مبانی سیستمهای قدرت

دانشکده پروفسور حسابی
یاسر اخباری

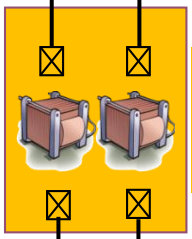
معرفی مراجع

- کتاب منابع تولید انرژی الکتریکی در قرن بیست و یکم (انتشارات دانشگاه خواجه نصیر) دکتر تفرشی
- کتابهای سازمان برنامه در زمینه پست و خط
- کتاب فلسفه طراحی شبکه توزیع و کتاب دستورالعمل طراحی شبکه توزیع (شرکت توزیع تهران بزرگ)

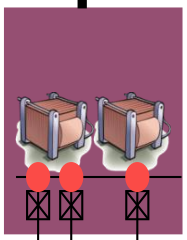
شبکه برق

۳-انتقال

۱- نیروگاه



۲-پست



بار

بار

بار

بار

۴-توزیع

معرفی شبکه برق

شبکه برق به صورت عمده به ۳ بخش تولید (نیروگاه)، انتقال (پست، خط) و توزیع تقسیم می شود. انواع نیروگاهها وظیفه تولید انرژی الکتریکی، پست وظیفه تبدیل ولتاژ و تقسیم جریان بین خطوط، خط وظیفه انتقال انرژی الکتریکی در فواصل طولانی و توزیع وظیفه توزیع انرژی بین مصرف کنندگان را بر عهده دارد.

ولتاژ برق در شبکه

۱- 400, 230, 132, 63, 20, 0.4 KV

۲- 33, 11 Kv

۳- 6.6 , 3.3 Kv

حدود مجاز ولتاژ برق

حدود مجاز برای ولتاژ برق به صورت زیر است:

۱. فرکانس ۵۰ هرتز

۲. ولتاژ ۲۳۰ برای تکفاز و ٤۰۰ برای سه فاز(در کنتور مشترکین خانگی)

۳. مقدار $10\pm$ درصد رواداری

۴. شکل موج سینوسی

مفهوم سلف و خازن

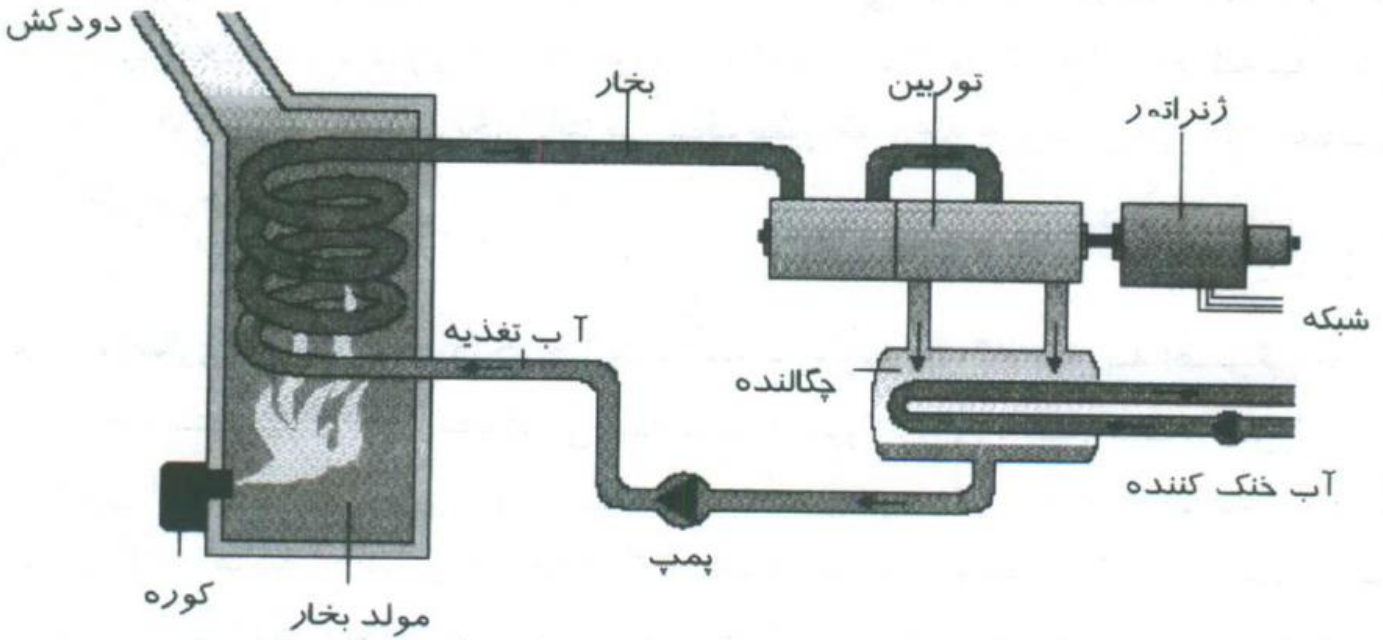
- هر دو فلز که بین آنها عایق باشد در شبکه برق نقش خازنی پیدا می کند برای مثال بین هادی خط انتقال و دکل برق هوا به عنوان عایق وجود دارد و بنابراین مثل خازن رفتار می کند یعنی ولتاژ باعث ایجاد میدان الکتریکی در اطراف سیم حاوی جریان می شود و انرژی در این میدان ذخیره می شود (در قسمت خط انتقال بیشتر این موضوع بررسی می شود) یا مثلا بین سیم پیچ ترانسفورماتور و بدنه ترانس روغن به عنوان عایق وجود دارد. این مقادیر خازنی خیلی کوچک هستند و اغلب از آنها صرف نظر می شود ولی در بعضی از شرایط (مانند خطوط بلند بیش از ۳۰۰ کیلومتر) مقدار قابل توجه پیدا می کنند.
- هر سیم حاوی جریان میدان مغناطیسی در اطراف خود ایجاد می کند انرژی در این میدان ذخیره می شود و خاصیت سلفی پیدا می کند اگر این سیم به صورت سیم پیچ درآید خاصیت سلفی بیشتر می شود و اگر در این سیم پیچ آهن قرار گیرد خاصیت سلفی بسیار بیشتر می گردد. بنابراین در خطوط انتقال، موتورها و .... خاصیت سلفی مشاهده می شود.

نیروگاههای حرارتی

نیروگاههای حرارتی به نیروگاههایی اطلاق می گردند، که در حین پروسه تبدیل انرژی اولیه به انرژی الکتریکی در آنها، انرژی حرارتی نقش یک انرژی واسط را ایفا نماید. این نیروگاهها دارای انواع مختلفی نظیر نیروگاههای بخار، نیروگاههای توربین گازی، نیروگاههای سیکل ترکیبی، نیروگاههای شکافت هسته ای، نیروگاههای گداخت هسته ای، نیروگاههای زمین گرمایی، نیروگاههای حرارتی-خورشیدی، نیروگاههای بیوماس و ... می باشند، که در این فصل به سه نوع بخاری، توربین گازی و سیکل ترکیبی، که براساس آمار سال ۱۳۸۰ بیش از ۹۰ درصد ظرفیت کل نصب شده زیر نظر وزارت نیرو در کشور مربوط به آنها می باشد، پرداخته می شود (شکل ۲-۱). در آمار منعکس شده در شکل (۲-۱) برخی از نیروگاههای سیکل ترکیبی که در سال ۱۳۸۰ تنها قسمت گازی آنها فعال بوده است، جزو نیروگاههای گازی در نظر گرفته شده اند.

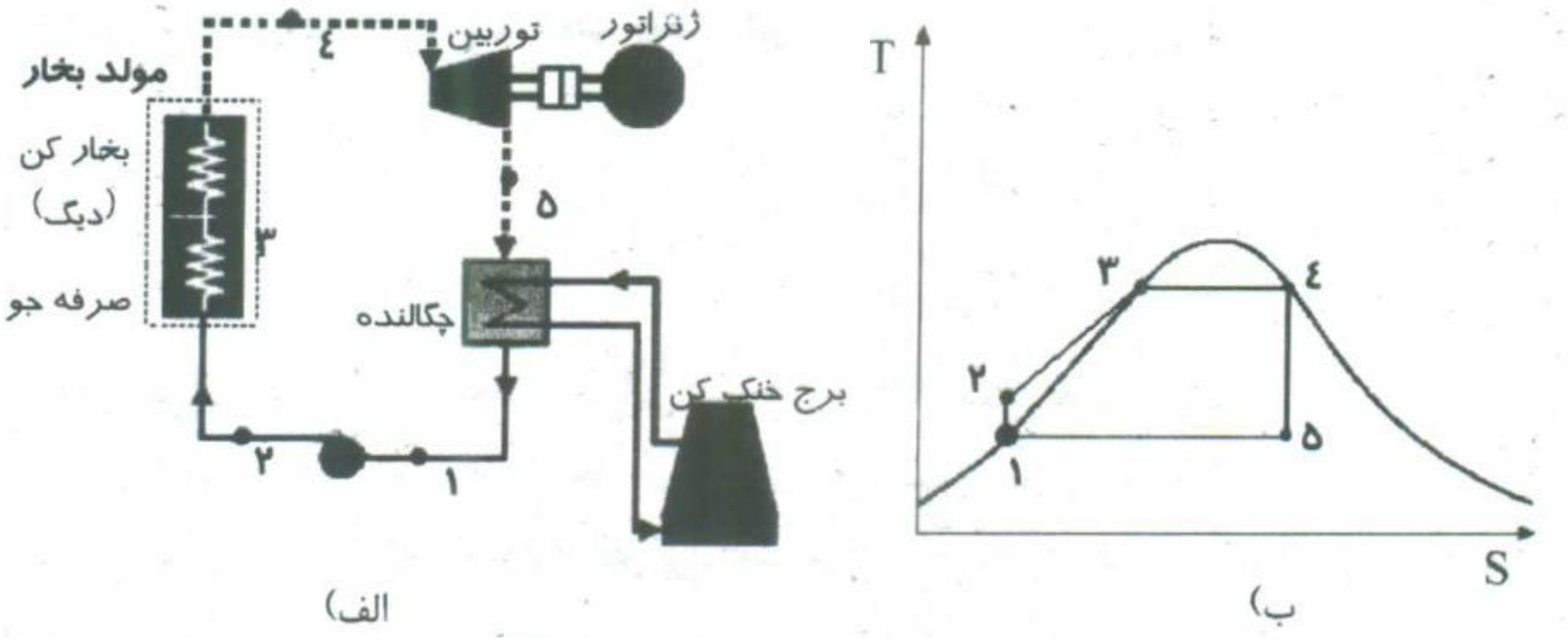
نیروگاه بخار

ساختار شماتیک یک نیروگاه بخار



شکل (۲-۳): ساختار شماتیک یک نیروگاه بخار

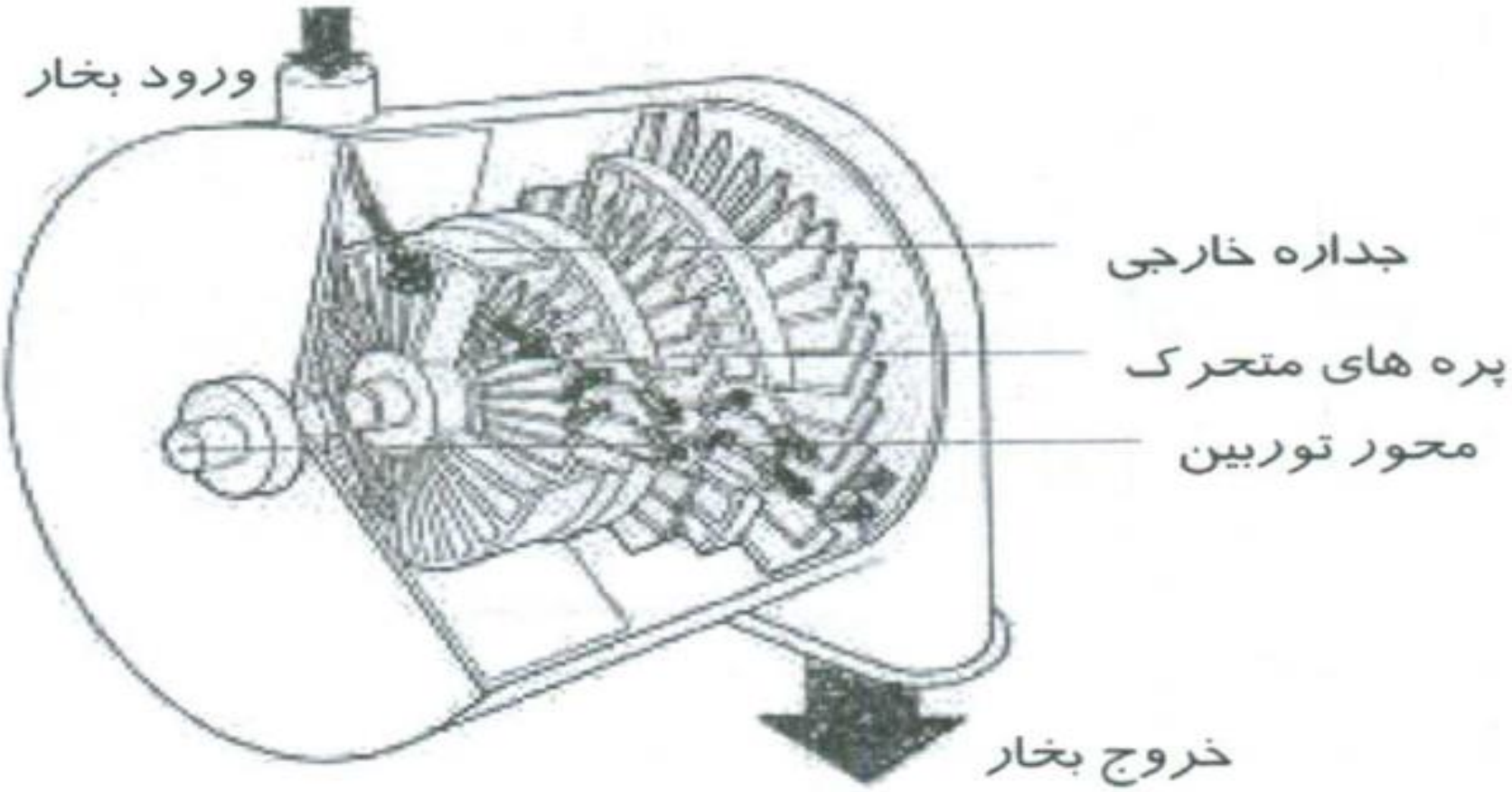
ساختار شماتیک یک نیروگاه بخار



نحوه کار یک نیروگاه بخار

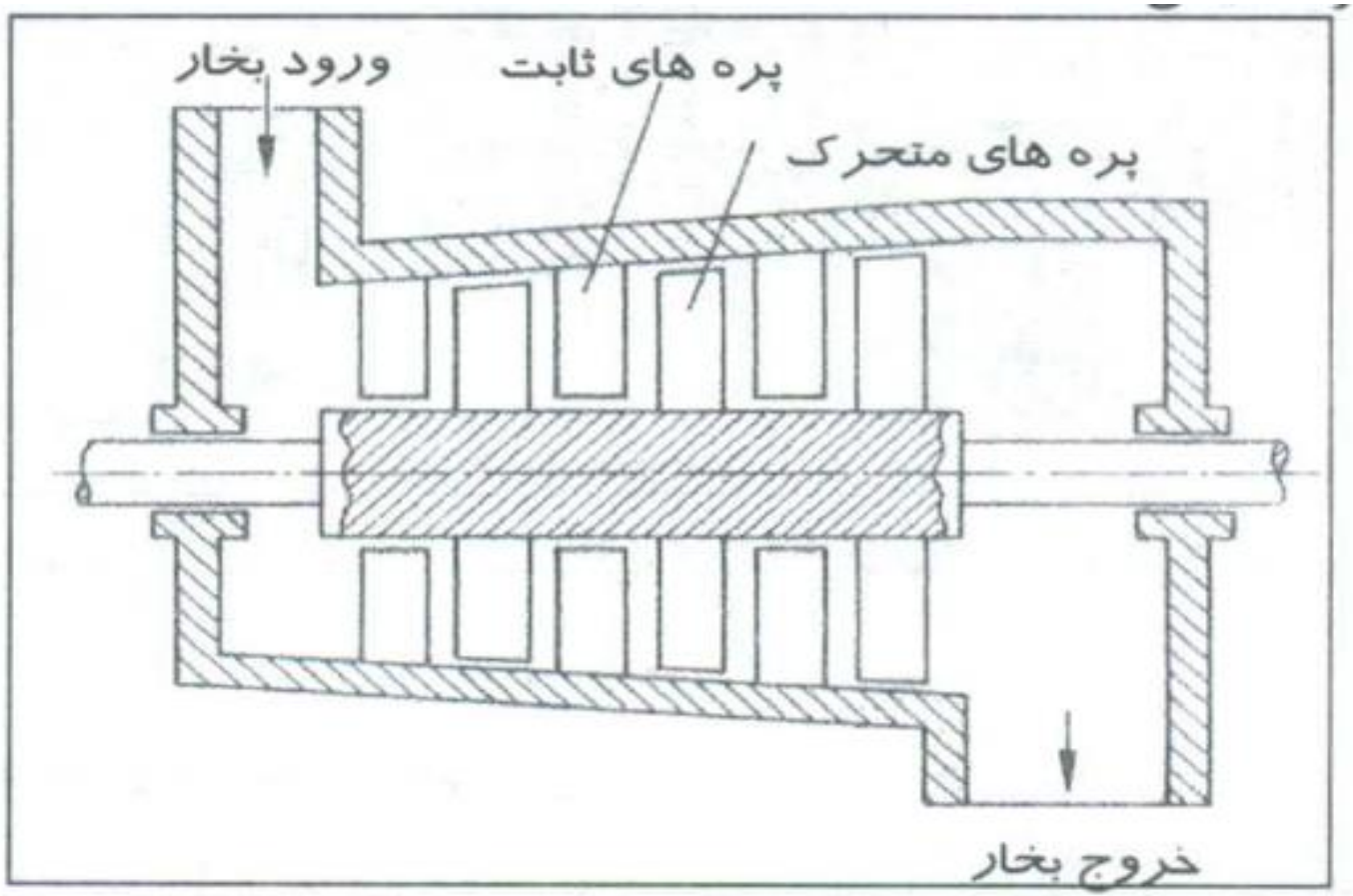
در این نیروگاهها، آب پس از پمپ شدن و افزایش فشار وارد مولد بخار می گردد و در آن با دریافت انرژی حرارتی ناشی از احتراق سوخت تبدیل به بخار می گردد. بخار با عبور از توربین، انرژی خود را به آن انتقال می دهد و موجب چرخش محور توربین می گردد. روتور ژنراتور به محور توربین متصل می باشد، لذا با چرخش محور توربین، روتور ژنراتور نیز شروع به چرخش می کند و موجب تولید برق در ژنراتور می گردد. بخار خروجی از توربین در قسمت چگالنده انرژی حرارتی خود را از دست می دهد و دوباره تبدیل به مایع می گردد. چرخه کاری با پمپ شدن دوباره آب تکرار می گردد. آب خنک کننده جاری در چگالنده، با دریافت انرژی حرارتی بخار، گرم می گردد و سپس به سمت یک برج خنک کننده هدایت و در آن سرد می شود و دوباره به سمت چگالنده جریان می یابد. آب سرد مورد نیاز چگالنده را می توان از یک منبع آب طبیعی نظیر رودخانه نیز تامین نمود.

توربین یک نیروگاه بخار



شکل (۲-۲۴): ساختار یک توربین بخار

توربین یک نیروگاه بخار



شکل (۲-۲۵): برش محوری بخش فشار قوی یک توربین بخار

شرایط بهره برداری یک نیروگاه بخار

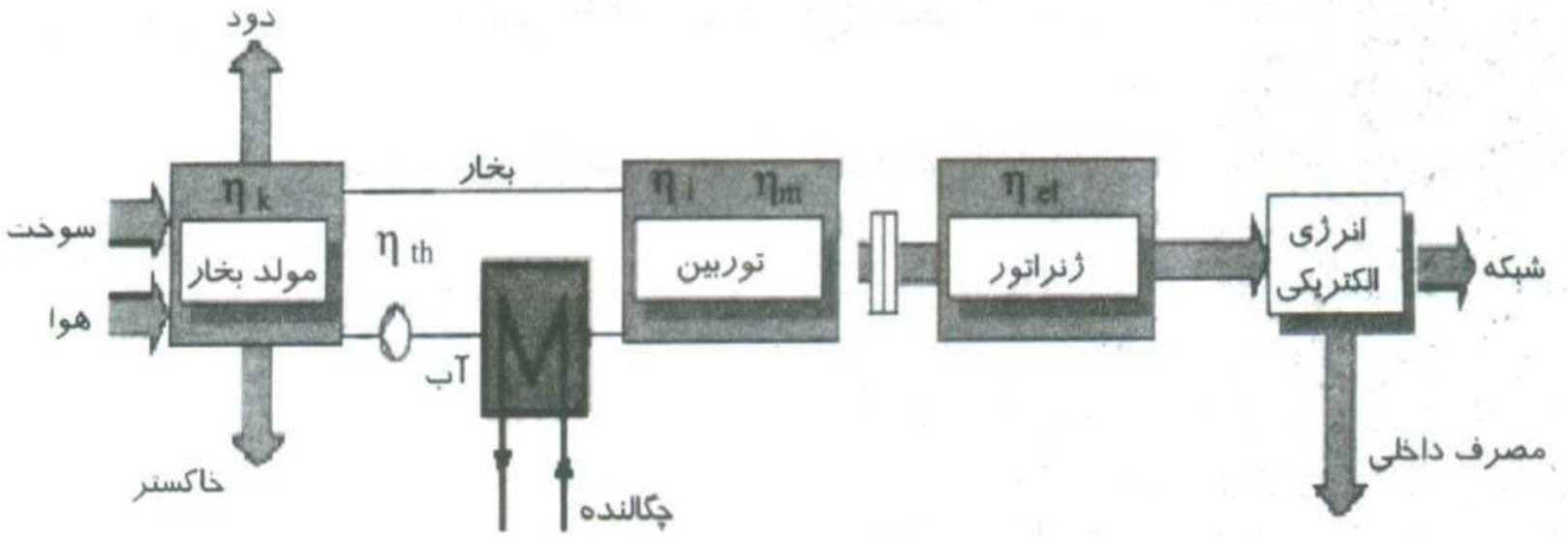
شرایط بهره برداری: تجهیزات یک نیروگاه بخار نظیر مولد بخار و یا توربین، تغییرات حرارتی کمی را می توانند تحمل کنند، لذا جهت جلوگیری از کاهش عمر این تجهیزات تا حد امکان می بایست نیروگاه بطور ثابت و با حداقل تعداد دفعات خاموش و روشن شدن مورد بهره برداری قرار گیرد. هزینه تولید برق در نیروگاههای بخار، در صورتیکه نیروگاه با ظرفیت کامل و بطور ثابت مورد بهره برداری قرار گیرد، بدلایلی نظیر هزینه سرمایه گذاری بالا جهت احداث، ارزان بودن نسبی سوخت مصرفی و هزینه بالا جهت راه اندازی نیروگاه، کمتر می باشد. با توجه به موارد فنی و اقتصادی قید شده در فوق، از نقطه نظر بهره برداری، این نیروگاهها مناسب برای پوشش بار پایه شبکه می باشند.

سازگاری با محیط زیست

سازگاری با محیط زیست: این نیروگاهها از عوامل اساسی آلودگی محیط زیست محسوب می گردند، لذا نصب تجهیزات زیست محیطی برای فیلتر نمودن آلاینده های خروجی از دودکش آنها، بخصوص در مواقعی که نیروگاه در نزدیکی مناطق شهری واقع شده است، کاملا ضروری است. هزینه نصب تجهیزات زیست محیطی در حدود ۳۰ درصد از هزینه کل احداث نیروگاه را شامل می شود.

بازدهی نیروگاه بخار

بازدهي: با توجه به آنکه تولید انرژی الکتریکی در نیروگاههای بخار در طی چند فرایند تبدیل انرژی صورت می پذیرد، لذا بازدهی کل این نیروگاهها بستگی به بازدهی هریک از فرایندهای تبدیل انرژی دارد. شکل (۲-۵) فرایند کلی تولید انرژی الکتریکی در نیروگاه بخار را با توجه به بازدهی تک تک اجزای آن نمایش می دهد.



شکل (۲-۵): فرایند کلی تولید انرژی الکتریکی در نیروگاه بخار با توجه به بازدهی تک تک اجزای آن

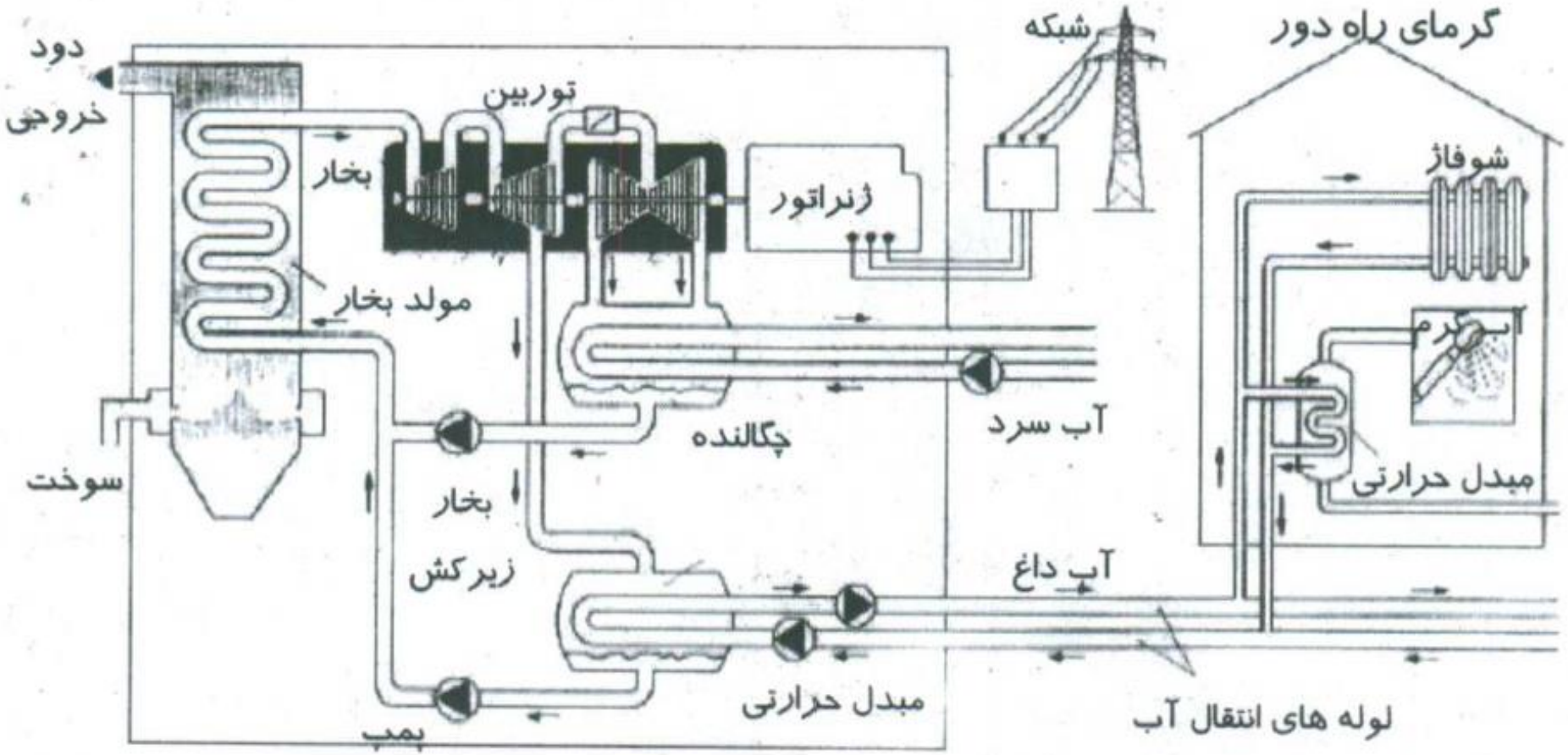
بازدهی نیروگاه بخار

در ذیل میزان بازدهی در قسمتهای مختلف نیروگاههای بخار و بازدهی کل آن آورده شده است (مطابق شکل ۲-۵).

- بازدهی مولد بخار (تشعشات، دود، خاکستر داغ): η_k= ۰/۷۵ ... ۰/۹۳
- بازدهی گرمایی چرخه: η_{th}= ۰/۳۰ ... ۰/۵۰
- تلفات اصطکاک بخار (لوله ها، دریچه ها، ،توربین): μ_i =۰/۹۰ ... ۰/۹۵
- تلفات مکانیکی (توربین و ژنراتور): η_m= ۰/۸۵ ... ۰/۸۸
- تلفات الکتریکی در ژنراتور : η_{el}= ۰/۹۲ ... ۰/۹۸
- مصرف داخلی[1] بدون تجهیزات زیست محیطی ε : (۱- ε) = ۰/۹۲ ... ۰/۹۵
- مصرف داخلی با تجهیزات زیست محیطی ε : (۱- ε)= ۰/۸۵ ... ۰/۹۰

بازده کلی نیروگاههای بخاری: $\eta = \eta_k \times \eta_{th} \times \mu_i \times \eta_m \times \eta_{el} \times (1-\varepsilon)$= ۰/۳ ... ۰/۴۵

استفاده بهینه از حرارت خروجی از نیروگاه بخار



شکل (۲-۶): نمایی شماتیک از تولید همزمان برق-گرما در یک نیروگاه بخار

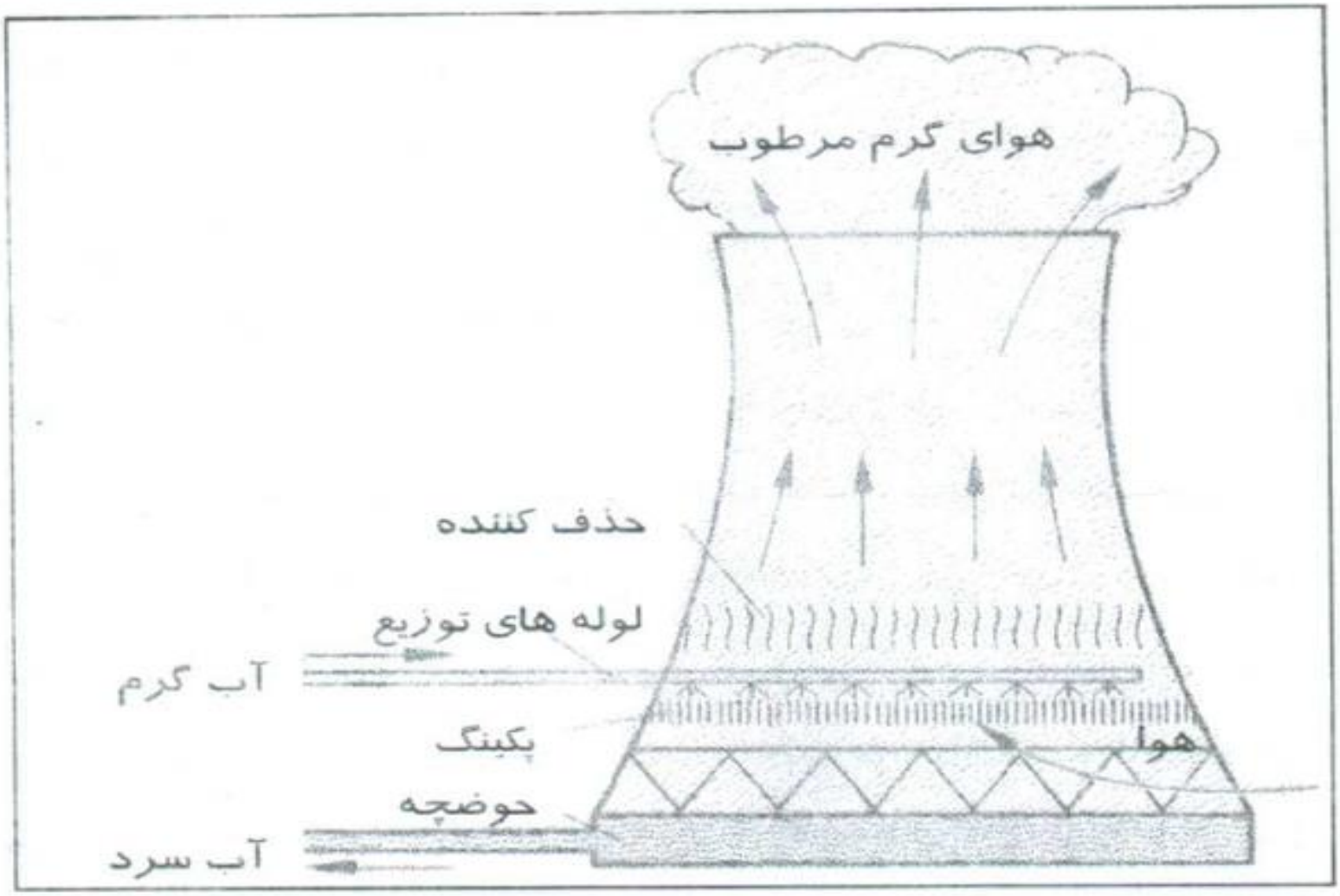
برج خنک کننده

۲-۴-۲-۱ برج خنک کننده

در سیستمهای خنک کننده بسته و یا نیمه بسته، جهت خنک نمودن آب خروجی از چگالنده نیاز به برجهای خنک کننده می باشد. برجهای خنک کننده به دو نوع تر و خشک تقسیم می گردند.

برج خنک کننده تر: شکل (۲-۱۸) نمایی شماتیک از یک برج خنک کننده تر با جریان طبیعی هوا را نشان می دهد. همانطور که در شکل (۲-۱۸) مشاهده می گردد، برجهای خنک کننده تر دارای یک سیستم توزیع آب می باشند، که آب گرم را از قسمت بالای برج بطور یکنواخت بر روی شبکه ای متشکل از میله های افقی نزدیک به هم به نام پکینگ می افشاند. آب در نتیجه نیروی ثقل از یک [illegible] روی پکینگ پایین می ریزد و در مسیر خود با هوای ورودی به برج مخلوط می شود. هوا از

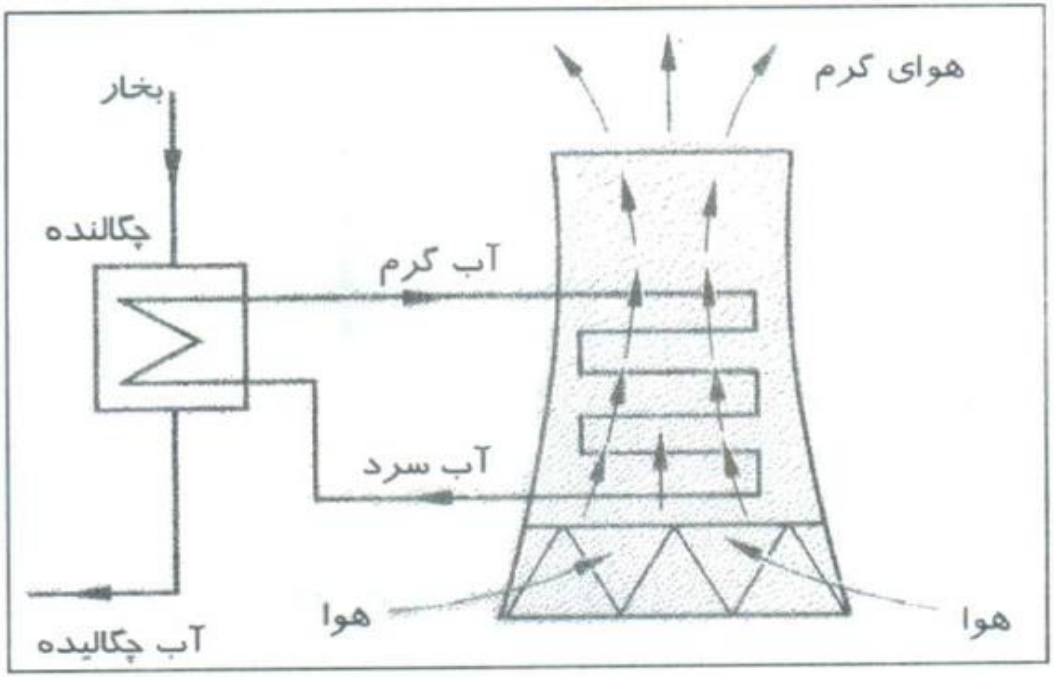
برج خنک کننده تر



شکل (۲-۱۸): نمایی شماتیک از یک برج خنک کننده تر با جریان طبیعی هوا

برج خنک کننده خشک

برج خنک کننده خشک: در برج خنک کننده خشک، آب گرم ورودی به برج از داخل یک سری لوله هایی می گذرد که از روی آنها هوای خنک کن عبور می کند. بدین ترتیب گرمای آب به هوای خنک کن انتقال می یابد و خود سرد می شود (شکل ۲-۲۱).



شکل (۲-۲۱): نمایی شماتیک از یک برج خنک کننده خشک با جریان طبیعی هوا

مزایای برج خنک کننده خشک

این برجها، با توجه به محدودیتهای روزافزونی که مقررات زیست محیطی بر آلودگیهای ناشی از سیستم های یکبار گذر و برجهای خنک کن تر اعمال می کنند، در آینده اهمیت بیشتری می یابند. در ذیل برخی از ویژگیهای این برجها تشریح می گردند.

- برج خنک کننده خشک، می تواند از نوع جریان طبیعی و یا مکانیکی باشد.
- با استفاده از این برجها می توان محل نیروگاه را بدون توجه به وجود منابع بزرگ آب انتخاب نمود، زیرا بدلیل عدم تبخیر، تلف آب در آنها صورت نمی گیرد و بنابراین نیازی به آب جبرانی نمی باشد. از این رو برای مناطق بی آب و یا کم آب، مناسب می باشند. بنابراین می توان نیروگاه را در نزدیکی منابع غنی سوخت و یا در نزدیکی مراکز توزیع بار احداث نمود. همچنین می توان نیروگاه موجودی را که به دلیل عدم وجود منابع آب کافی امکان توسعه ندارد، توسعه داد.
- هزینه نگهداری آن نسبت به برج تر کمتر است و مانند برج تر نیاز به تمیز کردن های متناوب ندارد.
- کارایی برج خنک کن خشک از برج خنک کن تر کمتر می باشد.
- ارتفاع برج خنک کن خشک بالغ بر ۲/۵ تا ۳ برابر برج خنک کن تر می باشد.

سوالات

۱. کوره، مولد بخار، توربین و ژنراتور چه وظیفه ای در نیروگاه بخار دارند ؟
۲. چگالنده و برج خنک کن چه نقشی در چرخه نیروگاه بخار دارند ؟
۳. شماتیک نیروگاه بخار را ترسیم کنید و نحوه کار نیروگاه بخار را شرح دهید.
۴. نیروگاه بخار برای تامین کدام بار مناسب است (بار پیک، بار میانی، بار پایه) علت آن چیست ؟
۵. راندمان نیروگاه بخار در چه بازه ای قرار دارد ؟
۶. برج خنک کن چه نقشی را دارد و نوع تر و خشک آن به چه نحو کار می کند ؟
۷. مزایای برج خنک کن خشک چیست ؟
۸. برج خنک کننده تر چه عواقبی برای منطقه می تواند داشته باشد ؟
۹. آیا سیستم خنک کن در همه نیروگاه به صورت برج است ؟

مشخصات کلی نیروگاه گازی

نیروگاههای توربین گازی در مقایسه با نیروگاههای بخار دارای هزینه احداث کمی می باشند، لیکن بدلیل الزام به مصرف سوختهای با کیفیت، هزینه ویژه سوخت مصرفی آنها بالاتر از نیروگاههای بخار است. برای تولید انرژی حرارتی در نیروگاههای توربین گازی، معمولا از سوختهای گازوییل و گاز طبیعی استفاده می گردد. این نیروگاهها با توجه به ویژگیهای فنی و اقتصادی خود برای پوشش بار پیک و نیز زمانهایی که نیاز فوری به توان نیروگاهی می باشد، مناسب می باشند. در ذیل برخی از ویژگیهای این نیروگاهها آورده شده اند.

- ساختار ساده و زمان ساخت کوتاه
- هزینه سرمایه گذاری کمتر نسبت به نیروگاههای بخار برای هر واحد توان
- ابعاد نسبتا کوچکتر نسبت به نیروگاههای بخار و در نتیجه نیاز به مکان کمتر برای احداث
- سرعت سریع راه اندازی
- بهره برداری آسان و حتی امکان کنترل از راه دور
- عدم نیاز به آب خنک کننده (به استثنای برخی از انواع این نیروگاهها)
- قابلیت اطمینان بالا
- سرعت زیاد در تغییر توان
- سازگاری بیشتر با محیط زیست
- هزینه بالای سوخت مصرفی

مشخصات کلی نیروگاه گازی

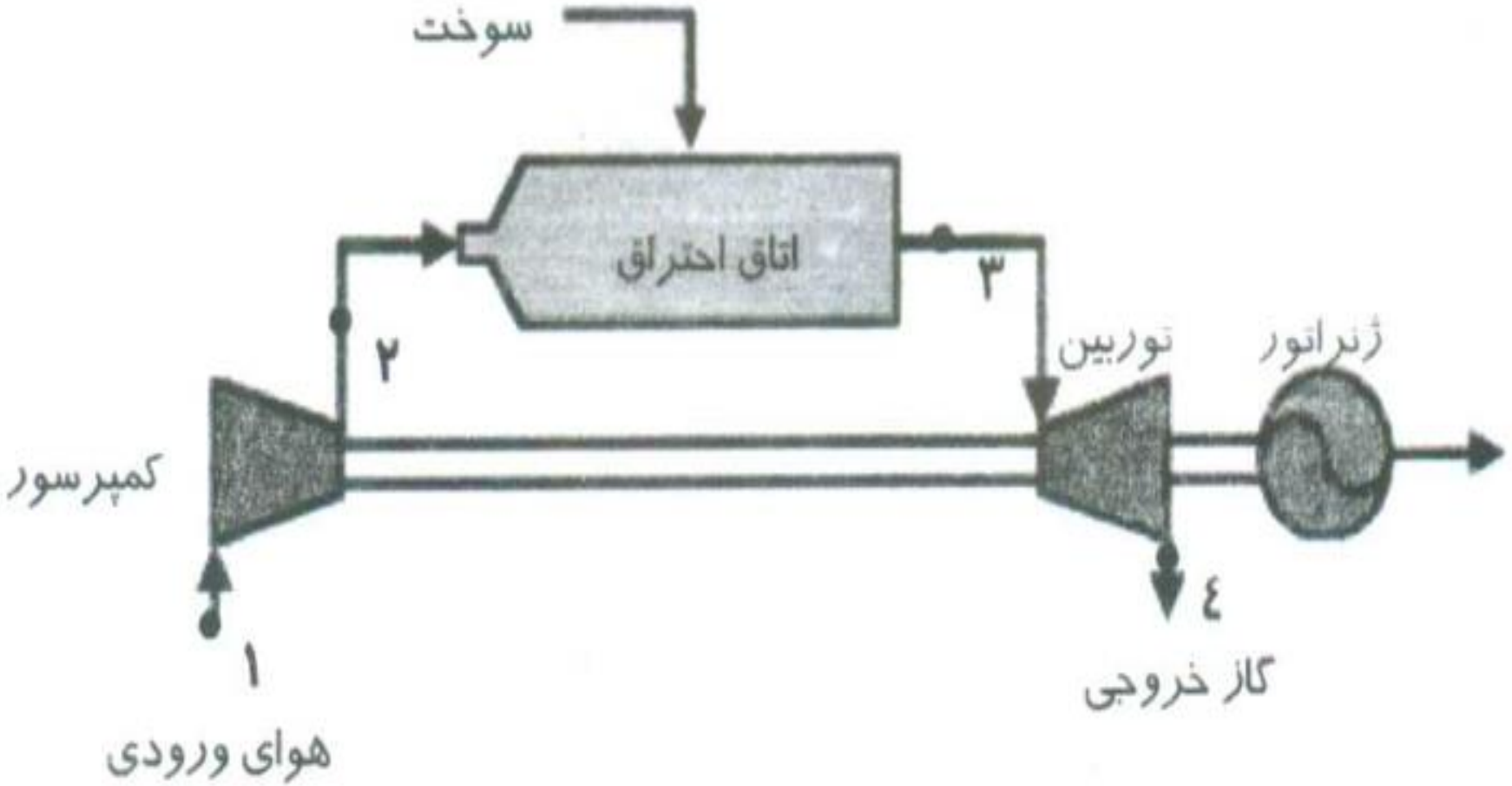
۲-۳-۲-۱ نیروگاه توربین گازی مدار باز

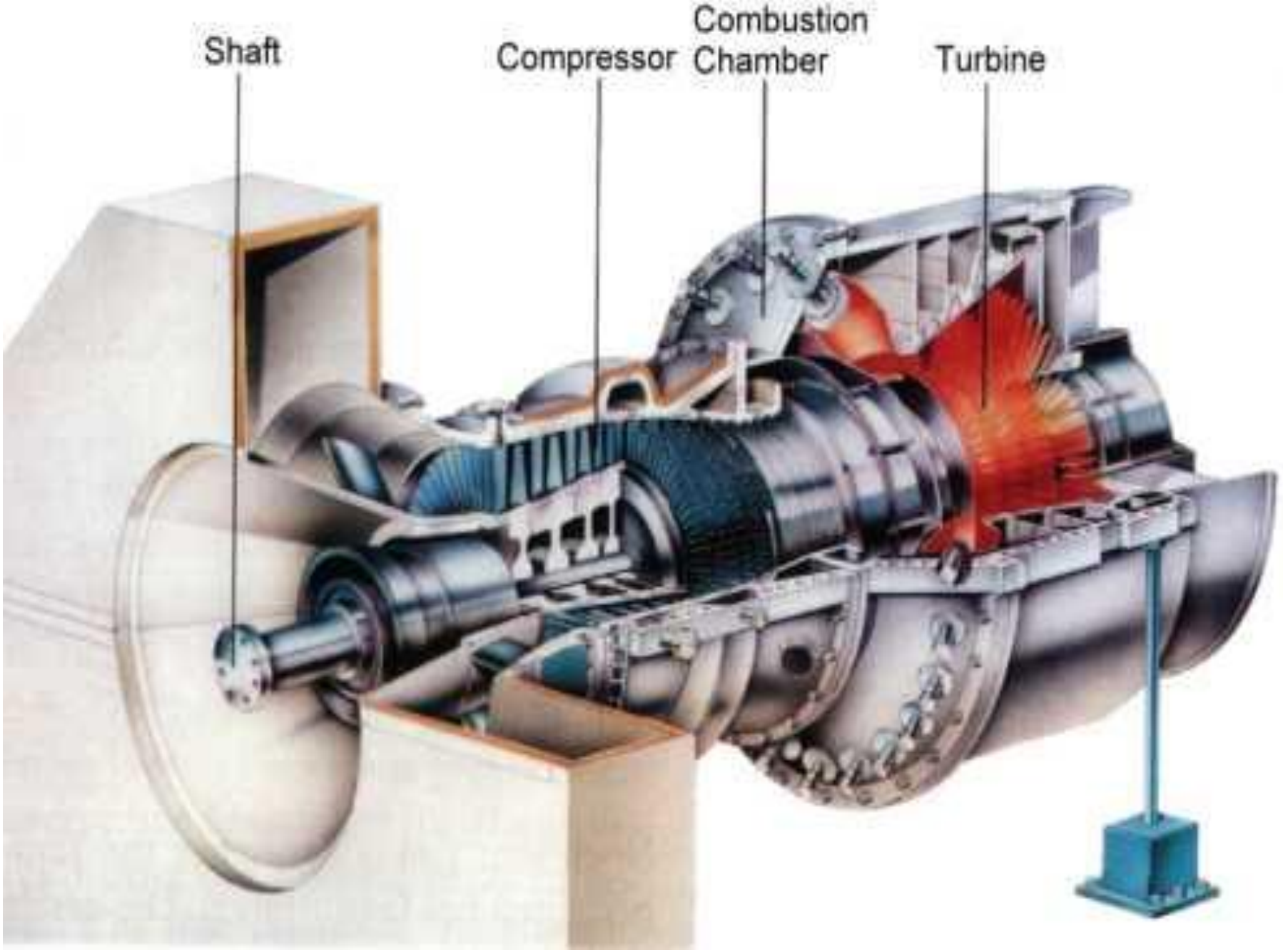
نیروگاههای توربین گازی مدار باز با توجه به ساختارهای متنوع خود، به انواع مختلف نظیر مدار باز ساده، مدار باز با بازیافت حرارتی، مدار باز با مدار متوالی و مدار باز هوا-ذخیره ای تقسیم می گردند. این نیروگاهها صرفنظر از ساختارهای مختلف خود، در فرایندهای ذیل مشترک می باشند.

- مکش هوا و متراکم کردن آن در کمپرسور
- احتراق با سوخت مایع و یا گاز در اتاق احتراق
- انبساط هوای سوخته در توربین

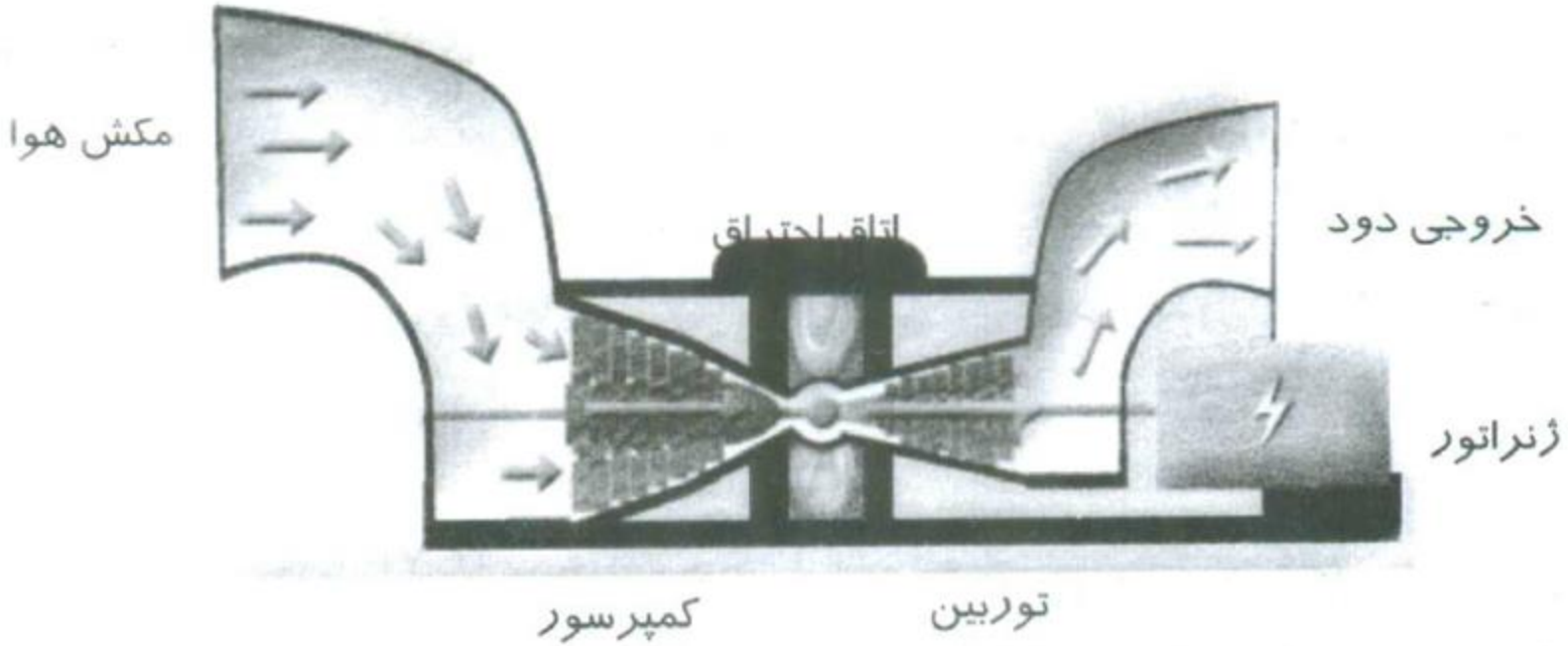
این نیروگاهها دارای بازدهی نسبتا پایین (در حدود ٪۲۸) می باشند و با توجه به ساختار اتاق احتراق خود که در آن سوخت و شاره کارکن (هوای فشرده) در تماس مستقیم با یکدیگر هستند، ملزم به استفاده از سوختهای خوب وگران نظیر گاز و گازوییل می باشند. در شکل (۲-۴۷) طرح یک نیروگاه توربین گازی مدار باز ساده و نمودار ایده ال (T-S) مربوط به تحویلات انرژی در پروسه کاری آن نشان داده شده است.

شمای کلی نیروگاه گازی




Shaft
Compressor
Combustion Chamber
Turbine

شمای کلی نیروگاه گازی



شکل (۲-۴۶): نمایی شماتیک از یک نیروگاه توربین گازی (مدار باز)

سوالات

۱. کمپرسور، اتاق احتراق، توربین و ژنراتور چه وظیفه ای در نیروگاه گازی دارند ؟
۲. شماتیک نیروگاه گازی را ترسیم کنید و نحوه کار نیروگاه آن را شرح دهید.
۳. نیروگاه گازی برای تامین کدام بار مناسب است (بار پیک، بار میانی، بار پایه) علت آن چیست ؟
۴. راندمان نیروگاه گازی چه میزان است ؟ بقیه انرژی که مورد استفاده قرار نمی گیرد چگونه دفع می شود ؟

مشخصات کلی نیروگاه سیکل ترکیبی

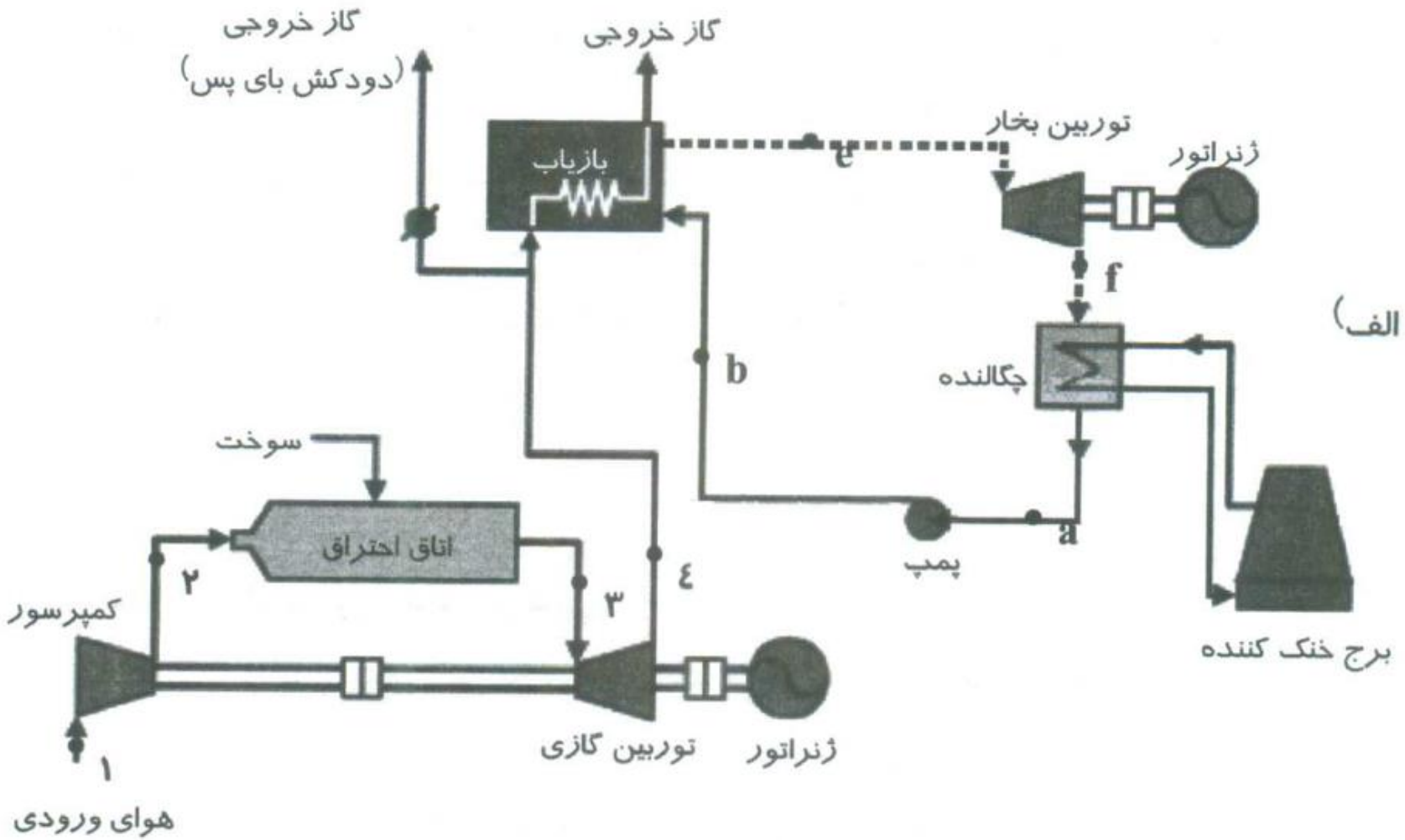
۲-۴ نیروگاههای سیکل ترکیبی

با توجه به بازدهی کم نیروگاههای توربین گازی، که به مقدار زیاد ناشی از تلفات انرژی حرارتی گاز خروجی از دودکش آنها می باشد، متخصصین صنعت تولید برق به این نتیجه رسیدند، که می توان با بازیافت حرارت دود خروجی از این نیروگاهها و تولید بخار جهت استفاده در یک نیروگاه بخار، اقدام به افزایش بازدهی این نیروگاهها نمود. بدین ترتیب نیروگاههای سیکل ترکیبی، به عنوان ترکیبی متشکل از نیروگاههای توربین گازی مدار باز و بخاری وارد بازار صنعت برق گردیدند. بازدهی این نوع نیروگاهها بالغ بر ۵۵ در صد می گردد، که در مقایسه با بازدهی نیروگاههای بخاری و یا نیروگاههای توربین گازی

انواع نیروگاه سیکل ترکیبی

نیروگاههای سیکل ترکیبی بطور کلی به دو نوع با مشعل و بدون مشعل در قسمت واحد بخار خود تقسیم می گردند. در نوع بدون مشعل، بازیاب حرارتی فاقد مشعل می باشد و در آن بدون اضافه نمودن مواد سوختی، تنها از حرارت گاز خروجی توربین گازی برای بخار نمودن شاره کارکن نیروگاه بخار استفاده می گردد. در نوع با مشعل، از گاز خروجی توربین گازی به عنوان هوای سوخت و یا پیش گرمکن هوای سوخت مورد نیاز واحد بخاری استفاده می گردد و بازیاب حرارتی دارای مشعل می باشد و در آن با اضافه نمودن مواد سوختی، انرژی حرارتی تولید می گردد.

انواع نیروگاه سیکل ترکیبی



بازدهی نیروگاه سیکل ترکیبی

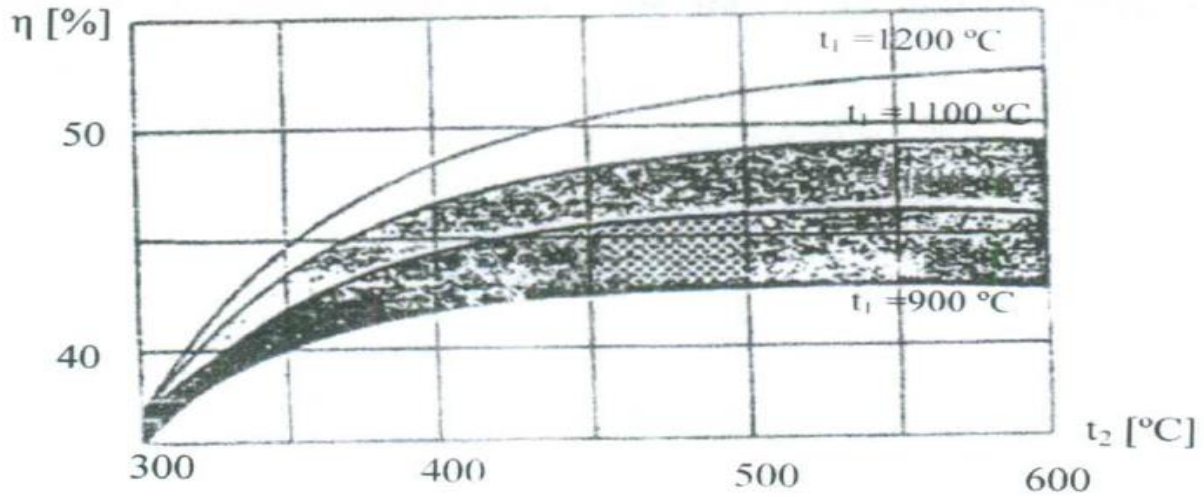
۲-۴-۲ بازدهی نیروگاههای سیکل ترکیبی

در نیروگاه سیکل ترکیبی با مشعل، حرارت داده شده به کل سیکل کاری نیروگاه در دو قسمت، یکی در اتاق احتراق مربوط به واحد گازی و دیگری توسط مشعل در بازیاب حرارتی واحد بخار، صورت می پذیرد. اگر مقدار این دو حرارت را با q_1 و q_2 و بازدهی بخش گازی و بخاری را به ترتیب با η_{c1} و η_{c2} نشان دهیم، آنگاه بازدهی کل سیستم η_{co} به صورت زیر محاسبه می گردد. W_1 و W_2 به ترتیب معرف انرژی الکتریکی تولید شده در بخش گازی و بخش بخار می باشند.

بازدهی نیروگاه سیکل ترکیبی (ناشی از ترکیب دو نیروگاه)

$$\eta_{CO} = \eta_{c2} + \eta_{c1} - (\eta_{c1} \bullet \eta_{c2}) \qquad (۸-۲)$$

در شکل (۲-۵۷) بازدهی یک نیروگاه سیکل ترکیبی بدون مشعل در ارتباط با درجه حرارت گاز ورودی و خروجی از توربین گازی نمایش داده شده است.



شکل (۲-۵۷): بازدهی یک نیروگاه سیکل ترکیبی بدون مشعل (η) در ارتباط با درجه حرارت گاز ورودی (t_1) و خروجی (t_2) از توربین گازی

سوالات

۱. نیروگاه سیکل ترکیبی چیست و از چه قسمتهایی تشکیل شده است ؟
۲. شماتیک نیروگاه سیکل ترکیبی را ترسیم کنید و نحوه کار آن را شرح دهید.
۳. آیا می توان در نیروگاه سیکل ترکیبی بدون روشن بودن نیروگاه گازی، از نیروگاه بخار استفاده نمود ؟
۴. راندمان نیروگاه سیکل ترکیبی چه میزان است ؟
۵. در صورتی که راندمان نیروگاه گازی ۲۰ درصد، راندمان نیروگاه بخار ۴۰ درصد باشد راندمان نیروگاه سیکل ترکیبی (ناشی از ترکیب این دو) چه میزان است ؟

نیروگاه آبی

در نیروگاههای آبی از انرژی پتانسیل نهفته در آبهای جاری در سطح خشکی برای تولید انرژی الکتریکی استفاده می‌گردد. آبهای جاری در جریان چرخه خود در طبیعت همواره با توجه به اختلاف سطح خود نسبت به دریاهای آزاد دارای انرژی پتانسیل هستند که قابل تبدیل به انرژی الکتریکی می‌باشد. نیروگاههای آبی دارای بازدهی بسیار بالایی در حدود ۸۰ در صد و بیشتر از آن می باشند، که با گذشت زمان و استهلاک نیروگاه در میزان آن تغییر قابل محسوسی حاصل نمی گردد. هزینه سرمایه گذاری ویژه احداث این نیروگاهها و نیز مدت زمان ساخت آنها در مقایسه با دیگر نیروگاههای بالا، اما هزینه های تعمیرات و نگهداری و نیز تعداد پرسنل مورد نیاز برای بهره برداری از آنها بسیار کمتر از نیروگاههای فسیلی و سوخت آنها (آب) در واقع رایگان می باشد. این نیروگاهها در مقایسه با نیروگاههای فسیلی دارای طول عمر بیشتری می باشند. طول عمر این نیروگاهها بالغ بر ۵۰ سال می باشد، در حالیکه طول عمر مفید نیروگاههای فسیلی در حدود ۲۰ سال برآورد می گردد. نیروگاههای آبی بدلیل عدم استفاده از سوختهای فسیلی، فاقد هرگونه آلایندگی در محیط زیست می باشند. احداث

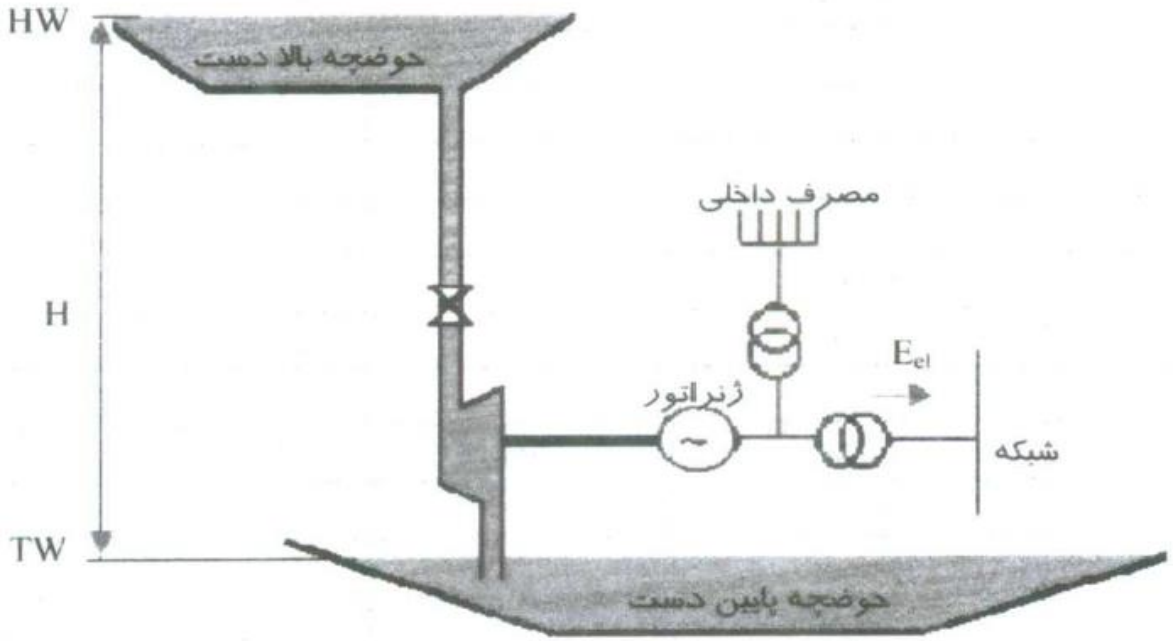
Typical Hydroelectic Dam
Reservoir
Powerhouse
Power Lines
Generator
Intake
Penstock
Turbine
Outflow
River

نیروگاه آبی

این نیروگاهها با توجه به نیاز آنها به وجود آب، تنها در محلهای خاصی، که اغلب بسیار دور از مناطق مصرف واقع شده اند، امکانپذیر می باشد. میزان کل انرژی آب موجود در جهان حدود ۴۴۰۰۰ TWH در سال تخمین زده می‌شود، که از این مقدار حدود ۹۰۰۰ TWH در سال از نقطه نظر اقتصادی و فنی قابل بهره برداری می‌باشد. تا کنون در سطح جهان حدود ۴۰۰۰ TWH در سال از این انرژی مورد استفاده قرار گرفته است. شکل (۳-۱) ظرفیت نصب شده و پتانسیل موجود برای احداث نیروگاههای جدید از نقطه نظر فنی را در نقاط مختلف جهان در سال ۲۰۰۰ میلادی نمایش می دهد.

نیروگاه آبی

در شرایط طبیعی، انرژی جریان آب در طول مسیرآبگذر صرف شده و کاربرد کمی برای مقاصد تولید انرژی پیدا می کند. جهت تولید انرژی الکتریکی لازم است که یک ارتفاع ریزش در یک مقطع واحد ایجاد گردد و آب از سطح ارتفاع بالاتر به توربینها انتقال داده شود. با ریزش آب، انرژی آن به وسیله توربین به انرژی مکانیکی و سپس به وسیله ژنراتور به انرژی الکتریکی تبدیل میگردد. (شکل ۳-۲).



شکل (۳-۲): تولید انرژی الکتریکی در نیروگاه آبی

بازدهی نیروگاه آبی

موجود در مخزن بالا دست به متر مکعب و η_{kw} معرف بازدهی کل نیروگاه می باشد. بازدهی کل نیروگاه η_{kw} با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه می باشد.

$$\eta_{kw} = \eta_H \bullet \eta_T \bullet \eta_G \bullet (1-\varepsilon) = 0.8...0.85 \qquad (۳-۳)$$

توربین

توربین پلتون که برای اولین بار توسط دانشمندی آمریکایی به نام لستر پلتون[۳] در سال ۱۸۷۷ میلادی معرفی گردید، معمولا برای ارتفاع ریزش آب زیاد، دبی کم آب و سرعت دور مخصوص کم مورد استفاده قرار می گیرد. توربین فرانسیس نیز که از قدیمیترین توربینهای آبی محسوب می گردد و در سال ۱۸۴۹ توسط جیمز فرانسیس[۴] در کشور آمریکا طراحی گردید، برای ارتفاع ریزش و دبی متوسط آب مناسب می باشد. توربین کاپلان که در سال ۱۹۱۲ توسط ویکتور کاپلان[5] اتریشی طراحی گردید، مناسب برای استفاده در ارتفاع ریزش کم، دبی آب زیاد و نیز سرعت دور مخصوص بالا می باشد. در شکل (۳-۳) و جدول (۳-۱۲) پارامترهای تعیین کننده در انتخاب توربین مناسب آورده شده است.

توربین

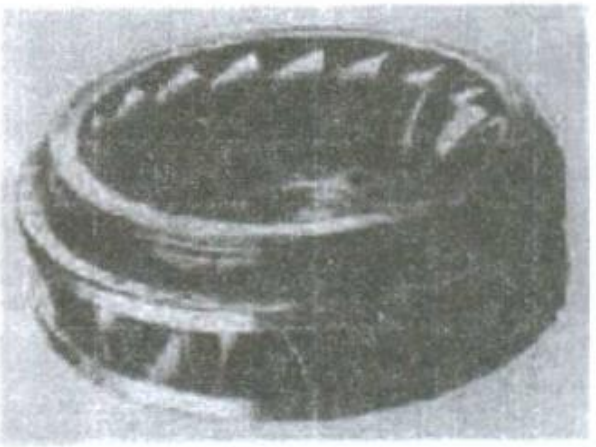
جدول (۳-۱۲): انتخاب مناسب توربین براساس ارتفاع ریزش، دبی آب و سرعت دور مخصوص

نوع توربین	کاپلان	فرانسیس	پلتون
ارتفاع ریزش آب[m]	تا ۳۰	۱۰ تا ۷۰۰	۲۰۰ تا ۲۰۰۰
دبی آب [m^3/s]	۴ تا ۳۵۰	۴ تا ۵۵	۴ تا ۱۵
سرعت دور [rpm] مخصوص	۳۰۰ تا ۱۰۰۰	۵۰ تا ۴۰۰	۱۰ تا ۶۰

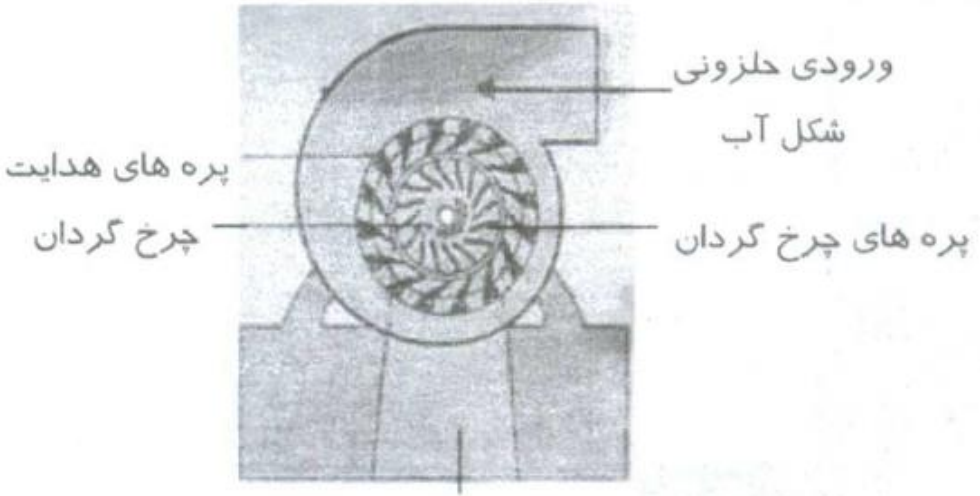
توربین

۳-۴-۱-۲ توربین فرانسیس

توربین فرانسیس از یک ظرف حلزونی شکل که در واقع مجرای ورود آب به توربین می باشد، پره های قابل تنظیم هدایت و یک چرخ گردان که بر روی آن پره هایی غیر قابل تنظیم محکم شده اند، تشکیل شده است (شکل ۳-۷).

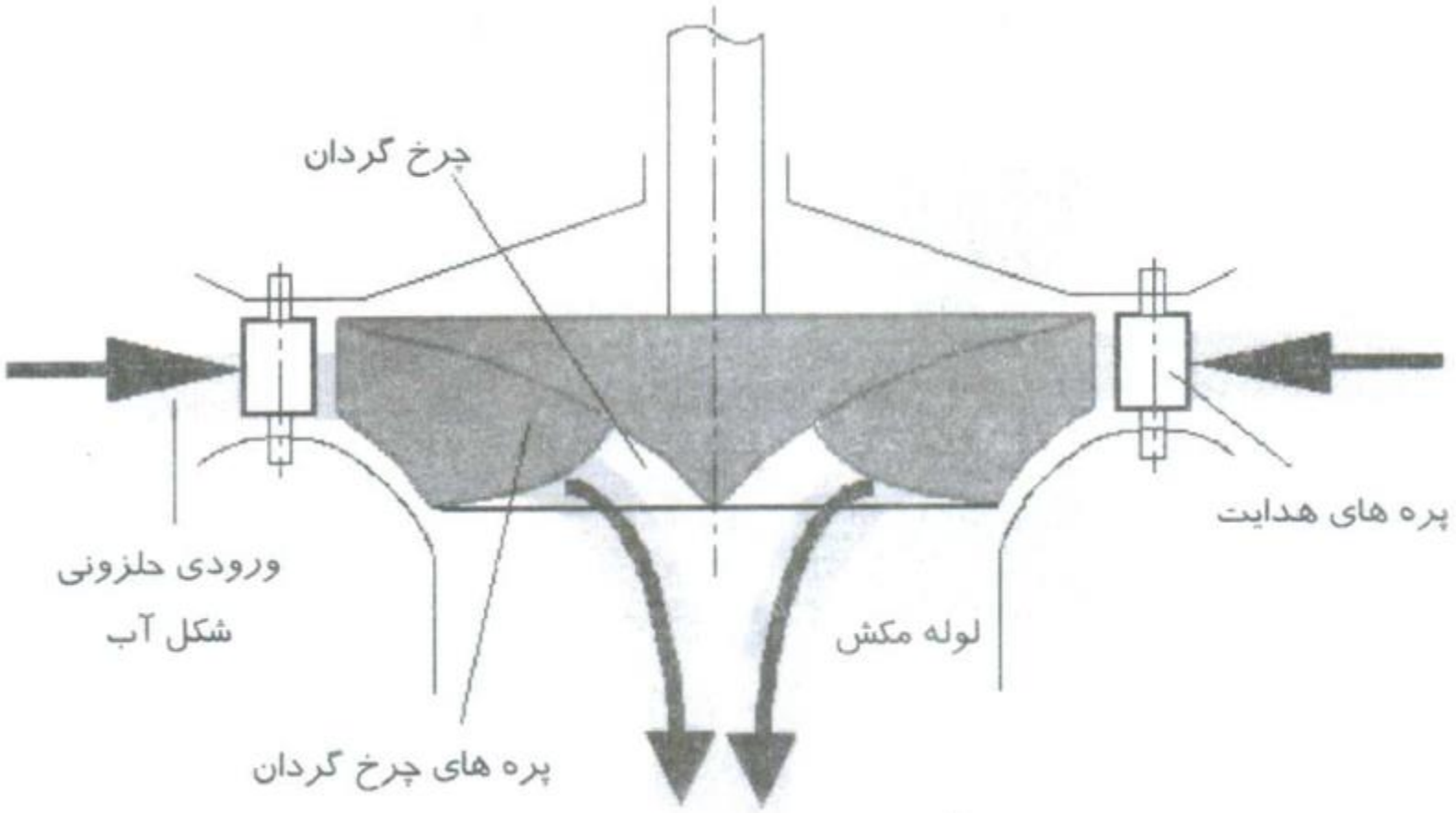


الف)



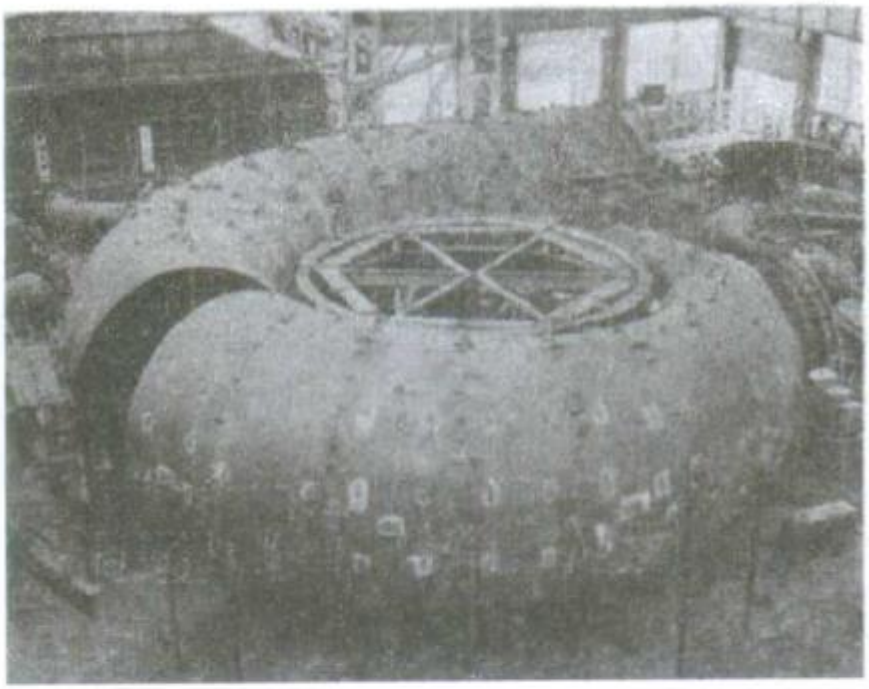
ب)

توربین فرانسیس



ج)

توربین فرانسیس



الف: چرخ گردان، ب: نمای کلی، ج: برش از سطح مقطع، د) محفظه حلزونی

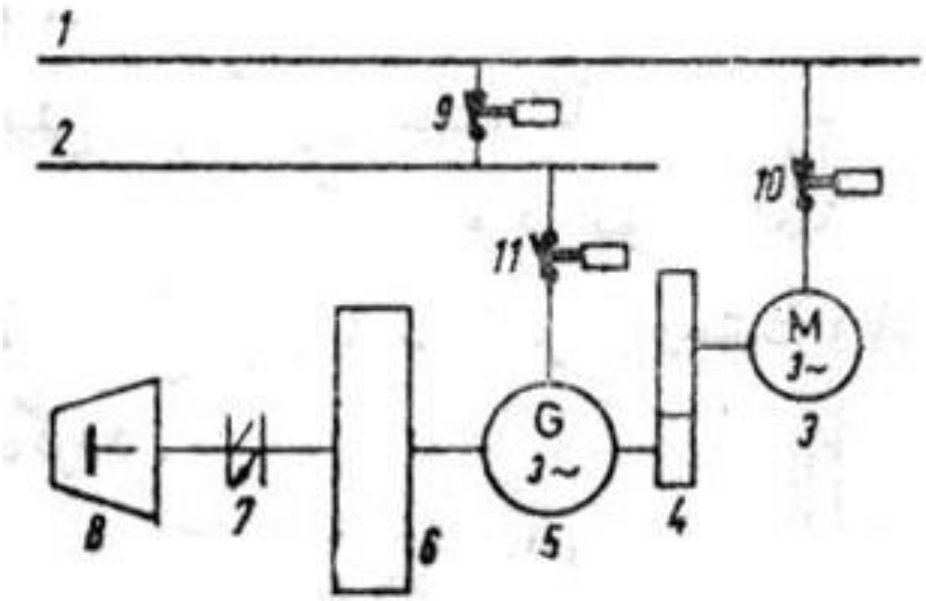
شکل (۳-۷): شمایی از توربین فرانسیس

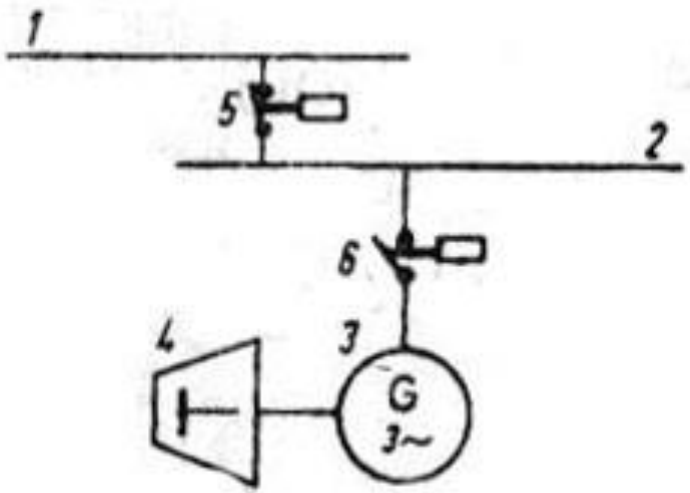
نیروگاه برق اضطراری

۱- نیروگاه اضطراری با راه اندازی خودکار

۲- نیروگاه اضطراری با راه اندازی سریع

۳- نیروگاه اضطراری با راه اندازی بدون تاخیر





نیروگاه برق اضطراری