فهرست

موضوع **صفحه**

فصل ۱ : انواع توربین

۱– انواع توربین ۷

۱–۱– مسیر حرکت سیال ۷

۱–۲– نحوه قرار گرفتن سیلندر توربین ۱۰

۱–۳– سرعت چرخش ۱۱

۱–۴– پوسته توربین ۱۴

۱–۴–۱– پوسته های فشار بالا ۱۴

۱–۴–۲– پوسته های فشار میانی ۱۵

۱–۴–۳– پوسته های توربین کم فشار ۱۵

۱–۵– عایق بندی ۱۵

۱–۶– روتورهای توربین ۲۱

۱–۶–۱– مدل هایی از ساختمان روتور ۲۱

۱–۷– آزمایش و متعادل سازی ۲۱

۱–۷–۱– آزمایش اضافه سرعت ۲۱

۱–۷–۲– سرعت های بحرانی ۲۱

۱–۸– یاتاقان ها ۲۳

۱–۸–۱– یاتاقان های ژورنال ۲۳

۱–۸–۲– یاتاقان تراست ۲۳

۱–۸–۳– عوامل موثر در فعالیت یاتاقان ۲۳

۱–۹– سیستم های گلاند (آب بندی) ۲۶

۱–۹–۱– تنظیم سیستم گلاند بخار ۲۶

۱–۱۰– سیستم های روغن ۲۹

۱–۱۰–۱– کارکرد صحیح سیستم ۲۹

۱–۱۰–۲– پمپ روغن جکینگ ۳۱

فصل ۲ : سیستم های واحد توربین

۲– مقدمه ۳۵
۲–۱–۱– سیستم های کنترل گاورنری ۳۵
۲–۱–۲– خصوصیات گاورنر ۳۵
۲–۲– وسائل حفاظت توربین ۳۵
۲–۲–۱– خطرات احتمالی ۳۵
۲–۲–۲– شیرهای حفاظت ۳۷
۲–۲–۳– تریپ اضافه سرعت ۳۷
۲–۳– حفاظت توربین بخار ۳۹
۲–۳–۱– سیستم قطع آنی توربین ۳۹
۲–۳–۲– خصوصیات عمومی سیستم قطع توربین ۳۹
۲–۳–۳– ارتباط سیستم های قطع توربین و ژنراتور ۴۰

فصل ۳ : ارتعاشات توربین

۳– مقدمه ۴۴
۳–۱– بررسی برخی از عیوب متداول در توربین ها ۴۴
۳–۱–۱– نامیزانی ۴۴
۳–۱–۲– خمیدگی محور ۴۴
۳–۱–۳– عدم هم محوری ۴۵
۳–۱–۴– لقی مکانیکی ۴۵
۳–۱–۵– ترک محور ۴۵
۳–۱–۶– چرخش روغن و ناپایداری در یاتاقانها ۴۵
۳–۲– وسائل اندازه گیری ۴۶
۳–۲–۱– اهم وسایل اندازه گیری ۴۶

فصل ۴ : کندانسور

۴– مقدمه ۵۱
۴–۱– وظایف و اصول کندانسور ۵۱
۴–۱–۱– لزوم تقطیر بخار ۵۱
۴–۱–۲– ایجاد خلاء ۵۱
۴–۱–۳– صرفه جویی در بخار ۵۱
۴–۱–۴– تزریق آب از دست رفته در سیکل ۵۳
۴–۲– بهره برداری کندانسور ۵۳
۴–۲–۱– ملاحظات بهره برداری ۵۳
۴–۲–۲– اثرات وجود هوا در کندانسور ۵۳
۴–۳– افتادن خلاء کندانسور ۵۴

فصل ۵ : راه اندازی و منحنی راه اندازی توربین

۵– راه اندازی و منحنی راه اندازی ۵۸
۵–۱– مراحل قبل از راه اندازی توربین ۵۸
۵–۲– شکل راه اندازی ۵۸
۵–۲–۱– راه اندازی سرد ۵۸
۵–۲–۲– راه اندازی گرم ۵۹
۵–۲–۳– راه اندازی داغ ۵۹
۵–۳– منحنی راه اندازی ۵۹
۵–۴– منحنی بارگیری ۶۳
۵–۴–۱– نظارت بر عوامل موثر ۶۳
۵–۵– پدیده Carry Over دیگ بخار ۶۳
۵–۵–۱– دلایل وجود پدیده Carry Over ۶۴
۵–۵–۲– اثرات پدیده Carry Over بر روی توربین ۶۴
۵–۶– بهره برداری واحد – کاهش بار و توقف ۶۴
مراجع و منابع : ۶۷

فصل اول

انواع توربین

مقدمه

لازمه کار یک توربین ، وجود یک سیال کار مناسب ، یک منبع انرژی سطح بالا و یک منبع برای انرژی سطح پایین می باشد . هنگامی که سیال از درون توربین عبور می کند قسمتی از انرژی آن بطور مداوم به روتور منتقل شده و به کار مفید مکانیکی تبدیل می شود .

توربین های بخار و گاز از انرژی حرارتی استفاده می کنند ، در حالیکه توربینهای آبی از انرژی جنبشی استفاده می کنند . اهداف اولیه یک طراح توربین حصول اطمینان از انجام این پروسه با حداکثر راندمان و داشتن نیروگاهی با حداکثر اعتماد در کمترین هزینه است .

اهداف ثانویه اینست که نیروگاه به کمترین نظارت وکمترین زمان برای راه اندازی و بهره برداری نیاز داشته باشد . این اهداف پنجگانه با همدیگر مغایرت دارند . نتیجه نهایی یک هماهنگی قابل قبول بین آنها خواهد بود . در فصل های اول این جزوه بر آن بوده است که نکات مهم توربین توضیح داده شود و در فصل دوم و فصل های بعدی نکات مهم بهره برداری و تجهیزات جانبی که به عملکرد توربین مربوط می گردد توضیح داده می شود . البته در جزوات بهره برداری معمولاً بحث های تئوری صورت می گیرد که ممکن است در عمل با یک سری عملیات تفاوت داشته باشد به همین لحاظ تجربه نفرات بهره برداری در امر نگهداری سیستم نقش حیاتی دارد .

اهداف فصل

۱-آشنایی با انواع توربین

۲-بررسی ساختمان و اجزای توربین های بخار

۱ - انواع توربین

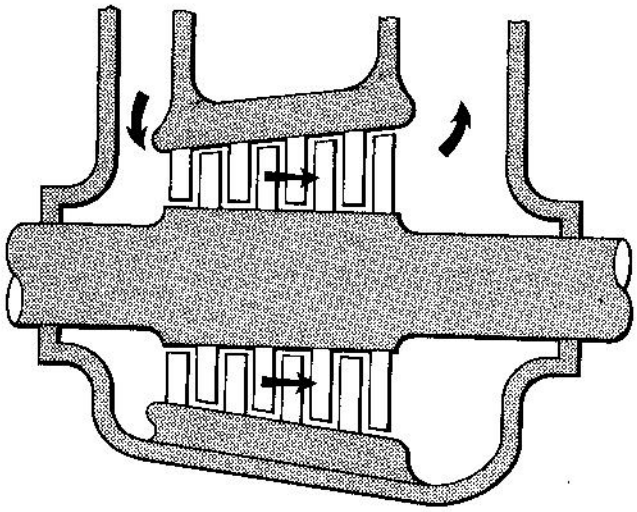
مرور کلی بر مراحل تکامل توربین بخار ارائه شده است .

۱-۱- مسیر حرکت سیال

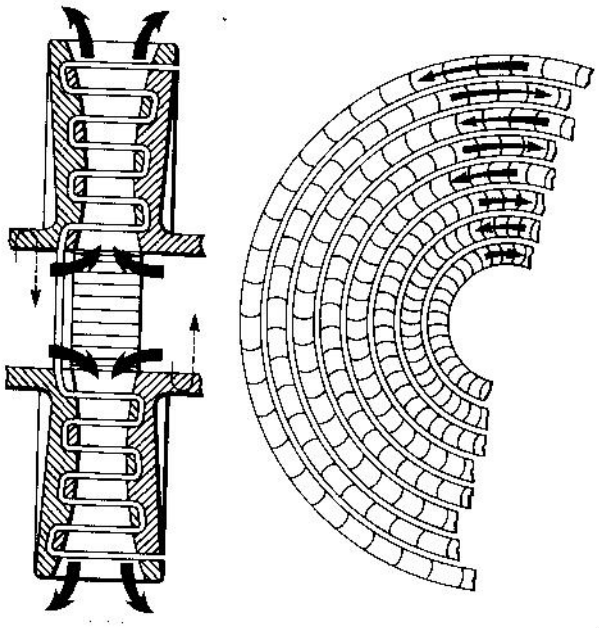
تقریباً بدون استثناءِ توربینهای بزرگ بخار امروزی از نوع محوری هستند (شکل ۱-۱) . حتی از همان روزهای اولیه قرن نوزدهم این موضوع در انواع توربینهای بخار ترجیحاً پذیرفته شده است . استثناءِ اصلی این قاعده توربین شعاعی است (شکل ۲-۱) که اولین بار توسط لیونگ استروم معرفی شده و سپس توسط استال لاوال (ASEA – Stal) به شکل کنونی گسترش یافت . در این طرح بخار وارد مرکز توربین شده ، از طریق دور روتور که برخلاف هم می چرخند منبسط گردیده و نهایتاً از طریق لوله خروجی بطرف بیرون حرکت می کند .

این روش بطور موفقیت آمیزی اجرا و برای ظرفیت های تا حدود ۶۰ مگاوات به کار گرفته شده است . البته این نوع طراحی برای توربینهای با ظرفیت زیاد بخاطر جرم و طول بلند پره هایی که ردیف آخر قرار می گیرند ، قابل قبول نیست . بنابراین جریان محوری ویژگی مخصوص توربینهای بخار امروزی است . این توربین ها اغلب بر اساس نوع پره مورد استفاده طبقه بندی می شوند ، اما از لحاظ جهت جریان سیال ، بخاری که از یک طرف به مراحل مختلف توربین وارد می شود ، به صورت محوری از طریق پره هایی که شعاعی نصب شده اند جریان پیدا می کند .

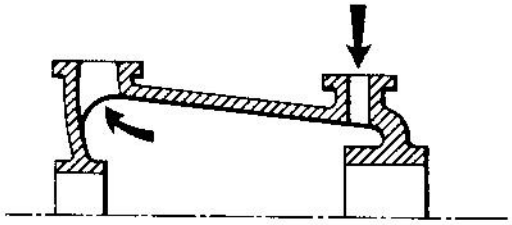
ساده ترین شکل پره گذاری بصورت تک جریانی است (شکل۳a- ۱) . صفحات پره داخل محفظه توربین می توانند به صورتی قرار گیرند که بخار در دو جهت مخالف بصورت محوری جریان یابد . نمونه این نوع جریان معمولاً در توربینهای دو جریانی دیده می شود (شکل(b)۳-۱) که بخار از وسط سیلندر توربین وارد شده و به دو شاخه تقسیم می شود که در خلاف جهت هم به سوی انتهای روتور جریان می یابد . این ترکیب به منظور جلوگیری از بکار بردن پره خیلی بلند است که در توربین تک جریانی لازم می شود . برای توربینهای با خروجی زیاد استفاده از چندین سیلندر فشار پایین و با دو جریان که با هم کار می کنند معمول است . مزیت دوم این است که توربین با دو جریان ، نیروی رانش محوری را که توسط نیروی بخار برروی پره های متحرک ایجاد می شود ، به حداقل کاهش می دهد .



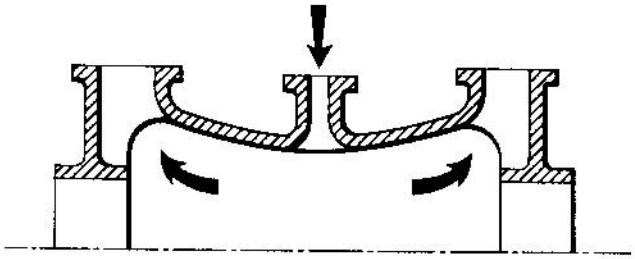
شکل ۱-۱ توربین جریان محوری



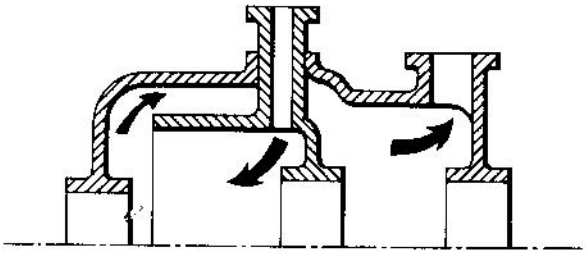
شکل ۱-۲ (توربین جریان شعاعی)



جریان تک (a)



جریان دوبل (b)



جریان برگشتی (c)

شکل ۱-۳ (جهت جریان برای انواع مختلف توربین)

روش های دیگر قراردادن صفحات پره در داخل سیلندر توربین مبتنی بر یک یا هر دو هدف فوق می باشد . کاهش ضربه هدف اصلی برای توربین با جریان معکوس است (شکل(c)۳-۱) ، بدین صورت که بخار در یک مسیر از طریق یک دسته صفحه پره وارد شده و آنگاه از طریق کانالهایی (بطور داخلی یا خارجی) به سمت دسته دوم صفحات پره در خلاف جهت جریان قبل در امتداد محور هدایت می شود .

در بعضی موارد دسته دوم صفحات پره ممکن است چندین قسمت موازی داشته باشد تا بتوان دبی حجمی بالایی را عبور داد .

۱-۲- نحوه قرار گرفتن سیلندر توربین

برای توربین هایی که ژنراتورهای برق را می گردانند محدوده تولید برق برای توربین تک سیلندر در حدود ۱۰۰ مگاوات می باشد که بستگی به اصول طراحی و شرایط اولیه بخار (دما و فشار) ، استفاده کردن یا نکردن از سیکل باز گرم ، شرایط خروجی بخار و همچنین سرعت چرخش دارد .

غالباً توربینهایی با این اندازه بصورت چند تائی طراحی و ساخته می شوند بطوریکه قسمتهای ورودی ، قسمت های پره و قسمتهای خروجی همگی بر اساس یک سری طراحی استاندارد انتخاب می گردند تا قدرت خروجی مناسب را داشته باشند .

برای توربینهای بزرگتر ، از طراحی توربینهای چند مرحله ای استفاده می شود (شکل ٤-۱) . تعداد این مراحل در یک توربین به یک سری شرایط ورودی و خروجی مانند آنچه قبلاً ذکر شد و همچنین ملاحظات طراحی بستگی دارد . به عنوان نمونه یک توربین با توان خروجی ۹۰۰-۵۰۰ مگاوات در نیروگاهی که با سوخت فسیلی (ذغال سنگ ، نفت سیاه و گاز) کار می کند ، شامل یک توربین فشار بالا ، یک توربین فشار متوسط و دو توربین فشار پایین می باشد که با حرکت دورانی ۳۰۰۰ دور بر دقیقه می چرخد . توربینهای فشار متوسط و فشار پایین معمولاً از نوع دو جریانه هستند .

بنابراین برای یک توان خروجی معین ، دبی جرمی و دبی حجمی بخار بالاتری لازم خواهد بود . بدین ترتیب توربین ممکن است یک عدد توربین فشار بالای دو جریانه و دو یا سه عدد توربین فشار پایین داشته باشد . توربینی که تمام سیلندرهای آن روی یک محور قرار می گیرند ، به توربین با ترکیب تاندم معروف است . (شکل(a)۵-۱) . از انواع مهم دیگر ، توربین با ترکیب متقاطع (شکل(b)۵-۱) می باشد ، که سیلندر هابر روی دو شافت موازی و جدا از هم که دو ژنراتور مجزا را می گردانند نصب می شود . اتصالات بخار و همچنین سیستم های کمکی مانند آنچه که در یک واحد تک ژنراتوری استفاده می شود ، می باشد. این طراحی نیروگاه برای جائی

که فرکانس شبکه ۶۰ هرتز می باشد کاربرد وسیعتری دارد و پره بندی توربین فشار پایین باعث می شود که تعداد زیادی سیلندر فشار پایین به کار گرفته شود . البته برای جلوگیری از طولانی شدن شافت از ماشین با ترکیب متقاطع استفاده می گردد .

۱-۳- سرعت چرخش

در موارد معمول ، توربینهای بخار مستقیماً با ژنراتور بدون نیاز به گیربکس کوپل می شوند . در این صورت سرعت چرخش از رابطه زیر بدست می آید :

$F=Pn$

که در آن :

F = فرکانس سیستم شبکه برق

P = تعداد جفت قطب های ژنراتور

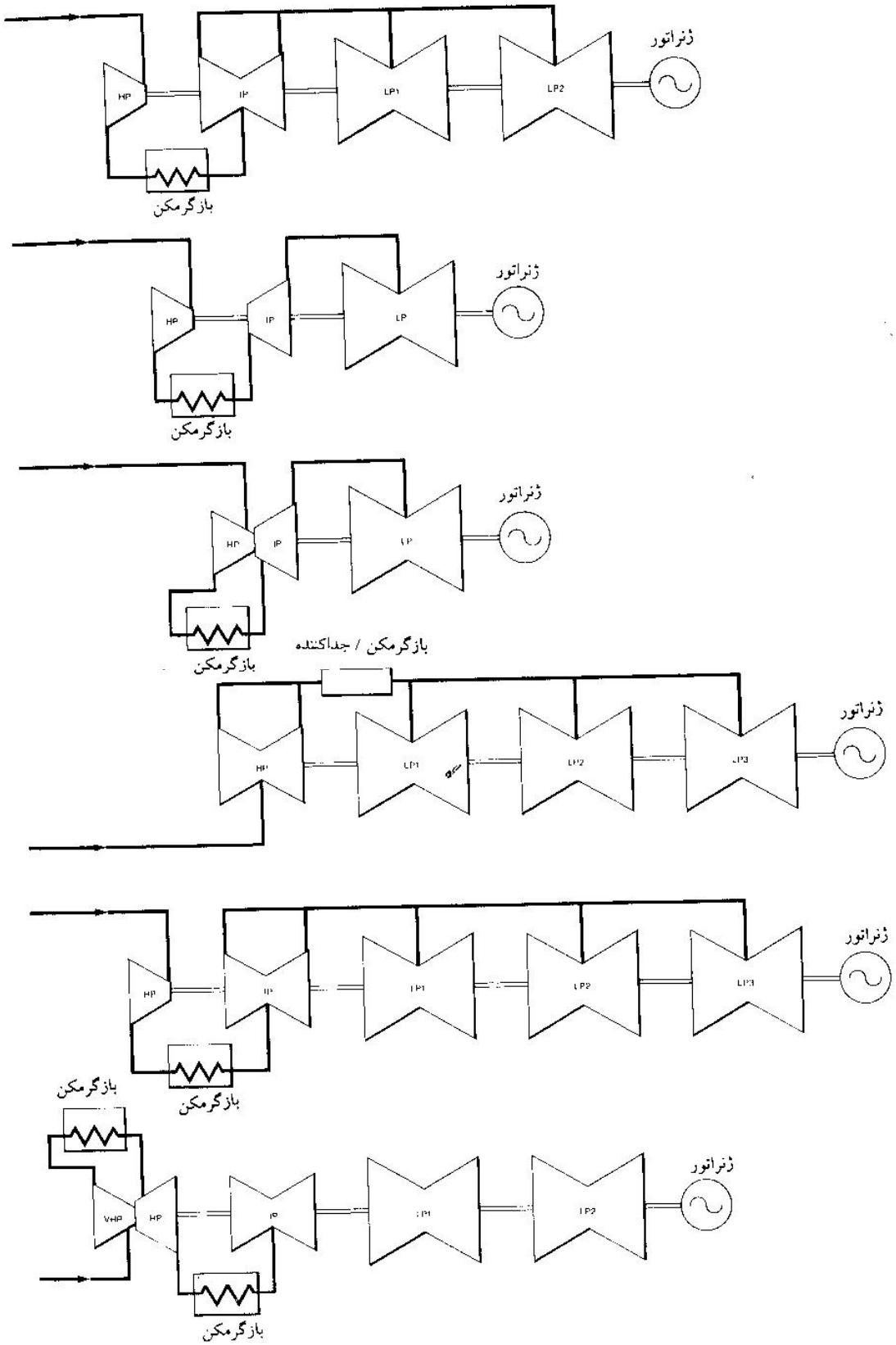
n = سرعت چرخش

عملاً فقط دو فرکانس شبکه در جهان وجود دارد : ۵۰ هرتز و ۶۰ هرتز، و ژنراتورها معمولاً بصورت دو قطبی یا چهار قطبی طراحی می شوند . ژنراتور توربین های بزرگ در یکی از چهار طبقه بندی زیر قرار می گیرد :

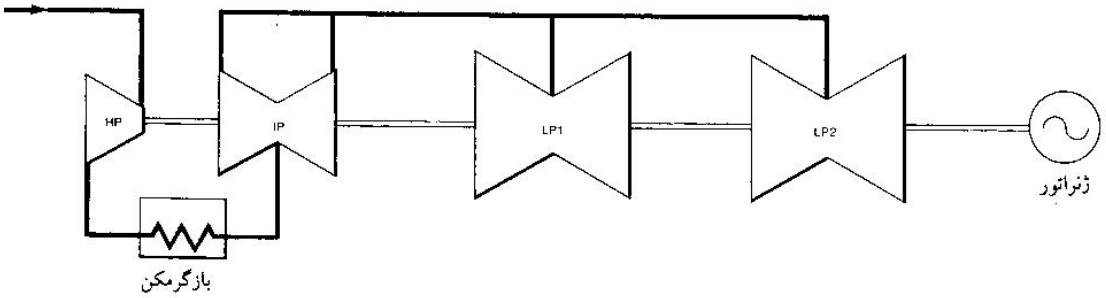
نوع ماشین	سرعت دورانی r/min
فرکانس سیستم	۵۰ Hz – ۶۰ Hz
حداکثر سرعت (دو قطبی)	۳۰۰۰ (۵۰ Hz) – ۳۶۰۰ (۶۰ Hz)
نیم سرعت (چهار قطبی)	۱۵۰۰ (۲۵ Hz) – ۱۳۰۰ (۳۰ Hz)

انتخاب سرعت گردش توربین و ژنراتور به عوامل زیر بستگی دارد :

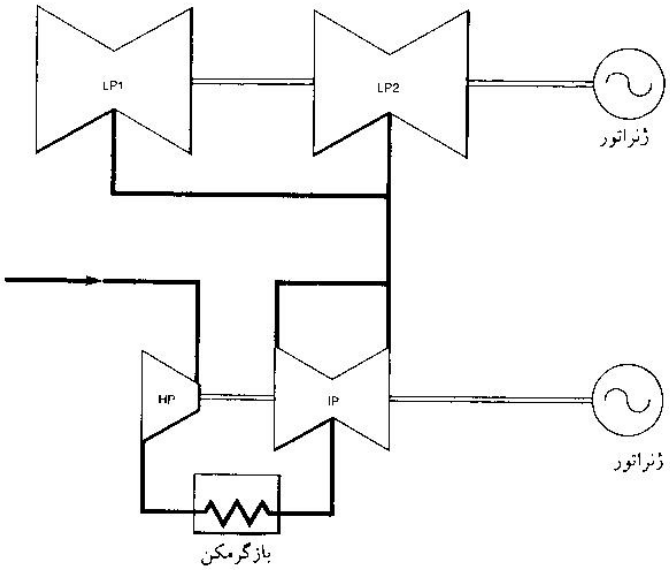
- اندازه واحد ، شرایط بخار اولیه و طرحهای موجود .
- استانداردهای مربوط به تعویض قطعات یدکی .
- رابطه اندازه و وزن با قیمت حمل و نقل .
- محدوده مورد نظر برای قابلیت اعتماد ، عملکرد انعطاف پذیر و راحتی نگهداری و تعمیرات .



شکل ٤-١ (روش های مختلف چیدن توربین با چند سیلندر)



ترکیب تاندم (a)



ترکیب متقاطع (b)

شکل ۱-۵

- انتخاب مناسب از توربین های فشار پایین موجود به منظور داشتن قدرت و فشار خروجی مناسب .

برای همه تجهیزات بخار مافوق گرم ترجیحاً از توربین با حداکثر سرعت استفاده می شود ، اما وقتی لازم می شود که یک واحد ، خروجی بزرگتری داشته باشد نتیجتاً توربین فشار پایین باید متحمل فشارهای خیلی بالا یا بار خروجی خیلی زیاد شود . به همین منظور سیستم را با یک توربین نیم سرعت همراه می کنند .

۱-۴- پوسته توربین :

سیلندر توربین در اصل یک محفظه تحت فشار(Pressure Vessel) است که وزنش در هر انتها بر روی خط المرکزین افقی نگه داشته می شود . این محفظه برای مقاومت در مقابل تنش های حلقه ای در صفحات متقاطع طراحی می شود که برای ثابت نگه داشتن دقیق فاصله آزاد در جهت طولی بین اجزای متحرک و اجزای ثابت توربین است .

این طراحی از طریق احتیاج به دسترسی داخلی پیچیده می شود . همه پوسته ها در امتداد خط المرکزین افقی شان به دو نیمه تقسیم می شوند و این امر به روتور اجازه می دهد که بطور نسبی جایگذاری شود . فلانج ها و پیچ های محکمی برای مقاومت در برابر نیروی فشار در اتصالات افقی لازم است .

۱-۴-۱- پوسته های فشار بالا :

توربین های بسیار پیشرفته با فشار بالای ۱۰۰ bar و نرخ توان خروجی بیش از ۱۰۰ MW ، دارای پوسته HP دوبل هستند .(شکل ۱-۶ و ۱-۷).

این پوسته ، بدلایل مشکلات طراحی یک پوسته منفرد که بتواند در مقابل تنش حرارتی و تنش فشار مقاومت کند و هنوز توانایی انعطاف پذیری کارکرد داشته باشد ، انتخاب می شود . در پوسته دوبل فضای خالی بین دو پوسته بوسیله بخار در شرایط خروجی پر می شود و این بخار به هر پوسته اجازه می دهد تا برای اختلاف دما و فشار کمتری طراحی شود .

این امر باعث سریع تر گرم شدن توربین در زمان راه اندازی می گردد و همچنین ریخته گری پوسته نازک راحت تر بوده و عیب و نقص کمتری خواهد داشت .

این مدل همچنین اجازه می دهد که بخار ساده خروجی در شرایط بین پوسته ای تخلیه شود و این امراز نیروی محوری روی روتور HP می کاهد .

۱-۴-۲- پوسته های فشار میانی :

در ماشین های مدرن گرمایش مجدد ، ملاحظاتی که برای سیلندر IP در نظر گرفته می شود شبیه به سیلندر HP است . سیلندرهای IP اغلب از نوع دو جریانه هستند و در توربین های بزرگ همیشه بدین گونه می باشند .

در حالت کلی ماشین های بیشتر از ۳۰۰ MW کمترین پوشش پوسته دوبل را در مرحله اول خود دارند (شکلهای ۱-۸ و ۱-۹) .

۱-۴-۳- پوسته های توربین کم فشار :

سیلندرهای LP (شکل ۱۰-۱) اغلب از نوع سازه دو پوسته ای هستند بطوری که پوسته داخلی شامل نگهدارنده های دیافراگم و کمربندهای خروج بخار مرطوب زیر کش است و پوسته خارجی بخار خروجی را بسوی کندانسور هدایت می نماید و همچنین بعنوان نگهدارنده پوسته داخلی عمل می کند .

سیلندرهای LP در واقع از نوع دو جریانه هستند ، اما از لحاظ نحوه قرار گیری کندانسور در طراحی متفاوت می باشند .

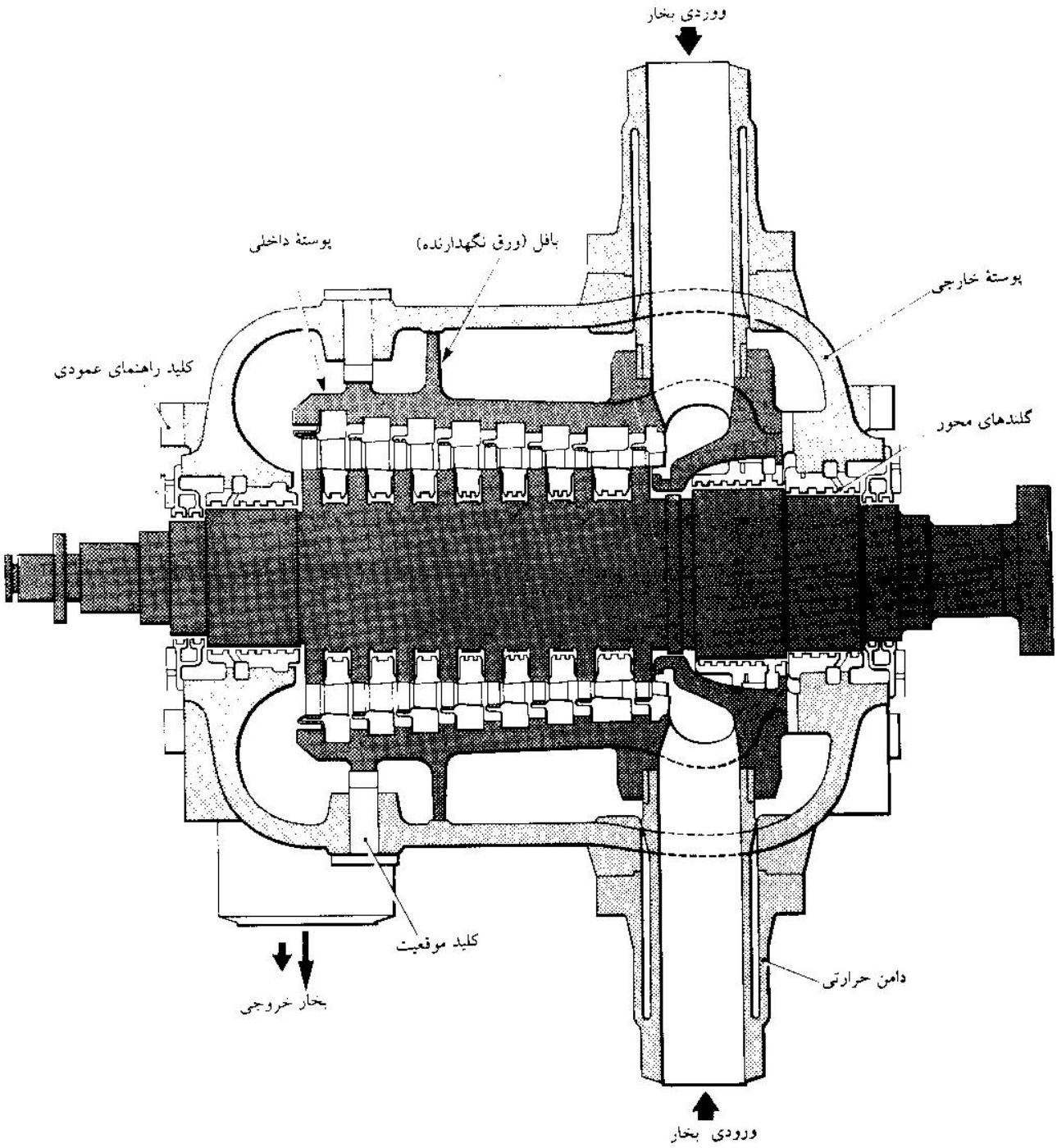
به منظور کاهش تلفات در مسیر عبور بخار به کندانسور ممکن است تمام حجم پوسته بیرونی به کار گرفته شود . در بسیاری از طرح های سیلندر LP ، پوسته خارجی همچنین به منظور نگه داشتن << یاتاقان های شفت دورانی >> LP مورد استفاده قرار می گیرد .

۱-۵- عایق بندی :

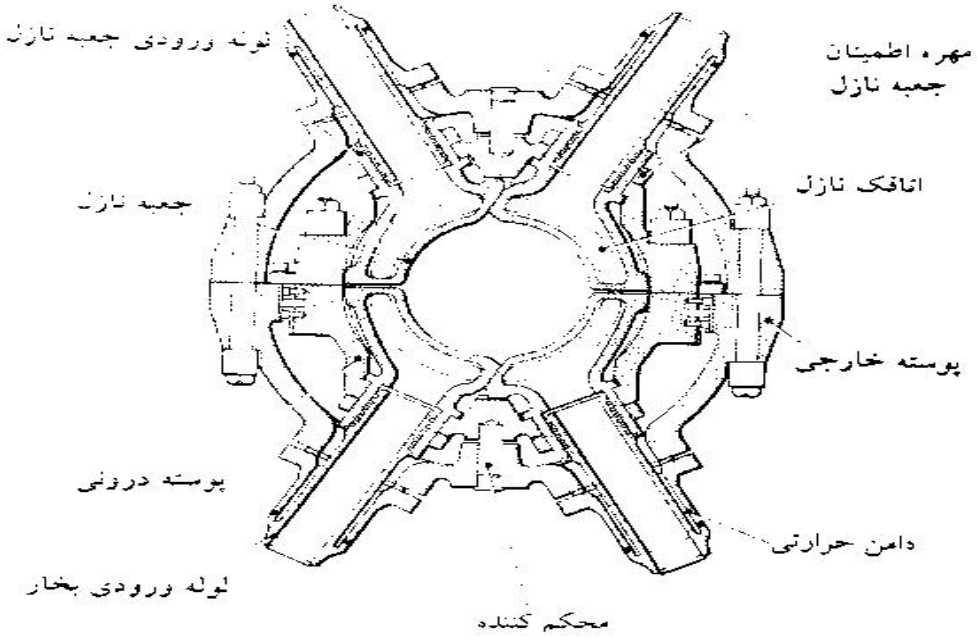
سطح داغ خارجی سیلندرها عایق بندی شده و به عنوان مثال با یک لایه ضخیم عایق گرمایی پوشانده شده است . ضخامت عایق تا حد زیادی به حرارت سطح پوشانده شده بستگی دارد .

دلایل زیادی برای این امر وجود دارد ، از جمله اینکه :

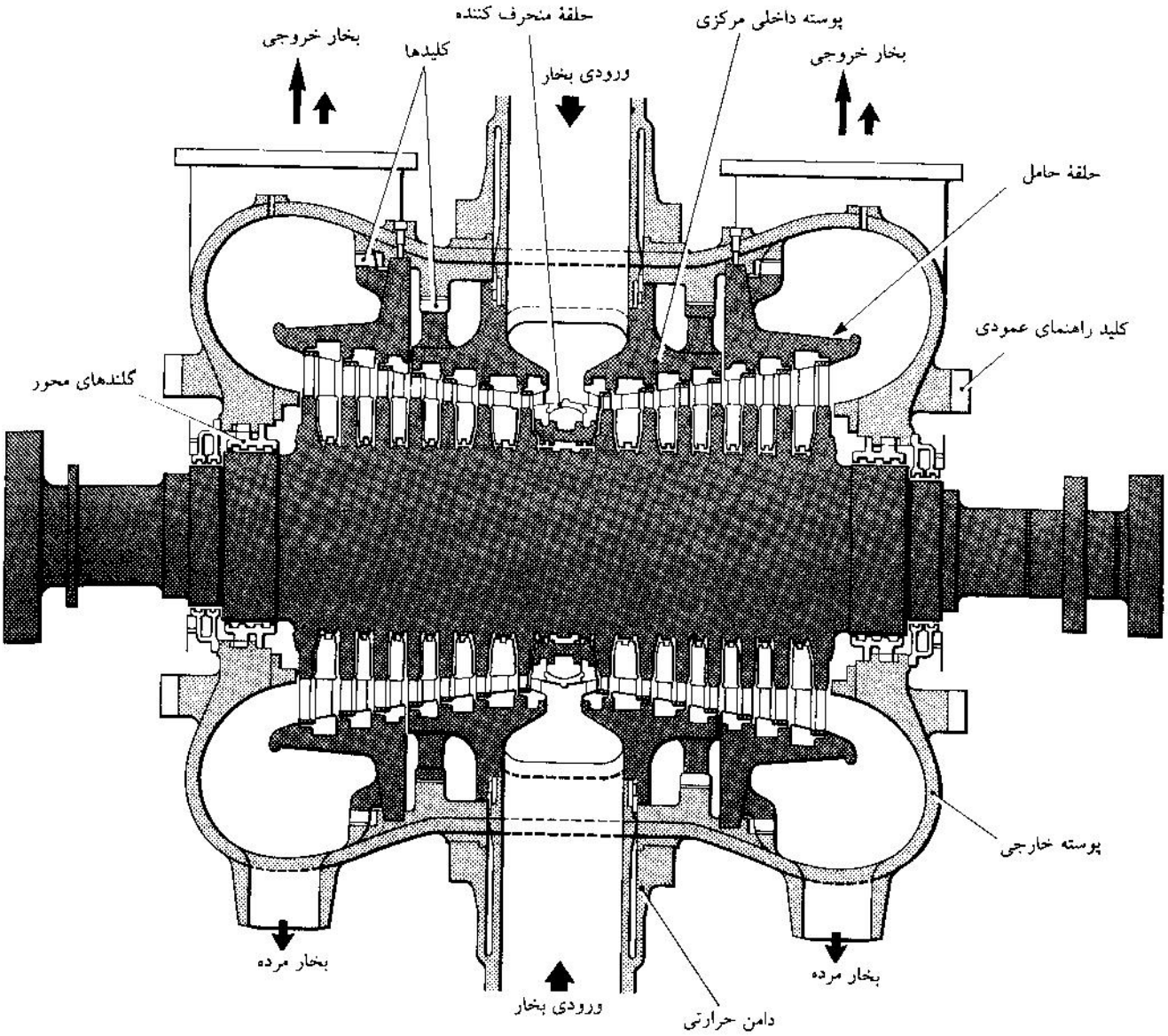
- از دست دادن گرما از طریق بخار کاهش می یابد .
- تنش حرارتی در پوسته بیرونی به مقدار قابل توجهی کم می شود .
- خطر کمتری متوجه کارکنان می گردد .



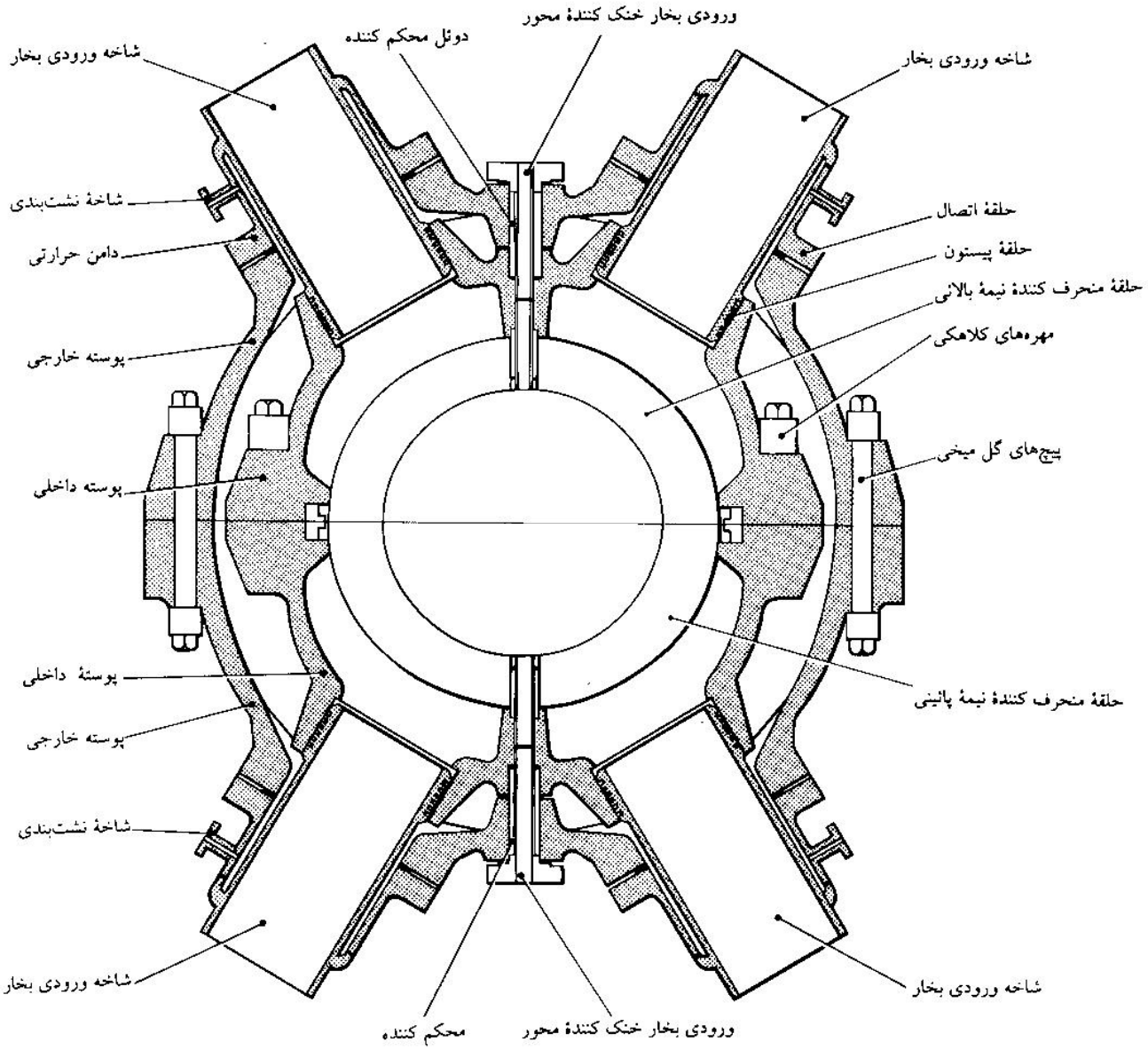
شکل ۱-٦ (مقطع یک سیلندر H.P)



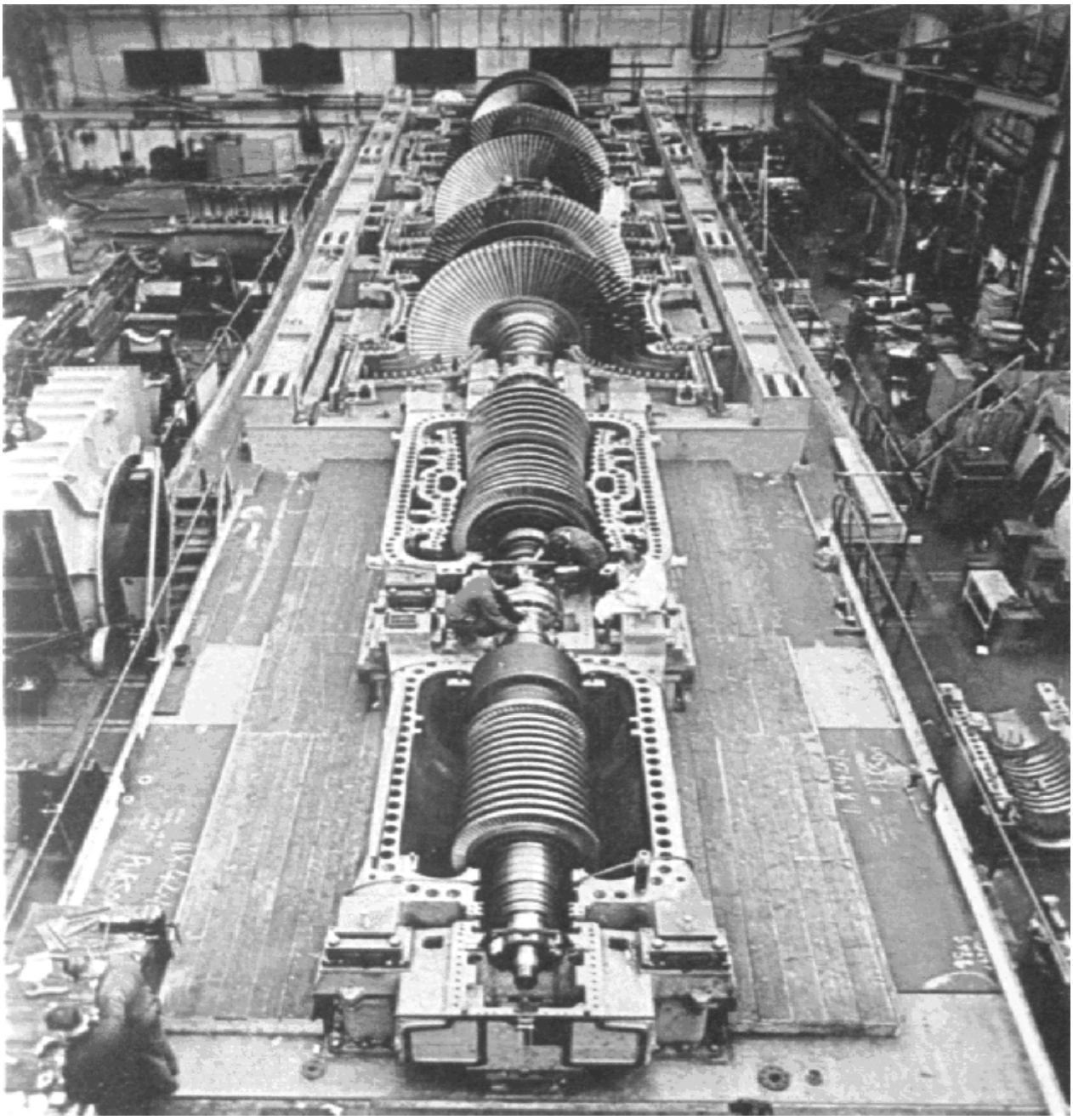
شکل ۱-۷ (مقطع یک سیلندر توربین H.P از لوله های ورودی بخار)



شکل ۱-۸ (برش محوری از سیلندر توربین I.P)



شکل ۱- ۹ (مقطع یک سیلندر توربین I.P از لوله های ورودی بخار)



شکل ۱-۱۰ ساختار کار سیلندرهای LP.HP

۱-۶- روتورهای توربین :

۱-۶-۱- مدل هایی از ساختمان روتور :

چهار نوع روتور در بخش ژنراتور – توربین مورد استفاده قرار می گیرد :

- روتور یکپارچه که در آن چرخها و شفت ها از یک تکه قطعه آهنکاری شده (Single_Piece (Forging است (مطابق شکل (a) ۱۱-۱) .
- روتورهایی که به صورت دیسک ساخته شده و شامل یک شفت فولادی شکل یافته اند که هر یک از دیسک هایی که جدا آهنکاری شده است ، بر روی آن بسط حرارتی یا خار می شوند . (مطابق شکل (b) ۱۱-۱) .
- روتور از نوع درام (Drum Tupe Rotor) که از یک جسم پر و یا توخالی آهنکاری شده ساخته شده است . (مطابق شکل (cو d) ۱۱-۱) .
- روتور جوشی ، در این روش شفتی وجود ندارد . دیسک ها بصورت میان پر جداگانه ساخته می شوند و سپس با جوش دادن آنها به یکدیگر ، روتور ساخته می شود . (مطابق شکل (e) ۱۱-۱) .

۱-۷- آزمایش و متعادل سازی :

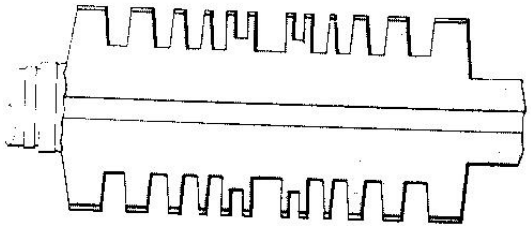
۱-۷-۱- آزمایش اضافه سرعت (Over Speed)

آزمایش ۲۰٪ اضافه سرعت در روتور ژنراتور بزرگ در زمان ساخت انجام می گردد . این کار موجب می شود که تعادل روتور در حدود سرعت عملکرد خود را به طور مناسب تثبیت کند و از طریق ایجاد یک حاشیه اطمینان در زمان اضافه سرعت ، عملکرد عادی توسط اختلال سیستم شبکه الکتریکی به وجود آید .

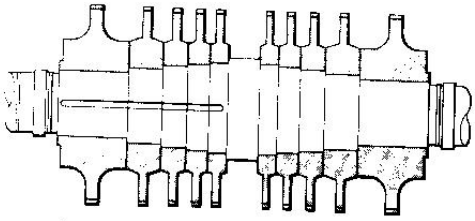
۱-۷-۲- سرعت های بحرانی :

فرکانس طبیعی شفت ساکن که بین یاتاقانها نگه داشته می شود ، وابسته به نسبت قطر آن به فاصله بین یاتاقانها است . اگر سرعت آن در چرخش با فرکانس ارتجاعی طبیعی اش برابر باشد ، نیروی پسماند عدم تعادل تقویت شده و می تواند حوادث خطرناکی بوجود آورد . این سرعت بحرانی بیشتر یا کمتر سرعت حرکت بوده و به ساختار روتور بستگی دارد .

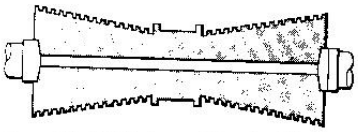
اگر کمتراز آن باشد ، شفت به عنوان متغیر شناخته می شود و برای اطمینان از اینکه سرعت بحرانی از حد ممکن گذاشته است ، در زمان بالا بردن دور باید مراقبت هایی به عمل آید . سرعت های بحرانی با افزایش طول و کاهش قطر روتور ، کاهش می یابد .



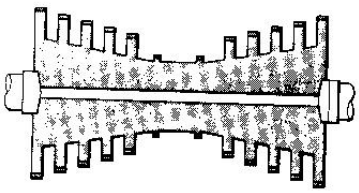
(a) روتور یکپارچهٔ LP



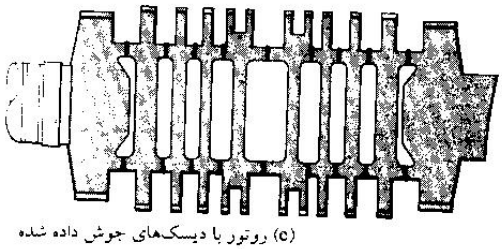
(b) روتور دیسک‌گذاری شده



(c) روتور یکپارچه درام IP (تیغه‌گذاری عکس‌العملی)



(d) روتور یکپارچهٔ درام IP (تیغه‌گذاری ضربه‌ای)



(e) روتور با دیسک‌های جوش داده شده

شکل ۱-۱۱ (انواع ساختار روتور توربین)

۱-۸- یاتاقان ها :

۱-۸-۱- یاتاقان های ژورنال (تخت)

هدف یک یاتاقان توربین ، حفظ سیستم روتور در موقعیت محوری صحیح خود در ارتباط با سیلندر ونیز ایجاد اصطکاک پایین برای تحمل نیروی دینامیکی و استاتیکی است .

یاتاقان ژورنال می تواند نیروهای شعاعی وارده از روتور (از جمله نیروی وزن موتور) را تحمل کند و مانع حرکات شعاعی روتور شود . در یاتاقان ژورنال فاصله بین شفت و یاتاقان روغنکاری می شود . در لحظه سکون ، شفت کاملاً روی یاتاقان نشسته و با شروع گردش روتور فیلم روغن با فشار مناسبی بین آن دو جریان می یابد و مانع تماس فلز به فلز می شود (شکل ۱۲-۱) .

۱-۸-۲- یاتاقان تراست :

یاتاقان تراست یا کف گرد نیروهای محوری را تحمل کرده ، مانع حرکت محوری شفت می گردد .

برای اینکه حرکت محوری شفت محدود گردد ، زایده ای بصورت دیسک ایجاد می شود که مقابل دیسک های میان خالی یاتاقان تراست قرار می گیرد و با جریان یافتن روغن روغنکاری با فشار طرح شده بین دیسک شفت و دیسک های یاتاقان مانع حرکت شفت در دو جهت چپ و راست می شود . در مجموعه شفت های توربو ژنراتور وجود یک یاتاقان تراست کافی است ، در حالی که یاتاقان های ژورنال متعدد بوده و معمولاً در فاصله بین روتورها نصب می شوند . (شکل ۱۳-۱ و ۱٤- ۱) .

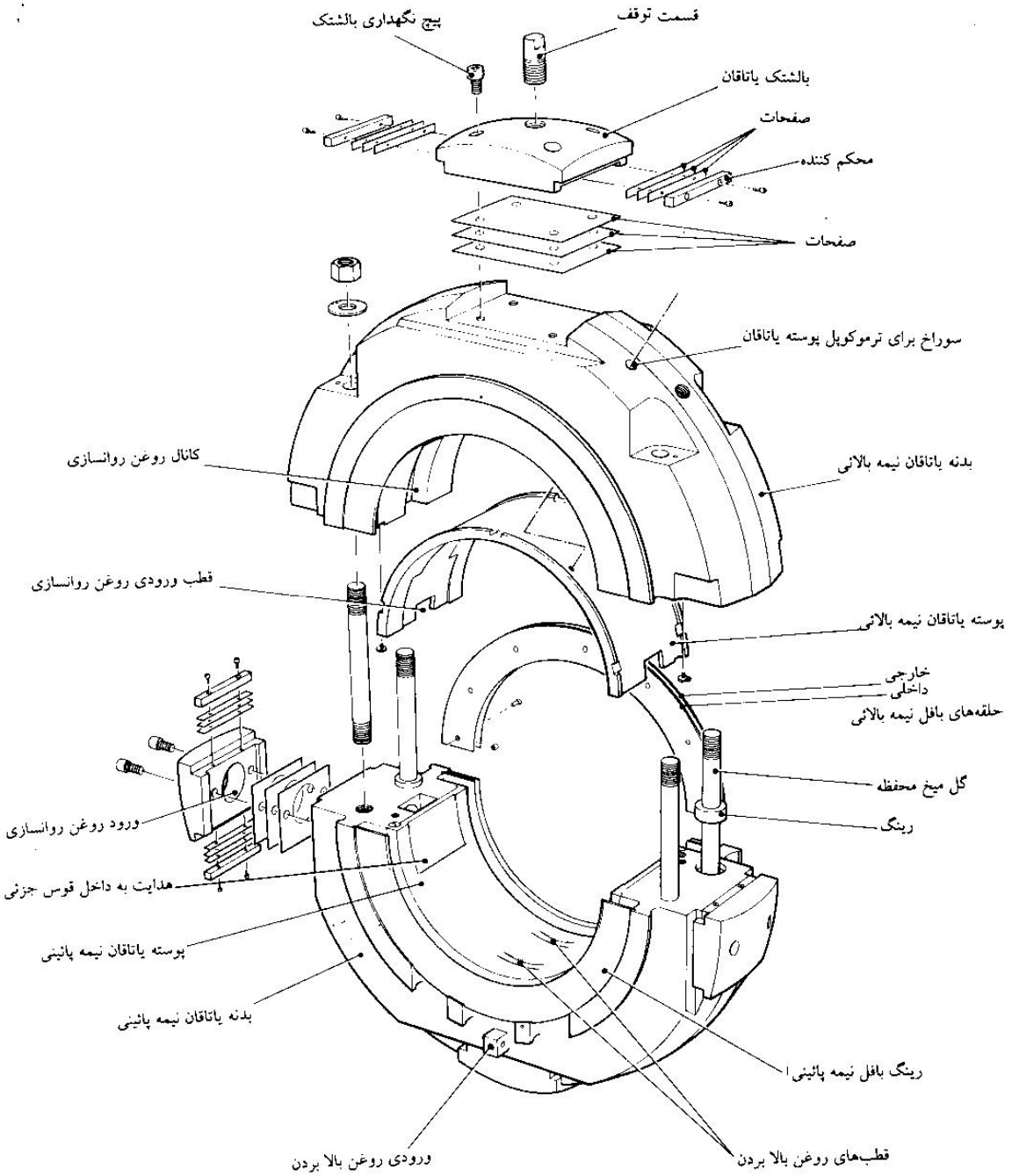
۱-۸-۳- عوامل موثر در فعالیت یاتاقان :

ساییدگی یاتاقانهای ژورنال اساساً با صفحه روغن با ضخامت بسیار کم و سائیدگی مختصر اتفاق می افتد و بویژه در یاتاقانهای جدید قابل پیش بینی است ، اگرچه سائیدگی شدید به دلیل بروز مشکلی است که می تواند بوسیله عوامل زیر ایجاد شده باشد :

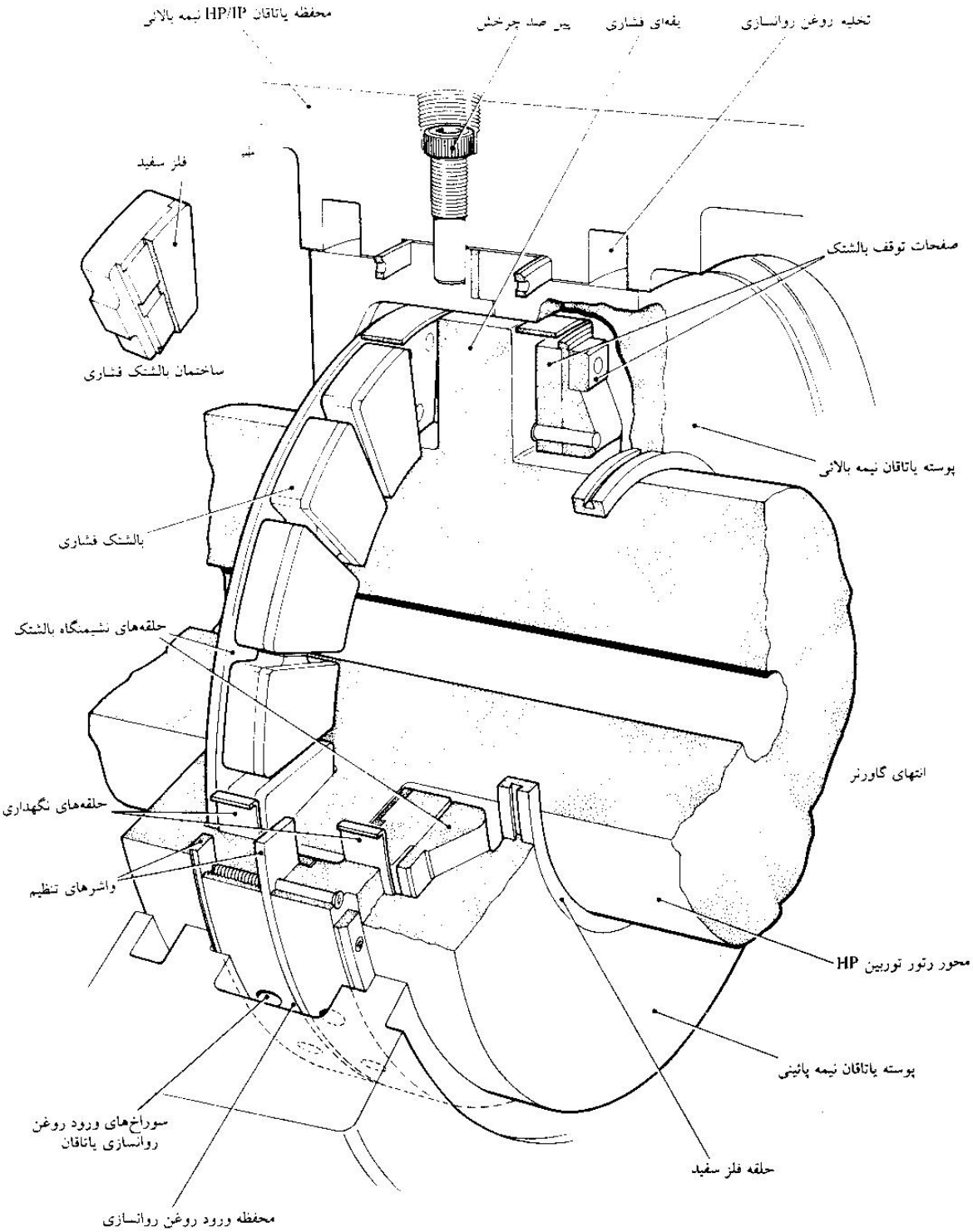
- برخورد ناهمواری های غیر استاندارد ژورنال و سطح یاتاقان .
- ایجاد شکاف توسط ذرات جامد روغنی .
- فشار محلی بیش از حد .
- ایجاد حفره الکتریکی .

فرسایش سطح آلیاژ بابیت می تواند در نتیجه نوسان شدید و یا خلاءِ زدایی در صفحه روغنی باشد که در نتیجه حمایت محصور شده روغن است .

سائیدگی الکتریکی یاتاقان ها و ژورنال ها گاه و بی گاه مشکلاتی را بوجود می آورد . ولتاژ کوچکی در شفت روتور ژنراتور تولید می شود . گاهی اوقات ولتاژ بالایی در ژنراتور ایجاد می شود که



شکل ۱-۱۳(یاتاقان روتور)



شکل ۱-۱۴(یاتاقان تراست)

به طور الکتریکی تولید شده است . با عایق گذاری موثر در یاتاقان های ژنراتور نسبت به زمین در نقاط مناسب سیستم روتور توربین از سائیدگی یاتاقان ها جلوگیری می شود .

۱-۹- سیستم های گلاند (GLAND) – بخار

گلاندها برای کاهش فرار بخار به یک مقدار حداقل در توربین های فشار زیاد و فشار متوسط فراهم شده اند ، در زمانیکه توربین ها در بار زیاد باشند و برای جلوگیری از ورود هوا به داخل توربین ها در طی راه اندازی و بهره برداری با بار پایین ، در زمانیکه فشار در سیلندر کمتر از فشار اتمسفر است . گلاندهای توربین فشار کم فقط برای آب بندی در مقابل ورود هوا ، در زمانی است که سیلندرها تحت وضعیت خلاءِ در تمام بارها کار می کنند . اما گذشته از نوع کاربرد ، گلاندهای از نوع آب بند لابیرنت (Labyrinth-Seal-Type) بدون تغییر بکار می روند . (شکل ۱۵-۱) .

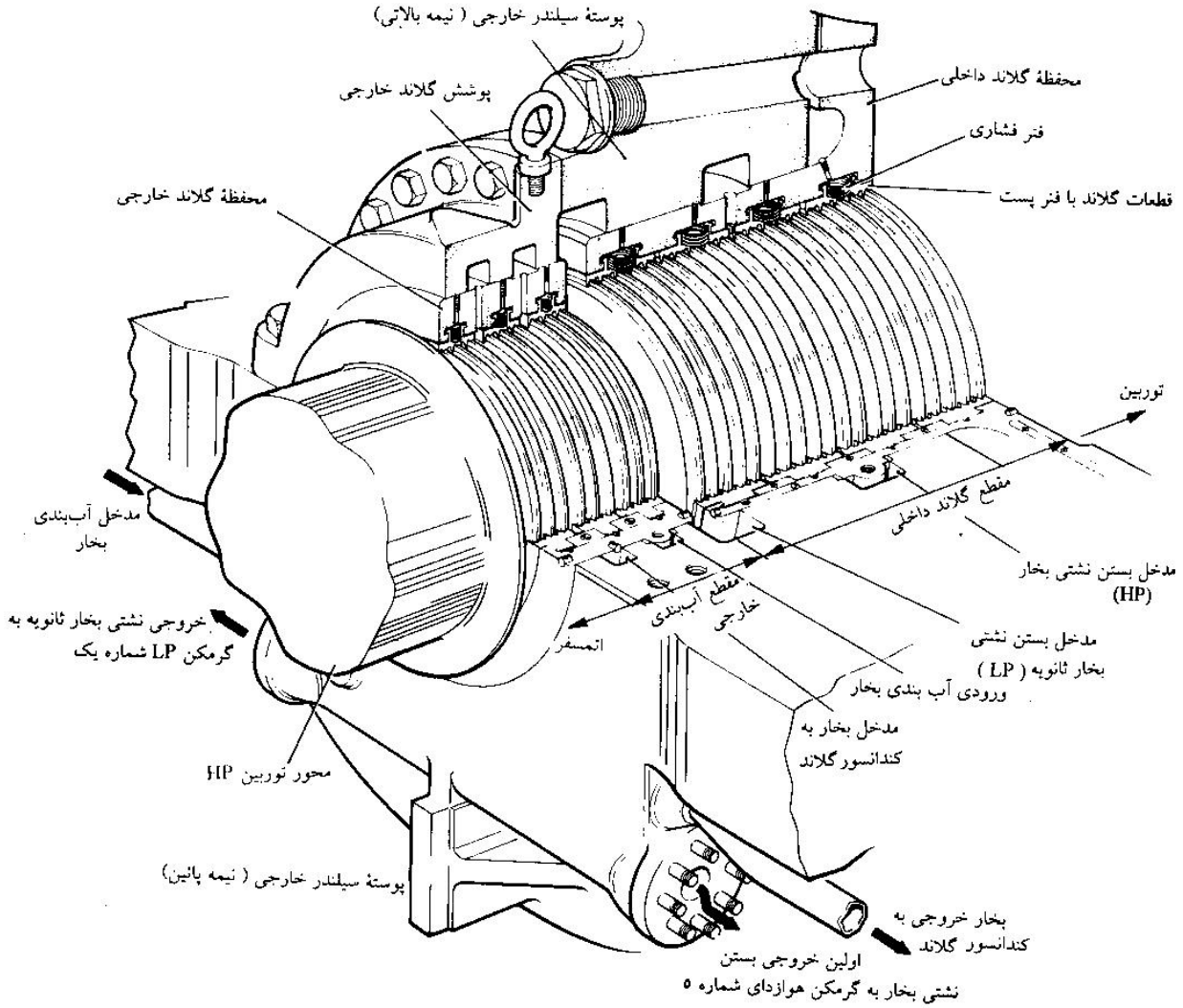
اگر سایشی بین قسمت ثابت و متحرک گلاند در طی بهره برداری پیش بیاید، فشار تماس آزاد خواهد شد و گرمایش کمی اتفاق خواهد افتاد . این امر بطور موثر از سایش در سرعتهای بالا که بدلیل گرمایش محور مثل نتایج خمش ابتدایی اتفاق می افتد جلوگیری می نماید . شکل (۱۵-۱) نشان می دهد که گلاند یک سری از لقی های دایره ای بسیار ظریف در فاصله هوایی بین لبه کاردی پره ها و محور بوجود می آورد که در آن مسیر بخار منبسط می شود (عبور از گلوگاه) و فشار مرحله به مرحله کاهش می یابد .

همچنین معمول است که سیستم آب بندی گلاند به دو قسمت تقسیم شود ، که یک قسمت آن مربوط به توربین های فشار زیاد – فشار متوسط و قسمت دیگر مربوط به توربین های فشار کم می باشد . این ترکیب وضعیتهای دمائی مختلفی را تامین می کند که برای محورهای توربین فشار زیاد – فشار متوسط در مقایسه با توربینهای فشار کم نیاز می باشد .

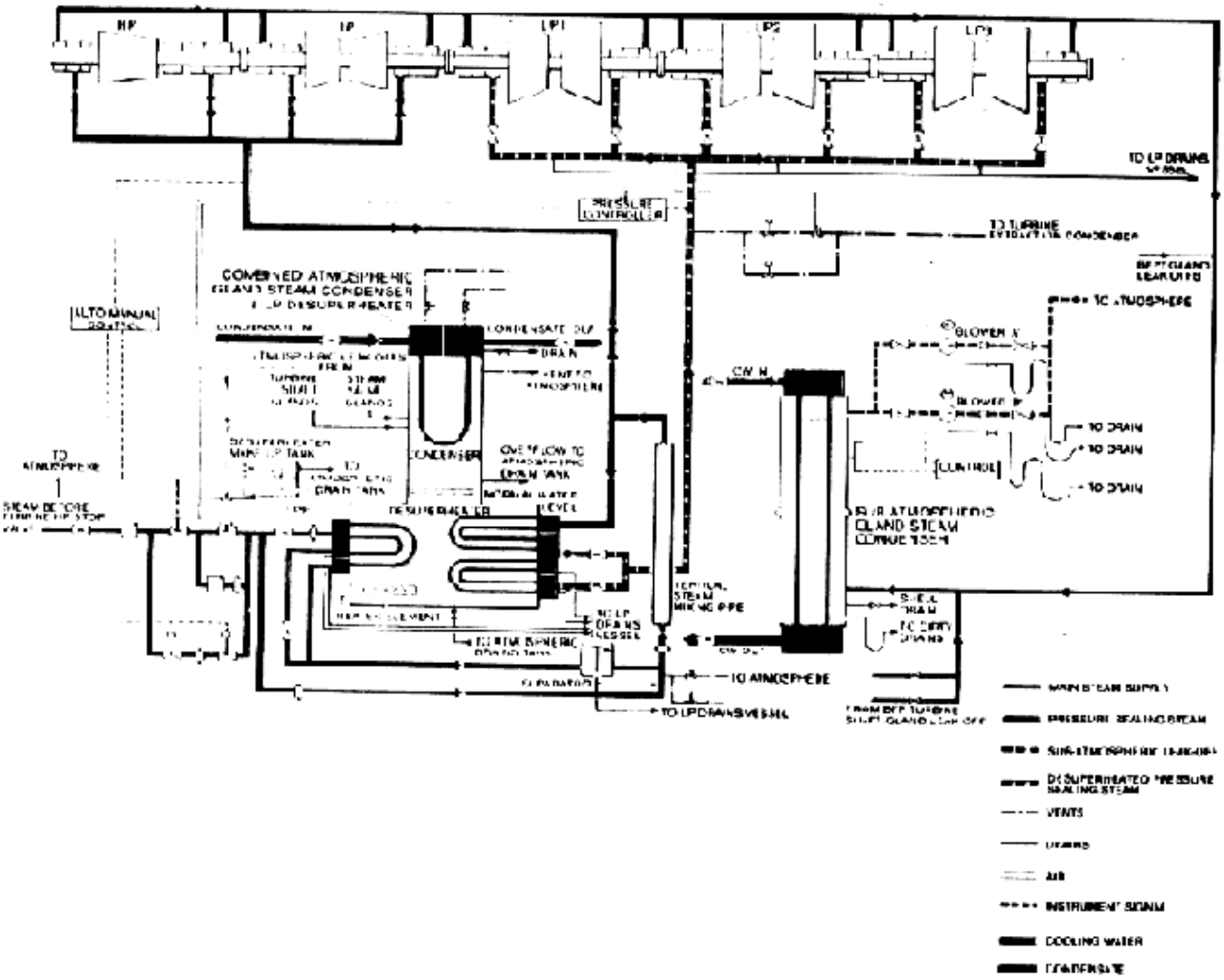
۱-۹-۱- تنظیم سیستم گلاند بخار :

اصول کلی عملکرد بدین صورت است که تغذیه بخار زنده توسط شیر کنترل تغذیه به مقدار فشار صحیح مربوطه می رسد و سپس دما از طریق سیستم دی سوپر هیتر (مرحله اول) جهت استفاده برای گلاندهای سیلندرهای HP و IP در حد درجه حرارت قابل قبول کاهش می یابد . دما برای گلاندهای سیلندرهای IP باید باز هم کمتر شود که در مرحله دوم دی سوپر هیتر اینکار انجام می شود (شکل ۱۶-۱) .

در ابتدا سیستم باید پیش از ورود بخار تنظیم شود . افزایش فشار بخار در لوله اصلی باعث می شود که سیستم گلاند بخار برای نخستین بار امتحان شود . فرایند گرم کردن سیستم گلاند بخار با باز



شکل ۱-۱۵ (گلاند نمونه توربین فشار بالا)


HP
IP
LP1
LP2
LP3
TO LP DRAIN
PRESSURE CONTROLLER
TO ATMOSPHERE
CONDENSATE OUT
DRAIN
VENTED TO ATMOSPHERE
CONDENSER
OVERFLOW TO ATMOSPHERIC DRAIN TANK
DESUPERHEATER
CW IN
BLOWER A
BLOWER B
TO DRAIN
TO DRAIN
TO DRAIN
CONTROL
TO ATMOSPHERE
TO LP DRAIN VESSEL
MAIN STEAM SUPPLY
PRESSURE SEALING STEAM
DESUPERHEATED PRESSURE SEALING STEAM
VENTS
DRAINS
AIR
INSTRUMENT SIGNAL
COOLING WATER
CONDENSATE

شکل ۱-۱۶

کردن آرام ایزولاتور گلاند بخار HP آغاز می شود . نرخ افزایش دمای مسیر لوله نباید از ۱۰۰ درجه سانتیگراد بر ساعت بیشتر شود . زمانی که دمای مسیر لوله به ۱۰۰ درجه سانتیگراد رسید فن تخلیه کننده گلاند بخار باید شروع بکار کند . باید توجه توجه داشت تا دمای بخار (با توجه به فشار در لوله مقسم HP) بالای دمای اشباع باشد .

بعد از آنکه فرایند گرم کردن به پایان رسید ، فشار و دمای گلاندهای HP ، IP و LP باید بررسی شوند :

دما (درجه سانتیگراد)	فشار	
۳۰۰	۰,۵	HP/IP
۱۲۰	۰,۰۵	LP

در این میان اگر نیاز به تنظیم باشد ، باید تنظیم را برروی شیر کنترل مناسب انجام داد . شرایط بخار در کندانسور بخار گلاند زیر فشار اتمسفر کندانسور بخار گلاند و دی سوپر هیتر LP را نیز باید بررسی نمود .

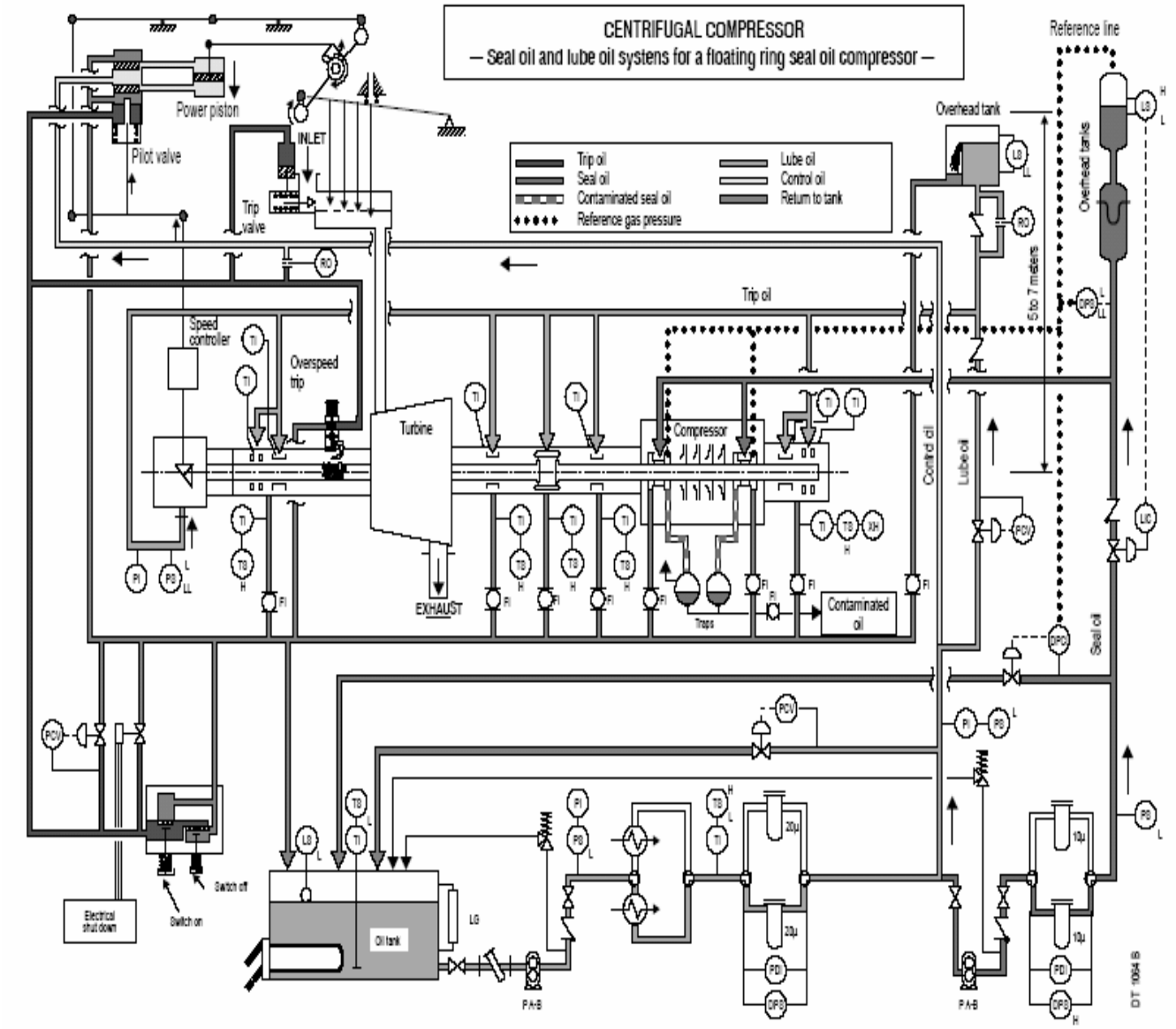
از لحاظ بهره برداری بسیار مهم است که تنظیم فشار و درجه حرارت بخار گلاندها در یک مقدار مخصوص حفظ شود ، زیرا بیش از حد بالا رفتن یا نوسان مقادیر منجر به افزایش خطر گسترش ترکها در محورها می گردد .

۱-۱۰- سیستم های روغن :

۱-۱۰-۱- کارکرد صحیح سیستم :

صحیح کار کردن سیستم روغنکاری توربین به لحاظ فشار مناسب برای روغنکاری یاتاقانهاو چرخ دنده هاست . علاوه بر آن ، این سیستم وظیفه خنک کردن محل یاتاقان و جذب انرژی گرمایی ایجاد شده را بر عهده دارد تا از داغ کردن شفت و یاتاقان جلوگیری نماید ، این امر نه تنها برای توربین اصلی ، بلکه برای آب بندهای گاز ژنراتور نیز بسیار ضروری است .

در این سیستم طبق شکل (۱۷-۱) یک مخزن روغن ، پمپ اصلی و پمپ کمکی و اضطراری و کولرهای روغن داریم و روغن در سیکلی از مخزن پمپ شده و بعد از روغنکاری دوباره به مخزن بر می گردد . پمپ اصلی به شفت توربین متصل است و از پمپ کمکی (بار الکتریکی موتور AC) برای زمان راه اندازی و استاپ استفاده می شود و در صورت نبودن برق AC در مرحله استاپ توربین ، پمپ اضطراری (موتور DC) راه اندازی می گردد .


CENTRIFUGAL COMPRESSOR
– Seal oil and lube oil systens for a floating ring seal oil compressor –
Trip oil
Seal oil
Contaminated seal oil
Reference gas pressure
Lube oil
Control oil
Return to tank
Power piston
Pilot valve
INLET
Trip valve
Speed controller
Overspeed trip
Turbine
Compressor
EXHAUST
Trip oil
Overhead tank
Reference line
Overhead tanks
5 to 7 meters
Control oil
Lube oil
Seal oil
Contaminated oil
Traps
Oil tank
Electrical shut down
Switch off
Switch on
P A-B
DT 1064 B

شکل ۱-۱۷

۱-۱۰-۲- پمپ روغن جکینگ :

این سیستم ، روغن با فشار خیلی بالا و دبی کم تولید می نماید و در ابتدای راه اندازی و دور گیری توربین بکار می افتد تا فیلم روغن با فشار زیاد زیر شفت بیاید و روتور با گشتاور محرک کمتری شروع به حرکت نماید .

در بهره برداری از سیستم روغن ، موارد ذیل بایستی دائماً کنترل و بررسی شوند :

- درجه حرارت روغن .
- فشار روغن در یاتاقانهای مختلف توربین و خط اصلی .
- سطح روغن در تانک اصلی .
- دبی روغن خروجی از یاتاقانها .
- آماده بودن پمپهای رزرو که در حالت اتومات می باشند .

سوالات مربوطه:

۱- انواع پوسته توربین را بایکدیگر مقایسه کنید

۲- عوامل موثر در فعالیت یاتاقان را بنویسید

۳- وظیفه پمپ روغن جکینگ چیست

فصل دوم

سیستم های

واحد توربین

اهداف فصل:

۱- شناخت سیستمهای واحد توربین

۲- چگونگی ارتباط سیستم های قطع توربین . ژنراتور

۲– مقدمه

۲–۱–۱– سیستم های کنترل گاورنری :

عملیات اصلی سیستم کنترل گاورنری یک واحد توربین – ژنراتور بزرگ که برای تولید الکتریسته از طریق یک شبکه وسیع قدرت بکار می رود ، عبارت است از :

- توانایی افزایش سرعت در محدوده های مجاز وقتی که لازم باشد واحدها را از شبکه خارج کنند .
- کنترل کردن وضعیت شیرهای بخار (و بنابراین بار ایجاد شده) در پاسخ به سیگنالهای ارسال شده از اپراتور یا یکی از سیستم کنترل اتوماتیک دیگر .
- کنترل کردن راه اندازی اولیه و همچنین سنکرونیزه کردن ماشین .
- مطابقت دادن توان ایجاد شده با توان درخواست شده با پاسخ دادن به تغییرات فرکانس در شبکه .

۲–۱–۲– خصوصیات گاورنر :

در بهره برداری عادی به منظور توزیع انرژی بین مصرف کننده ها ، توربین ژنراتور با یک شبکه وسیع که دیگر واحدهای تولیدی نیز به آن ارتباط دارند ، بصورت هماهنگ متصل می شود .

بنابراین خصوصیت اصلی یک سیستم کنترل گاورنری برقراری ارتباط بین بار تولید شده ماشین و سرعت آن می باشد که این مهمترین ورودی گاورنر است . این مفهوم به عنوان حلقه افت سرعت یا خاصیت تنظیم فرکانس گاورنر شناخته می شود و در شکل ۲-۲ نشان داده شده است .

۲–۲– وسائل حفاظت توربین :

منظور از حفاظت ، پیش گیری از وقوع پدیده هایی است که می توانند صدمات جبران ناپذیری وارد آورند و مانع ادامه بهره برداری از نیروگاه گردند .

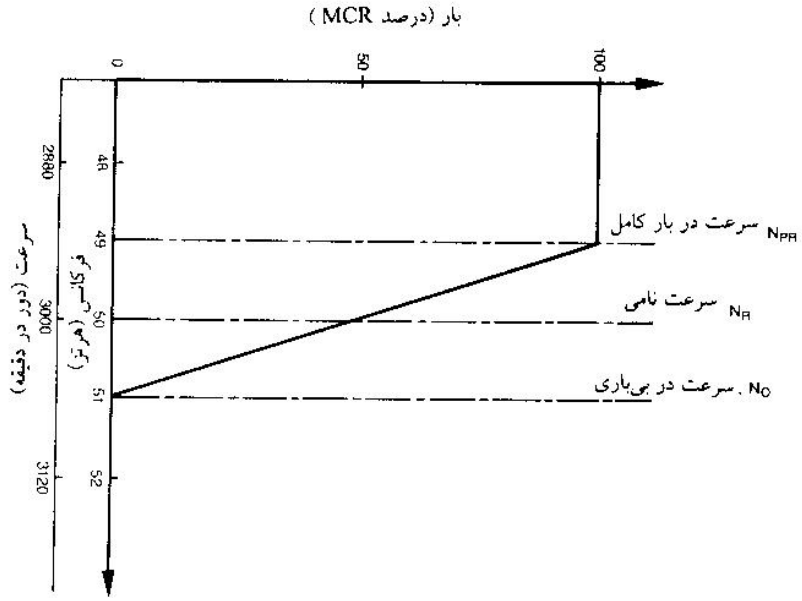
۲–۲–۱– خطرات احتمالی :

شرایط کاری غیر عادی ، شامل مواقعی است که توربین و سیستم هایش آن گونه که طراحی شده اند ، کار نمی کنند . این شرایط در صورتی که بطور مداوم رخ دهند باعث آسیب دیدن کارخانه و احتمالاً کارکنان خواهند شد .

N_R : سرعت نسبی (ارزیابی شده)

N_{PR} : سرعت در بار کامل

N_O : سرعت در حالت بدون بار



شکل ۲- ۱ (مشخصه های تنظیم گاورنر)

خطراتی که با آنها مواجه خواهیم شد عبارتند از :

- بالا رفتن سرعت بیش از حد مجاز .
- عیب ناشی از روانکاری .
- فشار بیش از حد در خروجی توربین (خلاءِ پایین در کندانسور) .
- عیب گاورنر (کنترل کننده) .
- ورود آب در بین پره ها .
- عیب یاتاقان های فشاری .
- لرزش بیش از حد .
- تغییرات دمائی بیش از حد .
- خروج از مرکز بیش از حد .

افزایش سرعت بیش از حد مجاز ، تنها در حالتی اتفاق خواهد افتاد که میزان بخاری که از توربین عبور می کند ، از حد مورد نیازی که برای بار لازم است تجاوز کند .

در این هنگام ، در صورت امکان برای تریپ مجموعه توربین و ژنراتور ، باید در ابتدا شیر بخار توربین را ببندیم .

۲-۲-۲- شیرهای حفاظت :

دستگاههای بوجود آورنده تریپ که در پاراگراف قبلی تشریح شد ، دو نوع هستند :

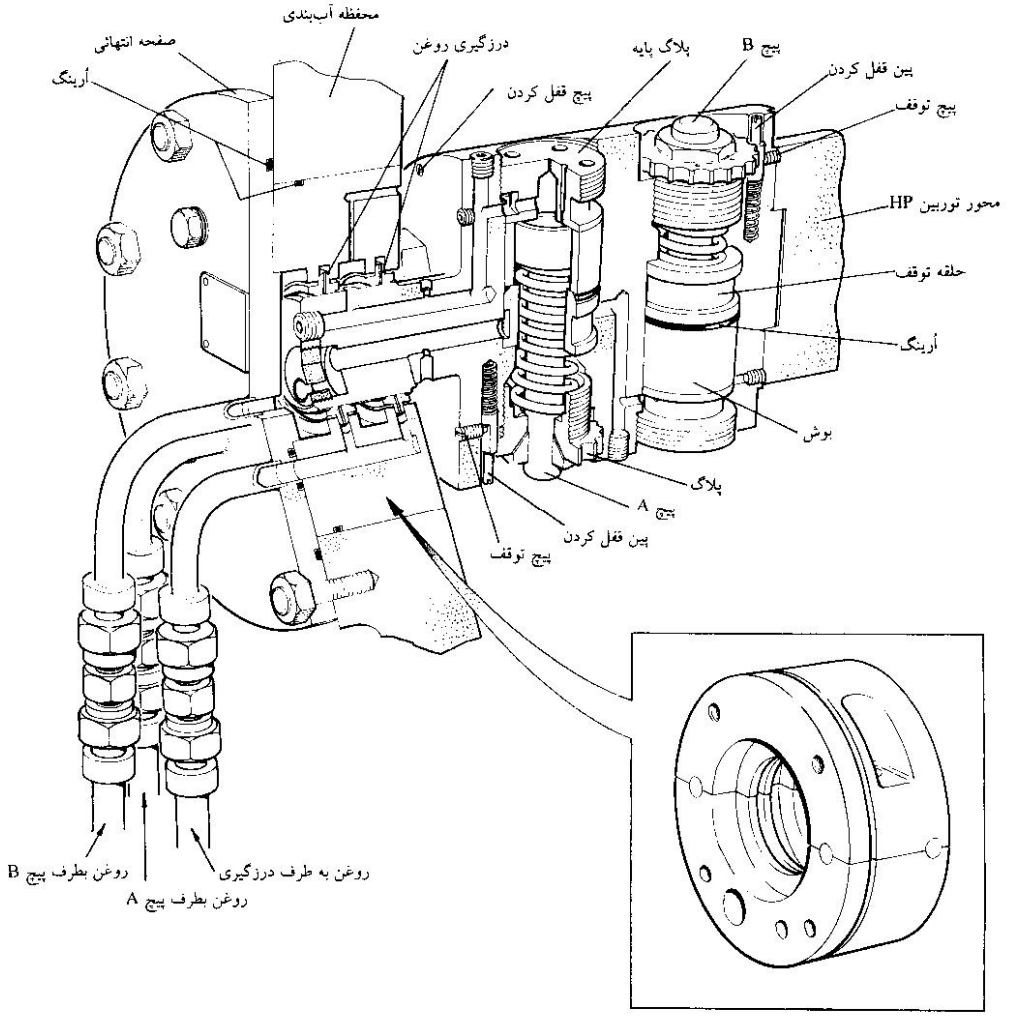
- وسائلی که با تغییر و انتقال الکتریکی کار می کنند .
- وسائلی که قادر به از کار انداختن تریپ مستقیم بوسیله سیستم های سیالی و هیدرولیکی هستند .

۲-۲-۳- تریپ اضافه سرعت :

تریپ اضافه سرعت آخرین حفاظت در برابر عیب فاجعه آمیز توربین در مواقعی است که عدم پذیرش بار باعث یک عدم اتصال از سیستم قدرت در واحد مورد نظر می شود . علاوه بر این ، یک افزایش سرعت ممکن است بوسیله عیب گاورنر بوجود آید که باعث خروج از سنکرونیزم توربین و افزایش تقاضای بخار در واحد می شود .

یک طرح کلی در شکل ۲-۲ نشان داده شده است .

یک مجموعه پیچ از کاراندازنده برای هر کانال از تریپ ها مورداستفاده قرار گرفته و هر مجموعه با تسهیلات تست در حالت بار مستقل بوجود آمده است .



شکل ۲-۲ (گاورنر اضافه سرعت)

پیچ ها که مرکز جرمشان ، فاصله کوچکی تا محور چرخش دارد ، در سرعت های پائینی بوسیله فنر جمع می شوند . در سرعتی معادل ۱۰٪ افزایش بیش از حد مجاز سرعت ، نیروی غیر بالانس بر نیروی فنر فائق می آید و باعث می شود تا پیچ به آنسوی شافت (محور) تمایل پیدا کند ، یعنی جائی که اهرم از کار اندازنده استاتیک را تریپ می دهد و ضامن را رها می کند تا توربین از کار بیفتد .

تنظیم تریپ در اثر افزایش بیش از حد مجاز سرعت ، وقتی انجام می شود که توربین ساکن است و دستیابی به دو شاخه تنظیم میسر می باشد .

۲-۳- حفاظت توربین بخار :

۲-۳-۱- سیستم قطع آنی توربین :

برای توقف سریع توربین بخار با توجه به عظیم بودن گشتاور محرک توربین در حال کار و نیز اینرسی حرکتی مجموعه روتور عملاً از هیچ سیستم ترمز کننده ای نمی توان استفاده کرد و تنها راه ممکن ، همان بستن سریع جریان ورودی بخار به توربین و در نتیجه قطع عامل محرک است و بعد از آن فرصت داده می شود تا بعد از قطع بار بتدریج دور توربین کاهش یابد . لذا در ورودی بخار به توربین و قبل از شیر کنترل ، از شیر قطع استفاده می شود . ساختمان این شیر بگونه ای طرح می گردد که در حداقل زمان ممکن بسته شود تا بتوان هرچه سریعتر جریان بخار را قطع نمود و توربین را متوقف کرد . سیگنال خروجی سیستم قطع به شیر قطع آمده و فرمان بسته شدن سریع را به این شیر می دهد .

۲-۳-۲- خصوصیات عمومی سیستم قطع توربین :

- انتخاب دو کانال مستقل سیستم حفاظتی جهت دادن فرمان قطع . به لحاظ اهمیتی که سیستم حفاظت دارد ، مجموعه سیگنالهای خروجی از حس کننده ها به دو سیستم حفاظت کاملاً مستقل از یکدیگر وارد می شوند و فرمان خروجی بعد از عملکرد دو گروه رله و عمل کننده به شیر قطع می رسد . در نتیجه در صورت نقض و عمل نکردن یکی از اجزاءِ و قطع سیگنال خروجی ، وجود کانال دوم برای بالا بردن ضریب اطمینان سیستم حفاظت ضروری است .

- تعدد حس کننده ها . بدلیل ذکر شده جهت بالا بردن ضریب اطمینان سیستم ، سیگنال خروجی مربوط به هر پدیده ای از طریق چند حس کننده مختلف می آید تا در صورت نقض یکی از حس کننده ها ، در صورت لزوم ، فرمان قطع موجود باشد . تعیین تعداد حس کننده ها و

سیگنالهای خروجی کافی جهت عملکرد سیستم حفاظت به درجه اهمیت آن پدیده و درجه اطمینان به عملکرد حس کننده ها بستگی دارد .

۲-۳-۳- ارتباط سیستم های قطع توربین و ژنراتور :

قطع ژنراتور (TRIP) به مفهوم جدا نمودن کلید خروجی ژنراتور می باشد که از سیتم حفاظت ژنراتور فرمان می گیرد . همانطور که اشاره شد ، به محض عمل کردن سیستم حفاظت ژنراتور ، برای جلوگیری از از وقوع پدیده افزایش دور روتور (Over Speed) توربین نیز آناً متوقف می گردد . ولی در حالت عکس یعنی زمانی که توربین قطع گردد ، کلید ژنراتور بلافاصله جدا نمی شود چرا که بعد از بستن شیر قطع ، بخار موجود در توربین دارای گشتاور محرک مقدار قابل توجهی می باشد و بدلیل فقدان گشتاور مقاوم در ژنراتور می تواند باعث پدیده افزایش دور توربین گردد و از سوی دیگر قطع آنی کلید ژنراتور ، بار خروجی از نیروگاه را آناً صفر می نماید ، در حالیکه نیروگاه می تواند تا چند لحظه بار خروجی داشته باشد تا به تدریج بار به صفر برسد و کنترل کننده مرکزی فرصت داشته باشد تا جهت تثبیت فرکانس ، بار نیروگاههای دیگر را افزایش دهد و آنها بتوانند عکس العمل مناسبی را نشان دهند .

سوالات مربوطه:

۱- وسائل حفاظت توربین کدامند

۲- خصوصیات عمومی سیستم قطع ارتباط توربین را ذکر کنید

فصل سوم
ارتعاشات توربین

اهداف فصل:

۱-بررسی برخی عیوب متداول در توربین ها

۲-آشنایی با وسائل اندازه گیری

ارتعاشات توربین

۳- مقدمه

توربینها بسته به موارد کاربرد از قبیل سرعت کارکرد ، تجربه پرسنل در راه اندازی ، تعمیر و نگهداری ، با مشکلات ارتعاشی مختلفی مواجه می شوند . اکثر عیوب مکانیکی توربینها به صورت علائم ارتعاشی و یا تغییر در مشخصه های ارتعاشی ظاهر می گردند . از طریق نمایش دامنه ارتعاش بر حسب فرکانس در جهت های محوری و شعاعی ، زاویه فاز ، حرکت مرکز شفت ، یکنواختی و یا گذرایی ارتعاش ، عیوب احتمالی بوجود آمده یا در حال رشد قابل شناسایی می باشند .

۳-۱- بررسی برخی از عیوب متداول در توربینها

در این قسمت برخی از عیوب توربینها که از لحاظ وقوع ، فراوانی بیشتری دارند ، مورد بررسی قرار می گیرند .

۳-۱-۱- نامیزانی

شایعترین عامل لرزش در توربینها نامیزانی است . نامیزانی در توربینها عیب ناشی از قرار نگرفتن محور اینرسی روتور بر محور تقارن آن می باشد . در همه توربینها مقداری نامیزانی اولیه وجود دارد و رفع کامل نامیزانی در سیستم های واقعی امکانپذیر نیست . غالباً در استانداردها برای ارتعاش سیستم در اثر نامیزانی محدوده های مجاز دامنه ارتعاش تعریف می گردد . همچنینی نامیزانی در اثر کارکرد ، تعمیر و نگهداری نیز بوجود می آید . این عیب در نهایت باعث سایش آب بندها ، شکست یاتاقانها یا تشدید می شود .

۳-۱-۲- خمیدگی محور

تغییر شکل شفت در توربین ها در اثر عدم گرمایش یکنواخت محور مخصوصاً در راه اندازی سیستم ، نیروی وزن زیاد ، نامیزانی زیاد و نصب انقباضی حاصل می گردد . خمیدگی شفت علاوه بر ایجاد ارتعاش غیر مجاز در سیستم ، سبب تماس شفت با آب بند و یا نوک پره با پوسته شده و گرمای حاصله مشکل را دو چندان می کند . علاوه بر موارد ذکر شده ، خمیدگی موجب آسیب دیدگی کوپلینگها و یاتاقانها نیز می گردد . رفع این عیب ، علاوه بر مرتفع ساختن آن از آسیب دیدگی بقیه قسمتها نیز جلوگیری می کند .

۳-۱-۳- عدم هم محوری

یکی دیگر از عیوب شایع در توربینها ، عدم هم محوری در محل کوپلینگها می باشد . علیرغم وجود یاتاقانهای خود تنظیم و کوپلینگهای انعطاف پذیر ، هم محور کردن دو شفت و یاتاقانهایشان تا اینکه هیچ نیرویی برای ارتعاشات وجود نداشته باشد ، خیلی مشکل است و همچنین اگر روشی برای کنترل انبساط گرمایی موضعی لوله ها ، پایه و فونداسیون توربینها پیش بینی نشده باشد ، تنش بیش از اندازه لوله و یا فونداسیون باعث بوجود آمدن این عیب می شوند . عدم هم محوری ، حتی با کوپلینگهای انعطاف پذیر ، باعث پیدایش دو نیروی محوری و شعاعی می گردد که موجب ارتعاشات محوری و شعاعی می شوند . این نیروها حتی وقتی که عدم هم محوری در محدوده انعطاف پذیری کوپلینگها باشد ، نیز وجود دارند . این عیب در نهایت باعث شکستگیهایی در آب بندها ، کوپلینگها ، پیچهای کوپلینگ ، یاتاقان ، یا دو انتهای شفت می شود .

۳-۱-۴- لقی مکانیکی

لقی مکانیکی شامل لقی در اتصال به فونداسیون ، قطعات متصل به شفت و یاتاقانها می باشد . لقی قطعات دوار سبب افزایش نامیزانی سیستم می گردد و در دور ثابت با گذشت زمان اختلاف بین فرکانس قطعه لق و محور دوار ثابت شده و پاسخ سیستم در حوزه زمانی به شکل پدیده ضربان ظاهر خواهد شد . دیسکها و یاتاقانهای بوشی (حلقوی) ممکن است در اثر تغییر ناگهانی دما دچار لقی شوند . برای تصحیح این عیب معمولاً بایستی محور باز شود .

۳-۱-۵- ترک محور

مشکل مهم دیگر در توربینها پیشرفت مقطعی ترک در شفت می باشد . این مشکل در مقایسه با سایر مشکلات توربینها بندرت اتفاق می افتد ولی در صورت بروز آن ، علاوه بر از بین رفتن محور، سبب آسیب دیدگی سایر قسمتها نیز خواهد شد . این عیب عموماً در اثر خستگی همچنین تغییرات ناگهانی دما یا بار و یا تنش بیش از حد در محور بوجود می آید .

۳-۱-۶- چرخش روغن و ناپایداری در یاتاقانها

چرخش روغن و ناپایداری در یاتاقانها ی ژورنال یکی از عیوب خود تحریک است که در اثر تغییر بعضی خواص نظیر درجه حرارت پدید می آید . سرعت نسبی شفت و یاتاقان و همچنین حرکت لنگ زنی شفت سبب می گردد که در دورهای بالا زمان لازم جهت توزیع فشار روغن در داخل یاتاقان فراهم نگردد و سیستم خودبخود تحریک شود . در یاتاقانهایی که پایدار نیز هستند ، به علت عدم نصب صحیح یاتاقان ، تغییرات دما و یا بروز مشکلات دیگر ممکن است این عیب پدید آید . چرخش روغن معمولاً در اثر طراحی نادرست یاتاقان بوجود می آید . سایش بیش از حد یاتاقان مشکل دیگری است که به چرخش روغن کمک می کند .

از آنجائیکه چرخش روغن به اندازه خارج از مرکزی شفت درون یاتاقانها بستگی دارد ، با سایش یاتاقان ، خروج از مرکزی شفت زیادتر می شود و در نتیجه حساسیت ماشین به چرخش روغن بیشتر می گردد .

افزایش در فشار روغنکاری یا ویسکوزیته روغن ممکن است باعث افزایش حساسیت به چرخش روغن شود . بنابراین برای رفع این عیب باید فشار و ویسکوزیته و دمای لایه روغن را کنترل کنیم . در برخی موارد ، راه حل موقتی برای رفع این عیب افزایش دمای روغن می باشد که باعث کاهش ویسکوزیته آن می شود . این مورد ممکن است در اثر انتقال ارتعاشات از یک منبع خارجی از طریق فونداسیون یا سیستم لوله کشی پدید آید .

برای درک بهتر از علل بوجود آمدن ، مشخصه های ارتعاشی و نحوه شناسائی هر عیب کلیه اطلاعات در جدول عیب یابی در توربینها با آنالیز ارتعاشات ، آورده شده است . در جدول (۳-۱) علل ایجاد عیب پدیده های ثانویه و راه رفع آنها و در جدول (۳-۲) مشخصات ارتعاشی عیوب از قبیل فرکانسهای غالب ارتعاشات ، راستای دامنه غالب (شعاعی ، محوری) و مسیر حرکت شفت ، برای هر عیب توضیح داده شده است .

۳-۲- وسایل اندازه گیری توربین

وسایل اندازه گیری یا حس کننده هایی هستند که به منظور حس کردن میزان و تغییرات یک پدیده بر روی توربین نصب می گردند و از سیگنالی که می توانند بفرستند ، ممکن است در سیستم کنترل و یا حفاظت و یا در تست های ابتدایی راه اندازی و تست های فصلی استفاده شود .

۳-۲-۱- مهمترین وسایل اندازه گیری

- گروهی از وسایل که در مسیر بخار مشخصات آن همچون فشار ، دما ، دبی را اندازه گیری می کنند .
- ترموکوپل هایی که اختلاف دمای پوسته را در داخل و خارج اندازه گیری می کنند .
- اندازه گیری اختلاف دمای سطح و مغز شفت که اهمیت زیادی در راه اندازی و بهره برداری از توربین دارد . به این منظور معمولاً از یک میله فلزی هم جنس با شفت و هم طول با شعاع آن به عنوان مدل استفاده می شود که در محل ورودی بخار به توربین فشار قوی نصب شده است و شرایط کاملاً مشابهی با وضعیت گرمایی شفت در آن نقطه دارد و اختلاف دما در طول این میله توسط ترمو کوپل هایی اندازه گیری می شود .

- وسایل اندازه گیری مربوط به دما و فشار روغن در سیستم روغنکاری و ترموکوپل هایی که دمای فلز یاتاقان را اندازه گیری می کنند .

- اندازه گیری انبساط حرارتی پوسته توربین در بخش های مختلف .
- اندازه گیری ارتعاشات محوری و شعاعی . ارتعاشات محوری در محل یاتاقان تراست و ارتعاشات شعاعی بر روی پوسته کلیه یاتاقانهای ژورنال اندازه گیری می شود .

جدول ۳-۲ (معرفی عیوب مکانیکی توربین ها)

علت ایرادات	علل ایجاد عیب	توضیحات (پدیده‌های تاویه، راه رفع عیب)
نامیزانی	ناتراس در ساخت،تغییرات در مواد بکار رفته، ایجاد شیار روی شفت، عدم وجود تقارن در طراحی، کاربرد نادرست ماشین، تغییر طول فعالیت، تغییر درجهٔ حرارت، خمیدگی شفت، سوراخهای بوجود آمده هنگام ریخته‌گری، پرههای ضخیم‌تر، سوراخ خارج از مرکز و...	برای تصحیح نامیزانی در روش وجود دارد: ۱- میزان کردن درجا ۲- میزان کردن به کمک ماشین میزان کننده معمولاً محورهای بلند با سرعت بالا در سرعت کامل درجا میزان می کنند. هنگام تولید موتورها و بمبها و توربینها و ... محورها را قبل از سوار کردن روی ماشین بکمک ماشین میزان کننده میزان می کنند. این عیب در نهایت باعث سایش آببندها، شکست یاتاقانها یا تشدید می شود.
عدم هم‌محور	کرنش بیش از اندازه ولهٔ و یا ذوب‌شدن موتاژ و نادرست، گرمای موضعی.	این عیب باعث تولید نیروهای اصطکاک یا خیز در کوپلینگها می‌شود. یا ممکن است باعث تشدید های هارمونیک شود. همچنین در نهایت باعث شکستگیهایی در آببندها، کوپلینگها، یاتاقانها، یا دو انتهای شفت می‌شود.
خمیدگی محور	عدم گرمایش یکنواخت محور، نیروی وزن زیاد، نامیزانی زیاد، نصب اشتباهی.	این عیب علاوه بر ایجاد ارتعاش غیر مجاز در سیستم، باعث تماس شفت با آببند و یا نوک پره با پوسته می‌شود. همچنین باعث آسیب دیدگی کوپلینگها و یاتاقانها نیز می‌شود. راه حل موقت آن کاربرد روش "نقطهٔ گرم" است.
سایش	معمولاً هر عیبی از دستگاه در نهایت باعث تماس و سایش می‌شود، اما غالباً نامیزانی زیاد عامل اصلی این مشکل است.	سایش آخرین مرحلهٔ مشکل قبل از شکست نهایی است. سایشهای کوچک معمولاً توسط خودشان تصحیح می‌شوند ولی در مورد سایشهای مهم باید علت اصلی را پیدا کرد و آنرا تصحیح کرد.
لقی مکانیکی	شل بودن بیرنج و مهره‌ها و اندازه نبودن اتصالات انقباضی و همچنین تغییرات ناگهانی دما نیز می‌تواند باعث لقی شود (خصوصاً در دیسکها و یاتاقانهای بوشی)	لقی فعالیت دوار باعث افزایش نامیزانی می‌شود. برای تصحیح لقی باید سفت بودن تمام پیچها را کنترل کرد یا اگر مشکل طراحی وجود داشته باشد، باید طراحی قطعه را تصحیح کرد.
ترک محور	تغییرات ناگهانی دما بار و یا شیب‌های بیش از حد در محور و یا بارهای تناوبی (در اثر خستگی)	ترک باعث تغییر سختی محور شده و در نهایت باعث از بین رفتن محور می‌شود و ممکن است به قسمتهای دیگر نیز آسیب برساند. برای اصلاح باید قسمت ترک خورده از قبیل شفت، پره‌ها، دیسکها و... را عوض کرد.
چرخش روتور	این عیب بوسیلهٔ خود سیستم (رفتگاری در یاتاقانها) معمولاً در سرعتهای بالا تحریک می‌شود.	این عیب باعث ارتعاشات با دامنهٔ زیاد در محور می‌شود. برای اصلاح می‌توان فضای لقی بین یاتاقان و شفت را کاهش داد یا از یاتاقانهای کفشکی استفاده کرد.
لقی یاتاقانها	شل بودن قطعات داخلی و یا اتصالات یاتاقان	لقی در یاتاقانها و اتصالات آن سبب تغییر سختی سیستم می‌شود. این عیب معمولاً با چرخش روتور آشکار می‌شود. برای تصحیح باید یاتاقان را باز کرد و از محکم بودن اتصالات آن اطمینان حاصل کرد.

سوالات مربوطه:

۱-چرخش روغن و ناپایداری در یاتاقانها را توضیح دهید

۲-وسائل اندازه گیری ارتعاش توربین کدامند

فصل چهارم
کندانسور

اهداف فصل:

۱-شناخت اصول کار و ساختمان کندانسور

۲-بهره برداری در کندانسور و ملاحظات مربوطه

۴– مقدمه

بعد از اینکه بخار کارش را روی پره های توربین انجام داد و حداکثر انرژی اش را به پره های توربین منتقل کرد ، بایستی آنرا به بویلر باز گردانید .برای اینکار لازم است ابتدا آنرا به آب تبدیل کرد و سپس ، بوسیله پمپ به طرف بویلر فرستاد . عمل تبدیل بخار به آب در دستگاهی بنام کندانسور صورت می گیرد . کندانسور در واقع بزرگترین مبدل حرارتی نیروگاه است که بوسیله جریان آب خنک کننده ، بخار خروجی از توربین را تقطیر می کند . دیاگرام (شکل ٤-١) رابطه کندانسور را با سایر قسمتهای نیروگاه نشان می دهد .

۴–۱– وظایف و اصول کندانسور

۴–۱–۱– لزوم تقطیر بخار

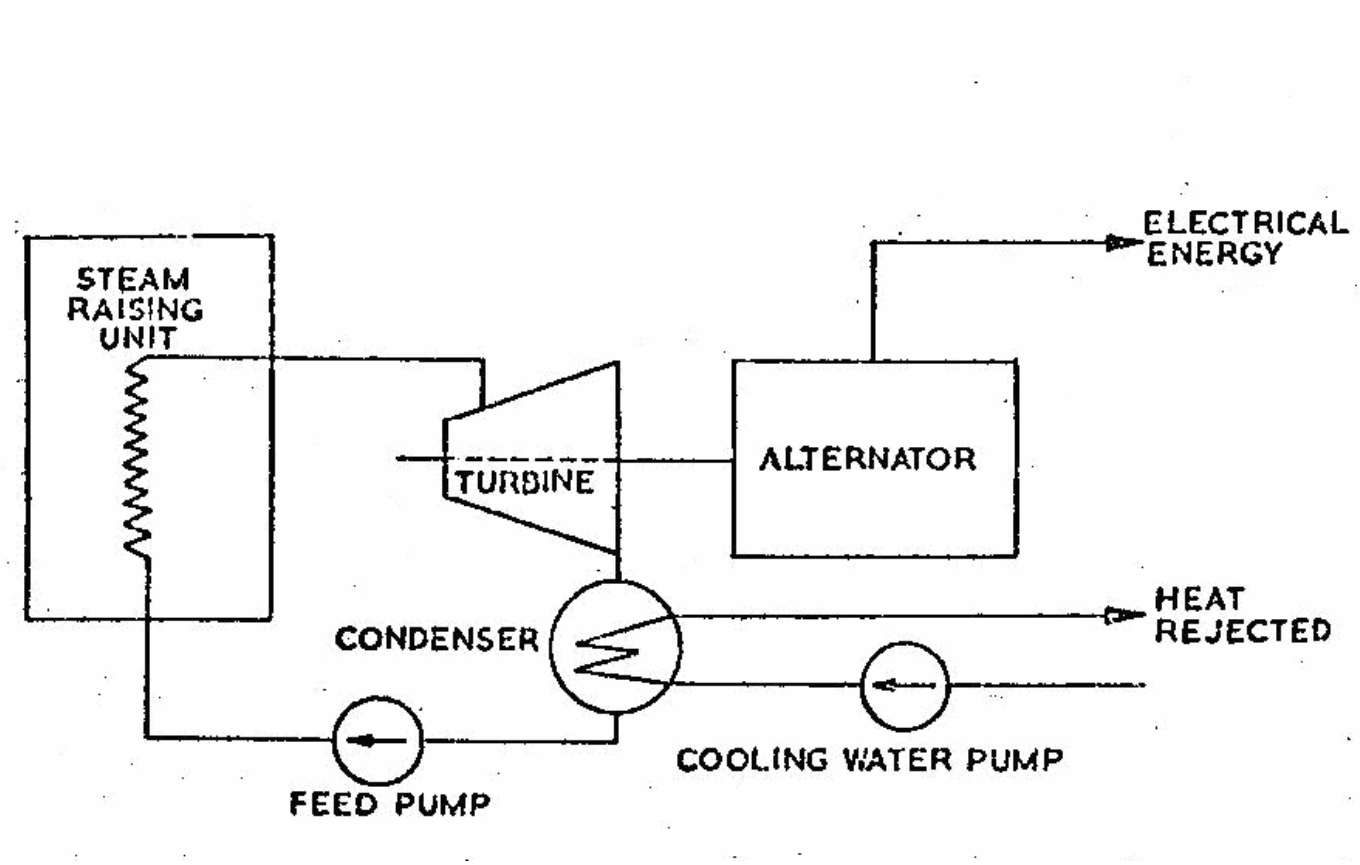
با دانستن رابطه بین حجم آب و حجم بخار حاصل از آن که البته در فشارهای مختلف فرق خواهد کرد ، بسادگی پی می بریم که در یک توربین معین حجم بخار خروجی بسیار زیاد است که اگر بخواهیم آن را بوسیله ای به طرف بویلر پمپ کنیم ، هزینه صرف دستگاههای پمپاژ و مخارج پمپاژ و لوله کشی خواهد شد به همین دلیل ابتدا بخار را به آب تبدیل می کنیم ، سپس آن را به سمت بویلر می فرستیم .

۴–۱–۲– ایجاد خلاء

در بررسی سیکل های آب و بخار و منحنی های ترمو دینامیکی این مساله مشخص است که هرچه فشار خروجی توربین کمتر باشد ، راندمان آن بیشتر است . در موارد نیروگاهی بایستی فشار خروجی توربین را حتی از فشار اتمسفر نیز کمتر کنیم تا از انرژی بخار بیشتر استفاده شود . به این جهت در خروجی توربین خلاءِ ایجاد می شود . در این صورت وجود کندانسور به عنوان مخزنی که در آن خلاءِ ایجاد می شود لازم است . هرچه خلاءِ کندانسور بیشتر باشد ، راندمان توربین بیشتر می شود .

۴–۱–۳– صرفه جویی در بخار

مقدار بخاری که از توربین عبور می کند بسیار زیاد است ، مثلاً در مورد یک واحد ۱۲۰ MW این مقدار برابر ٤٨٠ t/h و در مورد واحد ۵۰۰ MW برابر ۱۵۰۰ t/h است . اگر اجازه دهیم که این مقدار بخار وارد اتمسفر شود ، یعنی آن را از دست بدهیم ، از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست زیرا لازم است که مجدداً همین مقدار آب مقطر توسط قسمت شیمی نیروگاه


ELECTRICAL ENERGY
STEAM RAISING UNIT
TURBINE
ALTERNATOR
HEAT REJECTED
CONDENSER
COOLING WATER PUMP
FEED PUMP

شکل ٤-١

تولید شود و این تولید هزینه زیادی در بر دارد . لذا کندانسور در واقع دستگاهی است که این بخار را جمع کرده و پس از تقطیر آن را آماده بازگشت به بویلر می کند .

۴-۱-۴- تزریق آب از دست رفته در سیکل

به علت نشت آب در قسمتهای مختلف و همچنین استفاده از بخار یا آب در بخشهای مختلف نیروگاه مقداری از آب مصرفی در سیکل از بین می رود که بایستی این مقدار آب جانشین شود . کندانسور بهترین جا برای تزریق کمبود آب سیکل است . به علاوه چون آب تازه که به سیکل اضافه می شود ممکن است اکسیژن هوا به همره داشته باشد ، در موقع وارد شدن به کندانسور چون در شرایط تبخیر قرار می گیرد گازهایش خارج شده و فقط آب مقطر باقی می ماند . از طرف دیگر کندانسور بهترین جا برای جمع آوری تخلیه های مختلف سیکل آب و بخار است .

۴-۲- بهره برداری کندانسور

۴-۲-۱- ملاحظات بهره برداری

- خلاءِ کندانسور بایستی در حد امکان بالا باشد زیرا باعث افزایش راندمان توربین می شود .
- بخار تقطیر شده را بایستی کاملاً هواگیری نمود و گازهای همراه آن را خارج کرد .
- از نفوذ آب خنک کننده در تماس سطحی به داخل آب مقطر بایستی جلوگیری شود . زیرا شرایط شیمیایی آب خنک کننده برای بویلر مناسب نیست .

۴-۲-۲- اثرات وجود هوا در کندانسور

نفوذ هوا به داخل کندانسور در هر نقطه که مجاور سیستم آب و بخار کندانسور است و نیز در قسمتهایی از توربین و مسیرهای بخار برداشتی از توربین جهت گرمایش آب تغذیه که در فشار نزدیک اتمسفر یا کمتر از آن کار می کنند ، امکان پذیر است . وجود هوا در کندانسور اثرات زیر را دارد :

- هوا غیر قابل تقطیر است و مقاومت زیادی در برابر انتقال حرارت دارد . بخاربه همراه خود هوا را حمل کرده و به لوله ها برخورد می کند . بعد از تقطیر بخار هوا بصورت غلافی دور لوله می گیرد و در واقع از انتقال حرارت بهتر جلوگیری می کند و در نتیجه خلاءِ کاهش پیدا می کند .
- درجه حرارت آب مقطر تولیدشده کم می شود . مطابق قانون دالتون در مورد فشار جزئی ، اگر مخلوطی از چند گاز در یک ظرف بسته قرار گرفته باشند ، هرگاز فشاری اعمال میکند که اگر به تنهایی در ظرف باشد ، آن را فشار جزئی آن گاز می نامند . فشار کل در داخل ظرف برابر است با مجموع فشارهای جزئی گازها .
- در اثر بوجود آمدن گازهای اکسیژن ، خوردگی پدید می آید .

۴-۳- افتادن خلاء کندانسور

اگر سطح آب تا نقطه ای افزایش یابد که با پره های در حال حرکت توربین فشار کم ، تماس پیدا کند ، شوک حاصله شدید و شکست پره ها غیر قابل اجتناب پذیر خواهد بود .

افتادن خلاءِ سبب بیش از حد گرم شدن پره های توربین فشار کم می شود و همچنین انبساط سریع پوسته توربین را نسبت به محور افزایش می دهد که منجر به انبساطهای اختلافی کاملاً بسته می شود . بعضی مواقع این امر می تواند بوسیله حفاظت درجه حرارت زیاد پوسته اگزوز توربین فشار کم پیش بینی شود .

سوالات مربوطه:

۱-اثرات وجود هوادر کندانسور چیست

۲-تزریق آب از دست رفته در سیکل چگونه انجام می پذیرد

فصل پنجم :
راه اندازی ومنحنی های راه اندازی توربین

اهداف فصل:

۱-آشنایی با راه اندازی و منحنی راه اندازی

۲-بررسی پدیده CARRY OVERدر دیگ بخار

۵– راه اندازی و منحنی راه اندازی

۵–۱– مراحل قبل از راه اندازی توربین

قبل از راه اندازی توربین بخار ، ابتدا باید سیکل نیروگاه منهای توربین راه اندازی شود ، به این معنا که بویلر کندانسور پیش گرمکن ها و پمپ ها راه اندازی می شود و در تمام این مراحل شیر ورودی بخار به توربین بسته است . بخار تولیدی در بویلر یا از مسیر بای پاس توربین عبور می کند و یا از طریق شیرهای تخلیه بویلر از سیکل خارج می شود تا جائیکه شرایط مناسب برای بخار و راه اندازی توربین فراهم آید .

در مرحله راه اندازی توربین نیز قبل از باز شدن شیر ورودی بخار ، ابتدا سیستم های مربوط به توربین راه اندازی می گردند . اهم این سیستم ها عبارتند از :

- سیستم گرمکن توربین .
- سیستم آب بندی توربین که مانع خروج بخار و یا وارد شدن هوا می شود .
- سیستم های کنترل و حفاظت .
- سیستم های هوایی اینسترومنت و سیستم های هیدرولیک .
- سیستم روغنکاری .
- سیستم خنک کن ژنراتور .
- سیستم روغن آب بندی کننده خنک کن ژنراتور .
- سیستم ترینگر .

۵–۲– شکل راه انداز ی

۵–۲–۱– راه اندازی سرد

راه اندازی ها هنگامی سرد نامیده می شوند که قفسه بخار و یا دمای فلز توربین پایین تر از ۷۵ درجه سانتی گراد باشد . بطور سنتی در این حالتها روشی که استفاده می شود افزایش فشار بویلر تا میزانی است که در آن گلاندهای توربین می توانند آب بندی شوند . این میزان اغلب حدود ۳۰ بار است اما ممکن است بطور خارق العاده ای افزایش یابد . کانالهای بخار در همان زمان گرم می شوند و تحت فشار کامل قرار می گیرند و موقعیکه دمای آنها اجازه بدهد ، واحد افزایش خلاءِ راه اندازی شده و گلاندهای توربین آب بندی می شوند . خلاءِ تا مقداری افزایش پیدا می کند که اجازه بدهد ماشین روی بخار حرکت کند . این نیاز در ابتدا زیاد نیست ، اما باید تا مقدار طبیعی قبل از رسیدن سرعت توربین به بالای ۲۰۰۰ دور بر دقیقه افزایش پیدا کند .

زمان دور گرفتن بین ماشینها متفاوت است اما می تواند تا ۲ ساعت طول بکشد و ممکن است بخاطر نگهداشتن سرعت ، اغلب تا زیر ۱۰۰۰ دور بر دقیقه به منظور اجازه دادن به یک مقدار گرمایش و انبساط باشد . شکل (۵-۱)

۵-۲-۲- راه اندازی گرم

راه اندازی های گرم به شرایطی اطلاق می شود که قفسه شیر توربین فشار بالا و یا دماهای فلز توربین بین ۷۵ درجه سانتیگراد و ۳۰۰ درجه سانتیگراد باشد . در عمل این راه اندازی ها بسیار پر زحمت تر از راه اندازی های داغ یا سرد می باشند زیرا پیچیدگی در این حالت ناشی از انبساطهای اختلافی توربین است . زمان دور گرفتن بین ماشینها متفاوت است اما می تواند تا ۳۰ دقیقه طول بکشد . شکل (۵-۲)

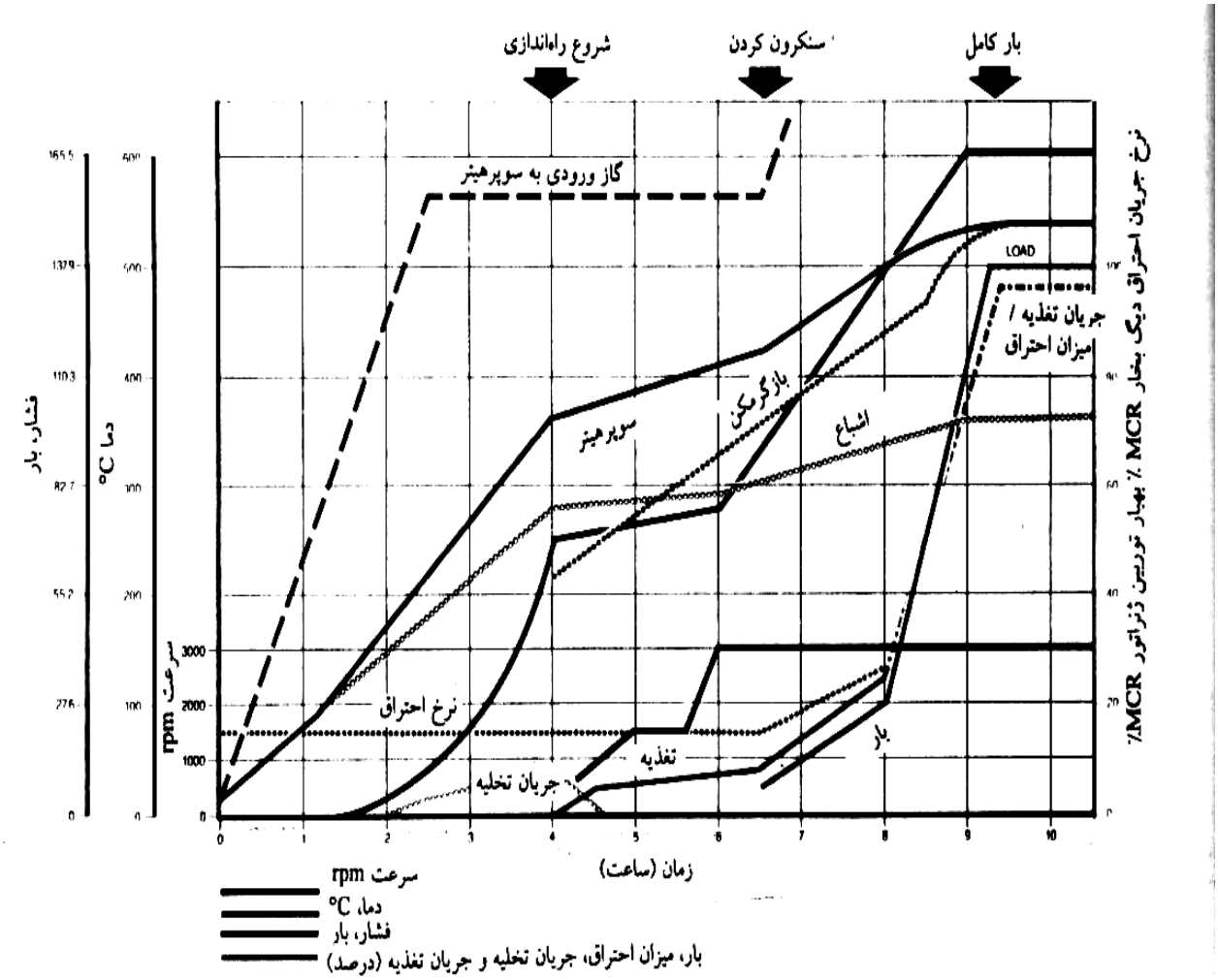
۵-۲-۳- راه اندازی داغ

راه اندازی ها موقعی داغ خوانده می شوند که قفسه شیر توربین فشار بالا و یا دماهای فلز ورودی بالای ۳۰۰ درجه سانتیگراد باشد .

با چنین راه اندازی هائی ، که فشار بویلر تا حد محسوسی پائین نگه داشته می شود ، امکان گرمایش اشباع وجود ندارد . وضعیتهای بخار مجدداً باید طوری باشد که پس از کاهش فشار تا ٤ بار به دمای پوسته داخلی توربین فشار بالا برسد . محدوده زمان های دور گرفتن کمتر از ۵ دقیقه برای داغ ترین وضعیتها تا ۱۰ دقیقه یا حدود آن برای ۳۰۰ درجه سانتیگراد است . (شکل ۵-۳)

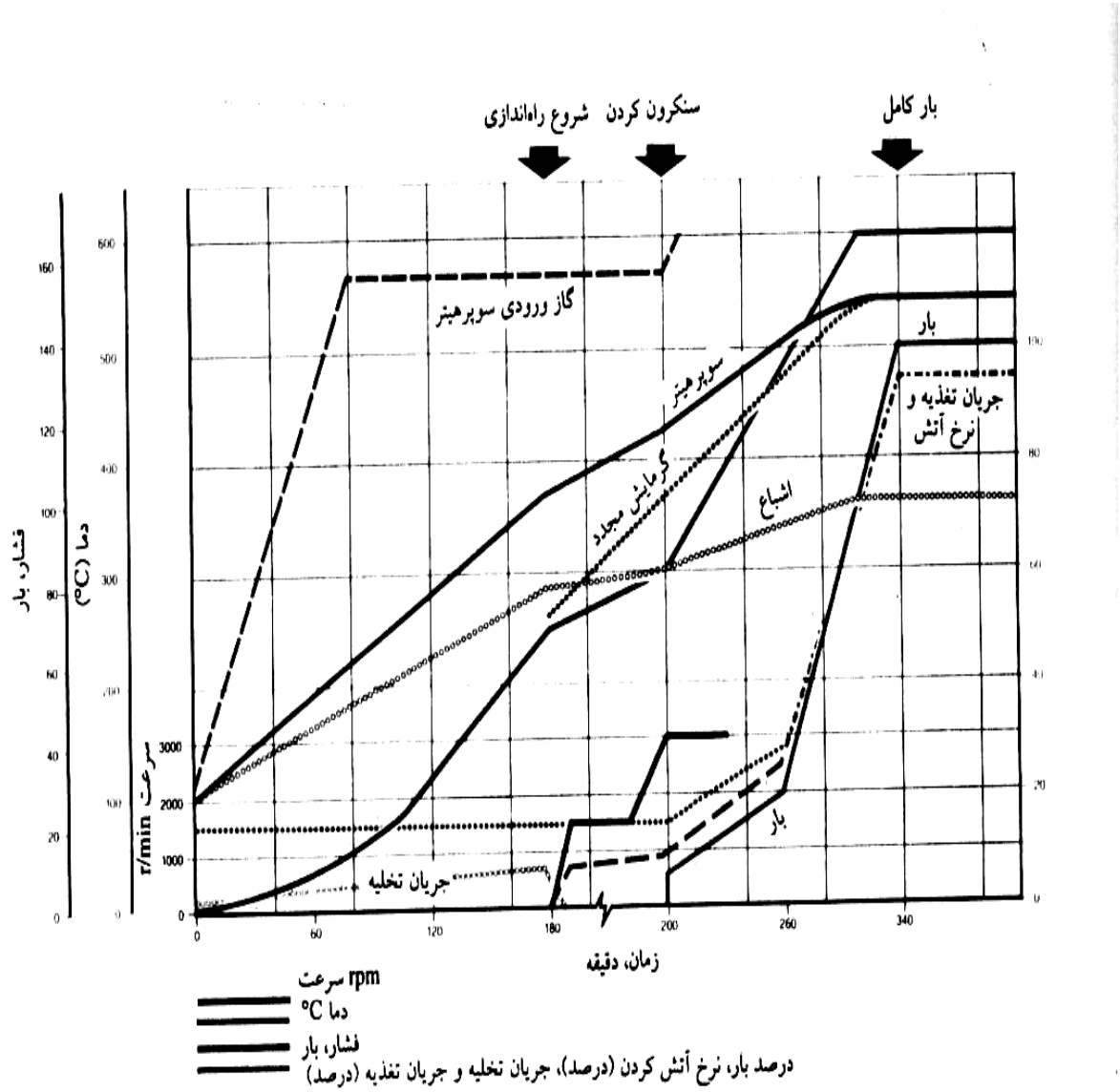
۵ - ۳- منحنی راه اندازی

منحنی راه اندازی توربین بخار همانطور که از شکلهای راه اندازی مشخص است ، باید به نحوی باشد که روتور از دورهای بحرانی به سرعت عبور کند و بصورت درجا در این دورها کار نکند حال هر تعداد دور بحرانی که در مجموعه روتورها ذر فاصله دور صفر تا دور نامی داشته باشیم به همان تعداد مراحل شتابگیری خواهیم داشت . از سوی دیگر اختلاف دمای بین پوسته و مغز شفت نیز باید مورد توجه قرار بگیرد ، لذا بعد از هر مرحله شتابگیری باید مدت زمانی به توربین فرصت داد تا اختلاف دمای بین سطح و مغز شفت آن از حد مجاز تجاوز ننماید که عدم رعایت آن می تواند صدماتی را به شفت وارد آورد . برای اطمینان بیشتر روی ورق ثبات اختلاف دمای مجاز نیز ترسیم شده است و اپراتور توربین سعی می کند که در حول و حوش حد مجاز عمل نماید . افزایش اختلاف دما بیش از حد مجاز ممکن است به حد آلارم یا به حد تریپ برسد .

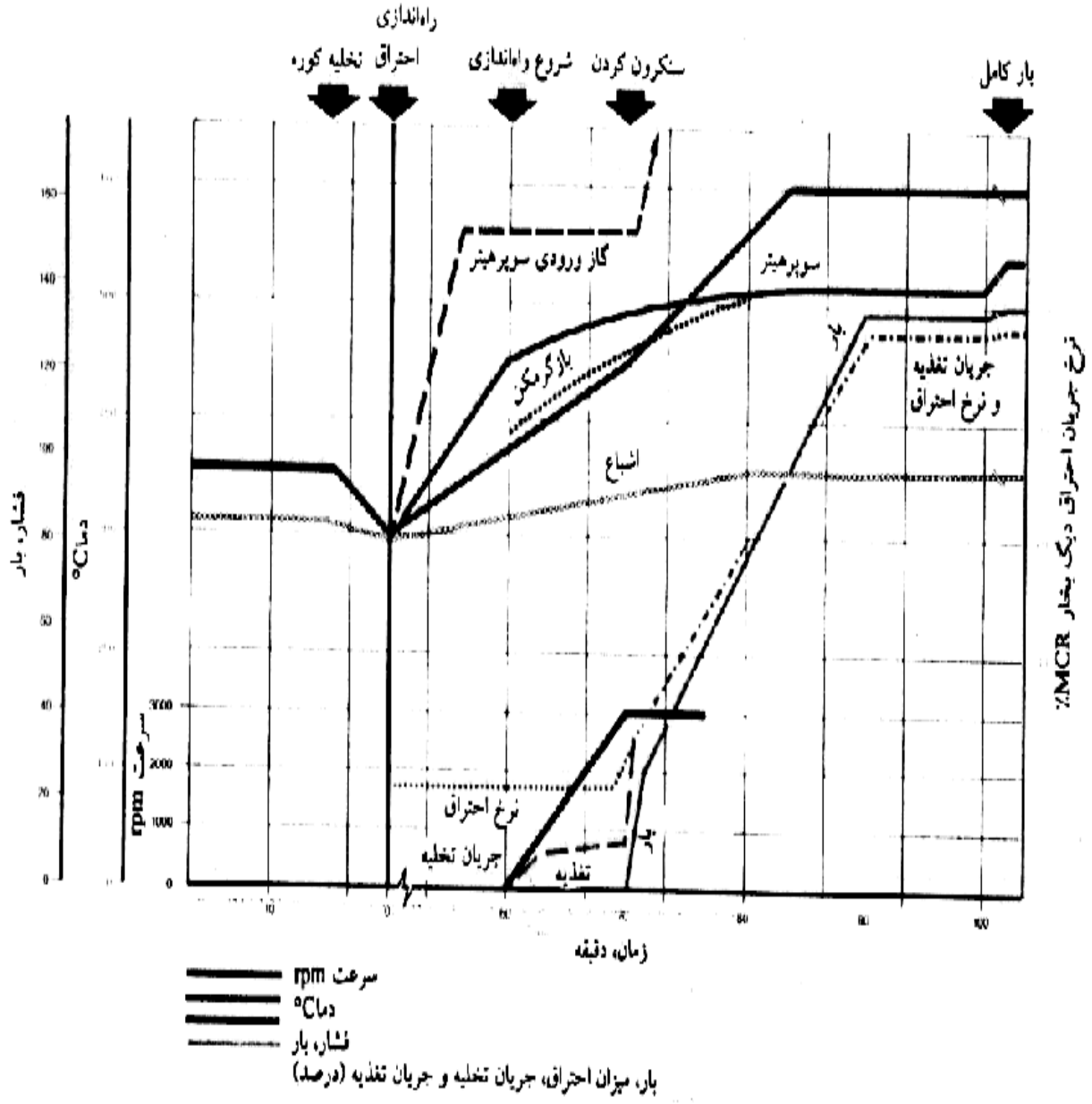


شکل ۸۸-٦ گروه ۱ - پارامترهای عملکردی راه‌اندازی سرد

شکل ۵-۱راه اندازی سرد



شکل ۵-۲راه اندازی گرم



شکل ۵-۳راه اندازی داغ

۵-۴- منحنی بارگیری

بعد از رسیدن دور روتور به دور نامی و با سنکرون شدن ژنراتور با شبکه مصرف ، بارگیری از توربو ژنراتور آغاز می شود و در ابتدای مرحله بارگیری برای جلوگیری از معکوس شدن جریان از شبکه به ژنراتور دفعتاً حدود ۵ مگاوات بار روی ژنراتور می افتد و سپس به تدریج با ملاحظه اختلاف دمای مجاز بار افزایش داده می شود و ظیفه گاورنر ثابت نگه داشتن دور در تمام مراحل بارگیری است . نرخ افزایش بار در نیروگاههای مدرن بخاری به حد ۲ مگاوات در دقیقه رسیده است .

برنامه زمان بندی نرخ بار گذاری به منظور بررسی سیستم هاست . توقف در بارهای مختلف امکان بررسی نیروگاه در شرایط ثابت را بوجود می آورد . اولین توقف افزایش بار در ۱۵٪ و سپس در ۲۰٪ و بعد از این با افزایش ۱۰٪ تا رسیدن به بار کامل است .

کنترل فشار و دما امری مهم می باشد چراکه از نظر شیمیایی برای فشار دیگ بخار محدودیت وجود دارد .

۵-۴-۱- نظارت بر عوامل موثر

با افزایش بار واحد ، نظارت دقیق و منظم بر پارامترهای عملکرد به منظور اطمینان از خارج نشدن واحد از محدودیت های طراحی به یک امر مهم تبدیل می شود . در توقف در هر بار جدید روی واحد باید زمان کافی جهت بررسی و ثبت اطلاعات در مورد وضعیت واحد وجود داشته باشد (جدول ۱-٤) . شکل (٥-٤) پارامترهای توربین اندازه گیری شده از زمان وصل به شبکه تا بارگذاری کامل را نشان می دهد .

۵-۵- پدیده Carry Over دیگ بخار

حمل مواد ، به انتقال هر نوع ناخالصی از فاز آب به فاز بخار ، در داخل درام بویلر ، جائی که بخار از آب جدا می شود ، اطلاق می گردد .

معمولاً بخار آبی که از دیگ بخار خارج می شود ، به صورت خالص نیست زیرا بطور کلی تمام املاح محلول در آب دیگ تا اندازه ای در بخار سوپرهیت تبخیر می شوند . میزان تبخیر بستگی به نوع املاح موجود و فشار عملیاتی دیگ دارد . این ناخالصی ها ممکن است به صورت جامد ، مایع و یا بخار باشد . معمولی ترین ماده انتقالی قطرات آب است که حاوی مواد جامد حل شده و معلق می باشد .

۵–۵–۱– دلایل وجود پدیده Carry Over

کف کردن حالتی است که در نتیجه تشکیل حباب در سطح آب دیگهای بخار بوجود می آید ، در حالی که پدیده سرجوشش نشانگر حالت شدید غلیان مانندی است که در نتیجه حمل ناخالصیهای موجود در آب دیگ به فاز بخار بوجود می آید که دلایل آن در زیر آن آمده اند :

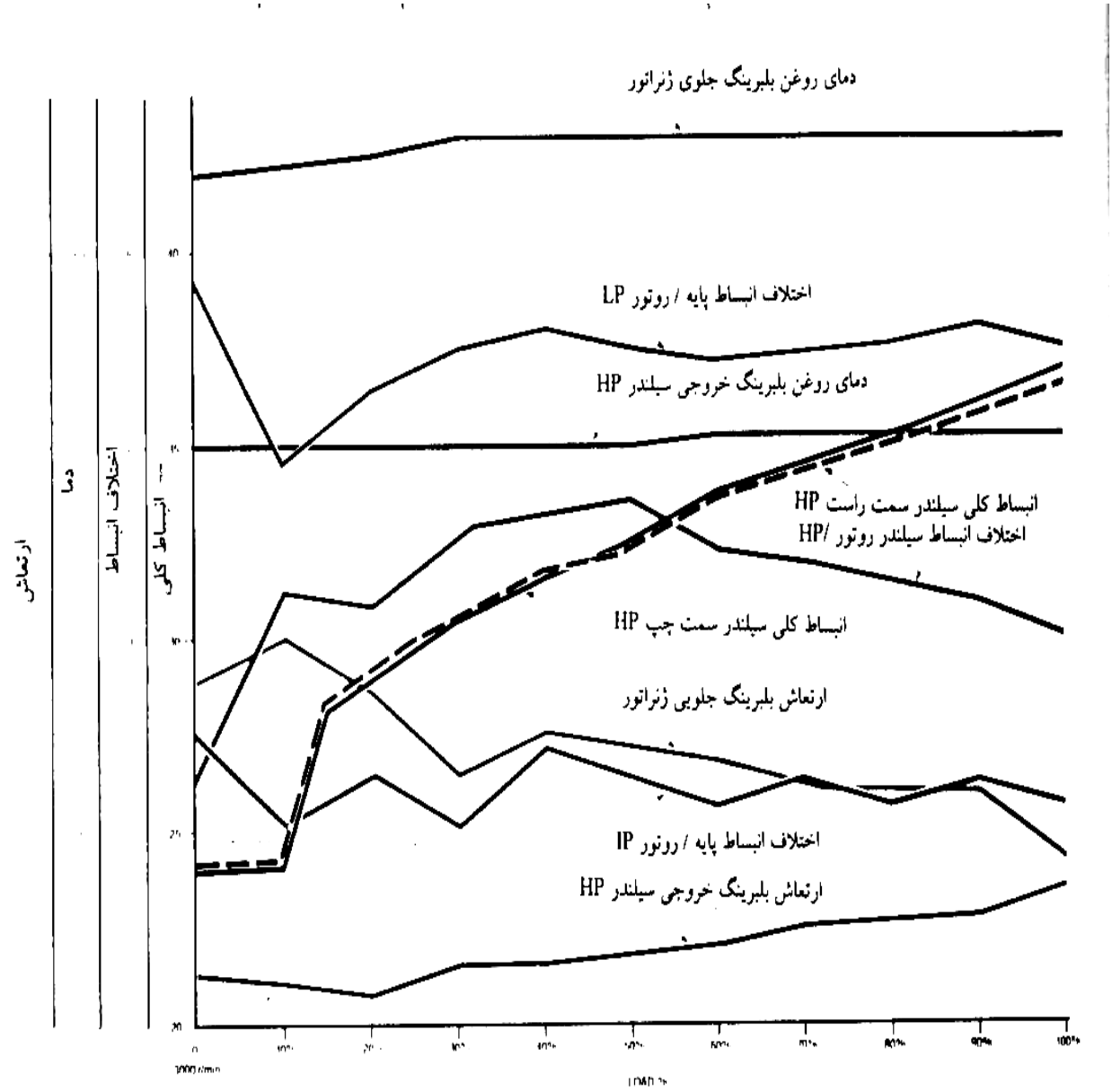
- هرگونه عدم کنترل سطح آب در درام .
- بوجود آمدن پدیده کف کردن (Foaming) .
- بوجود آمدن پدیده غلیان کردن (priming) .
- درجه حرارت بالای آب .
- اشتباه در طراحی بویلر و درام آن .
- آلودگی آب بویلر به نفت و یا مواد روغنی .
- قلیائیت بالای آب بویلر .

۵–۵–۲– اثرات پدیده Carry Over برروی توربین

- ایجاد رسوب سیلیس بر روی پره های توربین . البته مقدار بحرانی سیلیس بستگی به فشار بویلر دارد .
- به علت رسوب ممکن است در اثر وجود نمکهای Nacl و یا Na۲So٤ سبب خوردگی شود . مخصوصاً در زمانی که نقطه ذوب این ترکیبات کمتر از دمای بخار باشد .
- تشدید ارتعاشات توربین به علت خوردگی پره ها و در نهایت تغییر کردن بالانس مجموعه توربین.

۵–۶– بهره برداری واحد کاهش بار و توقف

خارج از انتظار نیست که علت متوقف شدن واحد روش کاهش بار به کار گرفته شده را تحت تاثیر قرار دهد . جهت کاهش بار نه تنها لازم است که بالاترین دمای ممکن فلز توربین قبل از توقف حفظ شود ، بلکه بایستی با فشار مبنای بویلر که در آن بدون بار می شود مطابقت داشته باشد . دماهای بالای توربین بارگیری سریع بعدی توربین را امکان پذیر می سازد ، زیرا افت دما در اثر سرمایش بدون بار طبیعی حداقل خواهد بود . بالاترین دماهای فلز توربین فقط موقعی می تواند اتفاق بیفتد که واحد بطور مجازی از بار کامل تریپ کرده باشد .


دمای روغن بلبرینگ جلوی ژنراتور
اختلاف انبساط پایه / روتور LP
دمای روغن بلبرینگ خروجی سیلندر HP
انبساط کلی سیلندر سمت راست HP
اختلاف انبساط سیلندر روتور /HP
انبساط کلی سیلندر سمت چپ HP
ارتعاش بلبرینگ جلویی ژنراتور
اختلاف انبساط پایه / روتور IP
ارتعاش بلبرینگ خروجی سیلندر HP
دما
اختلاف انبساط
انبساط کلی
ارتعاش

شکل ۵-٤

سوالات مربوطه:

۱-قبل از راه اندازی توربین چه اقداماتی باید انجام شود

۲- انواع راه اندازی را نام برده وآنها را با یکدیگر مقایسه کنید

۳- اثرات پدیده CARRY OVER بر روی توربین چیست

مراجع و منابع :

۱. کتاب بهره برداری از تجهیزات نیرو گا هی. انتشارات برق منطقه ای شیراز
۲. کتاب نیروگا ههای بخاری . ترجمه محمد الوکیل
۳. کتاب کندانسور و اجکتور. انتشارات توانیر
٤. کتاب بهره برداری توربین (نیرو گاه زرگان اهواز)
۵. جزوه توربین . دانشکده صنعت آب و برق (دانشکده عباسپور)