالا

می رفت ، در توربین عمل عکس انجام می گیرد ، یعنی هوای فشرده با حجم و حرارت زیاد به تیغه ها برخورد کرده و پس از اینکه تیغه های متحرک را بحرکت در آورد از فشارش کم تولید و میشود و در نتیجه توربین نیرویی بیش از آنکه مورد لزوم کمپرسور است ایجاد می کند زیرا هوای فشرده ای که به تیغه های توربین برخورد می کند ، حجمش به مراتب زیادت از هوایی است که از کمپرسور خارج می شود.

پس در قسمت کمپرسور فشار هوا زیاد می شود.

- در قسمت توربین فشار هوای داغ کم می شود.

- در قسمت محفظه احتراق فشار ثابت می ماند

برای اینکه محور Rotor توربین بحرکت درآید باید هوای با فشار زیاد تبدیل به هوا با سرعت زیاد گردد ، سرعت زیاد هوا باعث می شود که Rotor توربین دوران نماید و در نتیجه حرکت دورانی Rotor ، توربین تولید انرژی مکانیکی می نماید .

(Starter) استارتر (راه اندازی توربین گازی)

وقتی که توربین کار می کند ، نیروی لازم جهت گرداندن کمپرسور بوسیله شافت توربین تأمین می گردد ولیکن قبل از اینکه دستگاه شروع به کار نماید باید به طریقی کمپرسور را چرخاند تا هوای فشرده لازم جهت توربین فراهم گردد ، برای این کار از استارترهای متفاوتی میتوان استفاده نمود که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد.

راه اندازی توسط موتور دیزل : شافت آن توسط یک دستگاه کلاچ هیدرولیک به شافت مشترک توربین و کمپرسور متصل میگردد و پس از آنکه دور توربین و کمپرسور را به حد مشخصی رسانید و توربین راه اندازی گردید توسط کلاچ مربوطه موتور دیزلی از مدار خارج می شود.

راه اندازی توسط موتور برقی : همانند موتور دیزلی باعث راه اندازی توربین می شود.

PowerEn.ir



راه اندازی به روش الکتروموتوری : در این روش سیم پیچهای استاتور ژنراتور را ابتدا به برق با

ولتاژ مشخصی متصل و سیم تحریک آن را نیز از مدار خارج می نمایند و در واقع ژنراتور را به

صورت یک الکتروموتور سنکرون راه اندازی

می نمایند و پس از آنکه توربین به دور مشخصی رسید و راه اندازی گردید برق ژنراتور قطع

گردیده و ادامه کار توسط توربین انجام خواهد شد.

راه اندازی توسط توربین بخاری : می توان جهت راه اندازی اولیه نیروگاه از یک دستگاه توربین

بخار استفاده نموده و پس از راه اندازی توربین گازی ، توربین بخار از مدار خارج می گردد .

کنترل درجه حرارت قسمت‌های مختلف نیروگاه گازی :

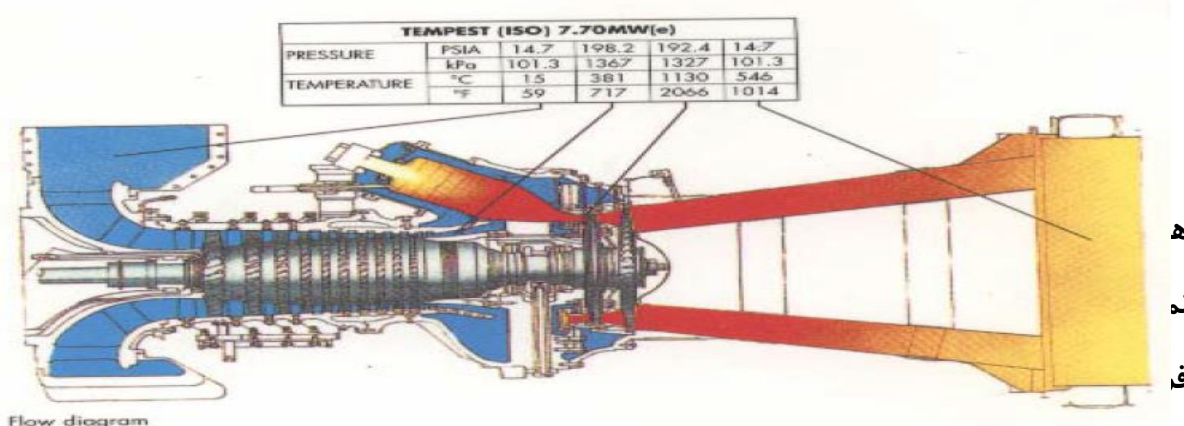
مطابق شکل 9-1 می بایست بدلیل محدودیتهایی که بواسطه جنس مواد تشکیل دهنده پره های

توربین و کمپرسور و همچنین اتاق احتراق و دیگر قسمت‌های نیروگاه گازی باعث می شود ، درجه

حرارت قسمت‌های فوق الذکر نباید از حد مجاز خود در حالت کارکرد نیروگاه تجاوز نماید . بعنوان

نمونه در شکل 9-1 یک مجموعه توربین و کمپرسور و اتاق احتراق ساخت شرکت Alstom

نشان داده شده است و درجه حرارت قسمت‌های مختلف بیان شده است .



گریدینگ و پالایش و ... شکل 9-1

انجام می شود.

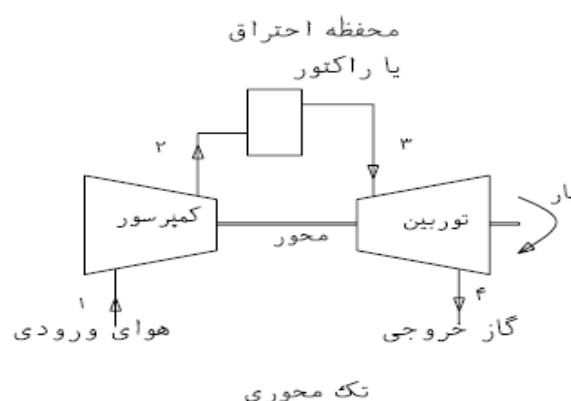


چرخه های توربین های گازی

گاز داغ ایجاد شده از محفظه احتراق یا راکتور به عنوان سیال اصلی برای حرکت توربین در دو حالت مستقیم و غیر مستقیم قابل استفاده است. در حالت مستقیم سیال به طور مستقیم وارد توربین می شود.

در حالت غیرمستقیم سیال داغ باعث گرم شدن سیال ثانویه می شود که عامل حرکت توربین شود. برای هر دو چرخه مستقیم و غیرمستقیم ممکن است ترکیبی از سیکل باز یا بسته داشته باشیم

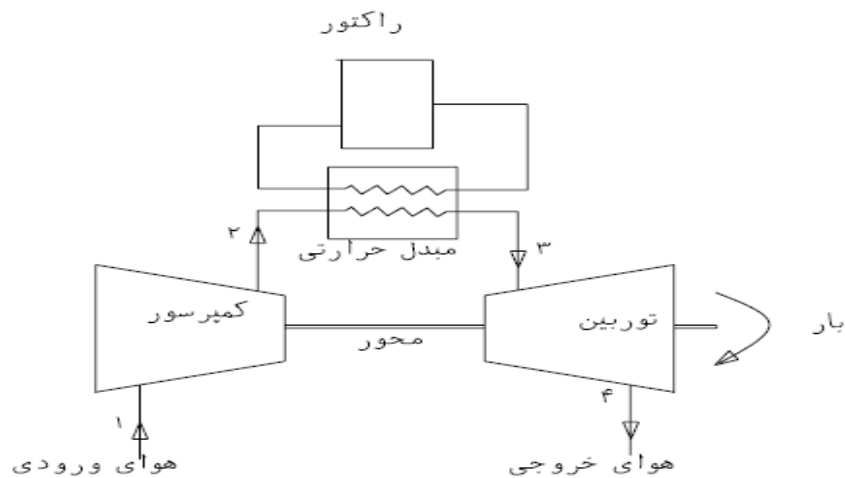
چرخه باز مستقیم (n Cycle)



سیال (گاز یا هوا) در نقطه ۱ وارد کمپرسور شده و در نقطه ۲ به صورت فشرده خارج می شود. سپس گاز متراکم وارد محفظه بخار یا راکتور می شود. در حالت ایده ال با ثابت ماندن فشار آن سیال به صورت داغ در نقطه ۳ خارج می شود. پس از آن با ورود به توربین و چرخش آن منبسط شده و از نقطه ۴ خارج می گردد. گاز یا هوای خروجی داغ سپس وارد اتمسفر شده و سپس گاز (هوا) سرد باز از نقطه ۱ وارد سیستم می شود. البته در این نوع چرخه فقط از هوا به عنوان سیال عامل استفاده میشود.

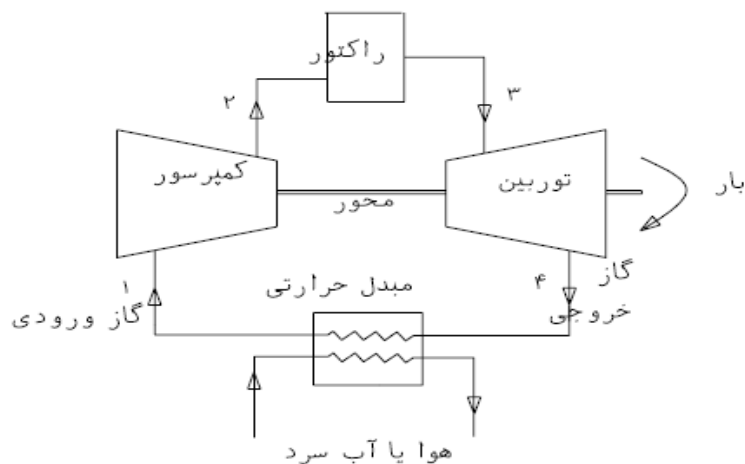
چرخه باز غیرمستقیم (Indirect Open Cycle)

PowerEn.ir



این چرخه تقریباً مشابه چرخه باز مستقیم است، با این تفاوت که هوای متراکم شده در نقطه ۲ به عنوان سیال ثانویه گرمای مورد نیاز خود را از طریق مبدل حرارتی می گیرد. این نوع چرخه برای مواردی مناسب است که از لحاظ شرایط محیطی نتوان از گرمایش مستقیم هوا سود جست و این گرمایش ممکن است از طریق یک نیروگاه یا راکتور هسته ای تامین گردد.

چرخه بسته مستقیم (Direct Closed Cycle)

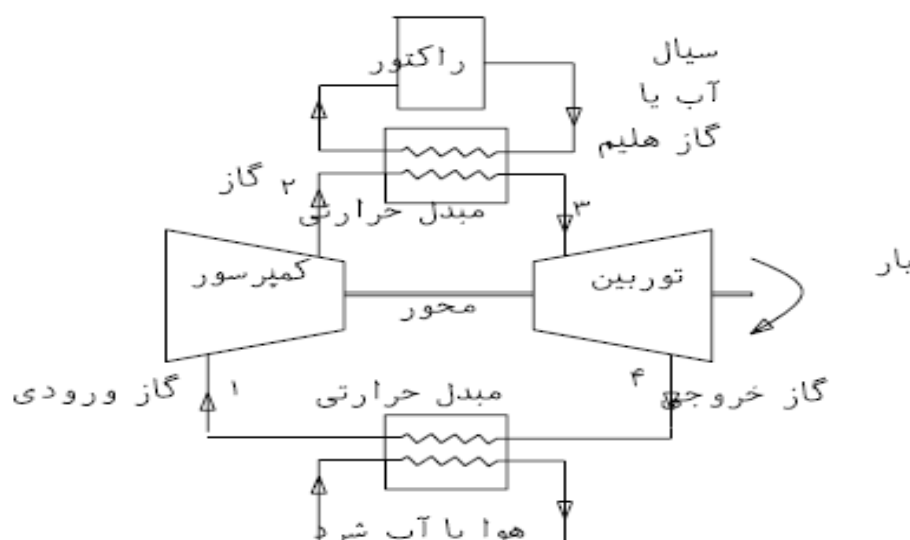




در این حالت هیچ گازی از توربین وارد اتمسفر نمی شود. گازی که اکثراً در این سیستم مورد

استفاده قرار می گیرد هلیوم است. در این چرخه گاز خروجی از توربین در مبادله کن گرما سرد شده و پس از فشرده شدن در کمپرسور وارد راکتور شده و پس از چرخاندن توربین فشار آن افت می کند و سپس وارد مبدل حرارتی و کمپرسور می شود. تحت شرایط کارکرد معمولی هیچ جریانی از گازهای رادیوکتیو وارد جو نمی شود و هم چنین سطح فشار سیال عامل بالاست که این خود منجر به کاهش ابعاد ماشین های دوار می شود .

چرخه بسته غیرمستقیم (Indirect Closed Cycle)



این چرخه، ترکیبی از چرخه باز غیرمستقیم و چرخه بسته مستقیم است. در این حالت راکتور توسط مبدل حرارتی از سیال یا گاز مورد استفاده در توربین مجزا شده است. گرمای گاز مورد استفاده پس از عبور از توربین توسط مبدل حرارتی به اتمسفر داده می شود. خنک کن اولیه ممکن است آب ، فلز مذاب ، یا گازی مانند هلیوم باشد.

محاسن نیروگاه های گازی سیکل بسته :

1- امکان استفاده از سوخت جامد فراهم می شود.

PowerEn.ir



2- عمر زیاد (خوردگی پره ها کم است)

3- چون سیکل بسته است ، لذا ضرورت ندارد که فشار هوای خروجی توربین 1 Atm باشد، پس می توان سطح کار فشار هوارا بالا برد، به جای 1 Atm از 10 Atm که چون هوای فشرده تر شده ، جای کمتری گرفته و حجم کمپرسور و توربین در نهایت کوچک تر می شود.

معایب :

1- راندمان در مقایسه با سیکل باز کمتر است. 4 الی 5 درصد راندمان کاهش می یابد

2= هزینه زیاد است.

در سوخت مایع نیروگاه های گازی سیکل بسته ، اجازه داریم توربین رادو قسمتی بسازیم . کمپرسور هوا را گرفته و داخل اتاق احتراق می سوزاند ، هوای خروجی آن را وارد گرم کن می کنیم که خود گرم کن یک سیکل بسته را تشکیل می دهد . توربین کمکی قدرت لازم از ژنراتور کوچک در قسمت توربین کمکی به کاربرد.

نیروگاه گازی سیکل باز دارای معایب زیر است :

قدرت کمپرسور خیلی از انرژی توربین رامی گیرد و همچنین دود خروجی داغ است (در حدود 300 درجه سلسیوس) در نتیجه سوخت ایجاد شده به هدر می رود ؛ لذا راندمان کاهش می یابد . استفاده از نیروگاه سیکل ترکیبی (نیروگاه گازی در کنار نیروگاه بخار) هوای گرم خروجی از توربین را با اضافه کردن اکسیژن به آن به طرف بویلر نیروگاه بخار برده میشود . راندمان این قبیل نیروگاه ها 50٪ می باشد .

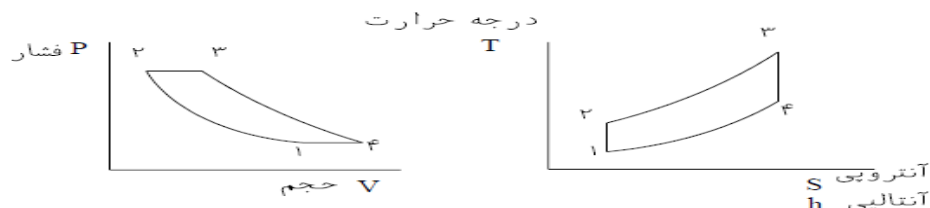
چرخه ایده آل برای تون

این چرخه ایده آل توربین گازی می باشد در این فرایند طبق نمودارهای زیر گاز ضمن فرایند 1 تا 2 به طور آیزنتروپیک متراکم می شود و در فرایند فشار ثابت 2 تا 3 گرم می شود و در مرحله 3 تا 4 به طور آیزنتروپیک در توربین منبسط می شود و فرایند خنک شدن گاز از 4 تا 1 یا در یک مبادله کن گرما یا در جو صورت می گیرد.

PowerEn.ir



PowerEn.ir



سیکل عملی پرایتون:

سیکل عملی (واقعی) توربین گاز از نقطه نظرهای زیر با سیکل نظری پرایتون تفاوت دارد-1 :

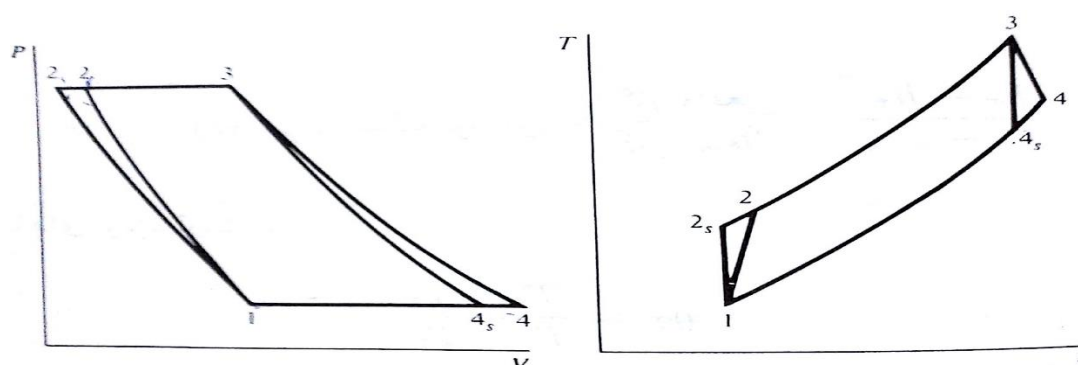
به علت وجود تلفات اصطکاکی در کمپرسور و توربین، فرآیند تراکم و انبساط بدون اصطکاک نیست و با مقداری افزایش در انتروپی همراه می باشد (این فرآیندها آدیاباتیک برگشت ناپذیر می باشند) در حالت ایده آل بازده کمپرسور و توربین 100٪ می باشد اما در عمل کمتر است.

2- در اتاق احتراق افت فشار مختصری وجود دارد. این افت فشار (تلفات) به قدری کم است که می توان از آن صرف نظر نمود.

3- جرم گازی که از داخل توربین عبور می کند $(f+1)$ برابر جرم هوایی است که از داخل کمپرسور عبور می کند که f نشان دهنده نسبت جرم سوخت به جرم هوا می باشد.

4- گرمای ویژه گازهای حاصل از احتراق کمی بیشتر از گرمای ویژه هوا می باشد. البته این افزایش به قدری کم است که گرمای ویژه گازهای حاصل از احتراق را می توان برای ساده شدن مسأله هر جا که لازم است با گرمای ویژه هوا مساوی فرض کرد.

در شکل زیر نمودار T-S برای یک سیکل واقعی پرایتون نشان داده شده است.



نمودارهای $P-V$ و $T-S$ برای چرخه های ایده آل و غیرایده آل پرایتون

PowerEn.ir



تلفات فشار در اتاق احتراق بصورت P2-P3 نشان داده می شود. در این سیکل: فرآیند 1-2 تراکم آیزنتروپیک. فرآیند 2-1: تراکم واقعی. فرآیند 3-4: انبساط آیزنتروپیک فرآیند 4-3 انبساط واقعی. بازده کمپرسور چون CP ثابت است) بازده کمپرسور (بازده توربین اگر گرمای ویژه گازهای حاصل از سوخت با گرمای ویژه هوا با هم برابر فرض شود (2-17): بازده حرارتی سیکل بصورت زیر محاسبه می گردد: کار مصرفی کمپرسور - کار واقعی توربین = W_{net} = کار خالص واقعی

راههای اصلاح بازده و کار خروجی ویژه سیکل ساده برای اصلاح کار یک مولد قدرت با سیکل ساده می توان از روشهای زیر استفاده نمود.

اصلاح چرخه نیروگاه گازی (Brayton Cycle)

1- بازیابی حرارت

با گرم کردن اولیه هوا با استفاده از گرمای گاز خروجی توربین در مصرف سوخت صرفه جویی می شود. این روش را بازیابی حرارتی گویند. به دلیل اینکه بازده سیکل توربین گازی با بازیابی بیشتر از بازده سیکل ساده توربین گازی است، مصرف سوخت در این سیکل تا 30 درصد و حتی بیشتر کاهش می یابد.

2- اصلاح قدرت خروجی واحد توربین این عمل به روشهای زیر انجام می شود :

الف) گرم کردن مجدد انبساط کامل در توربین در دو یا چند طبقه حاصل می شود و پس از هر مرحله از انبساط گرم کردن مجدد صورت می گیرد.

ب) بالا بردن حداکثر دمای سیکل (دمای گاز ورودی توربین) این عمل به روشهای زیر انجام می شود:

1- استفاده از سوختی با کیفیت بهتر

PowerEn.ir



2- استفاده از مولد بهتر برای پره های توربین که بتواند دمای زیادتری را تحمل کند.

3- استفاده از روشهای خنک کردن پره ها

4- اصلاح بازده توربین که بستگی به اصلاح طرح آن دارد .

3- کاستن از قدرت مصرفی کمپرسور این عمل به راههای زیر انجام می گیرد.

الف) خنک کردن میانی: کار مصرفی کمپرسور با خنک کردن هوا در فاصله بین طبقات کمپرسور کاهش می یابد.

ب) بالا بردن بازده کمپرسور: این عمل با اصلاح طرح کمپرسور قابل اجرا است.

ج) تزریق آب: با تزریق آب در دهانه ورودی کمپرسور، کار خروجی و بازده در اثر جرم اضافی آب تزریق شده و افزایش دانسیته هوا و خشک کردن هوا زیاد می شود.

برای اصلاح و توسعه راندمان و خروجی این نیروگاه بایستی قسمتهای زیر به سیستم اصلی اضافه شود:

. Regeneration

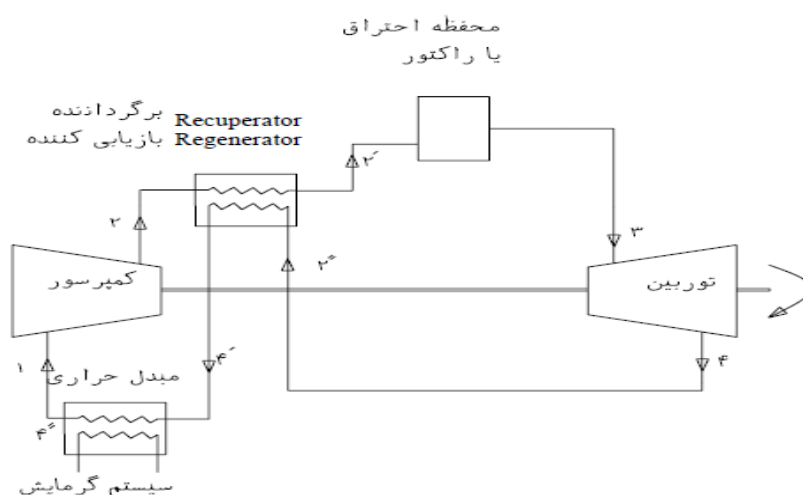
2. Compressor Intercooling

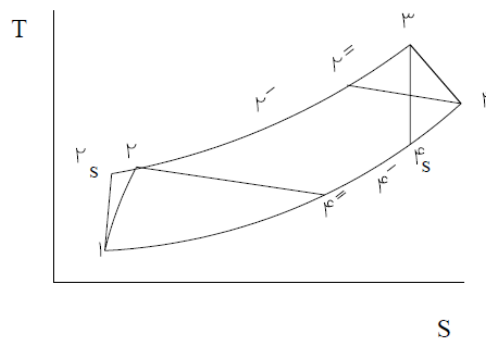
3. Turbine Reheat

4. Water Injection -

الف) بازیابی یا دریافت مجدد (Regeneration)

این بخش همانند چرخه توربین بخار، وظیفه وارد نمودن گرمای خروجی از توربین را به چرخه نیروگاه دارد انجام می شود. عمل بازیابی حرارت برای $T_4 > T_2$ و عمل گرمایش در مرحله ۲ در چرخه Brayton معمولاً پیش گرمایش گاز متراکم شده در قسمت ۲ نیز توسط درجه حرارت خروجی توربین در قسمت ۴ انجام می شود. شکل زیر نیروگاه را در حالت چرخه بسته و تغییرات داده شده نشان می دهد. این تغییرات برای حالت چرخه باز (با هوا) نیز مناسب است .

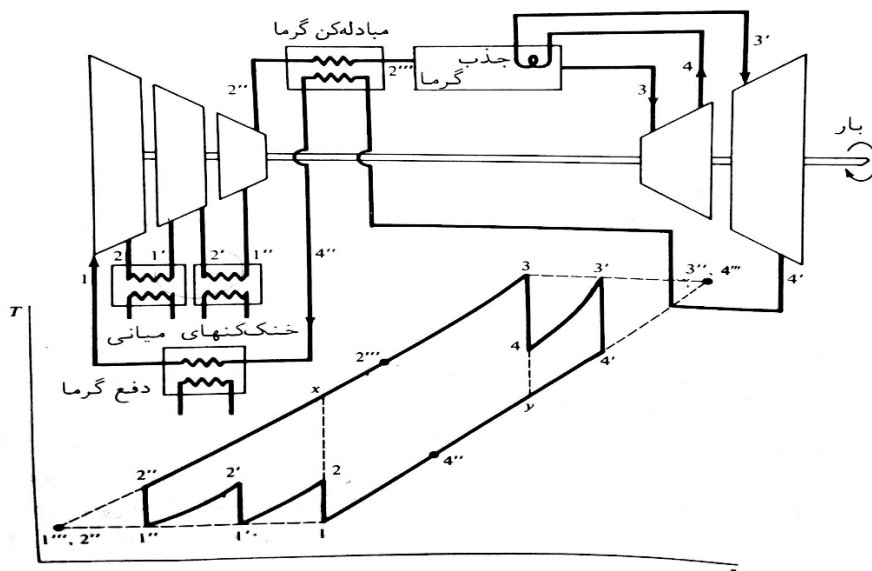




ب) کمپرسور با سرمایش میانی (متقابل یا زنجیره ای) (Compressor Intercooling)

مطابق شکل زیر گاز از 1 تا 2 متراکم شده و در $1'$ سرد می شود (در حالت ایده ال و در فشار ثابت). سپس گاز دوباره تا $2'$ متراکم شده و در $1''$ سرد می شود، $\left\{ \begin{array}{l} T_1 = T_1' = T_1'' \\ T_2 = T_2' = T_2'' \end{array} \right.$ متراکم می گردد. در حالت ایده ال بنابرین کمپرسور از سه قسمت (مرحله) تشکیل یافته است. واحدهای خنک کننده میانی (Intercoolers) می توانند با هوا یا آب خنک شوند

نمودار T-S یک سیکل بسته ایده آل برای تون با دومرحله خنک کردن میانی و یک مرحله باز گرمایش و یک دستگاه مبادله گرما





بنابراین به ازاء معین مقدار کار مستقیماً با دما متناسب است، لذا کمپرسور که بین حالت 1 و 2 کار می کند با افزایش دما کار بیشتری مصرف خواهد کرد از آنجا که کار کمپرسور منفی است افزایش آن کار خالص سیکل را کاهش می دهد، بهتر است در حالی که می خواهیم به فشار P_2 برسیم $T = T_2 - T_1$ را در حد پایین نگاه داریم، این کار را از لحاظ نظری می توان با خنک کردن متوالی گاز متراکم و نگهداشتن دمای آن در حد T_1 انجام داد. این روش با استفاده از خط بریده پایینی در شکل نشان داده شده است. اما این کار از لحاظ فیزیکی امکان پذیر نیست و خنک کردن گاز را بین دو مرحله تراکمی

می توان انجام داد. در شکل بالا برای سادگی کار فرآیند تراکمی و انبساطی بصورت ایده آل (آیزوتروپیک) نشان داده شده اند و در آن دو مرحله خنک کن میانی دیده می شوند. گاز پس از تراکم نسبی از 1 تا 2 خنک می شود و دمای آن در حالی که فشارش ثابت است (در فرآیند ایده آل) به دمای نقطه 1 می رسد. مجدداً گاز تا 2 متراکم می شود و دمای آن به T_2 می رسد. تا 1 خنک می شود و سرانجام تا 2 متراکم می شود. در فرآیند ایده آل است تحت این شرایط کمپرسور از سه قسمت تشکیل می شود که کار مصرفی هر قسمت یکسان است. می توان نتیجه گرفت که با بالا نگهداشتن دمای گاز در توربین می توان کار توربین را افزایش داد. این فرآیند به وسیله خط بریده افقی شکل نشان داده شده است.

(Turbine Reheat). پیش گرمایش توربین

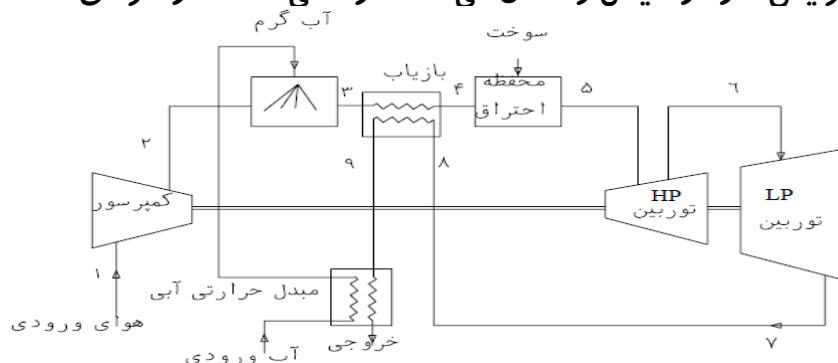


با حفظ درجه حرارت گاز توربین در مقدار زیاد می توان راندمان توربین را افزایش داد. همچنانکه

در شکل بالا دیده می شود با گرمایش پیوسته گاز می توان از انبساط آن در توربین استفاده نمود. این کار با خطوط نقطه چینی در منحنی T-S دیده می شود. (دقت کنید هرگاه عملیات سرمایش و گرمایش در درجه حرارت ثابتی انجام شده و بقیه چرخه نیز ایده ال باشد در آن صورت چرخه ایده ال اریکسون Ericsson را خواهیم داشت که مشابه راندمان چرخه کارنو Carnot بین درجه حرارت های T_1 و T_3 است در حالت عملی گرمایش پیوسته مقدور نبوده و به صورت پله ای و مرحله ای انجام می شود. در شکل بالا توربین با دو قسمت و یک طبقه پیش گرمایش دیده می شود

دو دستگاه توربین نشان داده شده است که بین آنها یک مرحله بازگرمایشی قرار دارد. گاز در قسمت فشار بالای توربین از 3 تا 4 منبسط می شود و آنگاه در ضمن یک فرآیند فشار ثابت (در حالت ایده آل) تا حالت 3 باز گرم می شود و بالاخره در قسمت فشار پایین توربین تا 4 انبساط پیدا می کند. مساحت مقدار افزایش کار در سیکل را نشان می دهد در حالی که مقدار گرمای داده شده

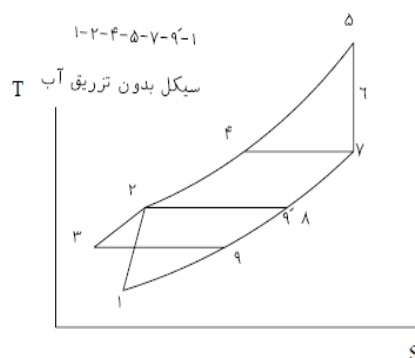
در



به سیکل به اندازه می

یک سیکل مطابق شکل

تزریق آب (jection)





تزریق آب روشی برای افزایش راندمان و قدرت خروجی نیروگاه گازی است. در طی فرآیند متراکم سازی هوا، آب به هوای متراکم شده افزوده می شود و با افزایش دمای گاز (هوا) آب موجود در آن نیز بخار می شود. در آن صورت گرمای ناشی از بخار، درجه حرارت هوای متراکم شده را کاهش می دهد و در نهایت اثری همانند واحدهای خنک کننده میانی (Intercoolers) دارد. تزریق آب در توربین های گازی با واحدهای بازیاب (Regeneration) بسیار سودمند است، اگر تزریق آب بین کمپرسور و واحد بازیاب انجام شود. در چرخه نیروگاه گازی با تزریق آب، هوای متراکم شده در ۲ در فشار تقریباً ثابت با نقطه ۳ سرد می شود مقدار کمی. افزایش در فشار باعث انتقال سیکل از ۲ به ۳ می شود. هوای متراکم شده سرد در نقطه ۳ در واحد بازیاب پیش گرمایش شده و به درجه حرارت نقطه ۴ می رسد. در این حالت نیاز است تا هوای مرطوب حرارت داده شده از نقطه ۳ به ۲ برگردد. این کار با استفاده از گرمای خروجی بین ۸ و ۹ انجام شده و باعث ایجاد تلفات در سیکل می شود. همچنان که نشان داده شده است آب ورودی به سیستم ممکن است قبل از تزریق به هوای متراکم شده قبلاً توسط دمای گاز خروجی در ۹ پیش گرمایش شود.

تزریق آب به سیکل توربین گازی روشی است که به وسیله آن می توان قدرت خروجی سیکل را به طور محسوسی و بازده آن را به طور جزئی افزایش داد. در بعضی از هواپیماها و در بعضی از واحدهای ثابت، آب به داخل کمپرسور تزریق می شود و ضمن افزایش دمای هوا در فرآیند تراکمی به صورت بخار در می آید از این رو گرمای تبخیرموجب کاهش دمای هوای متراکم می شود و در نتیجه آن کار کمپرسور کاهش می یابد. این اثر در واقع مشابه اثر خنک کن میانی است (که قبلاً مورد بررسی قرار گرفت). تزریق آب به سیکل توربین گازی که دارای مبادله گرما است در صورتی که آب بین کمپرسور و مبادله گرما تزریق شود سودمندتر است [2]. این روش را می توان به وسیله پاشش برای سیکل های تک محوری و دو محوری به کار برد. این روش در شکل بالا آب بین کمپرسور و مبادله گرما نشان داده شده است.



. در نمودار 4 و 9 به ترتیب عبارتند از هوای متراکم خروجی و گازهای خروجی از مبادله ی گرما.

دمای هوای متراکم در نقطه 2 در نتیجه تزریق آب ضمن یک فرآیند تقریباً با فشار ثابت به دلیل تبخیر آب از مقدار مربوط به 2 تا دمای 3 کاهش می یابد (فشار به اندازه کمی از 2 تا 3 افزایش پیدا می کند) آنگاه هوای متراکم خنک شده با حالت 3 وارد مبادله کن گرما

می شود و در آن تا دمایی تقریباً برابر با دمای 4 پویش گرم می شود. (عملاً دما به مقدار جزئی کمتر از دمای 4 است). گرمای اضافی لازم برای گرم کردن هوای مرطوب از 3 تا 2 از گازهای خروجی و ضمن فرآیند 9 تا 9 تأمین می شود. که در غیر این صورت این انرژی از دست می رفت از این رو دمای نقطه 9 دمای جدید گازهای خروجی محسوب می شود. آب ورودی ممکن است پیش از تزریق به وسیله گاز در نقطه 9 پیش گرم شود مطابق شکل بالا و همچنین ممکن است این عمل صورت نگیرد. آب به اندازه ای می توانند تزریق شود که هوای متراکم در دمای T_3 به صورت اشباع درآید. بیش از این مقدار آب موجب می شود که مایع آب توسط هوا حمل شود و با این عمل هر چند که کار تا حدی افزایش می یابد ولی بازده در مقایسه با حالت هوای اشباع کاهش پیدا می کند و مشکلاتی مانند پرکار کردن مبادله کن گرما، اختلاف دمای شدید موضعی و تنش های گرمایی ناشی از آن بوجود می آید. افزایش کار نیروگاه در نتیجه تزریق آب تا حدی در نتیجه افزایش کار توربین به علت افزایش آهنگ جرمی جریان هوا و بخار آب از توربین است، بدون اینکه کار کمپرسور افزایش یافته باشد. مقدار افزایش جرم عبارت است از تفاضل جرم بخار اشباع در نقطه 3 شکل بالا و جرم بخار آبی که از اول در هوا در نقطه 1 موجود بود.

۳- طراحی نیروگاه های گازی برای درجه حرارت بالاتر

کاملاً آشکار است که نیروگاه های با توربین گازی لازم است با درجه حرارت های ورودی بالا کار کنند تا در خروجی آن راندمان بالا حاصل شود. بنابراین لازم خواهد بود در عین حال از توربین های با فشار بالا نیز استفاده می شود که دارای قیمت های بالاتری نسبت به توربین های فشار پایین

PowerEn.ir



هستند، ولی اختلاف در سوخت مصرفی باعث برگشت سرمایه این توربین ها خواهد بود. فناوری

فعلی در حال ازدیاد درجه حرارت توربین ها از ۱۰۹۰-۱۲۶۰ به بالا و حتی تا ۱۵۴۰ باشد. این توربین ها دارای درجه حرارت های بالاتری نسبت به توربین های مدرن امروزی با درجه حرارت ۵۴۰-۶۵۰ هستند. محدوده درجه حرارت فعلی مناسب توربین ها برای پیک بار است و توربین ها با بازیاب مناسب چرخه هایی برای سرویس دهی به بارهای اساسی هستند. چنین نیروگاه هایی می توانند با نیروگاه های چرخه ترکیبی مقایسه شده و رقابت نمایند. برای کار در محدوده توربین های گازی با درجه حرارت زیاد بایستی مسائل زیر توجه و دقت زیاد شود

1- Materials

2 - Cooling

3- Fuels (Materials)

مواد):

اجزای تشکیل دهنده توربینهای گازی با درجه حرارت بالا شامل بدنه، پره های ثابت و متحرک و نازلها می باشند که بایستی در مقابل تنش های حرارتی، فیزیکی و شیمیایی مقاومت داشته باشند. عناصر مزاحم در این حالت عوامل خوردگی، اکسیداسیون و خستگی حرارتی می باشد. مقاومت حرارتی و درصد مواد ریخته گری شده نیز دو عامل مهم هستند. آلیاژهای کبالت در پره های ثابت طبقه اول استفاده می شوند که قابلیت تحمل درجه حرارت زیاد و تنش متوسط را دارند. در حال حاضر برای این قسمت آلیاژهای شکل نیز توصیه می شود. برای پره های متحرک نیز آلیاژهای کبالت با درصد کروم بالا استفاده می شود. از عناصر دیگری که برای پره های ثابت توصیه می شود مواد سرامیکی هستند که تنها عامل محدود کننده آن فناوری ساخت و ایجاد خواص مکانیکی لازم در آنها است

۲-۳-۴ سرمایش (Cooling):

PowerEn.ir



اکثر توربین ها بدون سیستم سرمایش کار می کنند. اما با افزایش درجه حرارت توربین ها نیاز به

سیستم سرمایش احساس می شود. تنش های حرارتی در پره های متحرک توربین به وسیله سرعت زیاد چرخشی، توزیع حرارت در سطوح مقطع پره ها، نیروی ضربانی و استاتیک ایجاد می شود. تنش های حرارتی دیگر در هنگام راه اندازی، خاموش کردن و تغییر بار نیروگاه صورت می گیرد. بنابراین تنش های حرارتی تحت عملیات استاتیک و گذرا واقع می شوند. در عمل برای کاهش خستگی و فرسودگی پره ها درجه حرارت آنها بایستی زیر ۹۰۰ باشد. برای چرخش سیال خنک کننده پره ها، سوراخ هایی در آنها ایجاد می شود. این گونه پره ها نسبت به پره های توپر سبک تر بوده و دارای توزیع درجه حرارت یکنواخت خواهند بود. سیال سرد کننده، آب یا هوا می تواند باشد.

3-4-3 خنک کاری هوا (Air Cooling): ضرورت خنک کردن هوای ورودی کمپرسور با افزایش دمای محیط و ارتفاع، بازده و قدرت خروجی توربین های گازی و سیکل های ترکیبی به شدت پایین می آید. با توجه به اینکه در اثر مناطق دارای توربین گازی یا سیکل ترکیبی نصب شده در کشور دمای محیط بالا می باشد، بنابراین این واحدها به علت کاهش بازدهی، سوخت بیشتری مصرف خواهد نمود. همچنین با توجه به اوج مصرف انرژی الکتریکی در تابستان، کم شدن قدرت خروجی ممکن است مشکلاتی را در تأمین انرژی الکتریکی لازم در کشور ایجاد کند و موجب خساراتی بر اقتصاد کشور گردد. در واقع سرمایه های ملی در اثر این مسأله از دست می رود.

خنک کاری هوا در توربین های گازی به 4 طریق انجام می پذیرد:

- 1- خنک کاری میانی
- 2- خنک کاری تبخیری
- 3- خنک کاری به وسیله سیستم ذخیره سرما
- 4- خنک کاری هوای ورودی به کمپرسور به وسیله چیلر.



خنک کردن هوای ورودی به کمپرسور به دلیل اینکه یک فرآیند مستقل می باشد بیشتر در توربین های گازی در حال بهره برداری مورد توجه قرار می گیرد. این روش بدون هیچگونه تغییر یا اصلاحی در اجزاء اصلی واحد توربین گازی و با رعایت برخی نکات فنی بدون هیچگونه اثرات منفی قابل اجرا است. محل نصب تجهیزات مربوط به آن تقریباً مستقل و جدا از اجزاء اصلی سیکل توربین گاز می باشد و در کل طرح و اجزاء ساده تری دارد. با این حال تمام روشهای خنک کردن هوای ورودی در توربین های گازی در حال طرح و برنامه ریزی نیز قابل طراحی و اجراء است. هریک از روشهای خنک کردن هوای ورودی با توجه به هزینه اولیه، هزینه عملیاتی و تعمیرات و تأثیر آن بر مقدار افزایش قدرت خروجی و بازدهی، انتخاب می شوند. در زمان طراحی به دلیل عمر طولانی تر سیکل، می توان از روشهای پرهزینه تر و مؤثرتری استفاده نمود. روشهای سرمایش هوای ورودی به کمپرسور اساساً به سه دسته اصلی تقسیم می شود. اول روشهای تبخیری می باشد. در این روش آب در کانال هوای ورودی به کمپرسور تبخیر می گردد. بدین ترتیب گرمای نهان تبخیر آب از هوا گرفته شده هوا خنک می شود. محدودیت اساسی این روش کاهش دمای ورودی، حداکثر تا دمای نقطه اشباع بخار یا نقطه شبنم است و مزیت آن هزینه اولیه و عملیاتی کمتری باشد. دومین روش، روشهای تبرید مکانیکی یا جذبی است. در روش تبرید مکانیکی از یک چیلر ضربه ای یا سانتریفیوژ کمک گرفته می شود تا به وسیله یک کویل خنک کن یا با قرار دادن اوپراتور در مسیر هوا، هوای ورودی به کمپرسور را خنک نمود. هزینه اولیه و خصوصاً هزینه عملیاتی بالا و مصرف انرژی زیاد از معایب این روش می باشد و توانایی خنک کردن تا 5°C از مزایای این روش است. در روش تبرید جذبی از یک چیلر جذبی برای خنک کردن هوای ورودی به کمپرسور استفاده می شود. هزینه اولیه بالا، هزینه عملیاتی پایین و مصرف انرژی با توجه به اینکه می توان هوا را تا 7°C خنک کرد از ویژگی های این روش می باشد. سیال در چیلر جذبی (آب) خود تا 4°C سرد شده و قادر است هوا را فقط تا 7°C خنک کند.



3. روش سوم:

روش ذخیره سازی انرژی است از این روش برای تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز در زمان پیک مصرف برق استفاده می شود. در ساعت هایی که مصرف برق کم است از انرژی الکتریکی تولیدی اضافی برای تولید یخ یا خنک کردن آب استفاده می شود. در ساعت های پیک از این یخ یا آب خنک تولید شده برای سرد کردن هوای ورودی به کمپرسور تا دمای 5°C استفاده می شود و توان خروجی توربین گازی و بازدهی آن را بالا می برد. نکته قابل توجه این است که با کاهش دمای هوای ورودی به کمپرسور در حد پایین تر از 5°C امکان تشکیل قطرات آب وجود دارد

خنک کاری با آب (Water Cooling)

: وقتی درجه حرارت پره ها بیشتر از 1150 شود خنک کاری سریع با هوا جوابگو نبوده و هوای خنک کننده به سمت محفظه احتراق بای پس می شود. در این حالت پس از رسیدن به درجه حرارت اشباع پیشنهاد می شود که از درجه حرارت 1315 به بالا از آب برای خنک کاری استفاده شود با این نوع خنک کاری نیازی به عبور جریان هوا از پره ها نمی باشد. در طراحی توربین ها با خنک کاری آب، طراحی ایرودینامیکی مهم بوده و در عرض مسیر عبور هوا از پره ها به کمترین مسیر تقلیل می یابد. در این حالت پره های ثابت یا نازلها برخلاف خنک کاری با هوا شامل مسیرهای سری و موازی می باشد. آب از این مسیرها به صورت حلقه بسته در جریان خواهد بود. آب ورودی به سیستم بایستی دارای گرما و فشار کافی باشد تا شوک گرمایی به توربین وارد نشود و نیز از جوش کردن آب جلوگیری شده و آب فقط در یک فاز باشد. پره های متحرک نیز توسط سیستم حلقه باز با آب خنک می شوند. آب با فشار کم به پره ها برخورد کرده و حتی به حالت جوش در می آید ولی بخار حاصله از پره ها دور نگه داشته می شود تا با جریان گاز داغ ترکیب گردد. آب بخار نشده نیز بالاخره در یک مخزن جمع آوری می شود



۳ سوختها (Fuels):

همانطور که گفته شد بالا بردن درجه حرارت احتراق توربین گازی باعث افزایش راندمان و قدرت خروجی توربین و کاهش سوخت احتراقی می شود. شدت فرسودگی توربین با افزایش درجه حرارت زیاد می شود و بنابراین توربین ها از سوخت های با مواد باقیمانده عمل می کنند که در درجه حرارت های زیر ۱۶۵۰ استفاده می کنند تا از مسئله فوق جلوگیری شود. دفع خاکستر سوخت در طی عملکرد تناوبی و دوره ای نیروگاه که در آن گاز در حالت انبساط و انقباض باشد مسئله مهمی نبوده اما در عملکرد ثابت (Steady Operation) نیروگاه مسئله جدی به شمار می رود. خوشبختانه پیشرفت در این زمینه به سوی استفاده از سوخت های ارزان برای توربین های گازی است. برای جداسازی آلکالیدها از سوخت آن را با آب شسته و در مخلوط آنها از جداکننده های الکترواستاتیکی قرار می دهند برای کاهش خوردگی توربین نیز از مواد اضافه کننده (مثلاً منیزیم) و مواد حفاظتی استفاده می شود.

بررسی زیست محیطی

خروجی هر نیروگاه از نظر زیست محیطی باید بررسی شود و طراحی آن طوری باشد که آیین نامه های مربوط، از این نظر به راحتی و به سادگی قابل اجرا باشد، حتی اگر در بعضی از موارد، رعایت مفاد آیین نامه، هزینه بر باشد. عموماً محصولات حاصل از نیروگاه - که محیط زیست را به نحوی متأثر می کنند - به قرار زیر است:

الف - محصولات احتراق (دودهای حاصل از احتراق و خاکستر)؛

PowerEn.ir



ب- حرارت تلف شده؛

ج- اغتشاش یا صدا.

به دلیل آثار مهم تزریق آب و بخار در محصولات احتراق، فقط بند الف مورد بررسی قرار گرفته و به بند ب و ج به طور مختصر اشاره می شود. لازم است ذکر شود که بر اثر تزریق آب، حرارت تلف شده و تولید صدا نیز کاهش می یابد.

محصولات خارج شده از دودکش دارای ترکیبات زیر است:

C_nH_n , CO_2 , CO , NO_2 , NO , O_2 , H_2 , H_2O (تیدروکربورهای نسوخته)، SO_2 , SO_3 گرد و غبار، خاکستر، بعضی از ترکیبات فلزی و غیره. سه محصول H_2O , N_2 و O_2 برای محیط زیست ضرری ندارند، اما سایر ترکیبات، آثاری منفی بر محیط زیست دارند. مقدار محصولات احتراق یا مقدار تمرکز آنها در دودهای خروجی دودکش، به تأسیسات نصب شده در نیروگاه و نوع سوخت مصرفی بستگی دارد. لازم است ذکر شود که در بعضی از نیروگاهها به ویژه نیروگاههای بخاری با سوخت زغال سنگ آیین نامه های زیست محیطی، نصب و استفاده از Precipitator را (دستگاههایی جانبی است که در مسیر دود خروجی قرار گرفته و تمامی ترکیبات مضر را تجزیه و جدا می کند تا ترکیبات خارج شده از دودکش در حد مجاز آیین نامه باشد) اجباری کرده است. این آیین نامه ها در اغلب کشورهای صنعتی رعایت می شود. از طرف دیگر طراحان و سازندگان نیروگاه، سعی در افزایش کارایی سیکل نیروگاهی دارند تا بتوانند از انرژی سوخت، حداکثر استفاده را نموده و مقادیر



نیدروکربورهای نسوخته را به حداقل برسانند که در این صورت، محصولات خروجی از دودکش هر

واحد انرژی الکتریکی، کاهش می یابد. در نیروگاههای با واحدهای توربین گازی و سیکل ترکیبی که کارایی بالایی دارند، محصولات خارج شده از دودکش، برای حالت احتراق کامل برآورد می شود. در این واحدها، به دلیل بالا بودن نسبت هوا به سوخت، مقدار ترکیبات CO یا نیدروکربورهای نسوخته به حداقل می رسد. در ضمن، بالا بودن نسبت مقدار هوا به سوخت، آلودگی با تمرکز کمتری را به وجود می آورد که حائز اهمیت است. به همین دلیل، نیروگاههای شامل تجهیزات توربین گازی یا سیکل ترکیبی را معمولاً در نزدیکی مناطق پرجمعیت نصب و استفاده می کنند. بویژه اگر سوخت مصرفی گاز طبیعی باشد که در این صورت، مقدار مواد آلاینده اندک بوده و فقط گازهای NO₂ و NO حاصل از واحد، آثاری منفی بر محیط زیست خواهد داشت. این نوع گازها در جو، اسید نیتریک (NO₃H₂) تشکیل داده همراه با اسید سولفوریک (SO₄H₂)، بارانهای اسیدی به وجود می آورند که آثار نامطلوبی را از جنبه های مختلف به دنبال دارد.

2-5 کاهش دادن تولید NO_x

NO_x حاصل از احتراق، فقط در دماهای بالا تولید می شود. شکل (1-5) غلظت NO_x را که با افزایش دما به صورت تصاعدی افزایش یافته است، نشان می دهد. البته مدت زمان بسیاری زیادی طول می کشد تا منحنی به این سطح تعادل از نظر علت برسد؛ در محفظه احتراق توربین گازی، شرایط طور



دیگری است. اولاً احتراق به صورت کامل انجام می شود، ثانیاً مدت زمان لازم برای باقی ماندن در

دمای بالا، بسیار کم است. عوامل اصلی مؤثر در تولید NO_x در محفظه احتراق، به قرار زیر است:

الف- نسبت هوای اضافی احتراق (λ) :

ب- دمای هوای خروجی کمپرسور که به نسبت فشار بستگی دارد؛

ج- مدت زمان احتراق.

شکل (2-5) را ملاحظه کنید. با توجه به این که دمای احتراق در شعله بسیار بالا بوده و این دما نیز

به نسبت هوای اضافی بستگی دارد، لذا حداکثر مقدار در $\lambda = 1$ روی می دهد. رابطه غلظت NO_x با

نسبت هوای اضافی (λ) و نسبت فشار کمپرسور در شکل (3-5) نشان داده شده است. نقطه حداکثر

منحنی در مقدار λ حدود 1/2 قرار دارد.

برای دماهای پایین تر هوا، دمای شعله بالاتر بوده و اکسیژن کمتری برای تشکیل NO_x وجود دارد

(زیرا بیشتر اکسیژن صرف احتراق می شود). برای مقادیر بالاتر دما به دلیل وجود هوای بسیار

بیشتر از اندازه مورد نیاز، دمای شعله کاهش می یابد (خنک می شود) و با کاهش دما، تشکیل NO_x

نیز کاهش می یابد. لازم است ذکر شود که نسبت هوای اضافی در دماهای پایین، اگرچه از نظر

تشکیل NO_x حائز اهمیت است، اما به دلیل تولید مقادیر زیادی CO و تشکیل ئیدروکربورهای

نسوخته، کارایی توربین گازی به شدت کاهش می یابد. معمولاً در توربین گازی، احتراق با نسبت

هوای اضافی حدود یک، در حداکثر توان تولید بهره برداری انجام می شود. این هوای اضافی موجب

PowerEn.ir



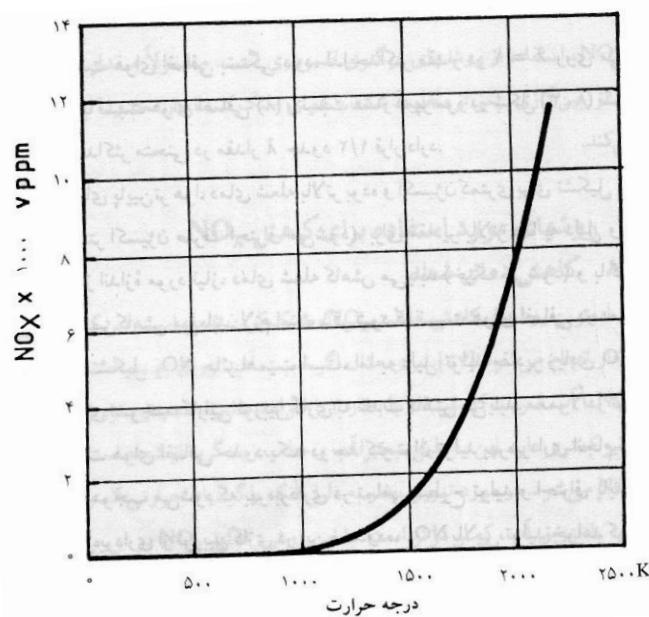
می شود که بهره برداری در تمامی سطوح تولید و احتراق پایدار، ضمانت شود. البته بهره برداری از

توربین گازی در این محدوده، NO_x بالایی تولید خواهد کرد. به منظور کاهش NO_x ، استفاده از

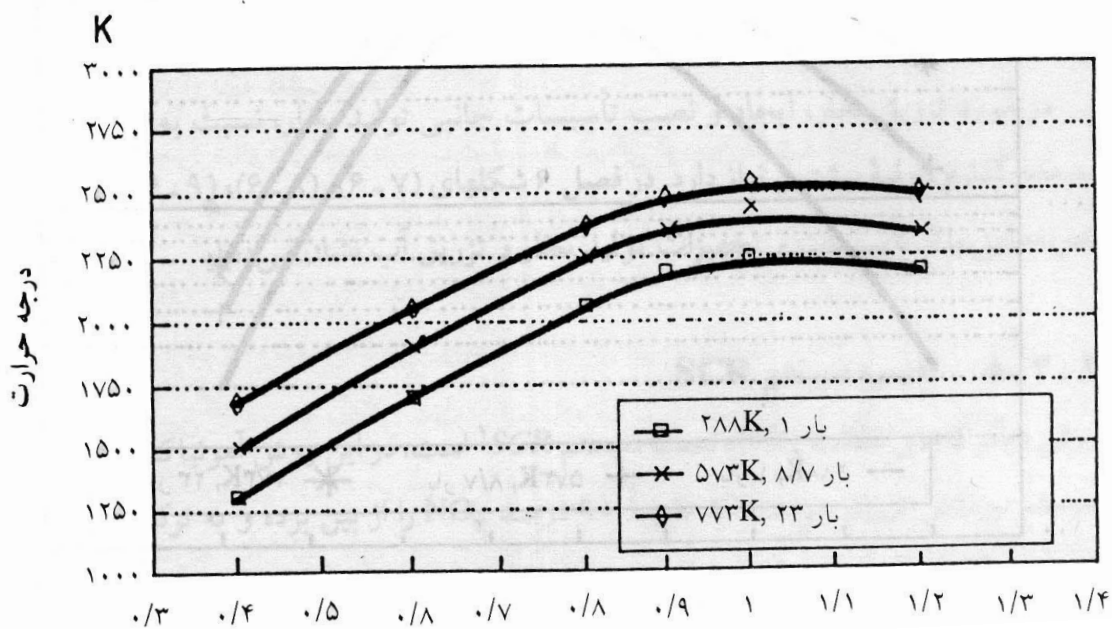
روشهای دیگری ضروری است. معمولاً مقدار NO_x در گازهای خروجی توربین گازی، پس از مخلوط

شدن با هوای خنک کننده، در محدوده 120 تا 300 ppm تغییر می کند

شکل (5-1) تغییرات NO_x با درجه حرارت دود

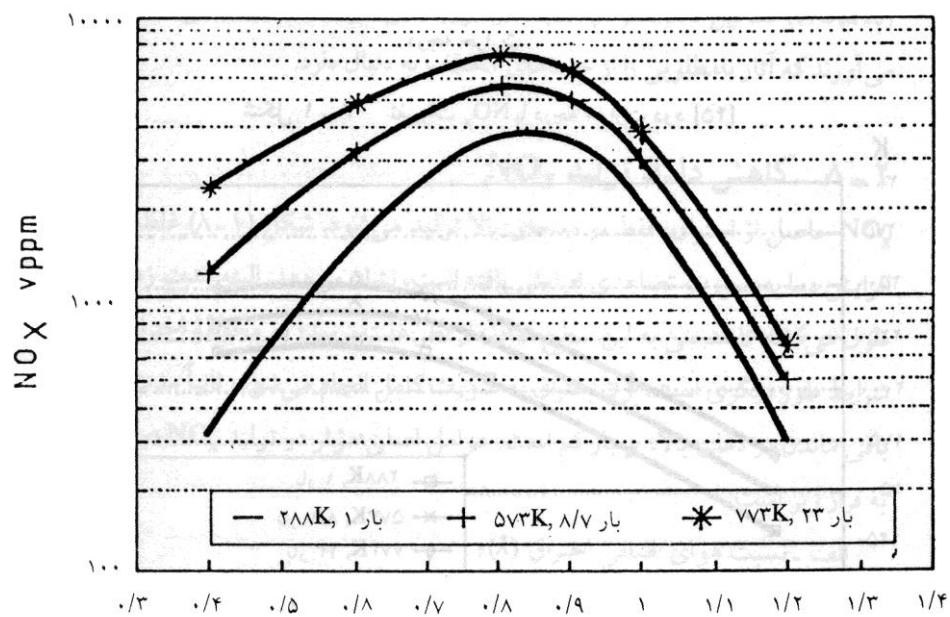


شکل (5-2) تغییرات درجه حرارت شعله با نسبت هوای اضافی





با نسبت هوای اضافی و نسبت فشار کمپرسور NO_x شکل (3-5) غلظت



روشهاي مورد استفاده براي کاهش NO_x

PowerEn.ir



کاهش دمای شعله

یکی از ساده ترین روشهای کاهش غلظت NO_x ، خنک کردن شعله است. این کار، با تزریق آب یا تزریق بخار انجام می شود. برای مثال اگر نسبت آب تزریق به سوخت برابر یک باشد، تولید NO_x با آب ضریب کاهش 5 و با بخار 3 را خواهد داشت. همچنین تزریق بخار در مقایسه با آب تأثیر کمتری دارد. این به دلیل تبخیر آب و جذب زیاد گرما از شعله است که باعث کاهش تولید NO_x می شود. در مورد تزریق بخار به دلیل آنکه با گرادیان حرارتی کمتری روی می دهد، در مقایسه با تزریق آب، کمتر مؤثر است. با این روش، تولید NO_x در توربین گازی یا سیکل ترکیبی با سوخت گاز طبیعی، تا سطح 40 ppm کاهش می یابد. لازم است ذکر شود که این مقدار در توربینهای گازی جدید، در بعضی موارد تا 25 ppm نیز قابل کاهش است. نکته ای مهم در طرح تزریق آب، هزینه بر بودن ذخیره سازی آب تصفیه شده مورد نیاز است که در محاسبات اقتصادی باید در نظر گرفته شود.

در مورد تزریق بخار، ایجاد و نصب تأسیسات جانبی تولید بخار، نسبت به تزریق آب، به سرمایه گذاری اولیه بیشتری نیاز دارد.

نصب سیستم SCR

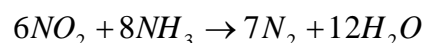
PowerEn.ir



روش دیگر کاهش غلظت NO_x ، نصب سیستم SCR است. در این روش آمونیاک (NH_3) را در

سیستم دودکش تزریق می کنند که تقریباً 90 درصد NO_x را از بین برده و به ترکیبات دیگری

تبدیل می کند. واکنش شیمیایی در این روش به قرار زیر است:



صحت این روشها از نظر فنی ثابت شده اما دارای نقاط ضعف زیر است:

الف) هزینه های سرمایه گذاری بالاست (تقریباً 20 درصد کل قیمت توربین گازی)؛

ب) هزینه های جابه جایی و جایگذاری کاتالیست زیاد است و عمر آن حدود 4 تا 8 سال تخمین زده می شود؛

ج) نصب کاتالیست در محل مخصوص، با توجه به درجه حرارت بین 300 تا 400°C باید انجام شود؛

د) استفاده از آمونیاک ضروری است؛

ه) به دلیل افت فشار در مسیر گاز، کارایی کمی کاهش می یابد.

استفاده از تزریق آب یا تزریق بخار با سیستم SCR، NO_x را به شدت کاهش داده و حتی به کمتر

از 10 ppm نیز می تواند برساند. در بعضی از نقاط امریکا یا ژاپن، آیین نامه ها و مقررات ویژه

PowerEn.ir



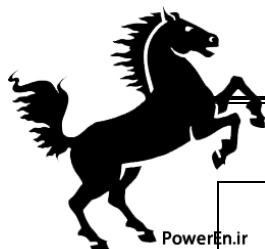
زیست محیطی شدیدی اعمال می شود که باید از سوی تولید کنندگان برق رعایت شود. در این

صورت استفاده از روشهای ذکر شده، تنها راه حل قابل اجراست.

حرارت تلف شده

یکی دیگر از موارد آلودگی محیط زیست توسط سیکل توربین گازی، حرارت داده شده به محیط از طریق خروجی توربین گازی است. این حرارت تلف شده را به انرژی الکتریکی نمی توان تبدیل کرد و در اغلب موارد، به هوای جو یا آب رودخانه یا دریا داده می شود. در مورد سیکل های ترکیبی، از حرارت داده شده به محیط زیست، تا اندازه ای جلوگیری شده و از حرارت تلف شده از خروجی توربین گازی، در سیکل بخاری استفاده می شود، لذا تلفات حرارتی کاهش یافته و تولید انرژی الکتریکی افزوده می شود. با وجود مطالب ذکر شده، سیکل ترکیبی به منبع سرد کننده (فشرده ساز) نیاز دارد که باید به نحوی خنک شود. این عمل توسط برج های خنک کننده یا آب رودخانه و دریا امکان پذیر است. بر طبق مقررات، مقدار حرارت داده شده به محیط بر مبنای درصد انرژی داده شده، از جدول زیر تعیین می شود:

سیکل بخاری	سیکل ترکیبی	توربین گازی	سیال خنک کننده
با بازیافت بدون بازیافت			
10-15	10-14	24-14	68-72 هوا



آب	0	28-38	52-56	44-52
----	---	-------	-------	-------

جدول 1-5 مقدار حرارت داده شده به محیط بر مبنای درصد انرژی داده شده

صدا

آلودگی صوتی محیط زیست آلودگی دیگری است که توسط توربین گازی ایجاد می شود. این آلودگی با استفاده از عایقکاری صوتی به راحتی قابل پیش گیری است. هزینه این کار برای تمامی نیروگاهها تقریباً یکسان است.

بهره برداری از توربین گازی

در این فصل، منظور از بهره برداری از توربین گازی، بیان دستورالعملهای شرکتیهای سازنده توربین نیست، بلکه رفتار عمومی یا نکاتی که نقش مهمی در بهره برداری از توربین گازی دارد، مطرح می شود.

وقتی توربین گازی نصب و تمامی تنظیمهای نهایی انجام و مشکلات فنی ناشی از نصب برطرف شد، واحد گازی را با نظارت عادی، برای مدت زمان طولانی می توان بهره برداری کرد. تجربه نشان می دهد که اگر از واحدهای گازی یا بخاری، با هوای تمیز، سوخت و روغن مناسب و در محدوده کاری طراحی شده، بهره برداری شود، زمان بین تعمیرات تا 10000 ساعت و تعمیرات اساسی تا 25000 ساعت افزایش می یابد. جایگزینی قسمتهای اساسی مانند پره های توربین پس از حدود 50000 تا 100000 ساعت انجام می شود و در صورتی که از واحد، به صورت تمام - ظرفیت استفاده نشود، این مدت زمان ممکن است طولانی تر نیز بشود. این مقادیر، برای واحدهایی با ظرفیت متوسط تا

PowerEn.ir



بزرگ معتبر است. برای واحدهای کوچکتر یا واحدهای مجهز به توربین هوایی، دقت بیشتری باید

مبذول شود. بنابراین برای بهره برداری بهینه و پیوسته، بازرسی و آزمایشهای دوره ای بین تعمیرات

اساسی ضروری است، البته بعضی از این بازرسیها، بدون خواباندن واحد نیز امکانپذیر است.

برای بهره برداری و تعمیرات مؤثر لازم است سیستمی برای ضبط اطلاعات هر قطعه در زمان نصب،

تهیه و پرونده سازی شود. با توجه به تجارب به دست آمده، به ویژه در سالهای اخیر، سیستمهایی

حفاظتی برای مقابله با خطای انسانی یا حفاظت در برابر اشکالات فنی یا شرایط اضطراری، طراحی و

استفاده می شود. در شرایط غیرعادی، سیستمهای حفاظتی عمل کرده و واحد را به طور خودکار و در

حالت سالم از مدار خارج نموده و آن را حفاظت می کند، یا صدمه وارد شده را به حداقل می رساند.

چند نمونه از شرایط اضطراری به قرار زیر است:

از میان رفتن شعله، اشکال در مسیر سوخت، افزایش ناگهانی جریان سوخت، خارج شدن کمپرسور

از منحنی کار، افزایش شدید سرعت، بی فشار شدن روغن روغنکاری و از میان رفتن سیستم کنترل.

البته باید ذکر شود که ممکن است سیستمهای کمکی، خود عامل ایجاد شرایط اضطراری شوند که با

توجه به این موضوع، افزایش قابلیت اطمینان سیستمهای کمکی از مواردی است که باید مدنظر قرار

گیرد.

راه اندازی توربین گازی

راه اندازی تمامی توربینهای گازی بدین صورت برنامه ریزی می شود که مراحل شروع به کار، اولاً

به طور منظم و با هماهنگی مخصوصی اجرا شده و به پیش می رود، ثانیاً انجام هر مرحله، به تأمین

PowerEn.ir

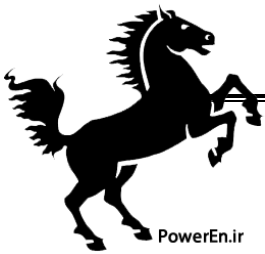


شرایطی بستگی دارد که از طرف سیستمهای مختلف فرمان داده می شود. هر گونه اشکال در اجرای

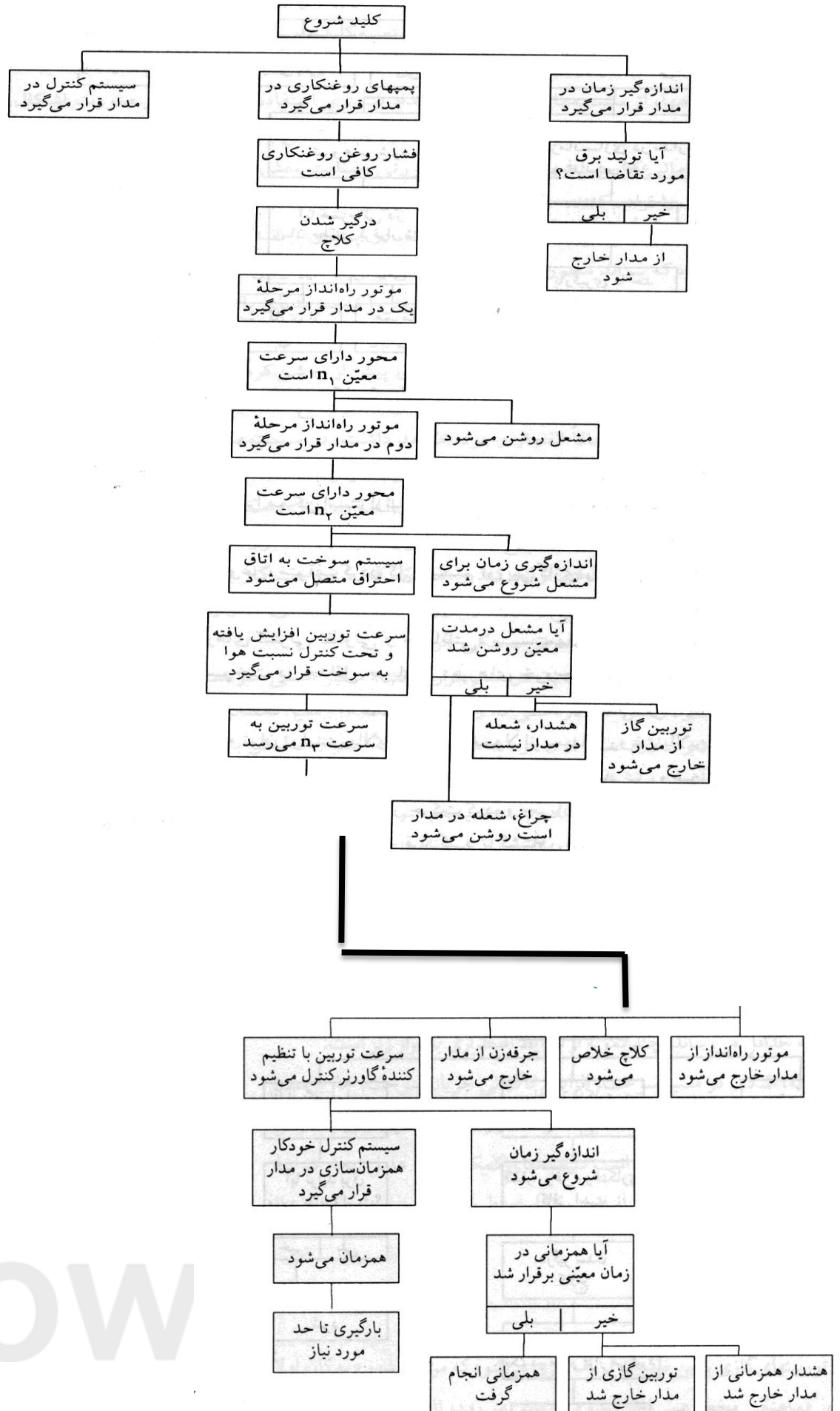
فرمانها، متوقف شدن راه اندازی توربین گازی را در پی دارد. اگرچه راه اندازی به روش دستی امکانپذیر است، اما راه اندازی خودکار ترجیح داده می شود تا اثر خطای انسانی به حداقل کاهش یابد. بیشتر توربینهای گازی جدید به روش خودکار یا حداقل نیمه خودکار راه اندازی می شود. سیستمهای حفاظتی در تمامی مراحل راه اندازی و بهره برداری، نظارت بر عملکرد صحیح اجزای توربین را بر عهده دارند. هر گونه اشکال فنی که به بی نظمی یا تغییر از شرایطی که توربین برای آن حالت طراحی شده است منجر شود، توسط سیستمهای نظارتی و حفاظتی، کنترل شده و در صورت ادامه تغییرات، توربین از مدار خارج می شود تا صدمات وارده به اجزا به صفر یا به حداقل برسد. شکل (1-6) ترتیب راه اندازی توربین گازی را در حالت کلی نشان می دهد. راه اندازی توربینهای گازی مختلف یا توربینهایی که برای شرایط کاری مختلفی ساخته می شوند، ممکن است تفاوتهایی با شکل (1-6) داشته باشد اما اصول اساسی بدون تغییر، همان گونه است که نشان داده شده.

n_1 و n_2 و n_3 سرعتهای معینی است که از طرف سازنده تعیین می شود تا در صورت رسیدن به آن سرعت، مرحله بعدی انجام شود.

شکل 1-6 مراحل راه اندازی توربین گازی در حالت کلی



PowerEn.ir





در هر دو حالت راه اندازی دستی و خودکار اول باید سیستمهای کمکی در مدار قرار گیرد تا شرایط بهره برداری مطمئن را ایجاد کند. برای مثال پمپهای روغنکاری باید روشن باشد. البته فقط روشن بودن پمپ کافی نیست زیرا ممکن است ارتباط بین موتور و پمپ روغنکاری قطع باشد. لذا لازم است فشار روغن نیز برای بهره برداری توربین گازی کافی باشد تا مراحل بعدی راه اندازی انجام شود. فشار نگرفتن روغن، متوقف کردن کل سیستم توربین گازی را به دنبال دارد. بعضی از کارهای مقدماتی راه اندازی باید از طریق سیستمهای مختلفی نظارت و کنترل شود، برای مثال باید: فشار روغن، مدارهای کنترلی نظارتی و حفاظتی، سیستمهای از کاراندازی توربین، موقعیت قرار گرفتن شیر سوخت در حداقل جریان و دمپهای خروجی، در حالت باز قرار گیرد. هر شرایطی که موجب جلوگیری از راه اندازی یا موجب صدمه دیدن سیستم شود باید برطرف شود. در توربینهای جدید که توان تولیدی بالایی دارند، معمولاً از پمپهای روغن بالابر استفاده می شود. این پمپها وظیفه دارند محور توربین را تا حدّ معینی بلند کنند تا روغن روغنکاری بتواند به راحتی در فاصله بین یاتاقانها و محور حرکت کرده و جریان پیدا کند. در این صورت لازم است این پمپها در ابتدای راه اندازی در مدار قرار گیرد تا گشتاور مورد نیاز برای چرخاندن محور توربین، از توان دستگاه راه انداز بیشتر نباشد یا یاتاقانها تحت وزن زیاد محور توربین، ساییده نشود. سازندگان معمولاً با تعبیه کلیدهایی



حفاظتی و نظارتی در سیستم، از بروز شرایط نامناسب بهره برداری جلوگیری می کنند. حتی بنا به

ضرورت یا اهمیت بعضی از دستگاهها، از سیستمهای حفاظتی با تعداد بیشتری استفاده می شود تا در صورت اشکال یا از میان رفتن یکی از سیستمهای حفاظتی، سیستم حفاظتی بعدی مسئولیت کنترل واحد را انجام دهد. زمانی که سیستمهای کمکی به صورتی رضایت بخش در مدار قرار گرفته و بتوانند شرایط مناسب را فراهم کنند، مراحل بعدی راه اندازی به ترتیب انجام شده و سیستمهای بعدی به نوبت در مدار قرار می گیرد. در توربینهای بزرگ، در ابتدای راه اندازی معمولاً از موتوری استفاده می شود که بتواند محور توربین را بچرخاند. پس از دور گرفتن محور از طریق موتور راه انداز و در مرحله بعد، از طریق چرخش (فعال) توربین (که سرعتهای بالاتر از سرعت سیستمهای کمکی دارد) سیستمهای راه انداز از مدار خارج می شود.

یکی از اقدامات حفاظتی توربین گازی پیش از روشن کردن مشعل، چرخاندن محور توربین گازی برای زمانی کوتاه است تا گازهای نسوخته و جمع شده تخلیه شود. این چرخش توربین اگر انجام نشود، احتمالاً انفجار وجود خواهد داشت. در سیستمهای خودکار، پس از اتمام زمان چرخش، جرقه زن آماده بهره برداری می شود. هرگونه اخلاص در تخلیه گازهای نسوخته از قرار گرفتن جرقه زن در مدار ممانعت می کند و ادامه راه اندازی امکانپذیر نخواهد بود.

جرقه زنهای معمولاً سه نوع است. الکتروود جرقه زن، الکتروود مخصوصی که گرم می شود بدون آنکه شعله یا جرقه ای تولید کند و شمعی که با سوخت گاز یا مایع کار می کند. البته خود شمعی که به



جرقه زن نوع یک یا دو مجهز است. انتخاب هر یک از این جرقه زن‌ها به طراحی محفظه احتراق و

سوخت مصرفی بستگی دارد.

پس از آنکه جرقه زن در مدار قرار گرفت، مسیر اصلی سوخت برای احتراق به مشعل باز می شود و سوخت در حالی که جرقه زن در مدار (روشن) است به محفظه احتراق وارد و شعله ور می شود. لازم است از وجود شعله در محفظه احتراق مطمئن باشیم. این کار توسط سیستمی به نام آشکارساز شعله انجام می شود. برای ایمنی بیشتر، معمولاً از دو آشکارساز شعله استفاده می شود. اگر شعله دیده نشد، سیستم سوخت به سرعت باید قطع شود، در غیر این صورت، سوخت جریان یافته و از طریق محفظه های احتراق کناری (در واحدهای با محفظه احتراق چند قسمتی) یا در تماس با قسمت‌های داغ، ناگهان شعله ور شده و احتمال سوزش بعضی از قطعات توربین یا انفجار را در پی خواهد داشت. ولتاژ در مدار جرقه زن معمولاً به مدت کوتاهی متصل است و در این مدت زمان معین اگر شعله روشن نشود، از مدار خارج می گردد. در صورت روشن شدن شعله، معمولاً سیستم آشکارساز شعله، فرمان قطع جریان مدار جرقه زن را صادر می کند. همچنین به دلیل بالا بودن دمای شعله در محفظه احتراق، لازم است برای حفاظت الکتروود جرقه زن، آن را به طور مکانیکی از محفظه احتراق خارج کنیم تا در دمای پایین تری نگهداری شود. انجام نشدن این کار، راه اندازیهای بعدی را غیرقابل اطمینان می کند. مدت زمان فعال بودن جرقه زن به دو نکته زیر بستگی دارد:

الف) اگر ولتاژ مدار، بالا باشد خرابی یا صدمه دیدن سیستم جرقه زن را در پی دارد؛

PowerEn.ir



ب) در مراحل اولیه شعله ناپایدار است و امکان خاموش شدن آن وجود دارد. لذا با توجه به این

دو نکته، مدت زمان بهینه برای فعال بودن مدار جرّقه زن تنظیم می شود.

پس از برقراری شعله پایدار، سوخت ورودی به محفظه احتراق و دمای گاز ورودی به توربین افزایش می یابد که پیامد این واکنش، افزایش توان توربین است. در توان پایین (یا دورهای پایین) توربین به تنهایی توانایی راندن کمپرسور را ندارد لذا ترکیب توربین و دستگاه راه انداز، کمپرسور را به حرکت در می آورد. معمولاً در سرعت یک سوم حداکثر سرعت، توان توربین برای راندن کمپرسور کافی است. از این مرحله به بعد، خارج شدن دستگاه راه انداز، خللی در بهره برداری توربین ایجاد نمی کند. فرمانی که از دستگاه سرعت سنج صادر می شود، دستگاه راه انداز را از مدار خارج می کند. پس از این مرحله، سیستم توربین گازی از نظر نیاز به سیستمهای کمک کننده جانبی مستقل شده و به افزایش تولید، تا حداکثر سرعت مجاز گاورنر، با افزایش تدریجی سوخت ادامه می دهد. کنترل دقیق از نظر نرخ افزایش سوخت ضروری است تا توربین بسیار داغ نشده یا کمپرسور از منحنی مشخصه خارج نشود. در ادامه کار سیستم کنترل با توجه به زمان یا سرعت محور توربین، ادامه نظارت و کنترل را بر عهده می گیرد تا کمپرسور فشار مورد نیاز هوا را به حدی افزایش دهد که فرمان نسبت هوا به سوخت، بتواند ادامه افزایش تولید را بر عهده گیرد. در سیستمهای خودکار، نسبت هوا به سوخت با توجه به درجه حرارت دود خروجی و دمای گاز ورودی به توربین کنترل می شود تا حداقل جریان سوخت برای بهره برداری بهینه اعمال شود. در سیستمهای دستی، اپراتور با توجه به دستگاههای اندازه گیری در میز کنترل، افزایش توان توربین را بر عهده دارد.



راه اندازی توربین گازی به روش دستی یا خودکار، نظارت دقیق بر سیستمهای مختلف را می طلبد.

این نظارت حتی در مواقعی که سیستم در حالت عادی بهره برداری است ضروری می باشد. فشار و درجه حرارت روغن، سرعت کمپرسور، سرعت توربین (اگر از کمپرسور جدا باشد) دمای دود خروجی، درجه حرارت ورودی توربین و غیره، باید به طور مرتب کنترل و نمونه برداری و ثبت شود. اگر افزایش سرعت کمپرسور متوقف شود و این، همراه با افزایش شدید دمای دود ورودی توربین و خروجی دودکش باشد، یقیناً کمپرسور در حال خارج شدن از منحنی مشخصه است. در این وضعیت، توربین به دلیل صدور فرمان افزایش دمای ورودی، متوقف می شود. بهتر است در چنین مواقعی توربین به طور دستی از مدار خارج شود.

اگر توربین گازی به پمپ روغنکاری از نوعی که توسط محور توربین رانده می شود مجهز باشد، در این صورت در دوره های پایین، پمپ کمکی روغن، وظیفه روغنکاری یاتاقانها را برعهده دارد و پس از آنکه سرعت توربین به حد کافی رسید، با افزایش فشار روغن پمپ کمکی، توسط فرمانی که از کلید فشار روغن صادر می شود، از مدار خارج می شود و پس از آن، روغنکاری برعهده پمپ روغن درگیر با محور توربین خواهد بود. در صورتی که توربین گازی از مدار خارج شود یا به هر دلیل دیگری، که دور محور کاهش یابد، پمپ کمکی روغن، توسط همان کلید فشار روغن، روشن شده و در مدار قرار می گیرد. لازم است اپراتور به روشن شدن این پمپ در موقع کاهش سرعت توجه کند. روشن نشدن این پمپ، صدمه دیدن یاتاقانها را در پی خواهد داشت.



در راه اندازی خودکار و بعضی از مراحل راه اندازی دستی، دستگاه اندازه گیری زمان به کار افتاده و

مدت زمان مورد نیاز برای هر مرحله اندازه گیری می شود. اگر زمان عملیات کمتر از مقدار معینی که برای آن مرحله تنظیم شده است باشد، راه اندازی ادامه می یابد. اگر زمان عملیات از مقدار معین تنظیم شده برای عملیات آن مرحله بیشتر باشد (به عبارت دیگر مرحله مورد نظر در مدت زمان معین به پایان نرسد) برای جلوگیری از صدمات احتمالی، توربین تریپ (به طور خودکاری از مدار خارج می شود) می کند و عملیات باید از ابتدای راه انداز تکرار شود. هر یک از مراحل راه اندازی با توجه به نوع فرمان، زمان معین خود را دارد. برای مثال زمان مورد نیاز برای رسیدن به دور معینی با سوخت مایع و سوخت گاز متفاوت است و باید تنظیم شود. سیستم پرچ (تخلیه گازهای نسوخته توسط هوا جهت جلوگیری از انفجار) مدت زمان مخصوص خود را دارد. بعضی از سازندگان با توجه به مشخصات توربین گازی، مدت زمانی را اجازه می دهند تا محور بدون بارگذاری بچرخد تا توزیع درجه حرارت در قسمت‌های مختلف یکنواخت و از صدمات احتمالی مانند تنش حرارتی جلوگیری شود. لازم است ذکر شود که در این حالت، سرعت باید در حدی باشد که با سرعت بحرانی محور یکسان نباشد. تطابق این سرعتها، دامنه ارتعاش را بالا برده و در نهایت به صدمه دیدن توربین منجر خواهد شد. لازم است در موقع دور دادن، از دورهای بحرانی محور سریعاً عبور شود و از سرعتهای مجاز، برای گرم کردن محور استفاده شود. در انواع مختلف توربین گازی، زمان تنظیم هر یک از مراحل سرعتهای بحرانی و مجاز، متفاوت است و از طرف شرکت سازنده اعلام می شود.



در مراحل اولیه راه اندازی به دلیل آنکه کمپرسور در ناحیه خارج از منحنی مشخصه کاری و زیر

محدوده حالت ضربه است، عبور به منطقه بهره برداری از دیدگاه نظری ممکن نیست و توربین گازی از مدار خارج می شود. برای احتراز از این حالت و به کار گرفتن کمپرسور در منطقه کاری، از شیرهای تخلیه استفاده می کنند. این شیرها به طور خودکار عمل کرده و هوا را از بعضی از ردیف پره های معین کمپرسور تخلیه می کنند. این کار باعث می شود که نقطه کار کمپرسور تغییر کرده و در منطقه کاری منحنی مشخصه قرار گیرد، بی آنکه از مدار خارج شود. این شیرها در مراحل بعدی راه اندازی نیز در حالت باز باقی مانده و ممکن است در محدوده 25٪ تا 50٪ دور نهایی نیز همچنان باز باقی بمانند. البته تخلیه هوا بدون آنکه از انرژی آن استفاده شود، باعث تلفات انرژی و سوخت و کاهش کارایی خواهد شد. عملکرد این شیرها معمولاً دستی نیست و با مشخصه خاصی به طور خودکار عمل می کنند. بسته شدن این شیرها تحت تأثیر فشار تولیدی کمپرسور – که پیستونی را بر علیه فنری به حرکت در می آورد – انجام می شود (امکان دارد به صورت بادی یا روغنی نیز عمل کنند). این شیرها از طریق فرمان الکتریکی به آسانی باز می شوند. فرمان الکتریکی ممکن است از دستگاه سرعت سنج یا فشار تولیدی در کمپرسور حاصل شود.

بارگیری از توربین گازی

وقتی دور توربین به اندازه ای افزایش یافت که بتواند از گاورنر فرمان بگیرد (اگرچه این دور ممکن است پایین تر از دور همزمانی با شبکه باشد) هر گونه افزایش نقطه تنظیم گاورنر، موجب سرعت گرفتن توربین می شود، این کار از میز کنترل به راحتی انجام پذیر است. از دورهای بحرانی باید به

PowerEn.ir



سرعت عبور شود تا باعث ایجاد ارتعاش نشود. در واحد توربین گازی جدا شده یا متصل به شبکه

(در حالت بهره برداری)، با افزایش نقطه تنظیم گاورنر، سرعت بالا می رود و ادامه این کار پس از همزمان شدن، باعث تولید بیشتر بار خواهد شد که در این صورت، مصرف سوخت نیز افزایش می یابد. دور گرفتن و بارگذاری در توربین گازی تک محوری بسرعت انجام می شود. اما این نوع بارگیری نباید از نرخ افزایش درجه حرارت تعیین شده از طرف شرکت سازنده بیشتر باشد. معمولاً افزایش درجه حرارت باعث تنش شدید حرارتی در پره های توربین شده و نوک پره ها - که فاصله کمی با پوسته توربین دارند - ساییده شده و صدمه می بیند. توربینهایی که سیستم خنک کننده دارند، در برابر تغییرات شدید مقاوم بوده و با کارایی بهتری بهره برداری می شوند. این توربینها نسبت به توربینهایی که فقط بعضی از اجزای آن خنک می شود، برتری داشته و زمان بارگذاری را به طور چشمگیری کاهش می دهند. توربینی با ظرفیت 10 MW می تواند از ده ثانیه تا ده دقیقه زمان بارگذاری را تحمل کند بدون آنکه صدمه ای حاصل شود. این نوع بهره برداری به سیستمهایی که در توربین خنک کاری می شوند، بستگی دارد. بارگذاری در توربینهایی که دو یا چند محور مختلف دارند، با توربینهای تک محور تفاوتی دارد. در توربینهای چند محوری، کمپرسور باید تا حداکثر سرعت دور گرفته و تمام قسمت های توربین گازی از کمپرسور تا توربین دارای فشار کافی باشند. این مرحله در حدود دو دقیقه طول می کشد (در صورتی که در توربین گازی تک محوری حدود چند ثانیه کافی است). توربین گازی با موتور اصلاح شده هوایی، برای تولید برق، از این نظر بهترین کارایی را داشته و راه اندازی و بارگذاری شامل همزمان سازی در کمتر از دو دقیقه انجام می شود.

PowerEn.ir



افزایش سریع بارگذاری تا جایی امکانپذیر است که کمپرسور از منحنی مشخصه بهره برداری خارج

نشده و دمای ورودی توربین از حداکثر مقدار خود تجاوز نکند. افزایش جریان سوخت، با توجه به هوای ورودی انجام می گیرد. این کار با کنترل نسبت هوا به سوخت و کنترل درجه حرارت ورودی توربین گازی امکانپذیر است.

بهره برداری بهینه از توربین گازی

علاوه بر نظارت سیستمها و اطمینان از مشخصه هایی که قبلاً ذکر شد (مانند فشار روغن، سرعت کمپرسور و دمای ورودی توربین) لازم است رفتار کلی توربین گازی تحت نظارت دقیق باشد تا در صورت بروز هرگونه خطری، پیش از آنکه توربین صدمه ببیند، پیشگیری صورت گیرد؛ یا اگر توربین گازی در حالت بهره برداری با کارایی پایین باشد، از تلفات سوخت جلوگیری شود. در ارتباط با رفتار کمپرسور و توربین، یادداشت کردن دقیق ارقام نشاندهنده ها کافی نیست، بلکه تحلیل آن ضروری است. به ویژه که واحد تحت تغییر بار باشد یا شرایط ورودی مربوط به محیط، نوسان داشته باشد. البته مهندسان بهره بردار با تجربه، در شرایط مختلف می توانند قضاوت کرده و نظر بدهند، اما این نظرها نیز حتی در بهترین شرایط، با تقریب همراه بوده و قطعی نیست. در هر حال روشهای ساده ای وجود دارد که با به کارگیری آنها، رفتار صحیح سیستم را می توان تشخیص داد. این روشها به ویژه در مواقعی که تحویل واحد و آزمایش ضمانت انجام می شود، مفید است. از آنجا که شرایط محیطی مانند فشار و درجه حرارت تغییر می کند، لازم است مشخصه هایی مانند درجه حرارت، فشار، سرعت، دبی جرمی و توان، به شرایط محیطی استاندارد تبدیل شود. معمولاً

PowerEn.ir



فشار 14/7 پاوند بر اینچ که برابر 29 اینچ جیوه است و دمای 26/7 سانتی گراد و یا 15 درجه

سانتیگراد را در نظر می گیرند. جدول تصحیح نسبت به شرایط استاندارد مطابق

جدول (1-6) به قرار زیر است:

مشخصه	رابطه تصحیح	تصحیح نسبت به 29° جیوه و 80°F	تصحیح نسبت به 29° جیوه و 15°C
T (درجه حرارت)	$T \times T_s / T_a$	$300 \times T / T_a$	$288 \times T / T_a$
P (فشار)	$P \times P_s / P_a$	$29 \times P / P_a$	$29 \times P / P_a$
N (سرعت)	$N \times \sqrt{T_s} / T_a$	$17/3 \times N / \sqrt{T_a}$	$17 \times N / \sqrt{T_a}$
M (دبی جرمی)	$M \times P_s / P_a \times \sqrt{T_a} / T_s$	$M \sqrt{T_a} / P_a$ $1/68$	$1/71 \times M \sqrt{T_a} / P_a$
W (توان)	$W \times P_s / P_a \times \sqrt{T_s} / T_a$	$503 \times W / P_a \sqrt{T_a}$	$492 \times W / P_a \sqrt{T_a}$

اندیس S برای شرایط استاندارد و a برای شرایط جوّی محیط در نظر گرفته شده است. لازم است

ذکر شود که واحد تمامی مشخصه ها در یک سیستم دستگاه اندازه گیری باید محاسبه شود.

جدول 1-6 جدول تصحیح نسبت به شرایط استاندارد در موقع تحویل واحد یا آزمایش ضمانت

PowerEn.ir



منحنی هر یک از مشخصه های ذکر شده در جدول نسبت به زمان، چه برای کمپرسور و چه برای

توربین، رفتار سیستم را در آن مدت زمان نشان می دهد و مقایسه این منحنی با منحنی داده شده از سوی سازنده، کارایی توربین گازی را نشان می دهد. در بعضی از مواقع برای مثال به دلیل رسوب گرفتگی، کارایی توربین یا کمپرسور به شدت افت می کند. در این صورت شستشوی سیستمها برای افزایش کارایی توربین ضروری است. منحنی عملکرد اجزا نسبت به زمان، بهترین مدرک برای مطالعه کارایی سیستمها است.

در موقع بهره برداری، افزایش مشخصه های مختلف باید در محدوده داده شده از سوی شرکت سازنده باشد. اگرچه افزایش درجه حرارت گاز ورودی توربین، افزایش کارایی و در نهایت افزایش توان تولیدی را به دنبال دارد، اما نباید از مقدار حداکثر تعیین شده مجاز، تجاوز کند. افزایش درجه حرارت گاز به بیش از مقدار مجاز، باعث کاهش طول عمر توربین می شود. رابطه دما و طول عمر به صورت نمایی است، لذا افزایش دما به بیش از مقدار مجاز، حتی به مقدار کم، طول عمر توربین را به شدت کاهش می دهد. بنابراین باید از صحت عملکرد سیستم اندازه گیری و نشاندهنده - که تنها عامل ارتباطی و اطلاعاتی بین اپراتور و دستگاه است - اطمینان حاصل شود.

نکته حائز اهمیت دیگر در بهره برداری بهینه و حفظ طول عمر اجزای اصلی توربین گازی، توجه به تعداد دفعات راه اندازی و از کاراندازی و روش راه اندازی و خروج اضطراری است. اگرچه محدودیت خاصی از نظر تعداد وجود ندارد اما تنشهای حرارتی یا خستگی سیستمها، کاهش طول

PowerEn.ir



عمر را در پی خواهد داشت. لذا در اختیار داشتن اطلاعات مکتوب از طرز کار توربین گازی ما را در

تعیین زمان تعمیرات یا تعویض قطعات یا تعیین علت صدمه دیدن، کمک می کند. بعضی از شرکت‌های سازنده روابطی را ارائه می دهند که با در نظر گرفتن تعداد دفعات راه اندازی و غیره، عمر تعمیرات یا تعویض قطعات توربین گازی را می توان تخمین زد. اگرچه این محاسبات در برآورد طول عمر دستگاهها کمک مؤثری است، اما مشخصه اصلی، حداکثر درجه حرارت گاز ورودی توربین است که اثری مستقیم بر کاهش طول عمر دارد. از طرفی در عمل نمی توان این مشخصه را به طور دقیق و لحظه ای اندازه گرفت و در رابطه شرکت سازنده جایگذاری نمود. معمولاً در تعمیرات مرحله ای، آزمونهای ضروری خاصی انجام می شود تا عمر اجزا تعیین شود. یکی دیگر از موارد در بهره برداری بهینه، مسائل مربوط به شعله است. اغلب سازندگان چشمی هایی را در جاهای مختلف دیواره محفظه احتراق نصب می کنند تا بتوان قسمتهای داخلی و شعله را مشاهده نمود. شعله باید در مرکز محفظه احتراق و نسبت به محور مرکزی متقارن باشد تا درجه حرارت به طور یکنواخت توزیع یابد. شعله هایی با طول زیاد یا طول کوتاه اما با شکم بزرگ یا نامتقارن برای محفظه احتراق نامناسب است و به آن صدمه (سوختن دیواره) می زند. لازم است تمامی این موارد در آزمایشهای اولیه، ملاحظه و تنظیم شود. دوده بستن سر مشعل عامل دیگری است که کارکرد نامتقارن شعله را در پی دارد. مقدار دوده در سوختههای سنگین نسبت به سوخت گازی زیادتیر است و باید به صورت دوره ای تمیز شود.

5-6 متوقف کردن توربین گازی

PowerEn.ir



خارج کردن واحد توربین گازی از مدار، با بستن شیر ورودی سوخت انجام می شود. اگرچه این عمل

ساده بوده و توربین را متوقف می کند اما در ادامه، کارهای جانبی متعددی نیز باید انجام شود تا واحد گازی صدمه نبیند. زمانی که شیر ورودی سوخت بسته شود احتراق متوقف شده و دور توربین کاهش می یابد. لازم است برای مدتی محور توربین در سرعتی معین و در حال چرخش باقی بماند. این عمل با استفاده از موتوری الکتریکی که دارای سرعت معینی است انجام می شود. قرار نگرفتن موتور الکتریکی در مدار باعث می شود که محور پس از چند دقیقه به حالت سکون درآید که این، تغییر شکل در طول محور توربین را به دنبال دارد و این، صدمات قابل ملاحظه ای را به وجود می آورد. اگر این اشکال فنی برطرف نشود، لازم است محور توربین با استفاده از آچار مخصوصی – که معمولاً از طرف سازنده توربین در اختیار مصرف کننده قرار می گیرد – به اندازه 180 درجه چرخانده و پس از مدت معینی دوباره به حالت اول بازگردانده شود. این عمل که از تغییر شکل محور جلوگیری می کند باید تا خنک شدن محور توربین ادامه یابد.

پس از متوقف شدن توربین، یکی از کارهای جانبی که باید همچنان ادامه داشته باشد، در مدار بودن پمپهای روغنکاری است. این کار، نه فقط روغن مورد نیاز را برای یاتاقانها تأمین می کند، بلکه باعث انتقال گرمای موجود در پوسته و محور به یاتاقانها و سپس به روغن می شود. روغن که به عنوان منبع سرد عمل می کند، گرمای انتقال یافته را از طریق هدایت و تشعشع جذب می کند و در مبدل مخصوصی – که معمولاً با آب کار می کند – خنک می شود. روغن با دمای کمتر در تمامی یاتاقانها جریان یافته و از افزایش دمای روغن، جلوگیری می کند. اگر خنک کاری روغن در موقع گرم بودن

PowerEn.ir



توربین متوقف شود، چسبندگی روغن از بین رفته و محور در حال چرخش، به یاتاقان صدمه می زند.

معمولاً برای جلوگیری از بروز صدمات شدید، رویه یاتاقان را با لایه ای از فلز نرم پوشش می دهند تا در صورت ساییده شدن محور به یاتاقان، فقط فلز نرم از بین برود و از صدمه دیدن محور یا یاتاقان جلوگیری شود. فلز نرم ساییده شده قابل بازسازی است. دمای روغن با توجه به مشخصات روغن و توربین، از طرف شرکت سازنده تعیین می شود. لازم است نسبت به درجه حرارت، در موقع کار توربین و پس از متوقف شدن آن، نظارت دقیق صورت گیرد. اگر محدوده مجاز دما رعایت نمی شود، لازم است توربین متوقف شود و یاتاقانها برای بازرسی از نظر صدمه، باز شده و بررسی شود. در توربینهای گازی بزرگ با محور سنگین، لازم است که واحد به پمپهای روغن بالابر مجهز شود تا ضخامت مورد نیاز روغن برای روغنکاری یاتاقانها تأمین گردد.

در موقع متوقف کردن توربین توصیه می شود زمان توقف کامل محور اندازه گیری و با مقدار استاندارد تعیین شده برای آن توربین، مقایسه شود. هرگونه افزایش مدت، به مفهوم ساییده شدن محور به یاتاقان، یا ساییده شدن پره ها به پوسته یا ساییده شدن حلقه های آب بندی است. تمامی دستگاههای حفاظتی، در موقع متوقف کردن توربین باید آزمایش شده و از صحت عملکرد آنها اطمینان حاصل شود. دستگاه حفاظت اضافه سرعت، به طور مرتب باید آزمایش شود.



فصل ششم

نیروگاه آبی

PowerEn.ir



نیروگاه آبی

مقدمه

تبدیل نیروی عظیم آب به نیروی الکتریکی از بدو پیدایش صنعت برق مورد توجه خاص قرار داشته است. زیرا علاوه بر اینکه آب مجانا در اختیار نیروگاه قرار می گیرد، تلف نمی شود و از بین نمی رود به خصوص مواقعی که بتوان پس از تبدیل انرژی الکتریکی، در صنعت و کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد. ارزش چنین نیروگاهی دو برابر می شود. تمامی نیروگاه های آبی نیاز به سد دارند. این نیروگاه ها انرژی ذخیره شده آب را در ارتفاع بالا از طریق توربین به انرژی الکتریکی تبدیل می کنند. حوضچه سد معمولا آب پشت سد را برای چند پریود در هفته نگهداری می کنند و این در مقایسه با ماه و سال است. مکان مربوط به تولید برق از طریق جریان آب در پایین سد می باشد.



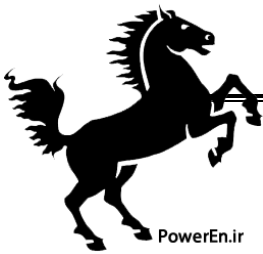
به دلیل اقتصادی نمی توان از توربین های با سرعت کم استفاده کرد، در ارتفاع ریزش آب کم توربین های با دور مخصوص زیاد و در ارتفاع ریزش آب زیاد چون توربین خود به خود سریع می گردد، توربین های با عده دور مخصوص کم به کار می رود.

مزایا نیروگاه های آبی:

- 1- ساختمان ساده و مقاوم بوده و نیازی به نگهداری کمتری دارد
- 2- سریعاً وارد مدار میشود
- 3- دارای تلفات stand by نیستند
- 4- برای ساخت نیاز به متخصصین زیادی است اما برای نگهداری نه
- 5- سوختی لازم ندارد
- 6- راندمان آن نسبت به زمان کاهش نمی یابد
- 7- از لحاظ محیط آلودگی ندارد
- 8- آب پس از راه انداختن توربین در مصارف دیگر قابل استفاده است.

معایب نیروگاه های آبی:

- 1- هزینه ساختمان و نیروگاه بالاست
- 2- هزینه خطوط انتقال بالاست
- 3- در فصول خشک مدت خروجی آن تحت تأثیر قرار میگیرد
- 4- تغییرات محسوس در تبدیلات اکولوژی سیستم ناشی از ایجاد دریاچه مصنوعی پشت سد مشاهده میشود



معیارهای محل انتخاب نیروگاه:

- 1- موجود بودن مقادیر عظیمی آبی.
- 2- انتخاب محل مناسب برای ایجاد سد (وجود کوه های بلند و مقاوم دوطرف آن).
- 3- استحکام قوی فونداسیون محل سد با صرف حداقل هزینه.
- 4- سطح آب نباید از حداقل مورد نیاز پایین تر باشد.

میزان توان تولیدی

یک معادله ساده برای محاسبه تقریبی انرژی الکتریکی در یک نیروگاه برق آبی وجود دارد که به صورت زیر است:

$$P = h \times r \times k$$

در معادله بالا P توان خروجی در واحد وات، h ارتفاع فشاری در واحد متر، r میزان آب خارج شده در واحد مترمکعب در ثانیه و k ضریب تبدیل در ۷۵۰۰ وات است (با پیش شرط راندمان ۷۶٪، شتاب ثقل ۹٫۸۱ متر بر مجذور ثانیه و آب تازه با چگالی ۱۰۰۰ کیلوگرم به ازای هر متر مکعب. البته در توربین های بزرگ و پیشرفته راندمان معمولاً بالاتر این مقدار است و در توربین ها فرسوده این راندمان کمتر است) میزان تولید انرژی الکتریکی در یک نیروگاه آبی به شدت به میزان آب موجود وابسته است و در فصول مختلف میزان تولید می تواند به نسبت ۱۰ به ۱ متفاوت باشد.

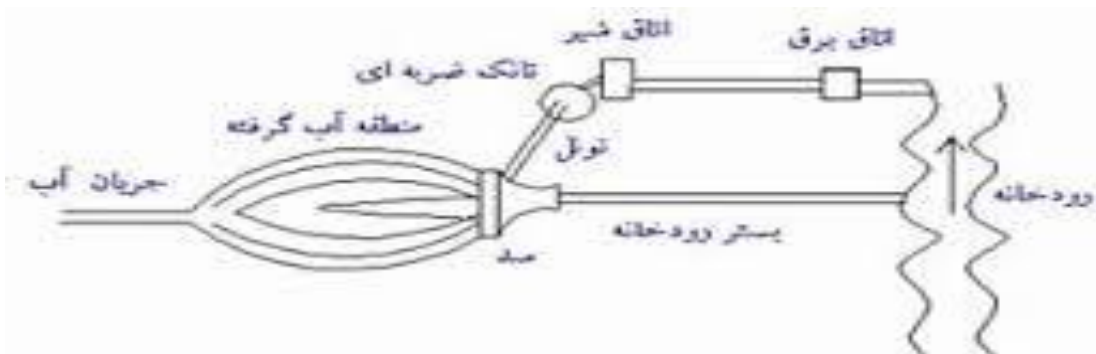
استفاده از توربین های با عده دور مخصوص زیاد در ارتفاع ریزش آب زیاد بی حاصل است زیرا در اثر سرعت زیاد سیال، تلفات دستگاه زیاد و راندمان آن کم خواهد شد. لذا نیروگاه های آبی متناسب با ارتفاع ریزش آب به سه دسته زیر تقسیم بندی می شوند:

انواع نیروگاه آبی

1. نیروگاه های آبی با فشار کم:

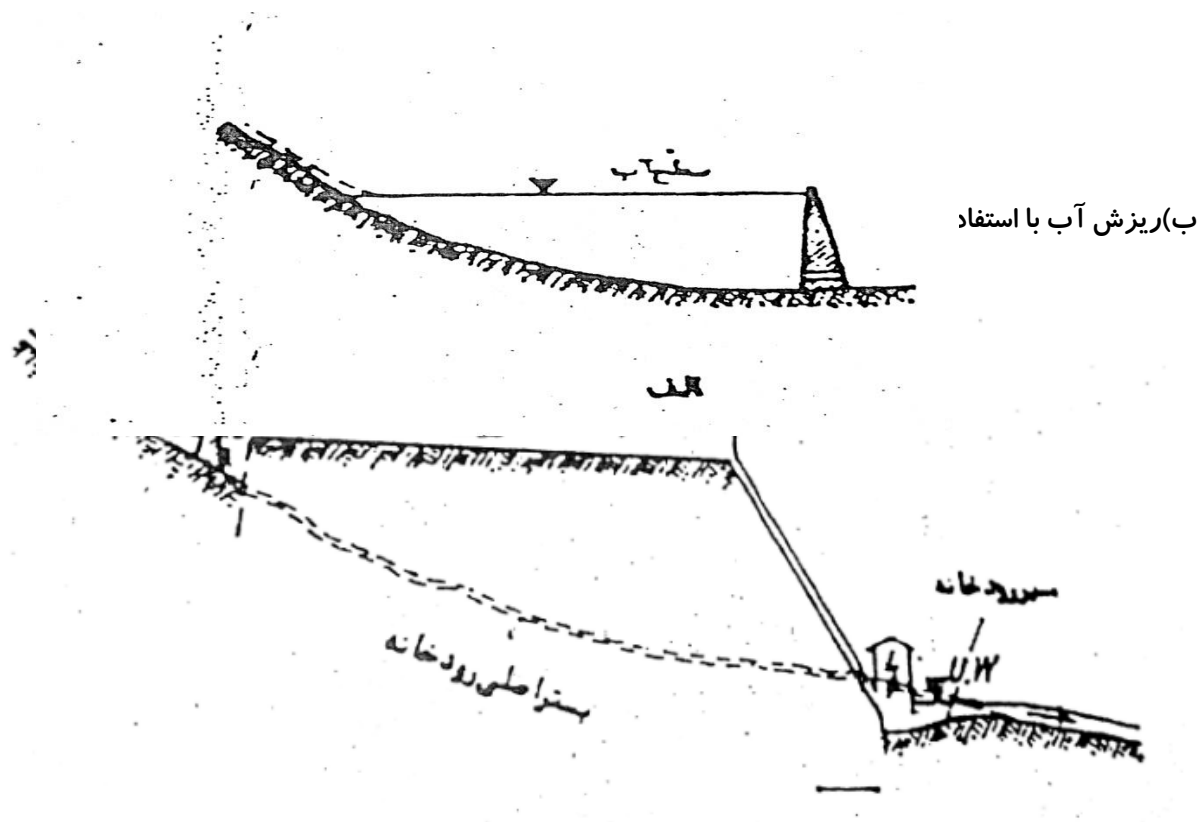


PowerEn.ir



در این نیروگاه ارتفاع ریزش آب $H \leq 20$ است و از شیب و عمق طبیعی رودخانه به سه حالت زیر استفاده می شود:

الف) بستن جلوی آب با سرریز کردن (جمع کردن)

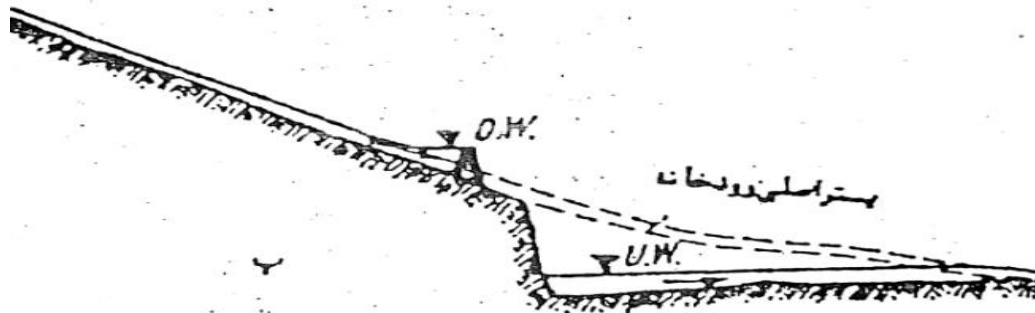


ج) ایجاد بند و منحرف کردن آب در یک کانال بدون شیب (منحرف کردن)

PowerEn.ir



PowerEn.ir



در چنین نیروگاهی توربین در امتداد مسیر رودخانه قرار می گیرد.

در نیروگاه آبی با فشار کم به علت کوچک بودن ارتفاع ریزش آب همانطور که گفته شد باید از توربین با دور مخصوص زیاد یعنی توربین کاپلان استفاده می شود. در ضمن به علت اینکه پره های قسمت گردان توربین کاپلان مناسب با ، بار و مقدار آب قابل تنظیم است در بارهای کم دارای راندمان تقریباً خوبی است. لذا در صورتی که مقدار و حجم آب رودخانه و ارتفاع آب متغیر باشد حتی تا ارتفاع 80 متر هم از توربین کاپلان استفاده می شود.

نیروگاه های آبی با فشار متوسط

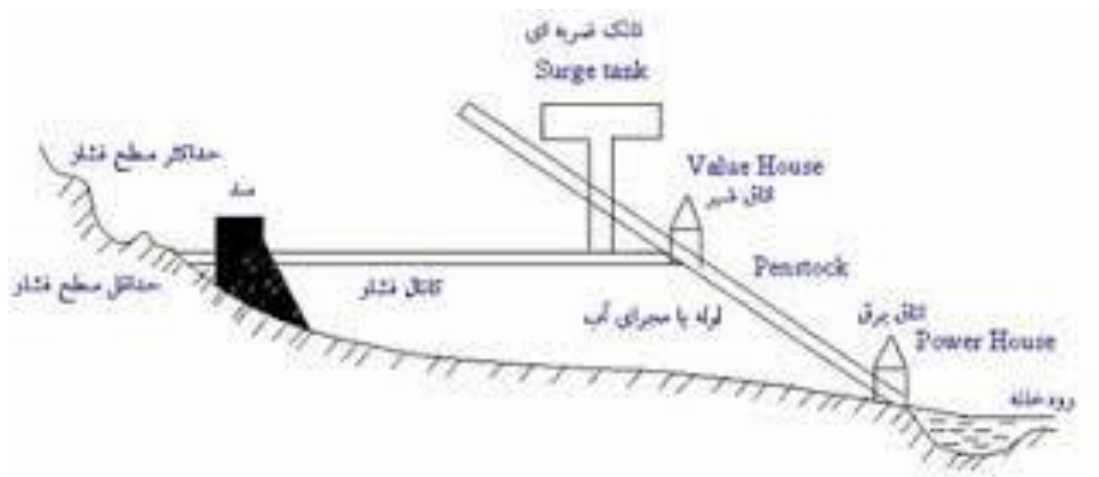


PowerEn.ir



در این نیروگاه ارتفاع ریزش آب $20 < H < 100$ متر است. ایجاد چنین ارتفاعی معمولاً به وسیله کانل کشی و منحرف کردن رودخانه از مسیر اصلی با شیب بسیار کم (بندگاه) بدست می آید. لذا استفاده از نیروگاه آبی با فشار متوسط فقط در رودخانه های مناطق کوهستانی که دارای شیب تقریباً زیاد می باشد ممکن است. توربین هایی که در این نیروگاه استفاده می شود از توربین کاپلان با دور مخصوص کم و یا توربین فرانسیس تند گرد می باشد.

نیروگاه آبی با فشار زیاد



در نیروگاه آبی با فشار زیاد، ارتفاع ریزش آب $H \geq 100$ است. برای به وجود آوردن چنین ارتفاعی باید آب در ارتفاعات مثلاً: رودخانه ای در بالای مناطق کوهستانی یا دریاچه ای در ارتفاعات که به آن رودخانه می ریزد موجود باشد تا بتوان به کمک لوله و مجاری آب، نیروگاه با فشار زیاد در کوهپایه احداث گردد. یا اینکه به کمک احداث سد بزرگ و مرتفع در حدود 100 تا 250 متر و بیشتر به وجود آورد احداث چنین سدی فقط در مناطق کوهستانی ممکن است.

در نیروگاه آبی با فشار زیاد اگر آب در ارتفاعات موجود باشد (آب رونده) و از توربین پلتن استفاده می شود و در صورتی که سد احداث شده باشد (آب ذخیره) از توربین فرانسیس استفاده می شود. و در ارتفاع بیش از 400 متر در هر دو حالت از توربین پلتون که دارای دور مخصوص کم است استفاده می شود.

وظیفه تانک ضربه ای: در هنگام بار زیاد ممکن است پره های ثابت فرمان بسته شدن دریافت کنن و فشار آب باعث صدمه دیدن آن شود بنابراین برای جلوگیری از آسیب دیدن پره تانک ضربه ای فشار را کنترل می کند.

نیروگاه های آبی از نظر نوع آب

PowerEn.ir



به دو دسته تقسیم می شوند:

الف) نیروگاه آب رونده

نیروگاه آب رونده نیروگاهی است که از همان مقدار آب دائمی موجود در رودخانه و یا آبی که در دریاچه می ریزد بهره می برد و بدین جهت باید دائما کار کند.

ب) نیروگاه انباره ای



بیشتر نیروگاه های آبی انباره ای هستند زیرا این نیروگاه ها سریع راه می افتد (تقریبا در دو دقیقه) نیروگاه انباری در مناطق کوهستانی که مقدار آب رودخانه در فصول مختلف شدیداً متغیر است احداث می شود در این نیروگاه از مقدار آب جریان دار استفاده نمی شود بلکه از آنهایی که در پشت سد به صورت انباشته شده برای تولید برق (انرژی الکتریکی) مصرف می شود. از چنین نیروگاهی بیشتر برای تامین برق پیک بار بکار برده می شود. زیرا در مواقعی که احتیاج به نیروی برق نیست می توان از هدر رفتن آب جلوگیری کرد و آب را برای مواقع اضطراری در پشت سد ذخیره کرد. این نیروگاه بر حسب بزرگی سد و دریاچه مصنوعی که ساخته می شود به نیروگاه های انباره ای سالانه، ماهانه، هفتگی و حتی روزانه تقسیم می شوند به این جهت این نیروگاه ها برای تامین برق مصرفی پیک شبکه ای بسیا پر ارزش می باشند.

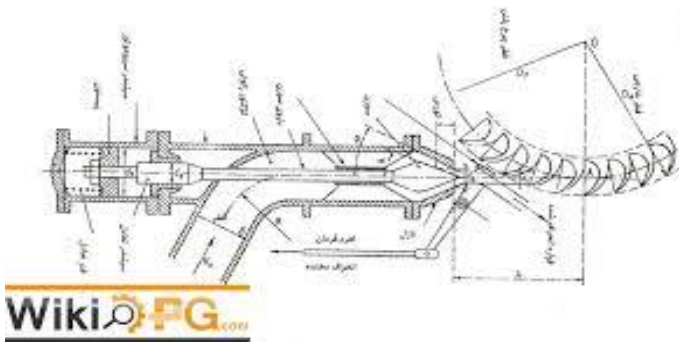
نیروگاه های پیک بار: این نیروگاه ها به صورت ذخیره پمپی هستند آب در ارتفاع پایین توسط پمپ به محل ذخیره آن در ارتفاع بالا پمپ شده و در هنگام پیک به سمت توربین جاری می شود. موتور برای پمپ و ژنراتور برای تولید برق هر دو به یک محور متصل اند.

PowerEn.ir



ساختمان توربین های آبی

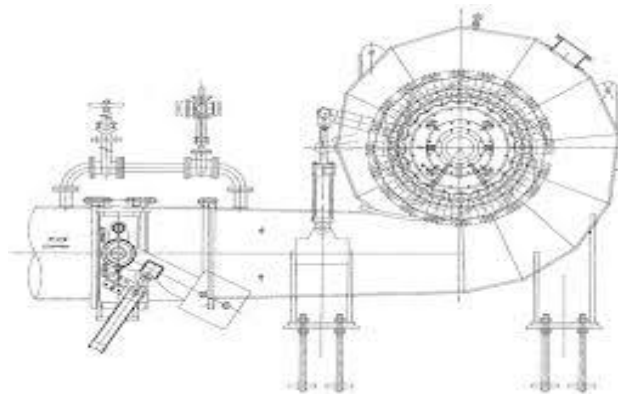
الف) توربین پلتن



توربین پلتن تشکیل شده از یک محور گرداننده که روی آن قاشقک ها یا کاسه های مخصوص در فواصل معین نصب شده است. آب توسط لوله هادی از داخل یک یا دو یا چهار انژکتور با سرعت و فشار زیاد بروی قاشقک ها می ریزد بطوری که جهت آب روی قاشقک ها عمود بر محور ماشین و مماس بر توربین است. برای به حرکت درآوردن و ایجاد انرژی جنبشی نیاز به تزریق آب با فشار بالا به قاشقک ها می باشد که آب پس از برخورد به مرکز آن به اطراف حرکت نموده و با مقدار 10 الی 15 درصد سرعت اولیه به مسیر برگشتی هدایت می شود.

تنظیم شدت جریان آب توسط سوزنی که در داخل انژکتور قرار دارد انجام می گیرد.

ب) توربین فرانسیس



توربین فرانسیس با حدود دور مخصوص $N_s = 21-120$ تند دورتر از توربین پلتن و آهسته گرد تر از توربین کاپلان است. این توربین از یک ظرف حلزونی و یک چرخ هادی (استاتور) و یک چرخ گردان پره دار (رتور) تشکیل شده



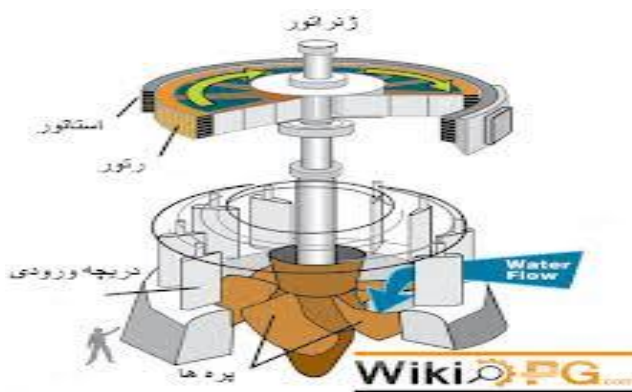
آب توسط لوله مخصوصی به ظرف حلزونی شکل که در ابتدا، دارای مقطع بزرگ و بتدریج باریک می شود، وارد می شود.

سرعت آب در ضمن عبور از ظرف حلزونی بالا رفته و از فشارش بتدریج کاسته میشود که وظیفه ظرف حلزونی هدایت کردن صحیح آب به طرف پره های چرخ هادی می باشد.

شدت جریان آب توربین فرانسیس توسط گردش پره های هادی به کمک سروو موتور تنظیم میشود.

تعداد پره های چرخ هادی چنانچه زیاد باشد باعث ایجاد اصطکاک و تلف انرژی خواهد شد و چنانچه تعداد آنها کم باشد هدایت جریان آب به سوی محیط چرخ متحرک بخوبی انجام نخواهد گرفت معمولا بر حسب ارتفاع ریزش آب و قطر چرخ، تعداد پره های چرخ هادی بین 16 تا 32 تغییر می کند

ج) توربین کاپلان



ساختمان این توربین تقریبا شبیه توربین فرانسیس می باشد با این تفاوت که چرخ گردان توربین کاپلان دارای 2-4-6 پروانه بزرگ غیر قابل تنظیم و یا قابل تنظیم می باشد. چرخ گردان توربین کاپلان غیر قابل تنظیم است شکل زیر نشان داده شده است.

اما چرخ گردان قابل تنظیم نیز وجود دارد.



چرخ گردان باپره های ثابت دور مخصوص زیاد و دربار نامی دارای راندمان بسیار خوب می باشد ولی دربارهای کم راندمان توربین بطور قابل ملاحظه ای افت می کند. در صورتی که اگر پره های توربین قابل تنظیم باشد میتوان راندمان توربین را برای بارهای مختلف توربین تقریباً ثابت نگه داشت و به این جهت این توربین دربار کم دارای راندمان خوب می باشد.

کاویتاسیون در چرخ توربین: سائیدگی چرخ توربین ها معمولاً خیلی خیلی سریع انجام میگیرد. گاهی اجباراً می باید چرخ هادی راسالی یکبار و چرخ متحرک را هر دو سال یا سه سال یکبار تعویض نمود. چرخ های توربین های تندگرد زودتر سائیده میشود. هرچه تعداد پره ها کمتر باشد عمل کاویتاسیون شدیدتر میشود.

ارتباط ارتفاع سد با سرعت توربین: برای هر نوع توربین و سد رابطه مشخص برای ارتفاع سد نسبت به توربین و نیروگاه وجود دارد.

توربین پلتن در ارتفاعات 90 تا 1100 متر و سرعت 10 تا 40 rpm

توربین فرانسیس در ارتفاعات 14 تا 300 متر و سرعت 95 تا 440 rpm

توربین کاپلان در ارتفاعات 3 تا 30 متر و سرعت 550 تا 830 rpm

طبقه بندی توربین بر اساس عمل سیال:

1- توربین ضربه ای: انرژی حاصل از فشار آب در مرحله اول به انرژی جنبشی تبدیل شده و آب در فشار یک اتمسفری پره های توربین میچرخاند.

2- توربین واکنشی: در این حالت قبل از آن که آب به پره ها برخورد کند در اثر نیروی واکنشی تنها قسمتی از انرژی آب به انرژی مکانیکی و الکتریکی تبدیل میشود.

طبقه بندی بر اساس نوع جریان آب:

1- جریان محوری (عبور آب در طول محور)

2- جریان شعاعی (عبور در امتداد شعاع)

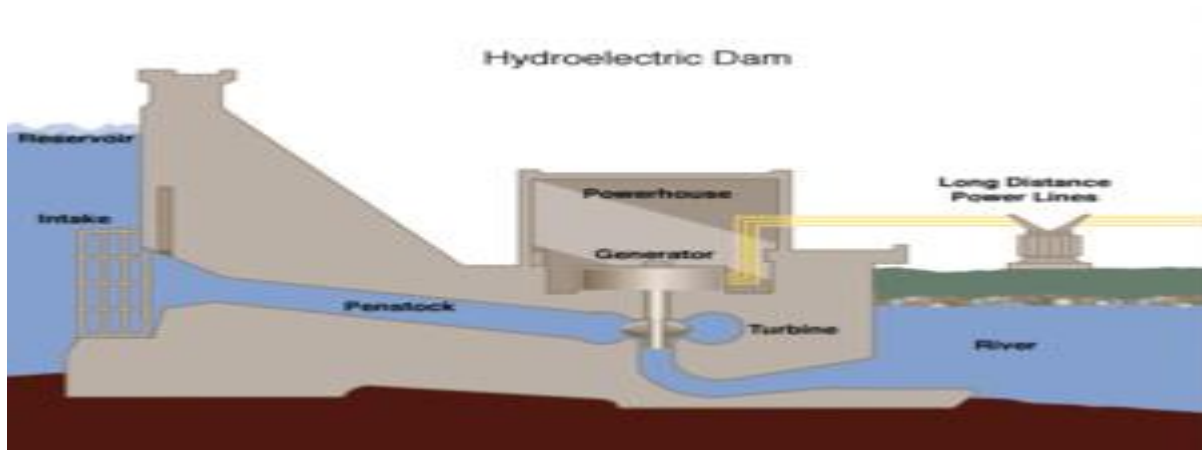
3- جریان مماسی (عبور آب در جهت مماس)

PowerEn.ir



4- جریان شعاعی و محوری

نیروگاه تلمبه ای



نیروگاه آب تلمبه‌ای نوعی دیگر از نیروگاه آبی است. وظیفه یک نیروگاه آب تلمبه‌ای پشتیبانی شبکه الکتریکی در ساعات اوج مصرف (ساعات پیک) است. این نیروگاه تنها آب را در ساعات مختلف بین دو سطح جابجا می‌کند. در ساعاتی که تقاضای برای انرژی الکتریکی پایین است با پمپ کردن آب به یک منبع مرتفع انرژی الکتریکی را به انرژی پتانسیل گرانشی تبدیل می‌کند. در زمان اوج مصرف آب دوباره از مخزن به سمت پایین جاری می‌شود و با چرخاندن توربین آبی موجب تولید برق و رفع نیاز شبکه می‌گردد. این نیروگاه‌ها با ایجاد تعادل در ساعات مختلف موجب بهبود ضریب بار شبکه و کاهش هزینه‌های تولید انرژی الکتریکی می‌شوند.

از دیگر انواع نیروگاه‌های آبی می‌توان به نیروگاه‌های جزر و مدی اشاره کرد. همانطور، که از نام این نیروگاه‌های مشخص است این نیروگاه‌ها نیروی مورد نیاز خود را از اختلاف ارتفاع آب در بین شبانه روز تامین می‌کنند. منابع در این دسته از نیروگاه‌ها نسبت به بقیه کاملاً قابل پیش‌بینی هستند. این نیروگاه‌ها همچنین می‌توانند در مواقع اوج مصرف به عنوان پشتیبان شبکه عمل کنند.

برخی نیروگاه‌های آبی که تعداد آنها زیاد هم نیست از انرژی جنبشی آب جاری استفاده می‌کنند. در این دسته از نیروگاه‌ها نیازی به احداث سد نیست توربین این نیروگاه‌ها شبیه یک چرخ آبی عمل می‌کند. این نوع استفاده از انرژی شاخه نسبتاً جدیدی از علم جنبش مایعات است.



PowerEn.ir

فصل هفتم

نیروگاه بادی



نیروگاه بادی

مکان های مناسب برای ایجاد توربین های بادی

بهترین محل ها مکان های هستند که باد مداوم و شدیدی در آن بوزد آزمایشگاه ملی انرژی قابل

تجدید برای

مناطق مختلف باد خیز، شدت باد را از 1 تا 7 درجه بندی کرده است که شماره 7 نشانگر شدیدترین

وزش باد

است مناطقی که درجه 3 یا بالاتر را دارند گزینه مناسبی برای میادین بادخیز هستند مناطقی که

دارای

درجه 2 یا بالاتر هستند مکانهایی خوبی برای استقرار ژنراتور های کوچک به شمار می آیند.

محاسباتی که توسط دو دانشمند در امریکا صورت گرفته ناشی از آن است که انرژی که می توان در

ارتفاع 80 متری از سطح زمین بدست آورد حدود 72 تریلیون وات در سطح جهان است.

در ارتفاع های بالاتر سرعت وزش باد بیشتر است بنابراین انرژی بدست آمده در مناطق کم ارتفاع

کره

PowerEn.ir



زمین کمتر است.

انواع توربین های بادی از لحاظ اندازه:

الف-توربین های کوچک:

توربین های کوچک قادرند 50 تا 70 کیلو وات انرژی تولید کنند اندازه هر پره از 5.5 متر تا 7.5 متر می باشد

و روی دایره ای به قطر 1 تا 15 متر می چرخند توربین های بادی کوچک اصولاً در جاهای پرت و جاهای که برق رسانی به آنها به صرفه نیست به کار می رود.

ب-توربین های متوسط:

قطر دایره چرخش 15 تا 60 متر است توان تولیدی 50 تا 1500 می باشد انواع متداول آنها بین 500 تا 750

کیلووات برق تولید می کند و کاربرد آنها در ژنراتورهای بادی تجاری می باشد.

ج-توربین های بزرگ

PowerEn.ir



قطر دایره چرخش پره ها 60 تا 100 متر است. توان تولیدی بین 2 تا 3 مگا وات است صرفه اقتصادی

توربین های بزرگ

وقابلیت اطمینان آنها در مقابل توربین های متوسط به مراتب کمتر است.

تقسیم بندی توربین های بادی از نظر نوع چرخش:

الف-توربین های بادی با محور چرخش عمودی:

این توربین ها از دو بخش اساسی تشکیل شده اند، یک میله ای اصلی که رو به باد قرار می گیرد و میله های عمودی دیگر که عمود بر جهت باد گذاشته می شوند ساخت این توربین ها بسیار ساده بوده و همچنین بازده پایینی دارند در این نوع، در یک طرف باد بیشتر جذب می شود که باعث میشود سیستم یک حالت لنگری پیدا کرده و بچرخد یکی از مزایای این سیستم وابسته نبودن آن به جهت وزش باد است.

ب-توربین های بادی با محور چرخش افقی:

این توربین ها نسبت به مدل محور عمودی رایج تر بوده همچنین از لحاظ تکنولوژی پیچیده تر و گرانتر می باشند ساخت آنها مشکلتر از نوع محور عمودی بوده ولی رانرمان بسیار بالای دارند در سرعت های پایین نیز توانای تولید انرژی الکتریکی را دارند و توانای تنظیم جهت در مسیر وزش باد نیز دارند این توربین ها 2 یا 3 پره ای می باشند که روی یک برج بلند نصب میشوند این پره ها همواره در جهت وزش باد قرار می گیرند.

توربین های افقی از نظر سرعت

الف-کم سرعت ب-پرسرعت

PowerEn.ir



مهمترین عامل در تعیین سرعت توربین های بادی با محور افقی تعداد پره ها میباشد هر چه تعداد

پره ها بیشتر باشد سرعت کمتر است و گشتاور بیشتر است پرتعدادترین این توربین ها سه پره ای می باشد چرا که در نوع با پره بیشتر به دلیل پیچیدگی شکل ها صرفه اقتصادی ندارد.

ساختمان پره های توربین های بادی:

جنس پره های توربین ممکن است از چوب یا چوب های باشد که بهم چسبانده شده و روی آن روکشی از فایبر گلاس قرار میگیرد یکی از خواص خوب چوب این است که در اثر کار زیاد ترک نمی خورد تنها عیب آن کمی مقاومت آن است هرگاه پره فاقد فایبر گلاس باشد برای جلوگیری از عوامل جوی از قبیل شن ریزه، باران و غیره در لبه ی آن روکشی از مس یا سایر فلزات قرار می دهند هرچند با افزایش سرعت افزایش انرژی داریم اما توربین های بادی برای تولید انرژی یک حد اشباع دارند بدین معنی که بادهای که بیشتر از این حد اشباع سرعت داشته باشند انرژی بیشتری تولید نمی کنند

همچنین بررسی میزان پراکندگی سرعت باد در طی سال نشان می دهد که باد های کم سرعت فراوانی بیشتری دارند و با توجه به این موضوع هر چند باد 15 متر بر ثانیه بیشترین انرژی را در توربین 500 تولید می کند اما میزان فراوانی باد 10 متر بر ثانیه باعث می شود بیشترین میزان تولید انرژی در سال متعلق این باد باشد.

امکان سنجی احداث نیروگاه

به معنی ارزیابی امکان پذیر بودن تاسیس یک نیروگاه بادی به لحاظ فنی، اقتصادی، زیرساخت های مورد نیاز و غیره در یک سایت.

به موارد زیر باید دقت کرد

PowerEn.ir



الف-برآورد انرژی تولید سالانه نیروگاه:

برای بدست آوردن آن نیاز به محاسبات پیچیده و خاص خود است از نرم افزار استفاده می شود اما در نیروگاه های بادی کوچک می توان بدون نرم افزارها محاسبات را انجام داد.

ب-بررسی اقتصادی که شامل مطالعه هزینه های احداث که شامل هزینه های عمرانی، هزینه های عملیات برقی، هزینه ی حمل و نقل، خدمات مهندسی، تعمیرات و نگهداری و غیره.

ج-روند مطالعات امکان سنجی مزارع بادی که شامل دو موضوع اصلی است

انتخاب سایت مناسب برای مزارع:

برای اطمینان از اینکه احداث مزارع مناسب است یا خیر بایستی به پرسشهای زیر پاسخ داد

وضعیت باد مناسب است، توان خروجی پیش بینی شده توربین کافی است، زیر ساخت های موجود در سایت کفایت می کند، شبکه در دسترس است، زمین و شرایط زیست محیطی مناسب است، باد از قدرت کافی برخوردار است، جاده و پل های لازم موجود است، شیب زمین بیش از حد تند نیست، خطر زلزله تا چه حد است، میزان زرات معلق در هوا نظیر ماسه و نمک، و سوالات دیگر

انتخاب مدل مناسب توربین:

نکات مهم در بررسی و مقایسه مدل های مختلف به شرح زیر است

ایا توان بادی توربین های بادی انتخابی مناسب است، تولید صدای توربین در حد قابل قبول است، قیمت مدل انتخابی مناسب است، و عوامل دیگری که در روند مطالعات امکان سنجی مزارع بادی باید به آن توجه داشت وضعیت موضعی باد است.

ارزیابی سایت: شرایط محیطی از طریق سه عامل روی شرایط باد در سایت تاثیر می گذارد



موانع: موانعی مثل وجود یک تپه، یا درخت در مسیر باد

از شاخص های که جریان باد در یک سایت خاص دارای اهمیت است عبارت اند از: پرفیل باد، سرعت متوسط باد، توزیع سرعت باد توزیع جهت باد و غیره

زبری سطح: زبری سطح اثر خود را مستقیماً روی پرفیل سرعت باد می گذارد هر چه زبری سطح بیشتر باشد تغییر سرعت مربوط به دو ارتفاع مشخص از سطح زمین بیشتر است

مزایای استفاده از انرژی بادی:

انرژی بادی نسبت به سوخت های فسیلی دارای مزایای زیر است

الف-لودگی ایجاد نمی کند ب-تجدید پذیرند

از مزایای دیگر عدم نیاز توربین های بادی به سوخت، رایگان بودن انرژی، توانایی تامین بخشی از تقاضای انرژی برق، کمتر بودن قیمت انرژی نسبت به انرژی فسیلی، عدم نیاز به آب، کمتر بودن هزینه جاری و سرمایه گذاری

PowerEn.ir



معایب:

به دلیل متفاوت بودن سرعت باد در فصول مختلف و حتی در ساعات شبانه روز، از باد به عنوان یک منبع متناوب و نه مستمر از آن یاد می شود به همین دلیل بعضی از بادهای توانایی تولید برق را ندارند و تنها باعث چرخش رتور می شوند به همین دلیل توربین ها به طور متوسط با 25٪ تا 35٪ ظرفیت خود کار می کنند

نکات:

اسیب های وارد به توربین های بادی ناشی از دو دلیل عمده است

1- کارکرد زیاد به طوری که 3٪ از زمان کارکرد توربین های بادی تجاری صرف تعمیرات آنها می شود.

2- 80٪ صدمات وارده به توربین های بادی به ویژه در کشورهای اروپایی و آمریکایی در اثر برخورد صاعقه به پره های توربین است در کشور ما کمتر اتفاق می افتد.

با توجه به تغییر سرعت باد نمی توان با استفاده از سرعت متوسط برای یک منطقه میزان تولید توربین بادی نصب شده در آن منطقه را مشخص کرد برای نصب توربین های بادی در یک منطقه باید فراوانی سرعت در آن منطقه را مشخص کرد معمولاً از یک ضریب توزیع در اطلاعات جمع اوری شده مربوط به منطقه استفاده می کنند تا سرعت توزیع باد در آن منطقه مشخص شود برای آگاهی از میزان ضریب توزیع سرعت از مدل رایلی استفاده می شود بیشترین توان تولیدی توربین ها در سرعت بالای باد می باشد و بیشترین انرژی تولیدی در بازه های زمانی کوتاه تولید می شود.



طبق الگوی رایلی نیمی از انرژی تولیدی تنها در 15٪ از زمان کارکرد توربین تولید می شود در نتیجه

نیروگاه بادی مانند نیروگاه های سوختی دارای تولید انرژی پایدار نیستند.

ضریب ظرفیت:

از آنجا که سرعت باد در ساعات مختلف متفاوت است و با توجه به اینکه تولید انرژی الکتریکی وابسته به سرعت باد است و به همین دلیل است که نمی توان با حاصل ضرب توان تولید نامی در مجموع ساعات کار آن در یک سال تولید انرژی الکتریکی را بدست آورد .

کاربرد نیروگاه بادی

-نیروگاه بادی منفرد جهت تامین انرژی الکتریکی واحدهای مسکونی، تجاری، صنعتی یا کشاورزی

-مزارع برق بادی جهت تامین بخشی از تقاضای انرژی برق شبکه

بادها در ایران

ایران از نظر وضع کوهستانی، وجود دریا در شمال و جنوب، دوری نواحی مرکزی آن از دریا، وجود کوه های مرتفع در گرداگرد و داخل آن یکی از کشورهای نادر جهان به شمار می رود

ایران در مسیر جریان های مهم هوای است که این بادها شامل

-جریان مرکز فشار آسیای مرکزی در زمستان

-جریان مرکز فشار اقیانوسی هند در تابستان

-جریان غربی از اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه

به خصوص در زمستان

-جریان شمال غربی در تابستان

PowerEn.ir



نیروگاه های بادی در ایران

در ایران با توجه به مناطق باد خیز آسیاب های بادی از 2000 سال پیش رایج بوده و همکنون نیز بستر مناسبی جهت بهره برداری از توربین های بادی است مطالعات نشان می دهد که در ایران در 26 منطقه شامل بیش از 45 سایت میزان ظرفیت سایت ها با در نظر گرفتن راندمان کلی 33٪ در حدود 6500 مگاوات است این در حالی است که ظرفیت اسمی نیروگاه های برق کشور در حدود 34000 مگاوات است.

قسمت های نیروگاه بادی

- 1- روتور 2- سیستم محرکه شامل جعبه دنده ، مولد برق (ژنراتور) و مکانیزم ترمز 3- برج نگهدارنده
- 4- سیستم های کنترل ایمنی 5- سایر قسمت ها شامل اتصال های برقی سازه ای و خدماتی

روتور:

به مجموعه تیغه ها و توبی وسط انها رتور می گویند بال ها و هاب به رتور متصل هستند. با به حرکت در آمدن بال ها توسط انرژی باد رتور نیز می چرخد. جنس بال ها از چوب ولی بیشتر از فایبر گلاس به خاطر سبک بودن و در عین حال مقاوم بودن استفاده می شود از آلومینیوم به دلیل کم بودن مقاومت و از فولاد به دلیل سنگینی استفاده نمی شود.

انواع ژنراتورها در نیروگاه های بادی :

- 1- توربین های بادی که از یک ژنراتور و یک جعبه دنده (سیستم انتقال) استفاده می کنند 2- توربین هایی که دو ژنراتور دارند یکی برای باد های ضعیف و دیگری برای بادهای قوی 3- توربین هایی از یک ژنراتور با دوسیم پیچ استفاده میکنند که این سیم پیچ ها کار همان دو ژنراتور را انجام می دهند 4- تعدادی از توربین های بادی از طراحی ویژه ای استفاده می کنند که در آن ژنراتور مستقیم بوسیله روتور و بدون سیستم انتقال (جعبه دنده) گردانده می شود



جعبه دنده (gear box):

وظیفه جعبه دنده تنظیم میزان چرخش ژنراتور در سرعت های مختلف باد است. گیر بکس توربین های بادی می توانند سرعت کم چرخش محور پره ها را با ضریب تبدیل مثبت به سرعت بالا که در ژنراتور استفاده میشود تبدیل کند.

ضریب تبدیل به طور کلی 4 تا 5 و گاهی بیشتر است. به طور مثال اگر دور توربین بادی 100 دور در دقیقه باشد بوسیله جعبه دنده به 400 دور در دقیقه افزایش می یابد.

به طور معمول توربین های بادی از لحاظ دور به سه دسته تقسیم می شوند:

1- دور ثابت

2- دور متغیر

3- دو دوره

در توربین های با دور ثابت گیر بکس طوری طراحی گردیده است که ورودی آن متغیر ولی خروجی آن ثابت باشد چرخ دنده ها به محور سرعت پایین (محور روتور توربین) متصل هستند و آن ها از طرف دیگر به محور با سرعت بالا (محور ژنراتور) متصل میباشند.

معایب گیر بکس ها:

وزن آنها بسیار سنگین است، قیمت آنها و نیز هزینه تعمیرات جعبه دنده نیز بالا میباشد به علت سنگین بودن وزن، نصب آنها نیز مشکل است.

ترمزها (brake):

PowerEn.ir



با استفاده از سیستم ترمز دیسکی، هیدرولیکی، میتوان توربین را در مواقع عادی و حتی اضطراری

متوقف کرد برای توقف و ترمز واحد ها دو روش وجود دارد:

الف- ترمز دینامیکی: در نوک پره ها پره ای دیگر موجود است که از نوک پره ی اصلی فاصله دارد و تغییر حالت آن موجب توقف پره اصلی میگردد.

ب- پیچ کنترل: در این سیستم تمام پره تغییر وضعیت میدهد و نسبت به روش قبلی مدرن تر است در مواقعی که طوفان است و یا به خاطر سرویس نباید واحد به کار خود ادامه دهد پره ها طوری قرار میگیرند که کم ترین سطح تماس را با باد داشته باشند.

ناسل (nacelle):

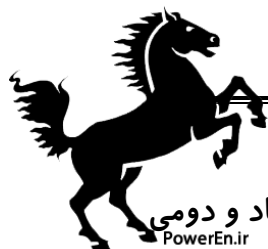
قسمت اصلی توربین بادی که روتور به آن متصل است را ناسل میگویند. ناسل در بالای برج قرار دارد شامل جعبه دنده، شافت اصلی ژنراتور، بخش کنترل و ترمز است. بعضی از ناسل ها انقدر بزرگند که تکنیسین ها میتوانند داخل آن بایستند.

بخش کنترل (controller):

بخش کنترل، توربین را هنگامی که سرعت باد بین 4 تا 25 متر بر ثانیه است به کار می اندازد و هنگامی که سرعت باد به بالا تر از 25 متر بر ثانیه میرسد آنها را متوقف میکند. توربین ها نمیتوانند در سرعت های بیشتر از 25 متر بر ثانیه به کار خود ادامه دهند. در سرعت بالای 30 متر بر ثانیه خطر سقوط برج ها نیز وجود دارد.

سنسورهای اندازه گیری (measure sensors):

PowerEn.ir



توربین های بادی شامل دو سنسور سرعت سنج و جهت نما میباشند که اولین سرعت باد و دومی

جهت باد را به دقت مشخص میکند و اطلاعات حاصل را به بخش کنترل میدهد. براساس این اطلاعات

زمان کار توربین و زاویه انحراف توربین مشخص میشود.

درایو انحراف (yaw drive):

وسیله ای است که وضعیت توربین را هنگامی که باد در خلاف جهت می وزد کنترل میکند و زمانی

استفاده میشود که قرار است بالها در مقابل وزش باد از روبه رو قرار بگیرند اما زمانی که باد در

جهت توربین می وزد نیازی به استفاده از این وسیله نمیشود.

موتور انحراف (yaw motor):

هدایت این موتور توسط واحد کنترل انجام میشود. بر اساس اطلاعات رسیده از قسمت اندازه

گیری، واحد کنترل جهت باد غالب را تعیین کرده و به موتور انحراف فرمان میدهد که توربین را در

راستای مناسب بچرخاند.

توضیح در مورد نوع ژنراتور های مورد استفاده در توربین های بادی:

جریان برق توسط ژنراتورهای ac تولید میشود از انجایی که فرکانس این جریان برق متناوب

متناسب با دور محور گردان است و از انجایی که برای فرکانس ثابت احتیاج به دور توربین ثابت



است پس باید دور توربین ثابت باشد و از طرفی هزینه ی تهیه و تدارک مکانیسمی که دور را ثابت

PowerEn.ir

نگه دارد گران تمام میشود.

برای برطرف کردن این مشکل دو راه حل وجود دارد:

1- ژنراتور های جریان متناوبی ساخته شده است که با استفاده از دستگاهای الکترونیکی میتوانند با

متغیر بودن دور، جریان با فرکانس ثابت تولید کنند.

2- روش دیگر برای تهیه جریان با فرکانس ثابت این است که ابتدا جریان مستقیم تولید کنند سپس

این جریان را با استفاده از دستگاه اینورتر (inverter) به جریان متناوب تبدیل نمایند.

فصل هشتم

نیروگاه بیوماس

PowerEn.ir



نیروگاه بیوماس :

به نیروگاه هایی که از زیست توده جهت تولید انرژی الکتریکی استفاده می کنند گفته می شود.

زیست توده :

منبع تجدید پذیر انرژی که از مواد زیستی یا عبارتی هر زباله ای که از تکثیر سلولی بوجود آمده است .

منابع بیوماس :

PowerEn.ir



- 1- جنگلها و ضایعات جنگلی
- 2- محصولات و ضایعات کشاورزی
- 3- فضولات دامی
- 4- فاضلاب شهری
- 5- پسماند و زائدات آلی صنعتی
- 6- زباله های جامد شهری

دلایل استفاده از بیوماس:

- 1- تجدید پذیر
- 2- پس از نفت و گاز و ذغال سنگ بیشترین مقدار در روی کره زمین را داراست.
- 3- تنها در بخش ضایعات جنگلی و کشاورزی توانایی تولید سالیانه انرژی برابر 70 میلیارد تن نفت خام که 10 برابر مصرف سالیانه انرژی در جهان است را دارد.

انواع نیروگاه های بیوماس:

- 1- نیروگاه های بیوماس گازی
 - الف - نیروگاه های chp موتورهای احتراق داخلی با سوخت بیوگاز و یا بیو دیزل
 - ب - نیروگاه های chp با توربین گاز
- 2- نیروگاه های بیوماس با توربین بخار



3- نیروگاه های دارای فرآیند بیولوژیکی هضم و تخمیر

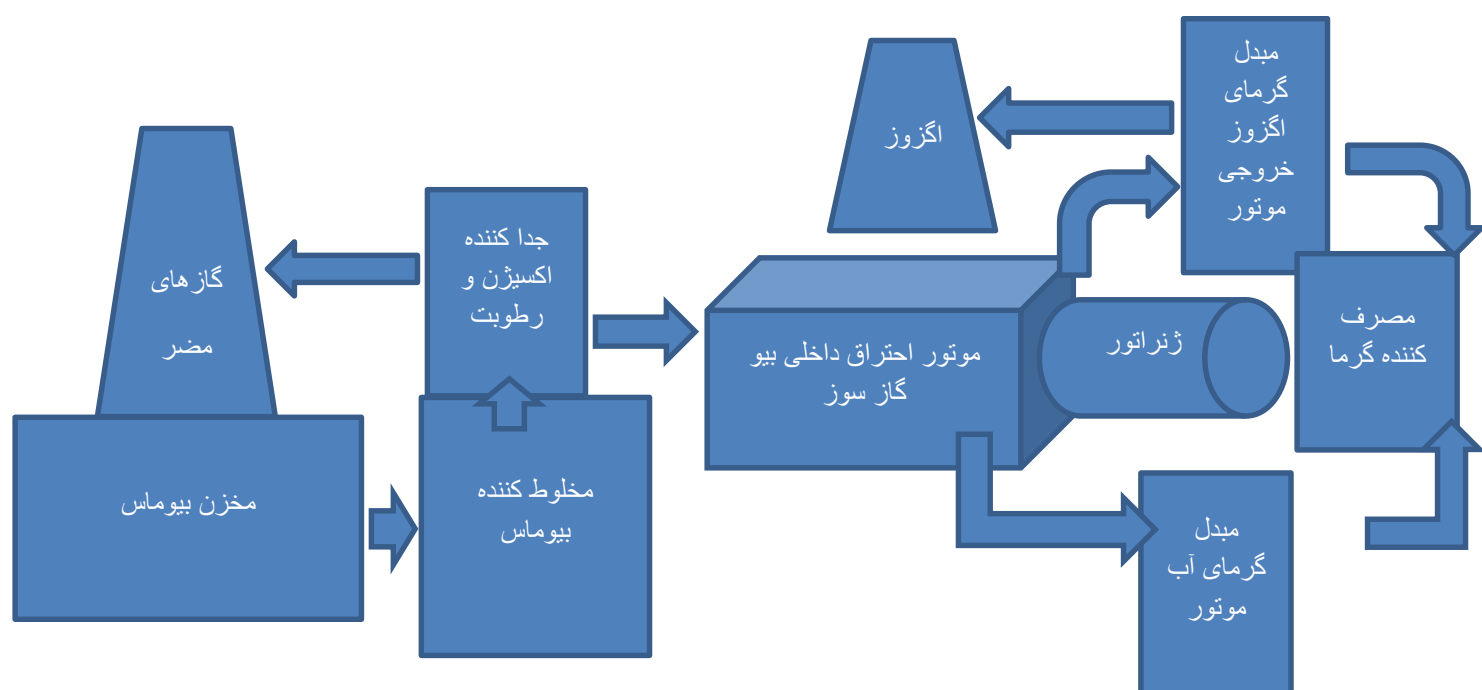
3- نیروگاه های دارای فرآیند بیولوژیکی هضم و تخمیر

4- نیروگاه های دو گانه سوز که از بیوماس به عنوان سوخت فرعی در کنار ذغال سنگ

استفاده می کنند .

نیروگاه های chp موتورهای احتراق داخلی با سوخت بیوگاز یا بیو دیزل

چرخه کار نیروگاه بیوگاز chp



تجهیزات نیروگاه:

1- موتور احتراق داخلی بیوگاز سوز



2- واحد تصفیه بیواکاز

3- لوله های انتقال و کمپرسور مکنده

4- ژنراتور های سنکرون

مزایای این نیروگاه:

1- تولید برق با انرژی تجدید پذیر

2- تولید همزمان برق و حرارت

3- پروسه کنترل آسان

4- راه اندازی سریع

5- هزینه بهره برداری پایین

6- جلوگیری از آلودگی محیط زیست

7- امکان راه اندازی نیروگاه قبل

از اتمام پروژه

8- تعمیر و نگهداری آسانتر نسبت

به سایر نیروگاه ها



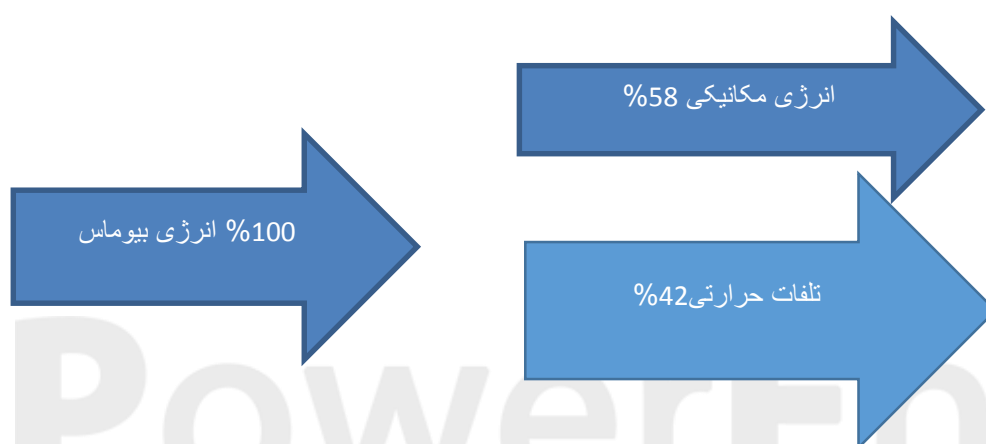
9- ایجاد امنیت بالاتر برای شبکه

در صورت استفاده گسترده

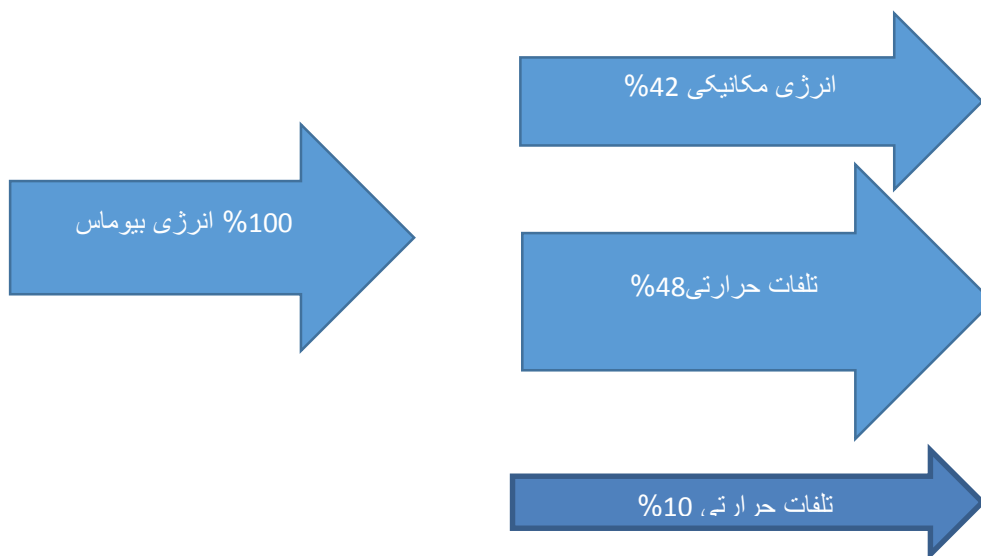
معایب این نیروگاه:

- 1- نیازمند قرار گیری نزدیک محل دفن زباله
- 2- توانایی تولید توان تا 3 مگاوات تا امروز
- 3- نیازمند گذشت حداقل سه سال از دفن زباله تا راه اندازی
- 4- قابلیت انفجار در صورت ترکیب متان با اکسیژن
- 5- نیازمند سرویس های دوره ای بیشتر و استهلاک بالای قطعات

تبدیل انرژی در نیروگاه با موتورهای بیوگاز
بدون بازیافت حرارتی :

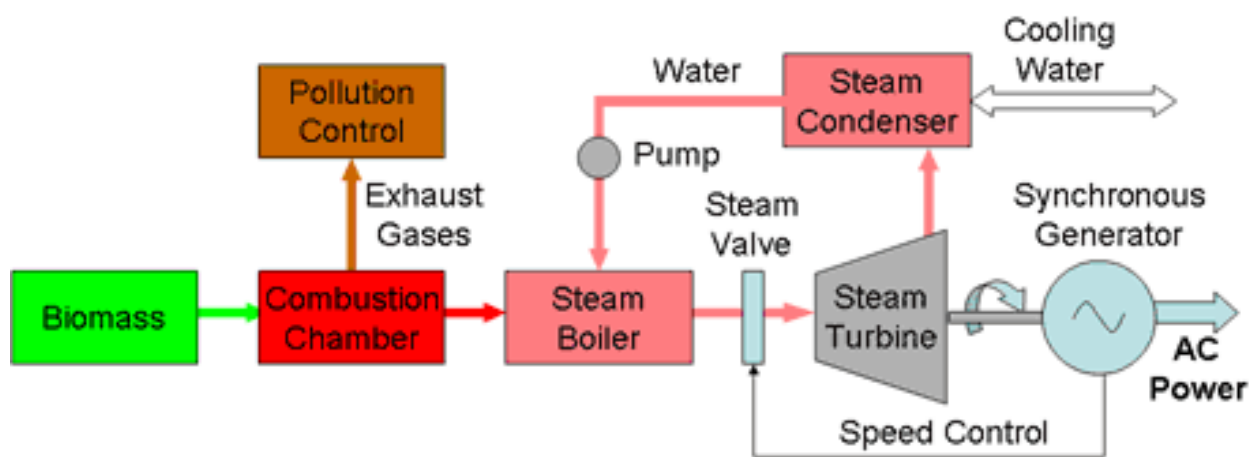


تبدیل انرژی در نیروگاه با موتورهای بيوگاز به همراه بازيفت حرارتی chp



نیروگاه های بخار بیوماس:

چرخه کار نیروگاه بخار بیوماس



Electricity Generation Powered by Biomass

تجهیزات نیروگاه:

1- مخزن و انبار ذخیره سوخت بیوماس

2- انتقال دهنده و تغذیه کننده بیوماس

3-محفظه احتراق سوخت بیوماس

4-پمپ های تغذیه آب بویلر



5-توربین بخار

6-هوا زدا (مایع ساز)

7- برج های خنک کننده

8- دودکش خروجی هوای گرم محفظه احتراق

9- فیلترهای دودکش خروجی

مزایای این نیروگاه:

1- منابع تجدید پذیر

2- ایجاد توازن در کربن آزاد شده و بوجود آمده توسط نیروگاه

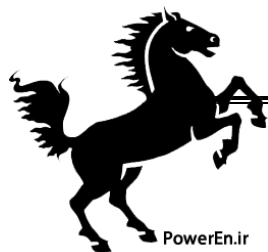
3- دارای $3/1$ قیمت نسبت به سوختهایی چون ذغال سنگ و نفت و مازوت و گاز

4- فراوانی در مناطق مختلف کره زمین

معایب این نیروگاه:

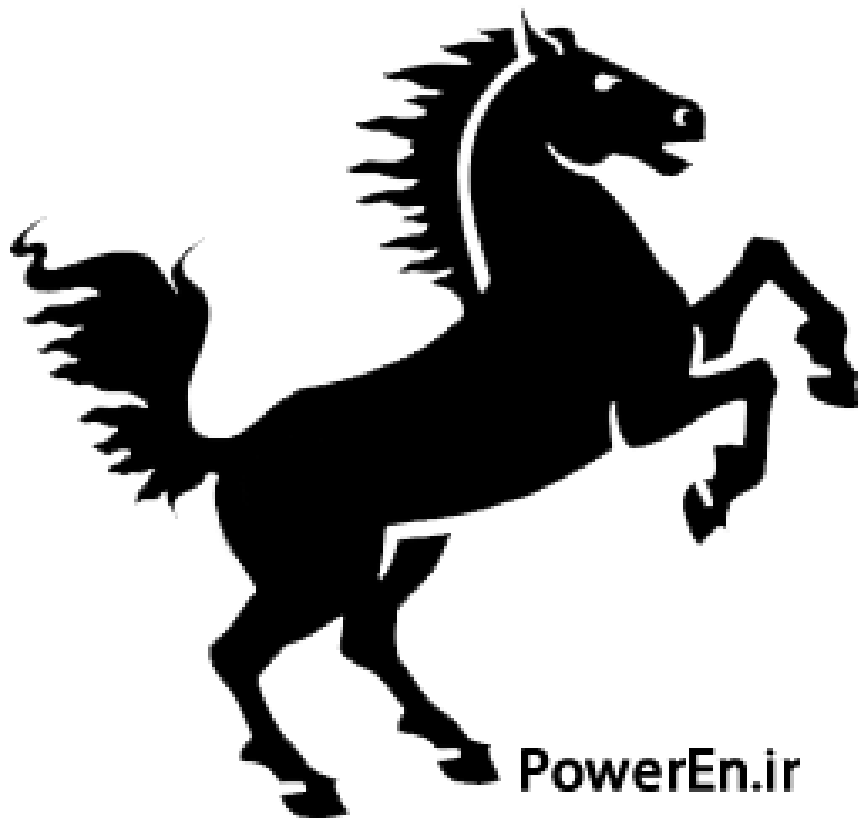
1- هزینه ساخت بالا به علت تکنولوژی پیشرفته

2- نیازمند فضایی بزرگ هنگام احداث



3- بازده حرارتی پایین و وابستگی به تکنولوژی توربین

PowerEn.ir



پایان

PowerEn.ir