فصل پنجم

نیروگاه گازی

PowerEn.ir

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 وغیر حرارتی

.۲-۱ 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 Uو قابل تجزیه بوده و بقیه اورانیوم از نوع ۷ 235٪ اورانیوم از نوع ایزوتوپ سبک Uمی باشد. راکتورهای Uبه عنوان سوخت استفاده می کنند. نوع دیگری از راکتورهای هسته ای که از فعل و

PowerEn.ir

PowerEn.ir

انفعالات هسته ای در عمل از Pمی باشند که خود دارای هسته ای قابل تجزیه بوده و ^{239}U به پولوتونیوم ^{238} انفعالات هسته ای ناشی از تبدیل به عنوان سوخت استفاده می شود.

۴ -ترکیب هسته ای: درترکیب ذرات سبک با هم و تبدیل آنها به ذرات سنگین ترما به التفاوت 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 برروی 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 هوائی 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 سنتیک تبدیل شده و سس 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 مخلΔوط نمودن مواد قابل احتراق زباله با زغال سنگ انجام می شود .در حالت استفاده از انرژی حاصل از فاضلاب ، گازهای حاصله جمع آوری شده

PowerEn.ir

و سپس جهت تولید حرارت به سمت نیروگاه ارسال می گردند .از تاسیسات فوق به عنوان بخش کمکی ومکمل استفاده شده و از سیستم حاصله به میزان ناچیزی استفاده می شود بیوگاز (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

۳ -انتخاب دیگ بخار بویلر وتجهیزات کمکی آن

۴ -انتخاب توربین

۵ -انتخاب واحد های تقطیر کننده یا کندانسور

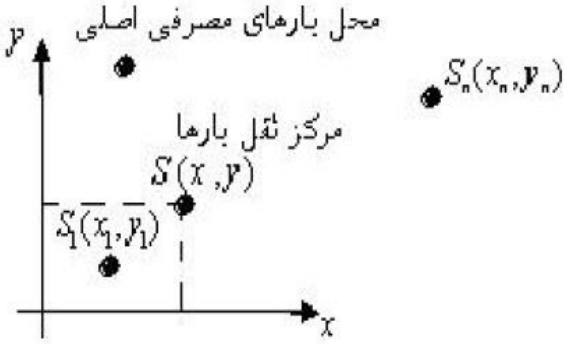
۶ -طراحی سیستمهای خنک آنندهCooling Tower

۷ -انتخاب ژنراتورهای الکتریکی

۸ -طراحی بخشهای آنترل واندازه گیری

محل نیروگاه حرارتي

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



PowerEn.ir

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

قرارگرفتن نیروگاه درمرکز 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 ومسائل زیر نیز در تعیین محل نیروگاه بایستی در نظر گرفته شوند:

۱ -نزدیک بودن به محل مصارف بزرگ تولیدی واقتصادی ودور بودن از مراکز زندگی و شهری

2- در دسترس بودن منابع آبی ونزدیک بودن آنها وعدم آلوده آردن آنها

۳ -نزدیک بودن و در دسترس بودن سوخت ارزان

۴ -دور بودن از معادن و مرغوب بودن وسفت 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 ونگهداری و تعمیرات آن

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

8-عدم نزدیکی به فرودگاه وامتداد کانال های هوایی

۹ -امنیت بالای آن در هنگام بروز سوانح و جنگ

ظرفیت نیروگاه به وسیله عوامل زیر تعیین می شود:

1-تقاضای بار Demand مصرف صنعتی وغیر صنعتی

۲ -تقاضای بار مصرف آینده طی۱۵-۱۰ سال آینده

۳ -امکان اتصال به سایر نیروگاههای موجود

۴ -دسترسی به منابع آب و سوخت

PowerEn.ir

PowerEn.ir

تاریخچه توربین گاز

از حدود 70 سـال قبل توربین های گازی جهت تولید برق مورد اسـتفاده قرار می گرفته اند، اما در بیسـت سال اخیرتولید این نوع توربین ها بیست برابر افزایش یافته است .اولین طرح توربین گازی مشـابه توربین های گازی امروزی در سـال 1791 به وسـیله «جان پایر» پایه گذاری شـد که پس از مطالعات زیادی بالاخره در اوایل قرن بیستم اولین توربین گازی که از یک توربین چند طبقه عکس العملی و یک کمپرسـور محوری چندطبقه تشـکیل شـده بود، تولید گردید .اولین دسـتگاه توربین گازی در سـال 1933 در یک کارخانه فولادریزی در کشـور آلمان مورد بهره برداری قرار گرفت و آخرین توربین گازی با قدرت 2/212 مگاوات در فرانسـه نصب و مورد بهره برداری می گردد. در صنعت برق ایران اولین توربین گازی در سال 1343 در نیروگاه شهرفیروزه (طرشت) مورد استفاده قرار گرفته اسـت که شـامل دو دسـتگاه بوده و هر کدام 5/12 مگاوات قدرت داشـته است. در حال حاضـر کوچکترین توربین گازی موجود در ایران توربین گاز سـیار «کاتلزبرگ» با قدرت اسمی یک مگاوات و بزرگترین آن توربین گازی 7-49 شرکت زیمنس با قدرت 150مگاوات می باشد. نقش توربین گاز در صنعت برق توربین های گاز جدا از تولید برق به خاطر خصوصیات ویژه ای که دارند می توانـد در موارد دیگری مثـل موتورهـای جـت 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 اسـت که در صنعت برق وجود دارد. لذا مطالب خود را براساس همین موضـوع پیگیری می کنیم .با توجه به آمار و ارقام مشخص می شود که میزان مصرف برق در سـاعات 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 رسـد (پیک بار) و در بعضـی سـاعات مثل سـاعات بین نیمه شب تا بامداد مصرف برق خیلی پایین است و در بقیه اوقات یک مقدار متعادل را دارد

مقدمه

PowerEn.ir

PowerEn.ir

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 چیزرا 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 صفراست. 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 دیگ) مصرف می شود. بنابراین لازم است که قدرت تولیدی در توربین بیشتراز 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 برمبنای سیکل گاز(سیکل برایتون) کارمی کندو ازسیکل های حرارتی می باشد، یعنی سیال عامل کار یک گاز است.(عامل انتقال وتبدیل انرژی)گازی است ، مثلا هوا در نیروگاه های بخار عامل انتقال

« بخارمایع» می باشد .نیروگاه گازی دارای توربین گازی است ،یعنی با سیکل برایتون کارمی کند.

PowerEn.ir

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 تأثیرمی گذارد این است که هوای ورودی چه دمایی دارد .**

-

4-**سریع النصب 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 مثلا برای خنک کردن هیدروژن به کاررفته جهت سردکردن ژنراتور درسرعتهای بالا**

راه اندازی این نیروگاه سریع است

8- **پرسنل کم**

PowerEn.ir

PowerEn.ir

. زمـــــــــانی نیروگـــــاه گـــــازی خـــــاموش اســـــت کـــــه دراتـــــاق احتـــــراق ســـــــــوخت نباشـــــد . یک نیروگاه بخار را بعد از راه اندازی نباید خاموش کرد. اما نیروگاه گازی بدین صورت است که صبح

می توان روشـن کرد و آخر شـب خاموش نمود. نیروگاه گازی بسـیار مناسب برای بار پیک است و نیروگاه بخار بـرای بـار پیـک نامناسـب است .

معایب:

1-آلودگی محیط زیست زیاد است

2- .عمر آن کم است. (فرسودگی توربین وکمپرسور) سوخت مازوت به علـت آلـودگی بیشـتری کـه نسـبت بـه سـوخت گازوئیل دارد، کمتربه کارمی 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 صـرف کمپرسـور می شـود .بنابراین درنیروگاه گازی برای اسـتفاده درازمدت اصلا جایزنیست چراکه هزینه مصرف سوخت گران است.

5 -امکان استفاده ازسوخت جامد فراهم نیست . (مانند زغال سنگ) چراکه بلافاصله پره های رتور پر ازدود می شـــود . نیروگاه های گازی را اگر بخواهیم برای مدت طولانی اســـتفاده کنیم ، هزینه نیروگاه گازی بالا ست. نیروگـاه گـازی را از جایی استفاده کنند که امکان بهره برداری و زمان بهره برداری زیر2000 ساعت باشد . اگرزمان بهره برداری بالای 2000 ساعت باشد از نیروگاه بخار اگر زمان بهره بـرداری در سـال بـالای 5000سـاعت باشـد ، نیروگاه آبی استفاده می شود .در کشور ما، برق عمده مصـرفی برق خانگی اسـت (60٪) وحدود 30 ٪ برق صنعتی اســـت . درنتیجـــه 50 ٪

PowerEn.ir

PowerEn.ir

نیروگـــاه هـــای کشـور باید هر شب روشن شود ؛ بنابراین قسمت عمده برق تولیدی ماباید ازنوع نیروگاه گازی باشـد . نیروگاه گازی را به دلیل ارزانی درکارخانجات نیزمی توان به کاربرد .نیروگاه گازی را درنیروگاه اتمی نیـــز اســـتفاده مـــی کنند. جهت سردکردن رآکتور هوا به کارمی رود که درنتیجه هوا داغ و فشرده می شود و در نتیجه به نیروگاه گـــازی داده و برق مصرفی نیروگاه اتمی راتأمین می کنند.

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

1 - دود خروجی هوای ورودی به اتاق را گرم می کند (سـیکل پیچیده ترشـده اما راندمان بالا می رود)

حالت اول : دود با هوای ورودی کمپرسور کنار یکدیگر قرار داده در این صورت راندمان تجهیـزات بـه شـدت افـت می کند.

حالت دوم : دود با هوای ورودی کمپرسـور به صورت غیر مستقیم در کنار یکدیگر قرار داده که با ایـن روش رانـدمان 1الی 2 درصدقابل افزایش است ؛ (هوای ورودی به اتاق احتراق گرم می شود)

2- اسـتفاده از توربین های دو مرحله ای : زیاد شدن راندمان مستلزم مخارج و صرف هزینه نیزمی باشد.

3- اسـتفاده از کمپرسـور دومرحله ای : هر چه دمای ورودی کمپرسـور پایین تر باشـد ؛ راندمان بیشتر است با این روش دمای ورودی کمپرسور به طورمصنوعی پایین نگه داشته می شود در مرحله Lpبه دلیل بالا رفـتن فشـار هـوا گرم می شود که از کولر استفاده می کنند ؛ آب سرد بر روی لوله فشار هوا ریخته و هوا را خنک کرده آب گرم مـــی شـــود و خارج می شود بالاترین راندمان چیزی درحدود 35٪ است که نیروگاه دارای کمپرسور دومرحله ای توربین دومرحله ای و پیش گـــرم کن می باشـد . نیروگاه گازی به این معنا نیسـت که سوخت آن گازاست ،بلکه توربین آن گازی است و سوخت آن مایع یـــا گازوئیـــل است که اکثرا گازوئیل است .درکشورما به دلیل زیاد بودن سوخت گازوئیل ، نیروگاه گازی با سوخت گازوئیل به کـــار میـــرود و مرســـوم اســـت. امـــا درکشورهای

PowerEn.ir

PowerEn.ir

اروپایی به دلیل زیاد بودن سوخت جامد ، نیروگاه گازی به نحو دیگری طراحی شده که با سوخت جامد کارمی 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 ازسوخت جامد استفاده کردکه 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 خواهدبود. مشکل ایجاد این است که هوای خارج شده از توربین به دلیل تصفیه بودن بایداستفاده 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 درزمستان 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 گوییم.

-یک مقدار بار نیزتنها در ساعات محدودی از شبانه روز اتفاق می افتد و مقدار آن بیشتراز بار در بقیه ساعات شبانه روز

می باشد. این بار را بار حداکثریا پیک می گوییم.

-نوسانات بین بار پایه و بار پیک را نیزبنام بار متوسط یا میانی می گوییم.

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

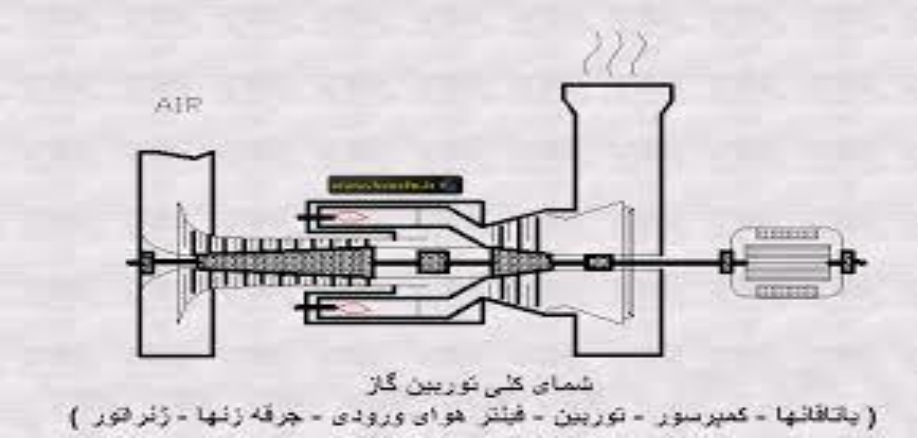
PowerEn.ir

PowerEn.ir

می شـوند، زیرا خصوصیات تقاضا شده فوق را دارا می باشند .توربین های بخار به خاطر آنکه برای راه اندازی و رسـیدن به مرحله باردهی چندین سـاعت وقت لازم دارند و اسـتفاده از آنها به صـورت رزرو به صرفه نیست در این مورد استفاده

نمی شوند .بار میانی نیزتوسط ترکیبی از نیروگاه های مختلف که اقتصادی تر باشد، تأمین می شود . بنابراین یکی از بارزترین موارد اسـتفاده توربین های گاز در صنعت برق، تأمین بار پیک توسط این واحدهاسـت البته در کشـورهایی مثل ایران که مسـأله سـوخت حتی گاز و گازوئیل مسـأله مهمی را ایجاد نمی کند از واحدهای گازی برای تأمین بار پایه نیز اسـتفاده می شـود .از ویژگی های دیگر واحدهای گازی که با دیزل اسـتارت می شـود 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 شـبکه سـراسـری متصـل نیسـتند و نیز برای شـروع برقرارکردن شـبکه پس از خاموشـی کامل شـبکه اسـتفاده کرد .در بعضـی از واحدهای گازی کلاچ مخصـوص 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 شـدن 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 شـبکه هایی که بخاطرپایین بودن مصرف در شبکه ولتاژ بالا می رود انجام می شود به این نوع استفاده از ژنراتور اصطلاحاً کندانسور کردن گویند.

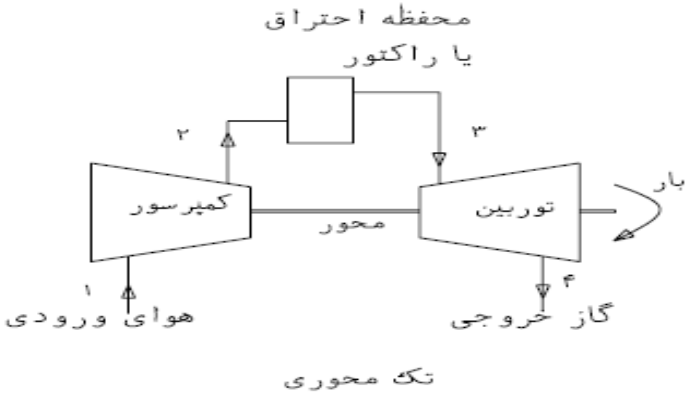
اجزای نیروگاه گازی



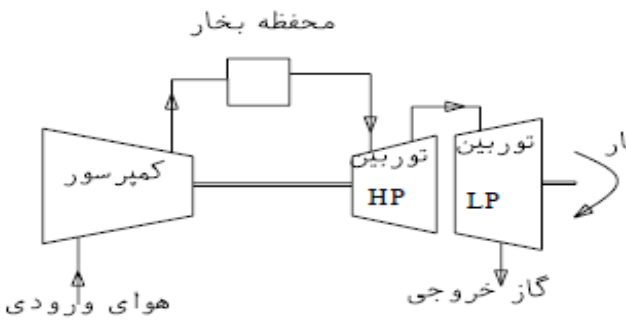
شمای کلی توربین گاز

(باتاقانها - کمپرسور - توربین - فیلتر هوای ورودی - جرقه زنها - ژنراتور)

شـامل توربین، کمپرسـور، محفظه احتراق و ژنراتور می باشـد.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 اس



تک محوری



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 کمپرسـور سـانتریفوژ به صـورت یکپارچه سـاخته می شوند. چنین ترکیبی برای Turbo Chargers**به صورت موتور دیزلی معدنی ساخته شده اند. این**

PowerEn.ir

PowerEn.ir

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.

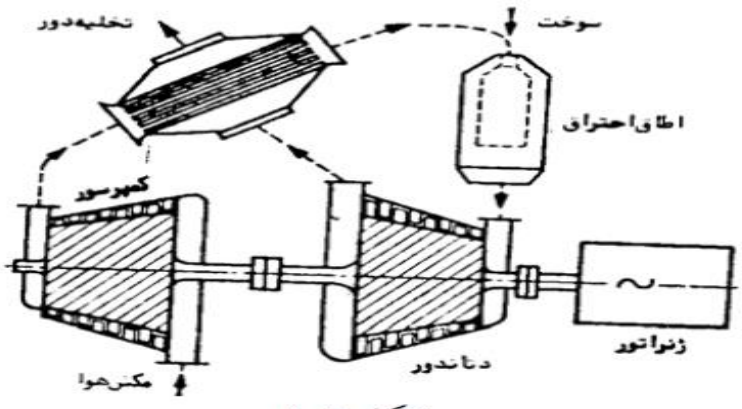
آشنایی با واحد نیروگاه و تجهیزات مربوطه :

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 اولیهٔ آنها استفاده می گردد

. هر نیروگاه گازی تشکیل شده از دو بخش اصلی به نامهای توربین گازی و ژنراتو ر 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:

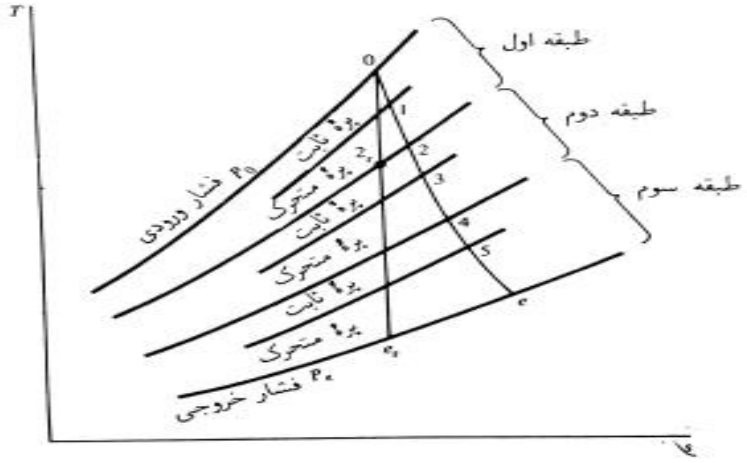


شکل ۱-۱

PowerEn.ir

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 . ما بین 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.

PowerEn.ir

PowerEn.ir

. انواع توربینهای موجود در صنایع پتروشیمی

مهمترین انواع توربینهایی که در صنایع پتروشیمی برای تولید بـرق از آنهـا اسـتفاده مـی شـود را میتوان به سه دسته تقسیم نمود

توربینهای بخارآب : توربینهای بخار آب قدیمیترین توربینها در صنعت پتروشیمی می باشـــند و از نیــروی بخــار آب بـرای بحرکت 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 Expunsion Turbine)

توربینهایی که گاز طبیعی با فشار و حرارت معین وارد توربین شده و به تیغه ها برخورد کـــرده و سبب چرخش توربین می شود و این توربین ها بعلت مصرف زیاد گاز طبیعی مقــرون بـــه صـــرفه نیستند.

3) توربینهای احتراقی گازی(Gas Combustion Turbine)

در این توربینها مقداری گاز طبیعی و هوای فشـرده د ر 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 معـــین به تیغه های توربین برخورد کرده و سبب چرخش توربین می شود . اساس کار این توربینها بر آن می باشـد که فشـار هوا در یک طرف دسـتگاه چرخنده توربین بالا می رود و فشـار هوای سریع برروی تیغه ها (Blades) منحنی شکل که روی Rotor قرار دارند اثر کرده و محور را به چرخش در می آورد ، باید توجه داشـت که برای چرخاندن تیغه ها ، هوا باید حرکت داشته باشد . انرژی فشار هوا به انرژی جنبشی هوای متحرک تبدیل شده و در نتیجه محور چرخنـــده تـوربین بحرکت در می آید و انرژی هوای سریع تبدیل به انرژی مکانیکی در توربین می گردد .

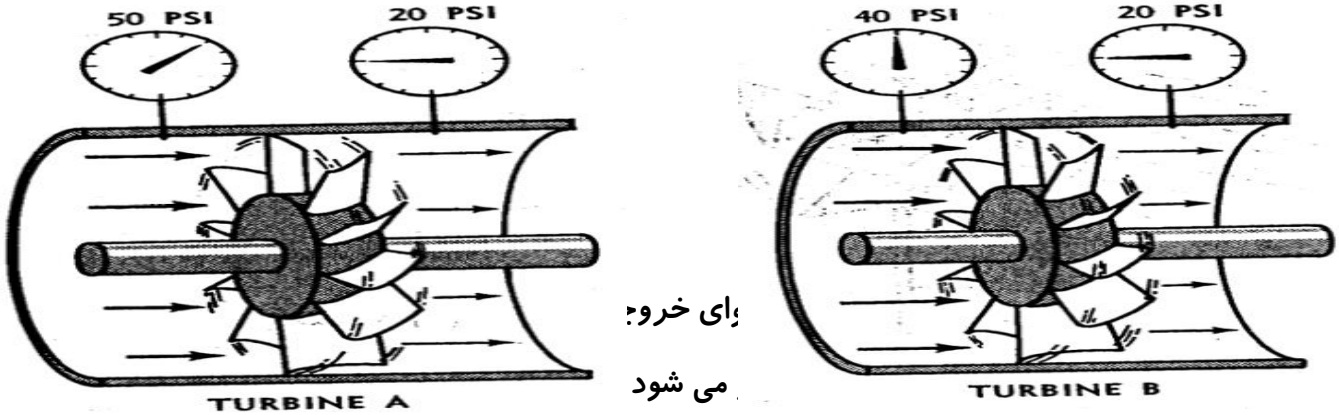
رتور یک توربین شامل قسمتهای زیر است:

PowerEn.ir

الف) محور Shaft

ب) صفحه مدور Disc

ج) تیغه ها Blades



وای خروج

می شود

نیرو و یا انرژی منتقل شـده به محور چرخنده (Rotor) **توربین اسـت . توربینی که فشـار هوای ورودی آن بیشتر است دارای قدرت بیشتری است اگر دو تـوربین فـشار خروجی یکسانی داشته باشند ، آنکه فشار ورودی اش بیشتر است قدرت زیادتری دارد ، هر گـاه دو توربین فشار ورودی یکسان داشته باشند آنکه فشار خروجی کمتر دارد ، نیـروی بیـشتری جـذب کرده است ، هوای خروجی توربین احتراقی معمولاً از طریق دریچهٔ** Exust **و یا** Stack **وارد جـو می گردد.**

(Compressor) کمپرسور

کمپرسور جهت فشردن هوا بکار می رود و باعث می شود که هوا با فـشار زیـاد بـداخل تـوربین رانده شود.

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

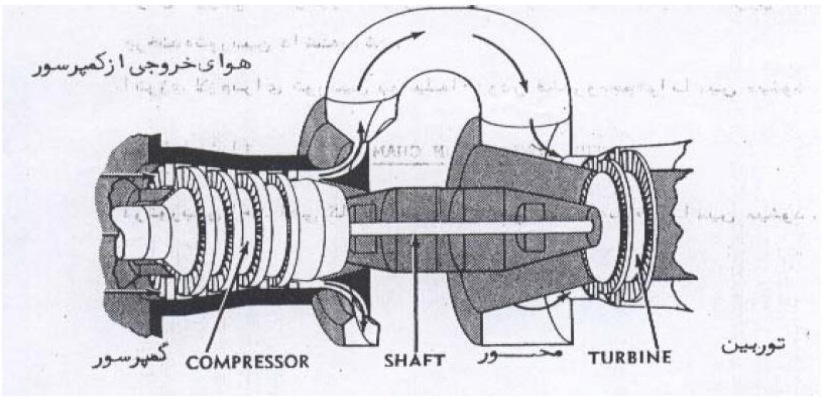
می نماید و در واقع تعدادی تیغه هـای دوار (Rotating Blades) **کـه بـرروی صفحه قرار دارند باعث به جلو راندن هوا به طرف توربین می گردند . نظـر بـه اینکـه هـوا بـین کمپرسور و توربین جمع شده و فشارش آنقدر زیاد می شود تا اینکه قادر به چرخانـدن تـوربین گشته و سپس از انتهای**

PowerEn.ir

PowerEn.ir

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.



شکل ۳-۱

در شکل ۱-۳ فن کمپرسور را بحرکت در می آمین مینماید و کمپرسور باعث فشرده شدن هوا می شود .

در شکل ۱-۳ توربین از هوای فشرده توسط کمپرسور نیرو می گیرد ، به هرحال 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

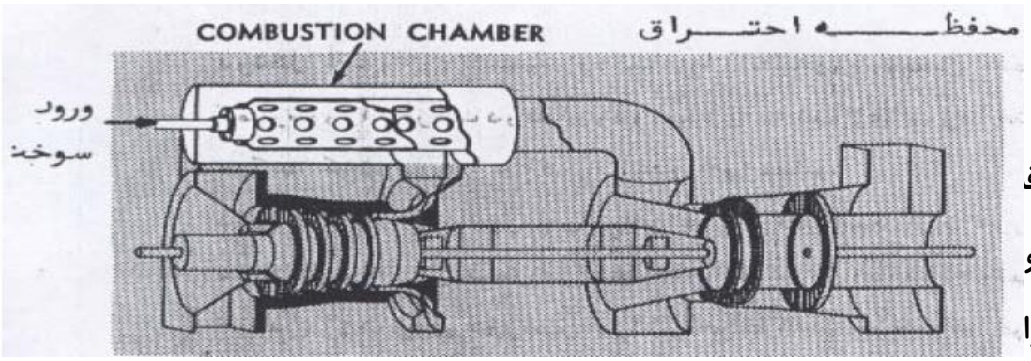
PowerEn.ir

PowerEn.ir

انرژی کافی جهت چرخاندن محـور Rotorتوربین 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 کـه در واقـع ایـن عمـل از طریق محفظه احتراق صـورت می گیرد . شـکل زیر محفظه احتراق محلی است که سـوخت در آن وارد شده و با هوای خروجی ازکمپرسور مخلوط شـده و مـی سـوزد و در اثـر سـوختن درجـه حرارت هوا بالا می رود و در نتیجه حجم هوا به نسبت زیادی منبسط می شود ، هـر گـاه بـه یـک محفظه بسته حرارت داده شود در اثر انبساط گازهای داخل محفظه فشارش بالا میرود ولی چون در توربینهای احتراقی محفظه احتراق به تیغه های تـوربین راه دارد و بنـابراین فـشار در محفظـه احتراق بالا نمی رود.



شکل 4-1

درشکل ۴-1 ف

۱)سرعت هو

۲)انبسـاط هوا

احتراق خارج شـده و به محور چرخنده جریان پیدا میکند. بنابراین هر چه فشـار هوا بیشـتر باشـد ، توربین نیـروی بیـشتری جهـت چـرخش کمپرسـور تولیـد میکند ، پس در اثر ازدیاد حجم هوا در محفظه احتراق هوا انرژی زیادتری کسـب کـرده و از ایـن نیرو برای جبران اصطکاک ، چرخش کمپرسور و قسمتهای چرخنده دیگر توربین استفاده میشود.

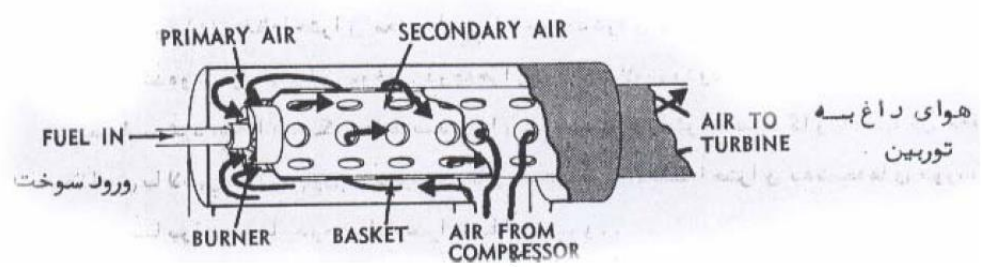
تشریح جریان هوا و گاز داغ در یک توربین احتراق گازی ساده:

هوای سرد از طریق مجرای ورودی کمپرسور ، بـه درون آن کـشیده مـی شـود (فـشار 14/7 اتمسفر و درجه حرارت محیط) محور Rotor کمپرسور از چنـد ردیـف تیغـه هـایی کـه بـرروی

PowerEn.ir

PowerEn.ir

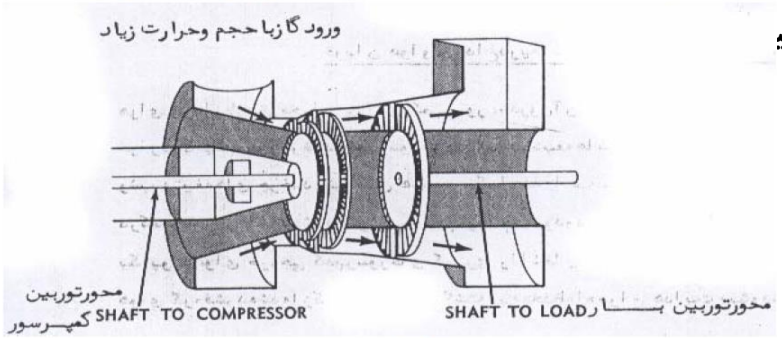
صفحه هایی قرار دارند و شبیه تیغه های Rotor توربین هستند تشکیل شده است . در کمپرسور هوا فشرده شده و در نتیجه حجم هوا کم می شود و درجه حرارت هوا بالا می رود ، بنابراین یک پوند هوای خروجی کمپرسور جای کمتری را اشغال می کند تا یک پوند هوای ورودی به کمپرسور مطابق شکل 5-1 هوای گرم فشرده شده از کمپرسور خارج گشته و به محفظه احتراق هدایت می شود



شکل ٥-١

در محفظه احتراق گاز ، سوخت یا مواد سوختنی با هوای فشرده مخلوط شده و شعله ور میشود ، در اثر سوختن مواد سوختنی ، درجه حرارت هوا بالا می رود و با ازدیاد درجه حرا رت حجم هوا بسیار زیاد می گردد.

.پس گرمای حاصل از مواد سوختنی باعث ازدیاد درجه حرارت و حجم هوا می گردد ، ولی چون محفظه احتراق به تیغه های توربین راه دارد فشار هوا بالا نمی رود ، پس هوا با حجم و حرارت زیاد و فشار معی شود.



شکل ٦-١

PowerEn.ir

PowerEn.ir

همانطوریکه در کمپرسور وقتیکه 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 زیادتر 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)

وقتیکه 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 ازآن 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

PowerEn.ir

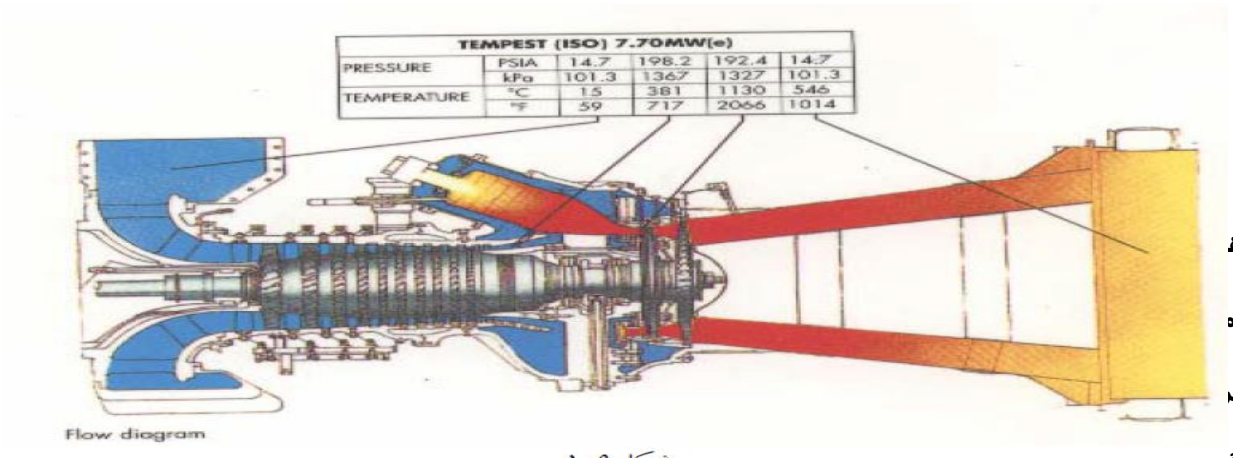
راه اندازی به روش الکتروموتوری : در این روش سیم پیچهای استاتور ژنراتور را ابتدا به برق با ولتاژ مشخصی متصل و سیم تحریک آن را نیز از مدار خارج می نمایند و در واقع ژنراتور را به صورت یک الکتروموتور سنکرون راه اندازی

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



شکل ۹-۱

ه

نه

ف

گر

انجام می شود.

PowerEn.ir

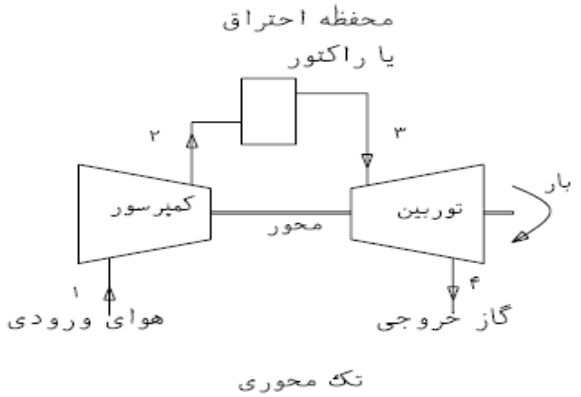
PowerEn.ir

چرخه های توربین های گازی

گاز داغ ایجاد شـــده از محفظه احتراق یا راکتور به عنوان ســـیال اصـــلی 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

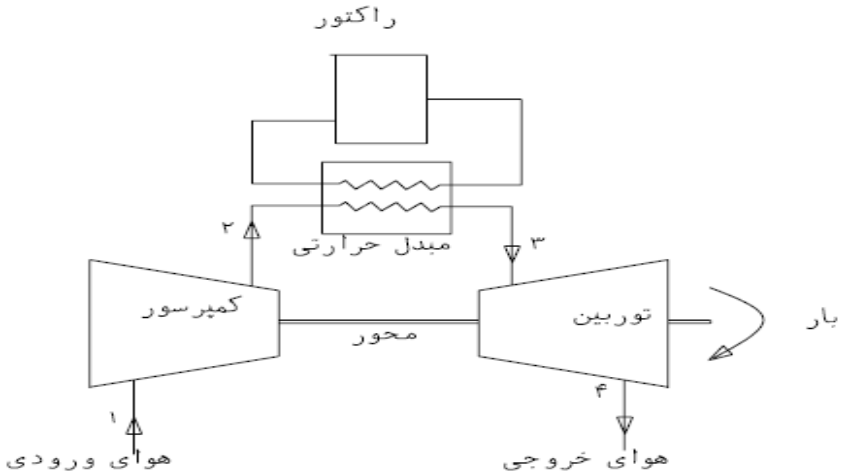


تک محوری

سـیال (گاز یا هوا) در نقطه ۱ وارد کمپرسـور شـده و در نقطه ۲ به صـورت فشـرده خارج می شـود. سـپس گاز متراکم وارد محفظه بخار یا راکتور می شـود. در حالت ایده ال با ثابت ماندن فشـار آن سـیال به صـورت داغ در نقطه ۳ خارج می شود . پس از آن با ورود به توربین و چرخش آن منبسط شـده و از نقطه ۴ خارج می گردد. گاز یا هوای خروجی داغ سـپس وارد اتمسـفر شـده و سـپس گاز (هوا) سـرد باز از نقطه ۱ وارد سـیسـتم می شـود. البته در این نوع چرخه فقط از هوا به عنوان سیال عامل استفاده میشود.

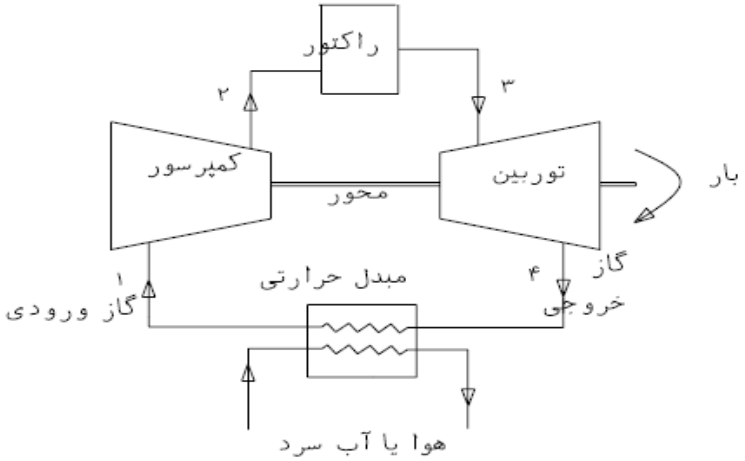
چرخه باز غیرمستقیم (Indirect Open Cycle)

PowerEn.ir



این چرخه تقریبا 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)

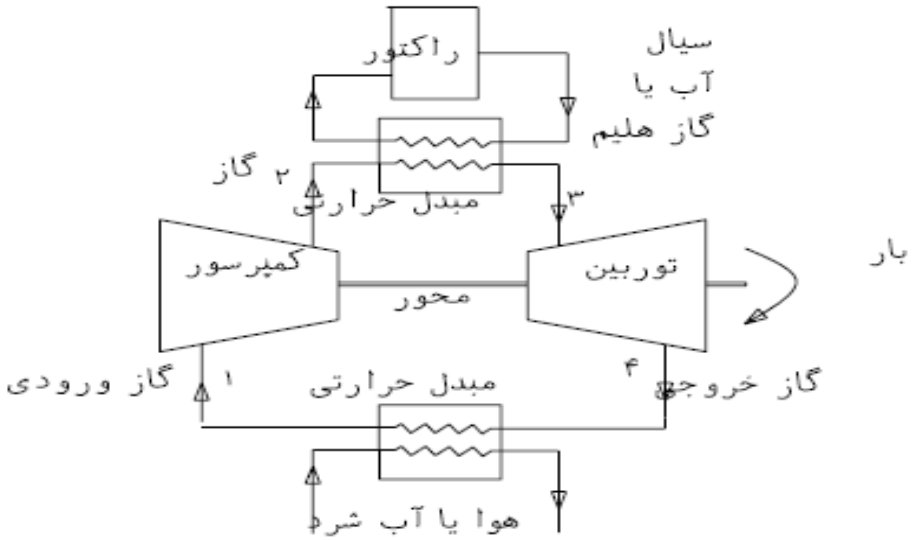


PowerEn.ir

PowerEn.ir

دراین حالت هیچ گازی از توربین وارد اتمسفر نمی شود. گازی که اکثرا در این سیستم مورد استفاده قرار می گیرد هلیوم است. دراین چرخه گازخروجی 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 بازغیرمستقیم 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 ازسوخت جامد فراهم می شود.**

PowerEn.ir

PowerEn.ir

-2 عمرزیاد (خوردگی پره ها کم است)

-3 چون سیکل بسته است ، لذاضرورت نداردکه فشارهوای خروجی توربین 1 Atm باشد، پس می توان سطح کارفشار هوارابالا برد، به جای 1 Atm از 10 Atm که چون هوای فشرده ترشـده ، جـای کمتـری گرفتـه وحجـم کمپرسـور وتوربین درنهایت کوچک ترمی شود.

معایب :

-1راندمان درمقایسه باسیکل بازکمتر است. 4 الی 5 درصد راندمان کاهش می یابد

2=هزینه زیاد است.

درسوخت مایع نیروگاه های گازی سیکل بسته ، اجازه داریم توربین رادوقسمتی بسازیم .کمپرسور هوا را گرفته و داخل اتاق احتراق می ســوزاند ، 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 درقسمت توربین کمکی به کاربرد.

نیروگاه گازی سیکل بازدارای معایب زیراست:

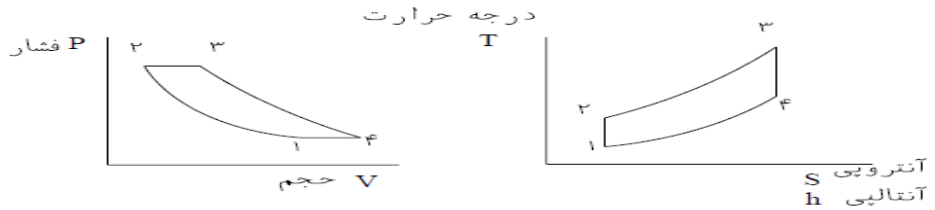
قدرت کمپرسور خیلی از انرژی توربین رامی گیرد و همچنین دود خروجی داغ است(در حدود 300 درجه سلسیوس) درنتیجه سوخت ایجاد شده به هدرمی رود ؛ لذا راندمان کاهش می یابد

.اســتفـاده از نیروگـاه ســیکـل ترکیبی (نیروگاه گازی درکنار نیروگاه بخار) هوای گرم خروجی ازتوربین را با اضــافه کردن اکسـیژن به آن به طرف بویلر نیروگاه بخار برده میشــود .راندمان این قبیل نیروگاه ها50 ٪ می باشد.

چرخه ایده آل برایتون

این چرخه ایده آل توربین گازی می باشد در این فرایند طبق نمودارهای زیر گاز ضمن فرایند 1تا 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 منبسـط 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



سیکل عملی برایتون:

سیکل عملی (واقعی) توربین گاز از نقطه نظرهای زیربا سیکل نظری برایتون تفاوت دارد-1 :

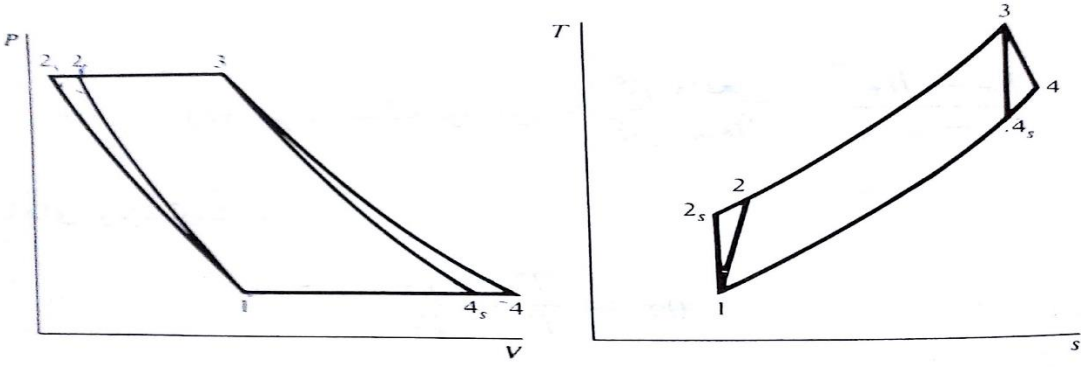
به علت وجود تلفات اصطکاکی در کمپرسور و توربین، فرآیند تراکم و انبساط بدون اصطکاک نیست و با مقداری افزایش در انتروپی همراه می باشد (این فرآیندها آدیاباتیک برگشت ناپذیر می باشند) در حالت ایده آل بازده کمپرسور و توربین 100٪ می باشد اما در عمل کمتراست.

-2 در اتاق احتراق افت فشار مختصری وجود دارد. این افت فشار (تلفات) به قدری کم است که می توان از آن صرفنظر 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 بیشتراز 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 هرجا که لازم است با گرمای ویژه هوا مساوی فرض کرد.

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



نمودارهای P_V و T_s برای چرخه‌های ایده‌آل و غیرایده‌آل برایتون

PowerEn.ir

PowerEn.ir

تلفات فشار در اتاق احتراق بصورت P2-P3 نشان داده می شود. در این سیکل :فرآیندَ2-1 تراکم آیزنتروبیک .فرآیند 1-2: تراکم واقعی .فرآیندَ4-3: انبساط آیزوتروبیک 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 برابرفرض شود (2-17) :بازده حرارتی سیکل بصورت زیر محاسبه می گردد :کار مصرفی کمپرسور- کار واقعی توربین =Wnet = 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 بازیاب حرارتی گویند .به دلیل اینکه بازده سیکل توربین گازی با بازیاب بیشتراز 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 وپس از هر مرحله از انبساط گرم کردن مجدد صورت می گیرد.

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

1- استفاده از سوختی با کیفیت بهتر

PowerEn.ir

PowerEn.ir

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

-3 استفاده از روشهای خنک کردن پره ها

-4اصلاح 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 مصـرفی کمپرسـور 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.

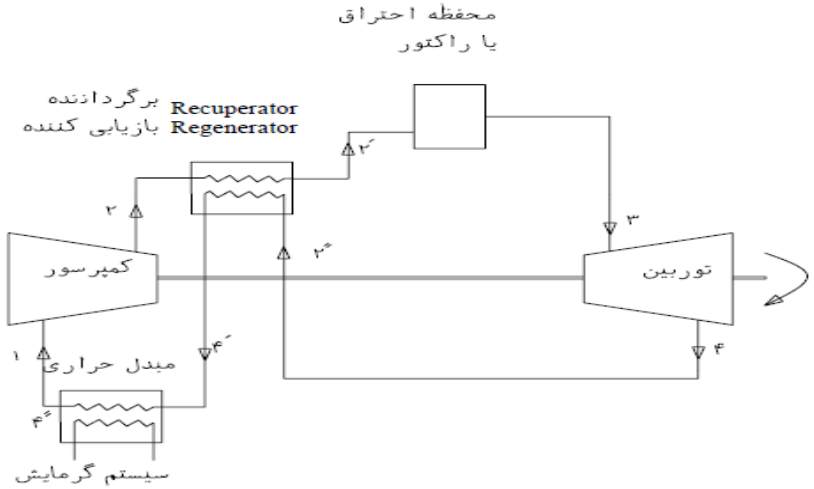
ج) تزریق آب: با تزریق آب در دهانه ورودی کمپرسـور، کار خروجی و بازده در اثر جرم اضـافی آب تزریق شده و افزایش دانسیته هوا و خشک کردن هوا زیاد می شود.

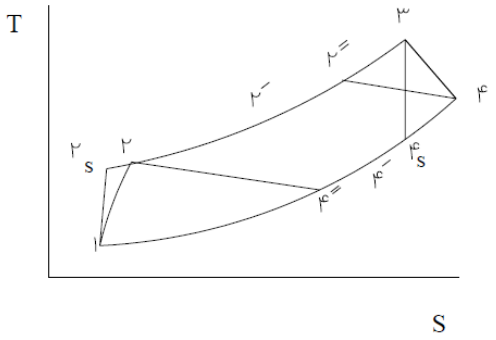
برای اصـلاح و توسـعه راندمان و خروجی این نیروگاه بایسـتی قسمتهای زیر به سیستم اصلی اضافه شود:

. Regeneration
2. Compressor Intercooling
3. Turbine Reheat
4. Water Injection -

الف) بازیابی یا دریافت مجدد(Regeneration)

این بخش همـانـنـد چرخـه توربین بخـار، وظیفـه وارد نمودن گرمای خروجی از توربین را به چرخه نیروگاه داردانجام می شـود. عمل بازیابی حرارت برای $T4 > T2$ **و عمل گرمایش در مرحله ۲ در چرخه** Brayton **معمولا پیش گرمایش گاز متراکم شـده در قسـمت ۲ نیز توسـط درجه حرارت خروجی توربین در قسـمت 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 .**

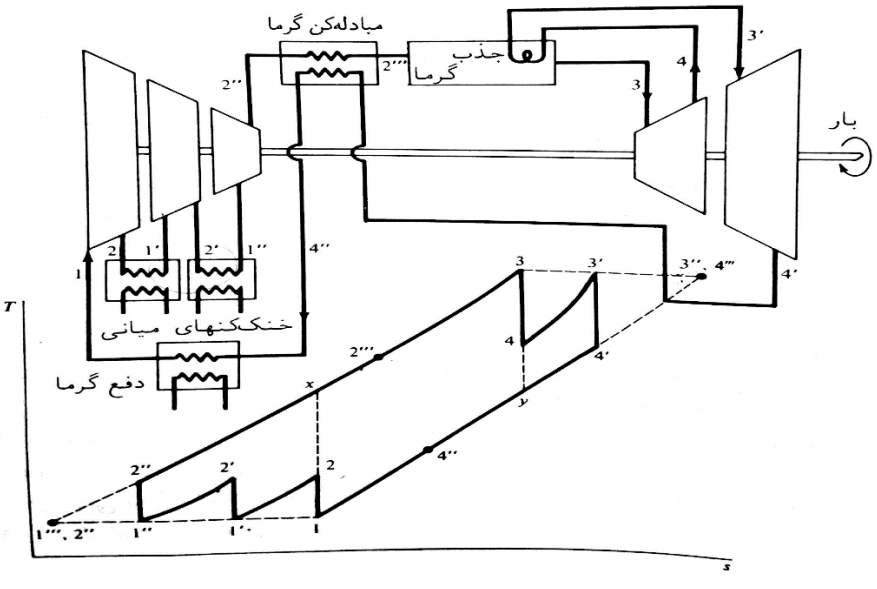




ب)کمپرسور با سرمایش میانی (متقابل یا زنجیره ای(Compressor Intercooling)

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 , , $\begin{cases} T_1 = T_1' = T_1'' \\ T_2 = T_2' = T_2'' \end{cases}$ **با $2''$ متراکم می گردد. در حالت ایده ال بنابراین 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 برایتون با دومرحله خنک کردن میانی و یک مرحله باز گرمایش و یک دستگاه مبادله گرما



PowerEn.ir

بنابراین به ازاء معین مقدار کار مستقیماً با دما متناسب است، لذا کمپرسور که بین حالت 1 و 2کار 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 P2 برسیم T=T2-T1را 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 T1 انجام داد. این روش با استفاده از خط بریده پایینی در شکل نشان داده شده است. اما این کار از لحاظ فیزیکی امکان پذیرنیست 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 (آیزونتروپیک) 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 ودمای آن در حالی که فشارش ثابت است (در فرآیند ایده آل) به دمای نقطهَ1 می رسد. مجدداً گاز تاَ2 متر[illegible] تاً1 خنک می شود و سرانجام تاً2 متراکم می شود. در فرآیند ایده آل است تحت این شرایط

کمپرسور از سه قسمت تشکیل می شود که کار مصرفی هرقسمت 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.

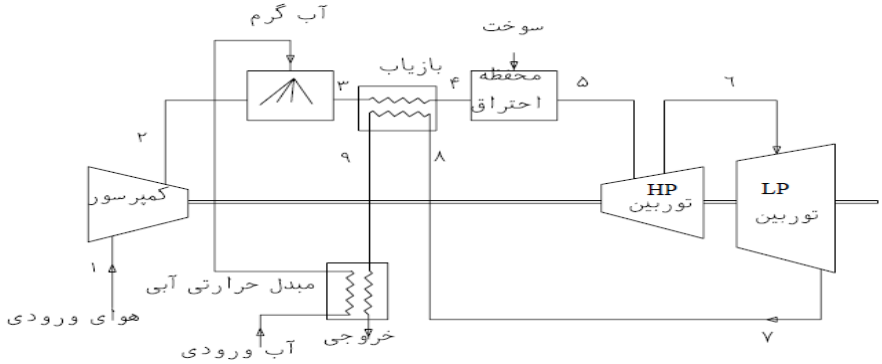
(Turbine Reheat) .پیش گرمایش توربین

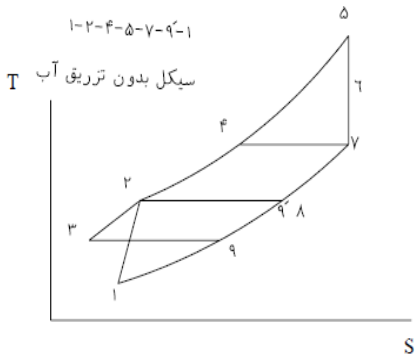
PowerEn.ir

PowerEn.ir

بـا حفظ درجه حرارت گاز توربین در مقدار زیاد می توان راندمان توربین را افزایش داد. همچنانکه در شـکل بالا دیده می شـود 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 شـود .(دقت کنید هرگاه عملیات سـرمایش 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 T1 .و T3 اسـت 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 دسـتگاه توربین نشـان داده شـده اسـت که بین آنها یک مرحله بازگرمایشـی قرار دارد. گاز در قسـمت فشـار بالای توربین از 3 تا 4 منبسـط می شـود و آنگاه در ضمن یک فرآیند فشار ثابت (در حالت ایده آل) تا حالتَ3 باز گرم می شـود و بالاخره در قسـمت فشار پایین توربین تاَ4 انبساط پیدا می کند. مسـاحت مقدار افزایش کار در سیکل را نشان می دهد در حالی که مقدار گرمای داده شده به سـیکل به اندازه می در یک سیکل مطابق شکل تزریق آب (jection





PowerEn.ir

PowerEn.ir

تزریق آب روشـــی برای افزایش رانـدمـان و قدرت خروجی نیروگاه گازی اســـت. 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 شـود .در آن صـورت گرمای ناشـی 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)بسـیار سـودمند است، اگر تزریق آب بین کمپرسـور و واحد بازیاب انجام شـود .در چرخه نیروگاه گازی با تزریق آب، هوای متراکم شـده در۲ در فشـار تقریبا ثابت با نقطه ۳ سـرد می شـود 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 اسـتفاده از گرمای خروجی بین ۸ و ۹ انجام شده و باعث ایجاد تلفات در سـیکل می شود .همچنان که نشان داده شده است آب ورودی به سیستم ممکن است قبل از تزریق به هوای متراکم شده قبلا 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 محســـوســـی و بازده آن را به طور جزئی افزایش داد. در بعضـــی از هواپیماها و در بعضـــی از واحدهای ثابت، آب به داخل کمپرسور تزریق می شود و ضمن افزایش دمای هوا در فرآیند تراکمی به صـورت بخار در می آید از این رو گرمای تبخیرموجب کاهش دمای هوای متراکم می شـود و در نتیجه آن کار کمپرسـور کاهش می یابد. این اثردر واقع مشـابه اثر خنک کن میانی اسـت (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 پـاشـــش برای ســـیکل های تک محوری و دو محوری به کار برد. این روش در شـــکل بالاآب بین کمپرسور و مبادله گرما نشان داده شده است.

PowerEn.ir

PowerEn.ir

. در نمودار 4 وَ9 بـه ترتیـب عبارتند از هوای متراکم خروجی و گازهای خروجی از مبادله ی گرما. دمای هوای متراکم در نقطه 2 در نتیجه تزریق آب ضـمن یک فرآیند تقریباً با فشـار ثابت به دلیل تبخیرآب 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 شـــود ودر آن تـا دمـایی تقریباً برابربا دمای 4 پویش گرم می شـــود. (عملاً دما به مقدار جزئی کمتراز دمـای 4 اســـت). گرمـای اضـــافی لازم برای گرم کردن هوای مرطوب از 3 تـا 2 از گازهای خروجی و ضمن فرآیندَ9 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 محسـوب می شود. آب ورودی ممکن است پیش از تزریق به وسـیله گاز در نقطه 9 پیش گرم شـود مطابق شکل بالا و همچنین ممکن است این عمل صـــورت نگیرد .آب به اندازه ای می توانند تزریق شـود که هوای متراکم در دمای T3 به صـــورت 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 مقایســه با حالت هوای اشـباع کاهش پیدا می کند و مشکلاتی مانند پرکار کردن مبادله کن گرما، اختلاف دمای شدید موضعی و تنش های گرمایی ناشـی از آن بوجود می آید .افزایش کار نیروگاه در نتیجه تزریق آب تا حدی در نتیجه افزایش کار توربین بـه علـت افزایش آهنـگ جرمی جریـان هوا و بخـار آب از توربین اســـت، بـدون اینکه کار کمپرسور افزایش یافته باشد. مقدار افزایش جرم عبارت است از تفاضل جرم بخار اشباع در نقطه 3 شکل بالاو جرم بخار آبی که از اول در هوا در نقطه 1 موجود بود.

-۳ طراحی نیروگاه های گازی برای درجه حرارت بالاتر

کاملا آشـکار اسـت 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 فشـار بالا نیز اسـتفاده می شـود که دارای قیمت های بالاتری نسـبت به توربین های فشـار پایین

PowerEn.ir

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 تا1540 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 شیمیائی 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

۲-۴-۳ سرمایش (Cooling) :

PowerEn.ir

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.

PowerEn.ir

PowerEn.ir

خنک کردن هوای ورودی به کمپرسور به دلیل اینکه یک فرآیند مستقل می باشد بیشتردر توربین های گازی در حال بهره برداری مورد توجه قرار می گیرد. این روش بدون هیچگونه تغییریا 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 نیزقابل طراحی و اجراء است .هریک از روشهای خنک کردن هوای ورودی با توجه به هزینه اولیه، هزینه عملیاتی و تعمیرات و تأثیرآن بر مقدار افزایش قدرت خروجی و بازدهی، انتخاب می شوند. در زمان طراحی به دلیل عمر طولانی تر سیکل، می توان از روشهای پرهزینه ترو 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 تبخیرآب از هوا گرفته شدهو هوا خنک می شود .محدودیت اساسی این روش کاهش دمای ورودی، حداکثرتا دمای نقطه اشباع بخار یا نقطه شبنم است و مزیت آن هزینه اولیه و عملیاتی کمترمی 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 5c 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°C 7خنک کرد از ویژگی های این روش می باشد. سیال در چیلر جذبی)آب) خود تا°C 4سرد شده و قادر است هوا را فقط تا 7cخنک کند.

PowerEn.ir

PowerEn.ir

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 ۵۰ 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 تراز ۵۰ C امکان تشکیل قطرات آب وجود دارد

خنک کاری با آب (Water Cooling)

: وقتی درجه حرارت پره ها بیشتر از ۱۱۵۰ 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 ۱۳۱۵ 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

PowerEn.ir

PowerEn.ir

۳سوختها(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 (مثلا منیزیم) و مواد حفاظتی استفاده می شود.

بررسي زيست محيطي

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

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:

H_2O , H_2 , O_2 , NO , NO_2 , CO , CO_2 , C_nH_n **(ئیدروکربورهای نسوخته)**، SO_3 , SO_2 **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 حدّ 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**

PowerEn.ir

PowerEn.ir

ئیدروکربورهای 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 براورد می شود. در این واحدها، به دلیل بالا بودن نسبت هوا به سوخت، مقدار ترکیبات CO یا ئیدروکربورهای 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 NO_2 و NO حاصل از واحد، آثاری منفی بر محیط زیست خواهد داشت. این نوع گازها در جوّ، اسید نیتریک (NO_3H_2) تشکیل داده همراه با اسید سولفوریک (SO_4H_2) ، بارانهایی اسیدی به وجود می آورند که آثار نامطلوبی را از جنبه های مختلف به دنبال دارد.

5-2 کاهش دادن تولید NO_X

NO_X حاصل از احتراق، فقط در دماهای بالا تولید می شود. شکل (5-1) 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 محفظهٔ احتراق توربین گازی، شرایط طور

PowerEn.ir

PowerEn.ir

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 محفظهٔ 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. رابطهٔ غلظت NO_X با نسبت هوای اضافی (λ) و نسبت فشار کمپرسور در شکل (3-5) نشان داده شده است. نقطهٔ حداکثر منحنی در مقدار λ حدود 1/2 قرار دارد.

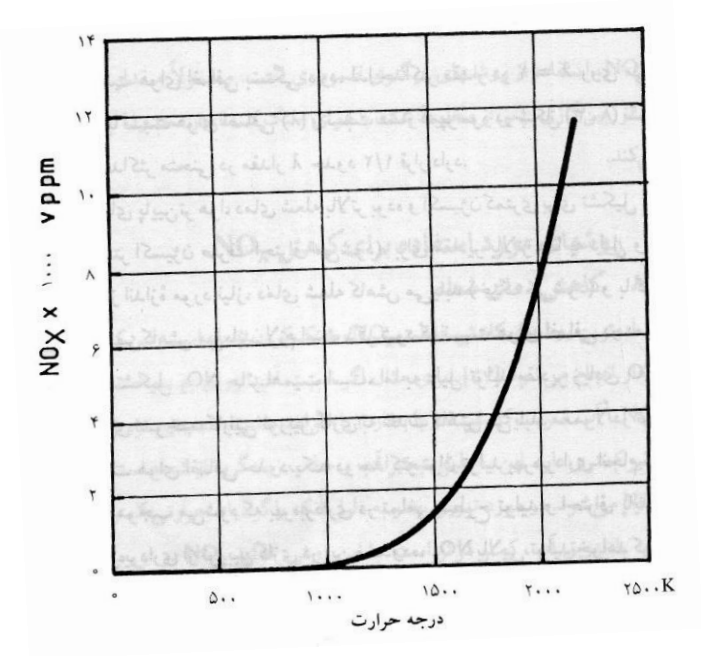
برای دماهای پایین تر هوا، دمای شعله بالاتر بوده و اکسیژن کمتری برای تشکیل NO_X وجود دارد (زیرا بیشتر اکسیژن صرف احتراق می شود). برای مقادیر بالاتر دما به دلیل وجود هوای بسیار بیشتر از اندازهٔ مورد نیاز، دمای شعله کاهش می یابد (خنک می شود) و با کاهش دما، تشکیل NO_X نیز کاهش می یابد. لازم است ذکر شود که 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

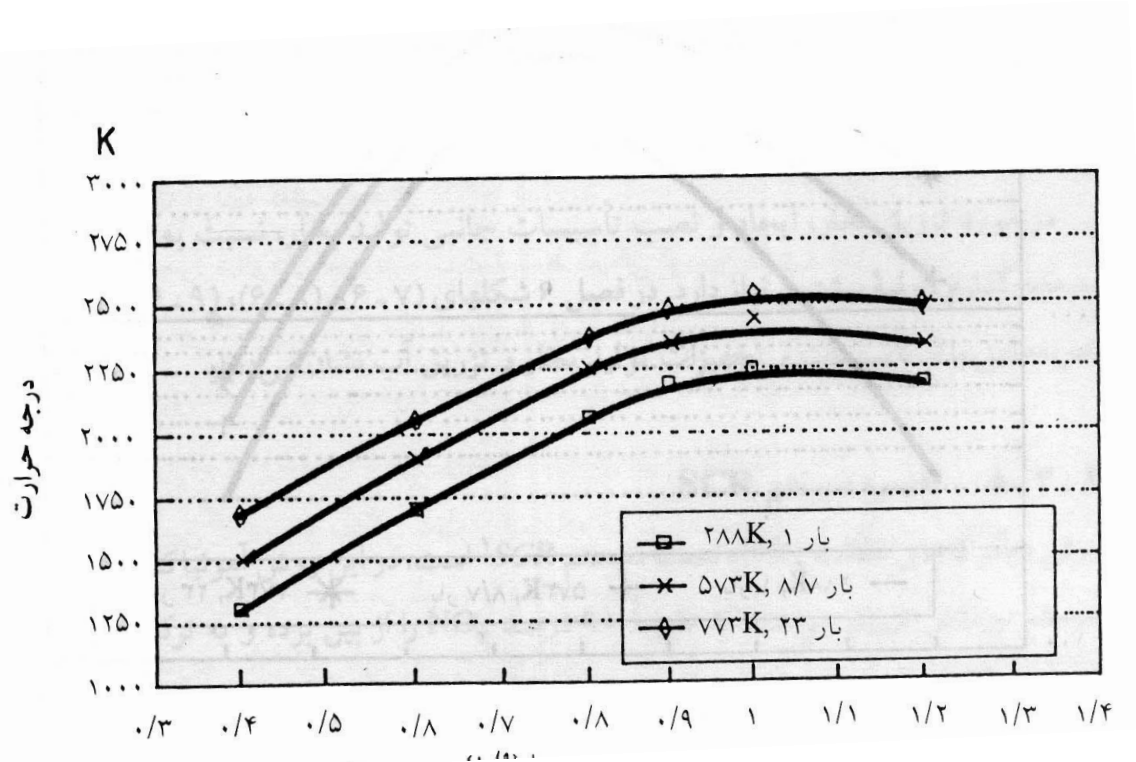
PowerEn.ir

می شود که بهره برداری در تمامی سطوح تولید و احتراق پایدار، ضمانت شود. البته بهره برداری از توربین گـازی در این محـدوده، NO_X بالایی تولید خواهد کرد. به منظور کاهش NO_X ، اســتفاده از روشهای دیگری ضروری است. معمولاً مقدار NO_X در گازهای خروجی توربین گازی، پس از مخلوط شدن با هوای خنک کننده، در محدودهٔ 120 تا 300 ppm تغییر می کند

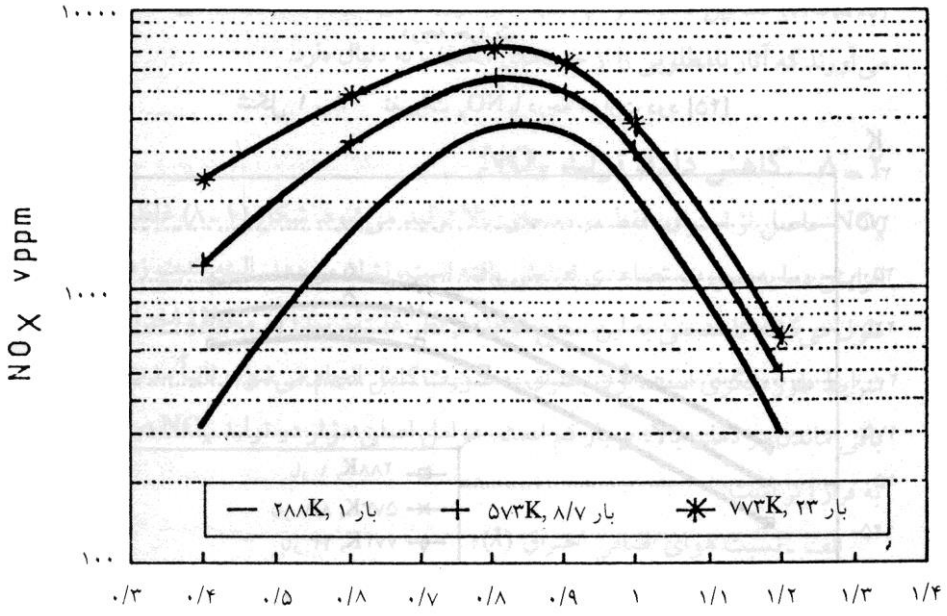
شکل (1-5) تغییرات NO_X با در جه حرارت دود



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



با نسبت هوای اضافی و نسبت فشار کمپرسورNO_Xشکل (3-5)غلظت



روشهاي مورد استفاده براي كاهش NO_X

PowerEn.ir

PowerEn.ir

کاهش دمای شعله

یکی از سـاده ترین روشهای کاهش غلظت NO_X ، خنک کردن شعله است. این کار، با تزریق آب یا تزریق بخار انجام می شـود. برای مثال اگر نسبت آب تزریق به سوخت برابر یک باشد، تولید NO_X با آب ضـریب کاهش 5 و با بخار 3 را خواهد داشـت. همچنین تزریق بخار در مقایسـه با آب تأثیر کمتری دارد. این به دلیل تبخیر آب و جذب زیاد گرما از شـعله اسـت که باعث کاهش تولید NO_X می شـود. در مورد تزریق بخار به دلیل آنکه با گرادیان حرارتی کمتری روی می دهد، در مقایسه با تزریق آب، کمتر مؤثر اسـت. 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 بعضـی موارد تا 25 ppm نیز قابل کاهش اسـت. نکته ای مهم در طرح تزریق آب، هزینه بر بودن ذخیره سـازی آب تصفیه شدهٔ مورد نیاز است که در محاسبات اقتصادی باید در نظر گرفته شود.

در مورد تزریق بخار، ایجاد و نصـب تأسـیسـات جانبی تولید بخار، نسـبت به تزریق آب، به سرمایه گذاری اولیهٔ بیشتری نیاز دارد.

نصب سیستم SCR

PowerEn.ir

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:

$$4NO + 4NH_3 + O_2 \rightarrow 4N_2 + 6H_2O$$

$$6NO_2 + 8NH_3 \rightarrow 7N_2 + 12H_2O$$

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 درجهٔ حرارت بین 300 تا 400^0C باید انجام شود؛

د) استفاده از آمونیاک ضروری است؛

هـ) 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 ویژهٔ

PowerEn.ir

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 جوّ یا آب رودخانه یا دریا داده می شود. در مورد سیکلهای 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 برجهای خنک کننده یا آب رودخانه و دریا امکانپذیر 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*

PowerEn.ir

PowerEn.ir

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. هزینهٔ این کار برای تمامی نیروگاهها تقریباً یکسان است.

بهره برداري از توربين گازي

در این فصل، منظور از بهره برداری از توربین گازی، بیان دستورالعملهای شرکتهای 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 محدودهٔ 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

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 صدمهٔ 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 اندازي توربين گازي

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

PowerEn.ir

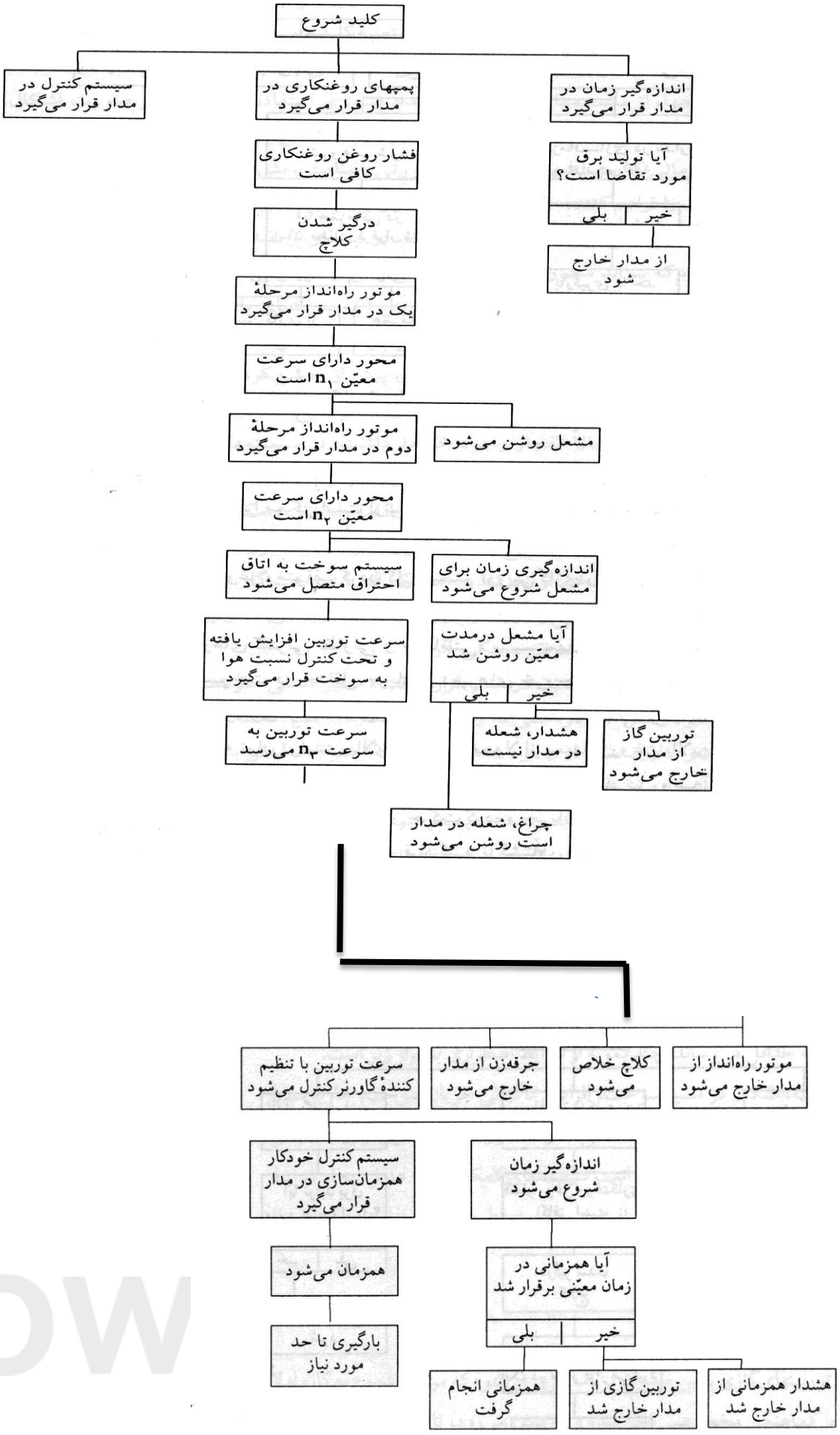
شرایطی بستگی دارد که از طرف سیستمهای مختلف فرمان داده می شود. هر گونه اشکال در اجرای فرمانها، متوقف شدن راه اندازی توربین گازی را در پی دارد. اگرچه راه اندازی به روش دستی امکانپذیر است، اما راه اندازی خودکار ترجیح داده می شود تا اثر خطای انسانی به حداقل کاهش یابد. بیشتر توربینهای گازی جدید به روش خودکار 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 ادامهٔ 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, n_2 و n_3 سرعتهای معینی است که از طرف سازنده تعیین می شود تا در صورت رسیدن به آن سرعت، مرحلهٔ بعدی انجام شود.

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

PowerEn.ir

PowerEn.ir


کلید شروع
اندازه‌گیر زمان در مدار قرار می‌گیرد
پمپهای روغنکاری در مدار قرار می‌گیرد
سیستم کنترل در مدار قرار می‌گیرد
آیا تولید برق مورد تقاضا است؟
بلی
خیر
از مدار خارج شود
فشار روغن روغنکاری کافی است
درگیر شدن کلاچ
موتور راه‌انداز مرحلهٔ یک در مدار قرار می‌گیرد
محور دارای سرعت معیّن n_1 است
مشعل روشن می‌شود
موتور راه‌انداز مرحلهٔ دوم در مدار قرار می‌گیرد
محور دارای سرعت معیّن n_2 است
اندازه‌گیری زمان برای مشعل شروع می‌شود
سیستم سوخت به اتاق احتراق متصل می‌شود
آیا مشعل درمدت معیّن روشن شد
بلی
خیر
سرعت توربین افزایش یافته و تحت کنترل نسبت هوا به سوخت قرار می‌گیرد
هشدار، شعله در مدار نیست
توربین گاز از مدار خارج می‌شود
سرعت توربین به سرعت n_3 می‌رسد
چراغ، شعله در مدار است روشن می‌شود
موتور راه‌انداز از مدار خارج می‌شود
کلاچ خلاص می‌شود
جرقه‌زن از مدار خارج می‌شود
سرعت توربین با تنظیم کنندهٔ گاورنر کنترل می‌شود
اندازه‌گیر زمان شروع می‌شود
سیستم کنترل خودکار همزمان‌سازی در مدار قرار می‌گیرد
آیا همزمانی در زمان معیّنی برقرار شد
بلی
خیر
هشدار همزمانی از مدار خارج شد
توربین گازی از مدار خارج شد
همزمانی انجام گرفت
همزمان می‌شود
بارگیری تا حد مورد نیاز

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. بعض 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، موقعیتِ قرار گرفتن شیر سوخت در حداقل جریان و دمپرهای 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 فاصلهٔ 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

PowerEn.ir

PowerEn.ir

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 مسؤولیت 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 مرحلهٔ 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 آمادهٔ بهره برداری می شود. هرگونه اخلال در تخلیهٔ گازهای نسوخته از قرار گرفتن جرقه زن در مدار ممانعت می کند و ادامهٔ راه اندازی امکانپذیر نخواهد بود.

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

PowerEn.ir

PowerEn.ir

جرقه زن نوع یک یا دو مجهز اســـت. انتخاب هر یک از این جرقه زنها به طراحی محفظهٔ 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 محفظهٔ احتراق وارد و شعله ور می شود. لازم است از وجود شعله در محفظهٔ احتراق مطمئن باشیم. این کار توسط سیستمی به نام آشکارساز شعله انجام می شـود. برای ایمنی بیشـتر، معمولاً از دو آشـکارساز شعله استفاده می شود. اگر شعله دیده نشـد، سیستم سوخت به سرعت باید قطع شود، در غیر این صورت، سوخت جریان یافته و از طریق محفظه های احتراق کناری (در واحدهای با محفظهٔ احتراق چند قسمتی) یا در تماس با قسمتهای داغ، ناگهان شـعله ور شـده و احتمال سـوزش بعضـی از قطعات توربین یا انفجار را در پی خواهد داشت. ولتاژ در مدار جرقه زن معمولاً به مدت کوتاهی متصـل اسـت و در این مدت زمان معین اگر شـعله 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 محفظهٔ احتراق، لازم اســـت برای حفاظت الکترود جرقه زن، آن را به طور مکانیکی از محفظهٔ احتراق خارج کنیم تا در دمای پایین تری نگهداری شـــود. انجام نشـــدن 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

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 جرقه زن تنظیم می شود.

پس از برقراری شعلهٔ پایدار، سوخت ورودی به محفظهٔ 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 کنندهٔ 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، ادامهٔ 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 ادامهٔ افزایش تولید را بر عهده گیرد. در سیستمهای خودکار، نسبت هوا به سوخت با توجه به درجهٔ حرارت دود خروجی و دمای گاز ورودی به توربین کنترل می شود تا حداقل جریان سوخت برای بهره برداری بهینه اعمال شود. در سیتمهای دستی، اپراتور با توجه به دستگاههای اندازه گیری در میز کنترل، افزایش توان توربین را برعهده دارد.

PowerEn.ir

PowerEn.ir

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 درجهٔ حرارت روغن، سرعت کمپرسور، سرعت توربین (اگر از کمپرسور جدا باشد) دمای دود خروجی، درجهٔ 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 دورهای پایین، پمپ کمکی روغن، وظیفهٔ 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 روغنِ 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.

PowerEn.ir

PowerEn.ir

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 شـود. 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 شـده برای عملیات آن مرحله بیشـتر باشـد (به عبارت دیگر مرحلهٔ مورد نظر در مدت زمان معین به پایان نرسـد) برای جلوگیری از صـدمات 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 سـوخت مایع و سـوخت گاز متفاوت اسـت و باید تنظیم شـود. 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 درجهٔ حرارت در قسـمتهای مختلف یکنواخت و از صـدمات احتمالی مانند تنش حرارتی جلوگیری شـود. لازم اسـت 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 شـد. لازم است در موقع دور دادن، از دورهای بحرانی محور سریعاً عبور شود و از سرعتهای مجاز، برای گرم کردن محور اسـتفاده شـود. 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.

PowerEn.ir

PowerEn.ir

در مراحل اولیهٔ راه اندازی به دلیل آنکه کمپرسور در ناحیهٔ خارج از منحنی مشخصهٔ کاری و زیر محدودهٔ حالت ضربه است، عبور به منطقهٔ 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 منطقهٔ 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 کنندن. این کار باعث می شود که نقطهٔ کار کمپرسور تغییر کرده و در منطقهٔ 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 محدودهٔ 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 مشخصهٔ 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.

بارگیري از توربين گازي

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) هرگونه افزایش نقطهٔ 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

PowerEn.ir

سـرعت عبور شـود تا باعث ایجاد ارتعاش نشود. در واحد توربین گازی جدا شده یا متصل به شبکه (در حالت بهره برداری)، با افزایش نقطهٔ تنظیم گاورنر، ســرعت بالا می رود و ادامهٔ این کار پس از همزمان شـدن، باعث تولید بیشتر بار خواهد شد که در این صورت، مصرف سوخت نیز افزایش می یـابـد. دور گرفتن و بارگذاری در توربین گازی تک محوری بســرعت انجام می شــود. اما این نوع بارگیری نباید از نرخ افزایش درجهٔ حرارت تعیین شده از طرف شرکت سازنده بیشتر باشد. معمولاً افزایش درجهٔ حرارت باعث تنش شدید حرارتی در پره های توربین شده و نوک پره ها- که فاصله کمی با پوسـتهٔ توربین دارند – سـاییده شـده و صـدمه می بیند. توربینهایی که سـیستم خنک کننده دارند، در برابر تغییرات شـدید مقاوم بوده و با کارایی بهتری بهره برداری می شــوند. 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 MW 10 می تواند از ده ثانیه تا ده دقیقه زمان بارگذاری را تحمل کند بودن آنکه صـدمه ای حاصل شود. این نوع بهره برداری به سیتمهایی که در توربین خنک کاری می شــوند، بســتگی دارد. بارگذاری در توربینهایی که دو یا چند محور مختلف دارند، با توربینهای تک محور تفاوتهایی دارد. در توربینهای چند محوری، کمپرســور باید تا حداکثر سرعت دور گرفته و تمام قسمتهای توربین گازی از کمپرسور تا توربین دارای فشار کافی باشند. این مرحله در حدود دو دقیقه طول می کشــد (در صــورتی که در توربین گازی تک محوری حدود چند ثانیه کافی اســت). توربین گازی با موتور اصــلاح شــدهٔ هوایی، برای تولید برق، از این نظر بهترین کارایی را داشـته و راه اندازی و بارگذاری شـامل همزمان سازی در کمتر از دو دقیقه انجام می شود.

PowerEn.ir

PowerEn.ir

افزایش سریع بارگذاری تا جایی امکانپذیر است که کمپرسور از منحنی مشخصهٔ بهره برداری خارج نشـده و دمای ورودی توربین از حداکثر مقدار خود تجاوز نکند. افزایش جریان سـوخت، با توجه به هوای ورودی انجام می گیرد. این کار با کنترل نسـبت هوا به سوخت و کنترل درجهٔ حرارت ورودی توربین گازی امکانپذیر است.

بهره برداري بهينه از توربين گازي

علاوه بر نظارت سـیسـتمها و اطمینان از مشـخصـه هایی که قبلاً ذکر شد (مانند فشار روغن، سرعت کمپرسـور و دمای ورودی توربین) لازم است رفتار کلی توربین گازی تحت نظارت دقیق باشد تا در صـورت بروز هرگونه خطری، پیش از آنکه توربین صـدمه ببیند، پیشـگیری صـورت گیرد؛ یا اگر توربین گازی در حالت بهره برداری با کارایی پایین باشـد، از تلفات سـوخت جلوگیری شـود. در ارتباط با رفتار کمپرسـور و توربین، یادداشـت کردن دقیق ارقام نشـاندهنده ها کافی نیسـت، بلکه تحلیل آن ضـروری اسـت. 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 شـرایط، با تقریب همراه بوده و قطعی نیسـت. در هر حال روشـهای ساده ای وجود دارد که با به کارگیری آنها، رفتار صحیح سیستم را می توان تشخیص داد. این روشـها به ویژه در مواقعی که تحویل واحد و آزمایش ضمانت انجام می شود، مفید است. از آنجا که شـرایط محیطی مانند فشـار و درجهٔ حرارت تغییر می کند، لازم اسـت مشـخصه هایی مانند درجهٔ حرارت، فشـار، سـرعت، دبی جرمی و توان، به شـرایط محیطی اسـتاندارد تبدیل شود. معمولاً

PowerEn.ir

PowerEn.ir

فشـــار 14/7 **پاوند بر اینچ که برابر** 29 **اینچ جیوه اســـت و دمای** 26/7 **ســـانتی گراد و یا** 15 **درجهٔ سانتیگراد را در نظر می گیرند. جدول تصحیح نسبت به شرایط استاندارد مطابق**

جدول (1-6) **به قرار زیر است:**

مشخصه	*رابطهٔ تصحیح*	*تصحیح نسبت به* 29 **جیوه و** 80^0F	*تصحیح نسبت به* 29 **جیوه و** 15^0C
T (درجهٔ 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)	$M \times P_s/P_a \times \sqrt{T_a}/T_s$	$\times \quad M\sqrt{T_a}/P_a$ 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 شـرایط اسـتاندارد و** a **برای شـرایط 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

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 مطالعهٔ کارایی سیستمها است.

در موقع بهره برداری، افزایش مشخصه های مختلف باید در محدودهٔ داده شده از سوی شرکت سازنده باشد. اگرچه افزایش درجهٔ حرارت گاز ورودی توربین، افزایش کارایی و در نهایت افزایش توان تولیدی را به دنبال دارد، اما نباید از مقدار حداکثر تعیین شدهٔ مجاز، تجاوز کند. افزایش درجهٔ حرات گاز به بیش از مقدار مجاز، باعث کاهش طول عمر توربین می شود. رابطهٔ 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

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 مشخصهٔ اصلی، حداکثر درجهٔ 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 رابطهٔ 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 دیوارهٔ محفظهٔ احتراق نصب می کنند تا بتوان قسمتهای داخلی و شعله را مشاهده نمود. شعله باید در مرکز محفظهٔ احتراق و نسبت به محور مرکزی متقارن باشد تا درجهٔ حرارت به طور یکنواخت توزیع یابد. شعله هایی با طول زیاد یا طول کوتاه اما با شکم بزرگ یا نامتقارن برای محفظهٔ 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 سوختهای سنگین نسبت به سوخت گازی زیادتر است و باید به صورت دوره ای تمیز شود.

5-6 متوقف کردن توربین گازی

PowerEn.ir

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 سازندهٔ توربین در اختیار مصرف کننده قرار می گیرد – به اندازهٔ 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

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، رویهٔ 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 درجهٔ حرارت، در موقع کار توربین و پس از متوقف شدن آن، نظارت دقیق صورت گیرد. اگر محدودهٔ 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.

PowerEn.ir