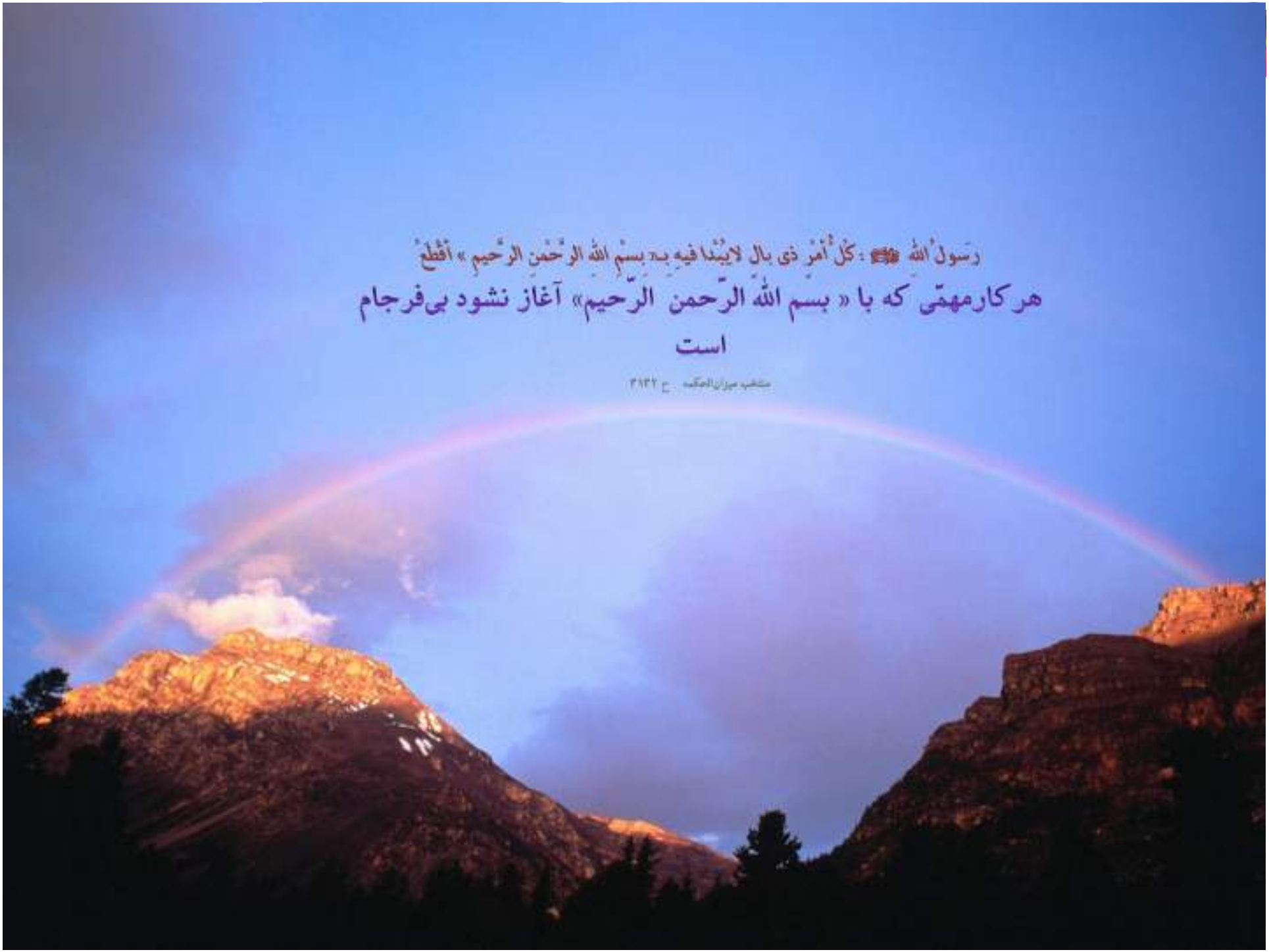
به نام خدا

# مبانی سیستمهای قدرت

مدرس : وحیدرضا حجتی منش

دانشکده حکیم عباس دارابی


رَسولُ اللهِ ﷺ : كُلُّ أمرٍ ذي بالٍ لايُبْدا فيهِ بـ بِسْمِ اللهِ الرَّحْمنِ الرَّحيمِ » أقْطَعُ
هر کارمهمّی که با « بسم الله الرّحمن الرّحیم» آغاز نشود بی‌فرجام است
منتخب میزان‌الحکمه ج ۲۱۳۲

# فهرست


معرفی شبکه برق

تولید

- نیروگاه بخار
- نیروگاه گازی
- نیروگاه سیکل ترکیبی
- نیروگاه هسته ای
- نیروگاه آبی
- برق اضطراری و تولید همزمان برق و حرارت

پست

- آشنایی با پست
- پست های فشارقوی
- کلیدهای قدرت و سکسیونر
- نحوه قطع و وصل جریان
- برقگیر در پست
- ترانسفورماتورهای اندازه گیری ولتاژ
- ترانسفورماتورهای اندازه گیری جریان
- جبران کننده راکتیو در پستها
- اتاق فرمان در پست
- تله موج

# فهرست (ادامه)


انتقال

کابل

هادیهای خطوط انتقال

تلفات کرونا و هادیهای گروهی (باندل)

یراق آلات خطوط انتقال

پایه های خط انتقال و جابجایی فاز در طول خط

مقره های خطوط انتقال

هادیهای محافظ در خطوط

سیستم زمین

شبکه توزیع

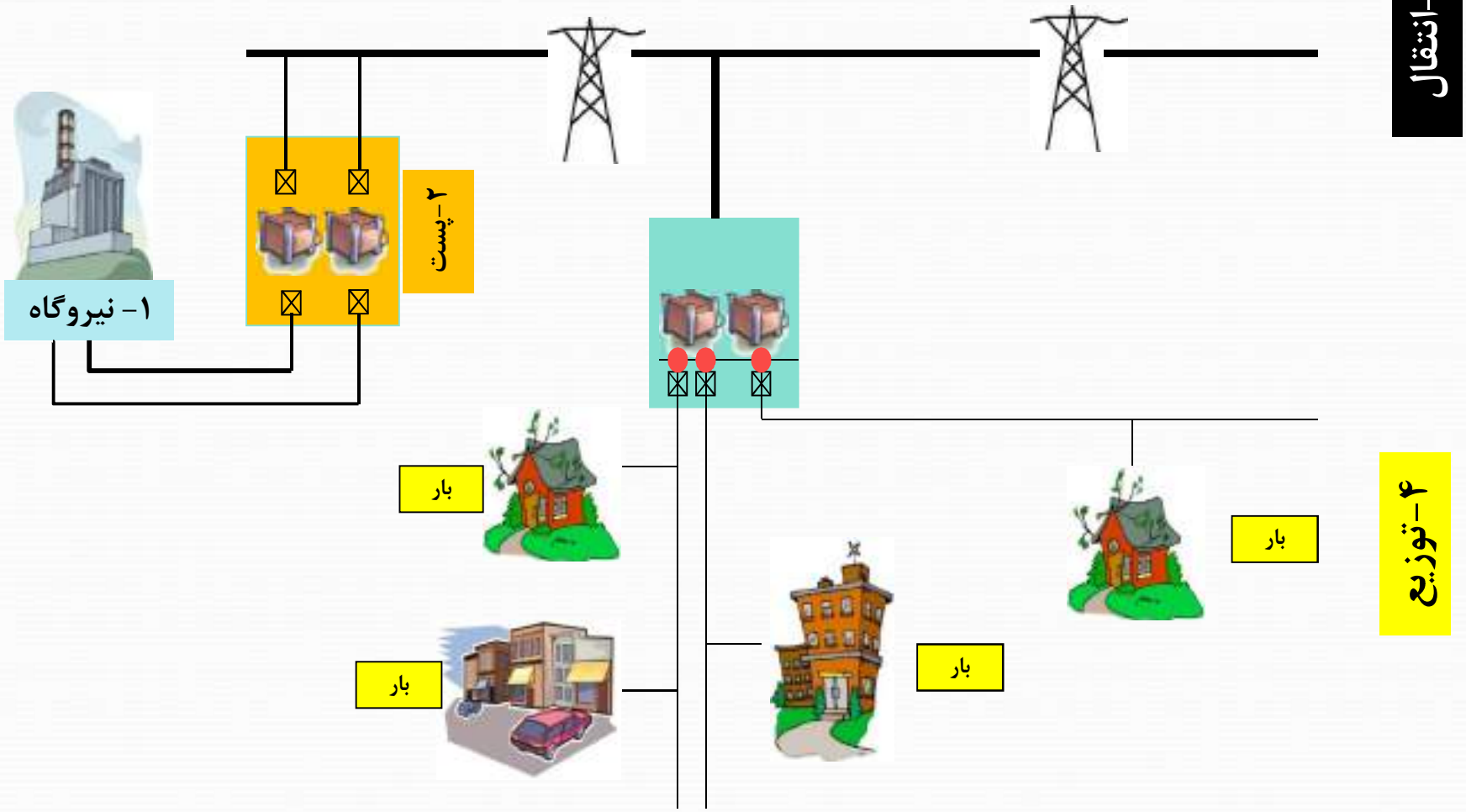
شبکه توزیع و کابلهای آن

اصلاح ضریب توان

شناخت و تحلیل قبض برق

# معرفی شبکه برق

# شبکه برق



## 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.

البته ورود منابع تولید پراکنده کمی این ساختار را تغییر داده است اما به نظر می رسد تا سال ۱٤۱٤ ساختار فعلی همچنان به شکل غالب باقی بماند و تجدید ساختار بیشترین تاثیر را در شبکه توزیع بگذارد و مدیریت و اقتصاد بخش تولید و انتقال نیز تغییرات عمده داشته باشد.

## ولتاژ برق در شبکه

۱- 400, 230, 132, 63, 20, 0.4 KV

۲- 33, 11 Kv

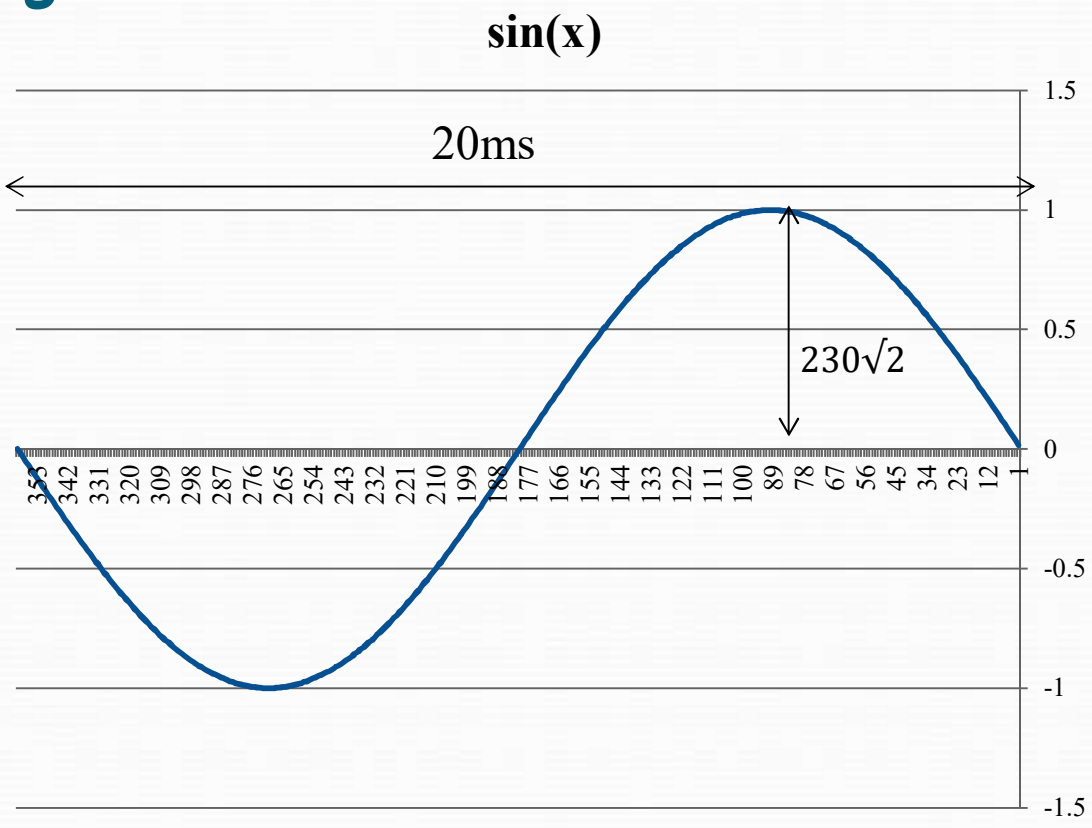
۳- 6.6 , 3.3 Kv

## حدود مجاز ولتاژ برق

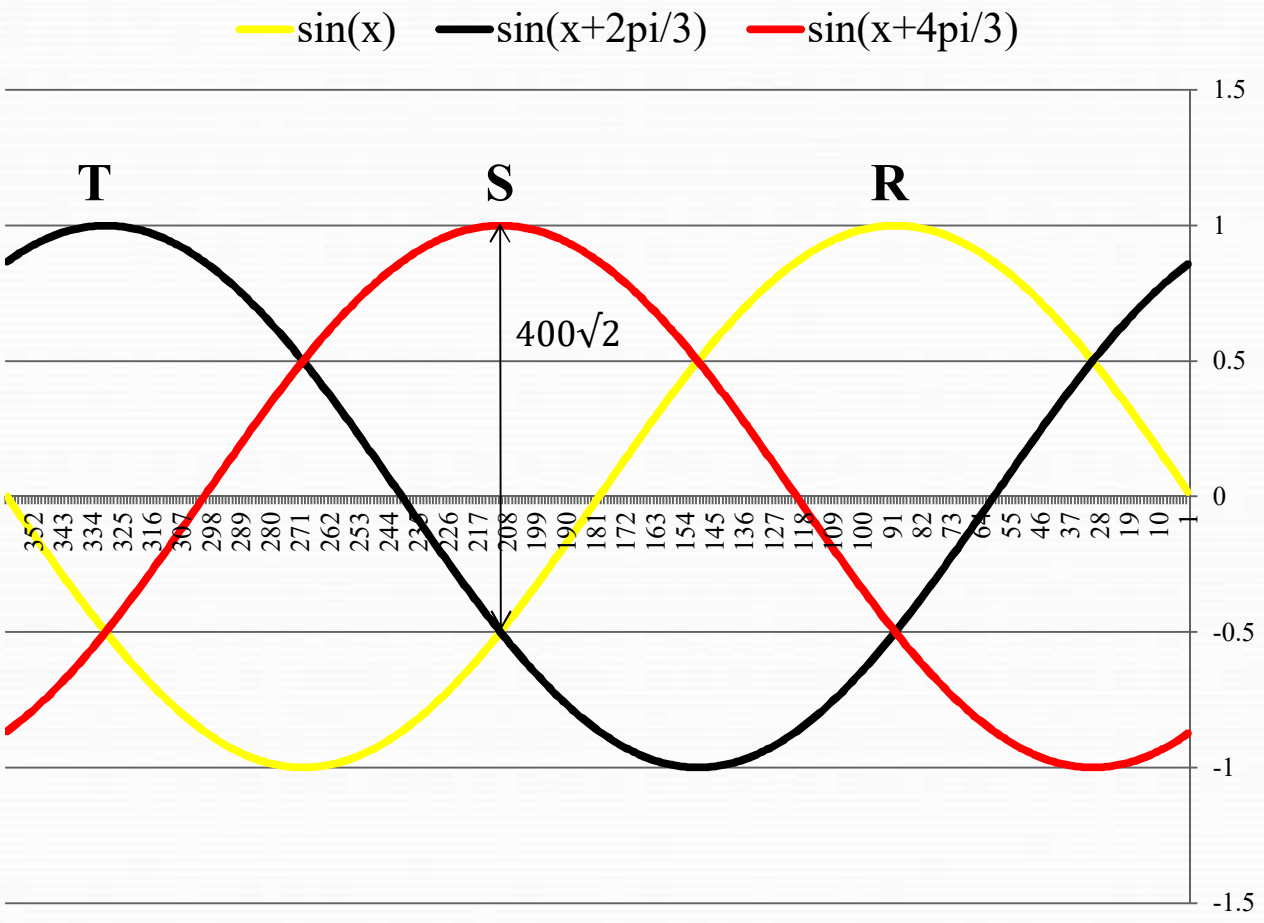
حدود مجاز برای ولتاژ برق به صورت زیر است:

1. فرکانس ۵۰ هرتز
2. ولتاژ ۲۳۰ برای تکفاز و ۴۰۰ برای سه فاز(در کنتور مشترکین خانگی)
3. مقدار $\pm 10$ درصد رواداری
4. شکل موج سینوسی

# شکل موج ولتاژ



# سه فاز

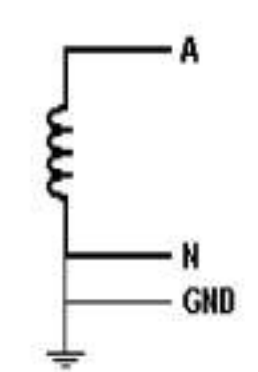


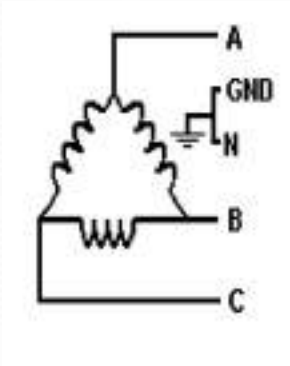
## انواع شبکه از نظر تعداد فاز

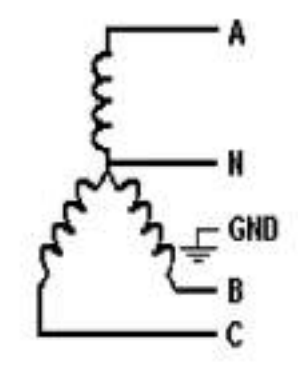
تک فاز ۳ سیمه

سه فاز ۳ سیمه

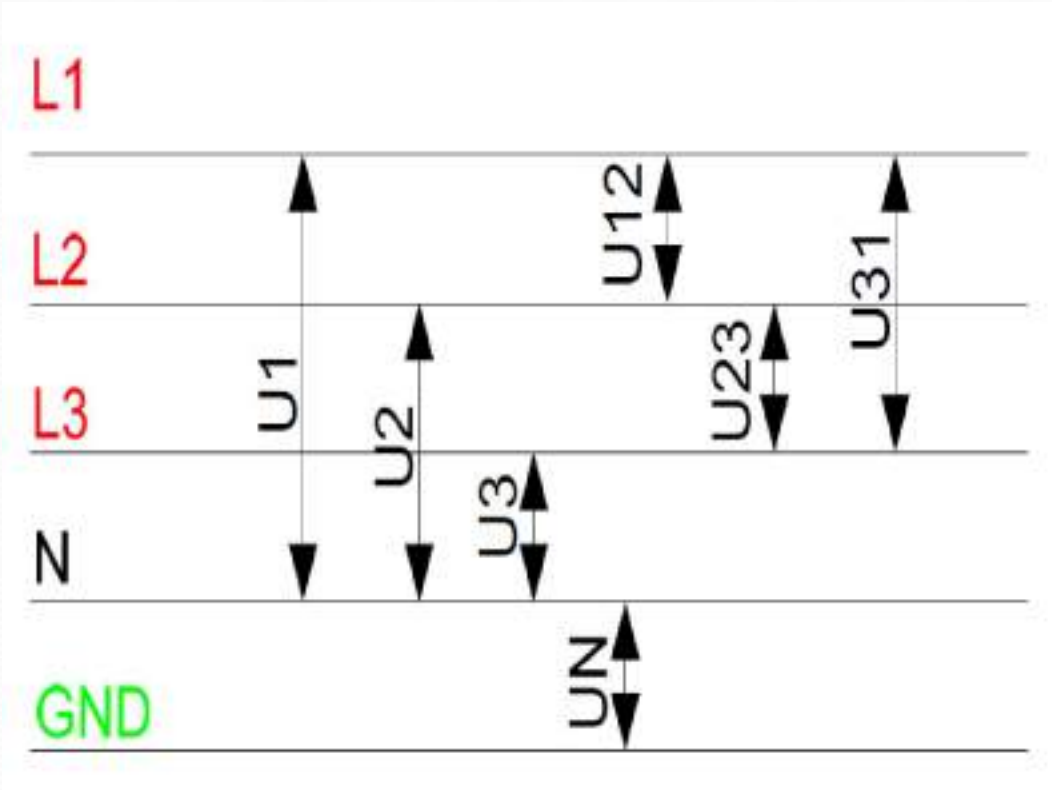
سه فاز چهار سیمه



## سه فاز

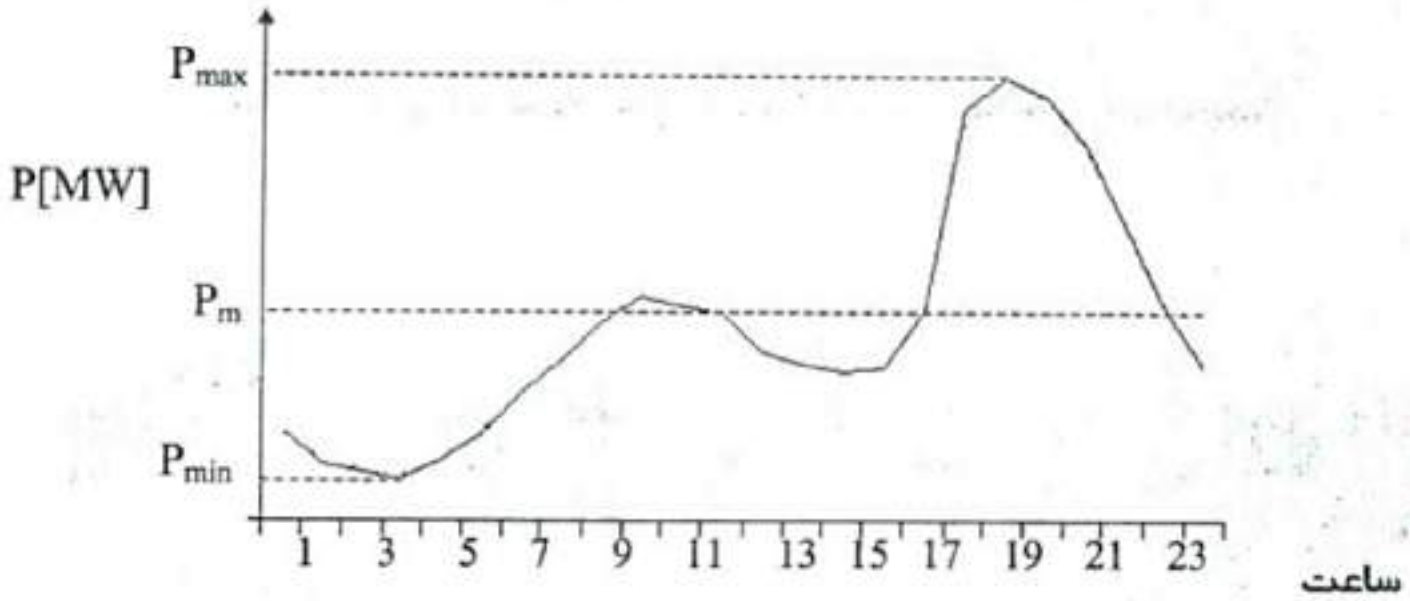


## مفهوم سلف و خازن

- 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.

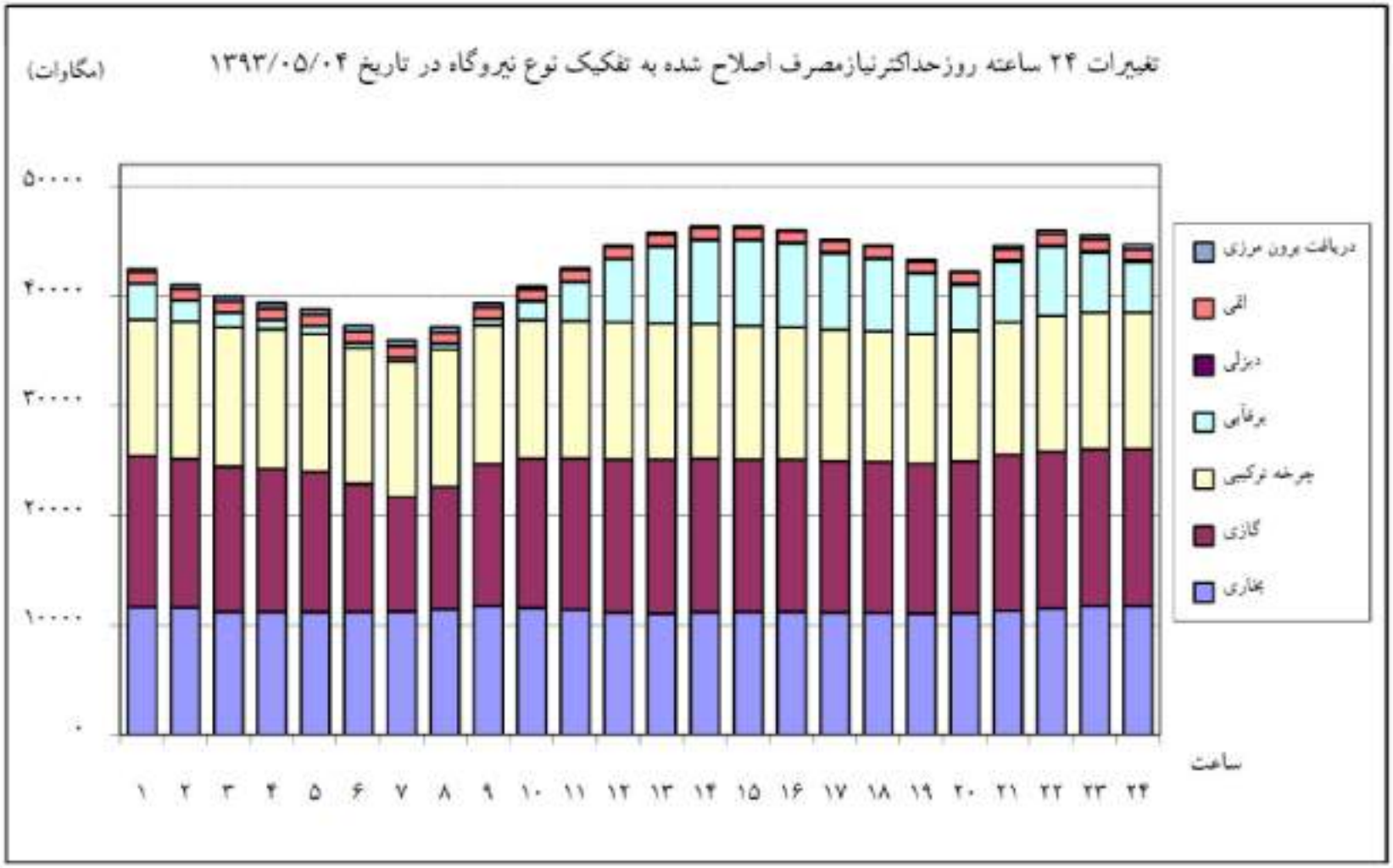
## الف-۱ منحنی بار روزانه

با ترسیم میزان مصرف بار الکتریکی در طول ۲۴ ساعت منحنی بار روزانه حاصل می گردد. این منحنی مشخصه میزان مصرف در طول یک شبانه روز می باشد و کاربرد زیادی در برنامه ریزی و بهره برداری برای شرکتهای برق دارد. شکل (الف-۱) نمونه ای از یک منحنی روزانه بار را نمایش می دهد.




شکل (الف-۱): نمونه ای از یک منحنی روزانه بار

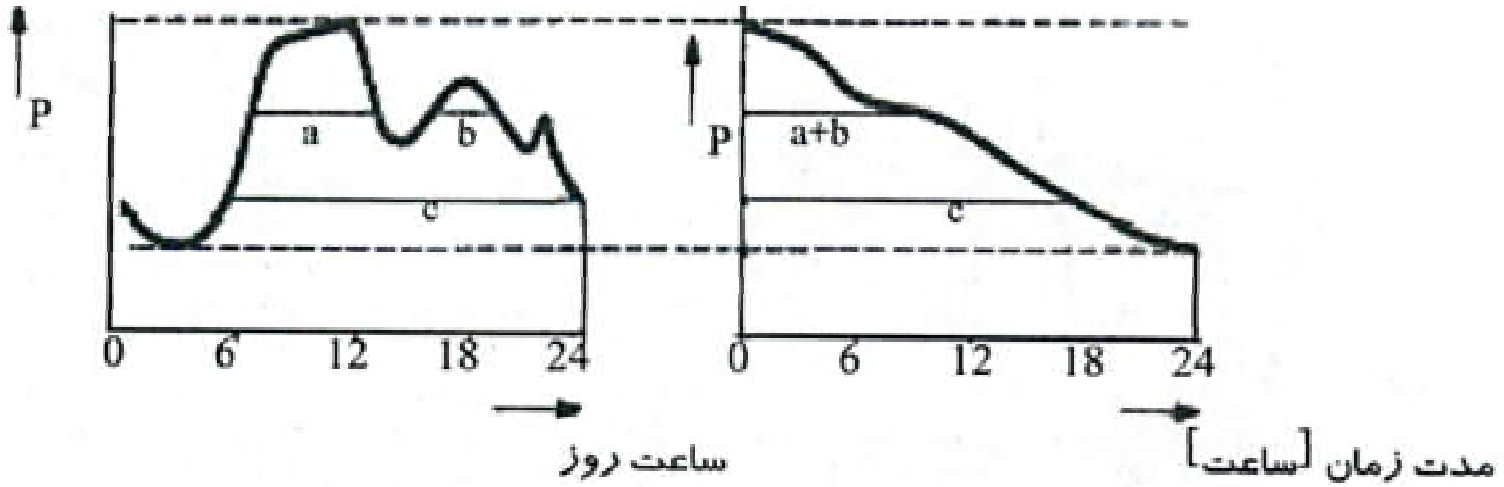
هر روز هفته، منحنی بار خاص خود را دارد. منحنیهای مصرف بار در روزهای تعطیل و غیر تعطیل از یکدیگر متمایز میباشند. در فصول مختلف سال با توجه به عوامل مختص هر فصل، نظیر طول روز، منحنی مصرف بار تغییر مییابد. در طول زمان نیز با توجه به رشد جمعیت و رشد اقتصادی جامعه، میزان میانگین مصرف بار به مرور افزایش، یا بالعکس بر اثر بهینه شدن ابزار الکتریکی و یا اقدامات صرفه جویانه مصرف کنندگان عمده برق،کاهش می یابد. تغییر عادات مصرف کنندگان بر اثر مدیریت بار از سوی تولیدکنندگان انرژی الکتریکی و یا تغییر ساختار اقتصادی (کشاورزی، صنعتی، مسکونی، تجاری...) محل تغذیه و یا در کوتاه مدت عواملی نظیر برنامه های تلویزیونی نیز بر ساختمان منحنی بار موثر میباشند. با در اختیار داشتن منحنی بار، میزان مقادیری نظیر حداکثر بار مصرفی ($P_{max}$)، حداقل بار مصرفی ($P_{min}$)، بار متوسط مصرفی ($P_m$) و میزان انرژی مصرفی به عنوان سطح زیر منحنی بار، به راحتی قابل استخراج می باشند.


تغییرات ۲۴ ساعته روزحداکثرنیازمصرف اصلاح شده به تفکیک نوع نیروگاه در تاریخ ۱۳۹۳/۰۵/۰۴
(مگاوات)
۵۰۰۰۰
۴۰۰۰۰
۳۰۰۰۰
۲۰۰۰۰
۱۰۰۰۰
۰
۱ ۲ ۳ ۴ ۵ ۶ ۷ ۸ ۹ ۱۰ ۱۱ ۱۲ ۱۳ ۱۴ ۱۵ ۱۶ ۱۷ ۱۸ ۱۹ ۲۰ ۲۱ ۲۲ ۲۳ ۲۴
ساعت
دریافت برون مرزی
آبی
دیزلی
برقآبی
چرخه ترکیبی
گازی
بخاری

## الف-۲ منحنی تداوم بار

با ترسیم مقادیر مصرفی بار الکتریکی در طول ۲۴ ساعت نسبت به مدت زمان بارگیری آنها در این مدت زمان، منحنی تداوم بار روزانه حاصل می گردد. هر نقطه روی منحنی تداوم بار تعداد ساعاتی را نشان می دهد، که مصرف در محل مورد تغذیه برابر یا بیشتر از مقدار مشخصی بوده است. شکل (الف-۲) نمونه ای از یک منحنی تداوم روزانه بار را، همراه با منحنی بار متناظر با آن، نمایش می دهد.

در صورت ترسیم مقادیر مصرفی بار الکتریکی در طول یکسال نسبت به مدت زمان بارگیری آنها در این مدت زمان، منحنی تداوم بار سالیانه حاصل می گردد.



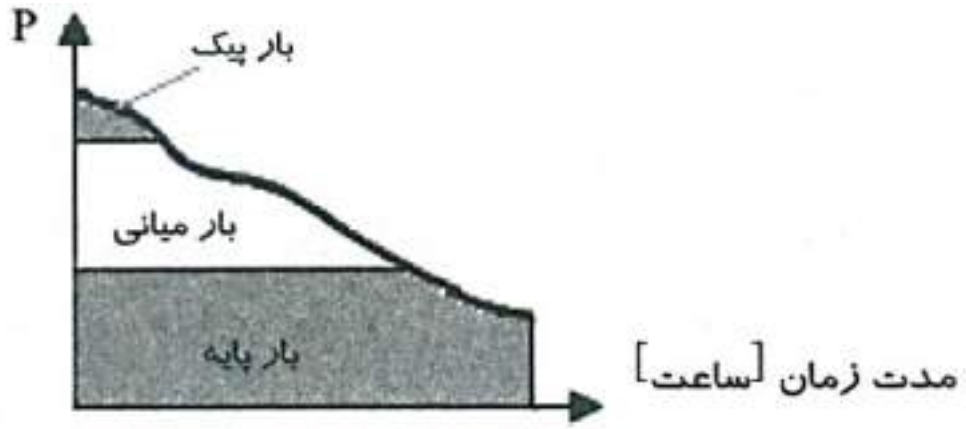

شکل (الف-۲): نمونه ای از یک منحنی تداوم بار (راست) و منحنی روزانه بار متناظر با آن (چپ)

## الف-۳ مفهوم بار پایه، بار میانی و بار پیک

این سه نوع بار مطابق تعاریف زیر بیان می گردند.

- باری که تقریباً در تمام مدت روز و یا سال مصرف می گردد، بار پایه نامیده می شود (بیش از ۵۰۰۰ ساعت در سال)
- بار پیک به باری اطلاق میگردد، که در طول روز و یا سال مدت زمان کمی مورد مصرف واقع می شود (۰- ۲۰۰۰ ساعت در سال)
- باری که مابین بار پیک و بار پایه قرار دارد، بار میانی نامیده میشود (۵۰۰۰-۲۰۰۰ ساعت درسال)

در شکل (الف-۳) محدوده بار پایه، بار میانی و بار پیک بر روی منحنی تداوم بار سالیانه یک شرکت برق نمایش داده شده اند.




شکل (الف-۳): محدوده بار پایه، بار میانی و بار پیک بر روی منحنی تداوم بار سالیانه

**بار متوسط:** سطح زیر منحنی بار نشان دهنده انرژی مصرفی $W_{el}$ در مدت زمان مورد مطالعه می باشد. با تقسیم انرژی مصرفی بر تعداد ساعات مورد مطالعه $(t)$ بار متوسط مصرفی $P_m$ حاصل می گردد.

$$P_m = W_{el} / t \qquad \text{(الف-۱)}$$

**ضریب بار:** نسبت بار متوسط مصرفی $P_m$ درطول سال (یا روز) به بار حداکثر $P_{max}$ (پیک بار مصرفی) آن سال (یا روز) را ضریب بار $m$ می گویند.

$$m = P_m / P_{max} \qquad \text{(الف-۲)}$$

این ضریب یکی از پارامترهای مهم در سیستمهای قدرت محسوب می گردد و عمدتاً به صورت درصد بیان می شود. هرچه این ضریب به یک نزدیکتر باشد، نشان دهنده کیفیت بهتر مصرف انرژی از دید اقتصادی برای شرکت تامین کننده انرژی می باشد. در صورت افزایش این ضریب از سرمایه گذاریهای انجام شده توسط شرکت بطور بهینه تری استفاده می گردد. با اخذ تدابیری می توان با انتقال مصرف بار از ساعات پیک به ساعات غیرپیک ضریب بار را بهبود بخشید[۱]. میزان ضریب بار در سال ۱۳۸۱ در شبکه سراسری ایران حدود ۶۰ درصد بوده است.

**ضریب همزمانی:**

نسبت حداکثر بار مصرفی (بارپیک) $P_{max}$ در یک شبکه به مجموع توانی که مصرف کننده های آن شبکه $P_g$ در اختیار دارند را، ضریب همزمانی $g$ می نامند.

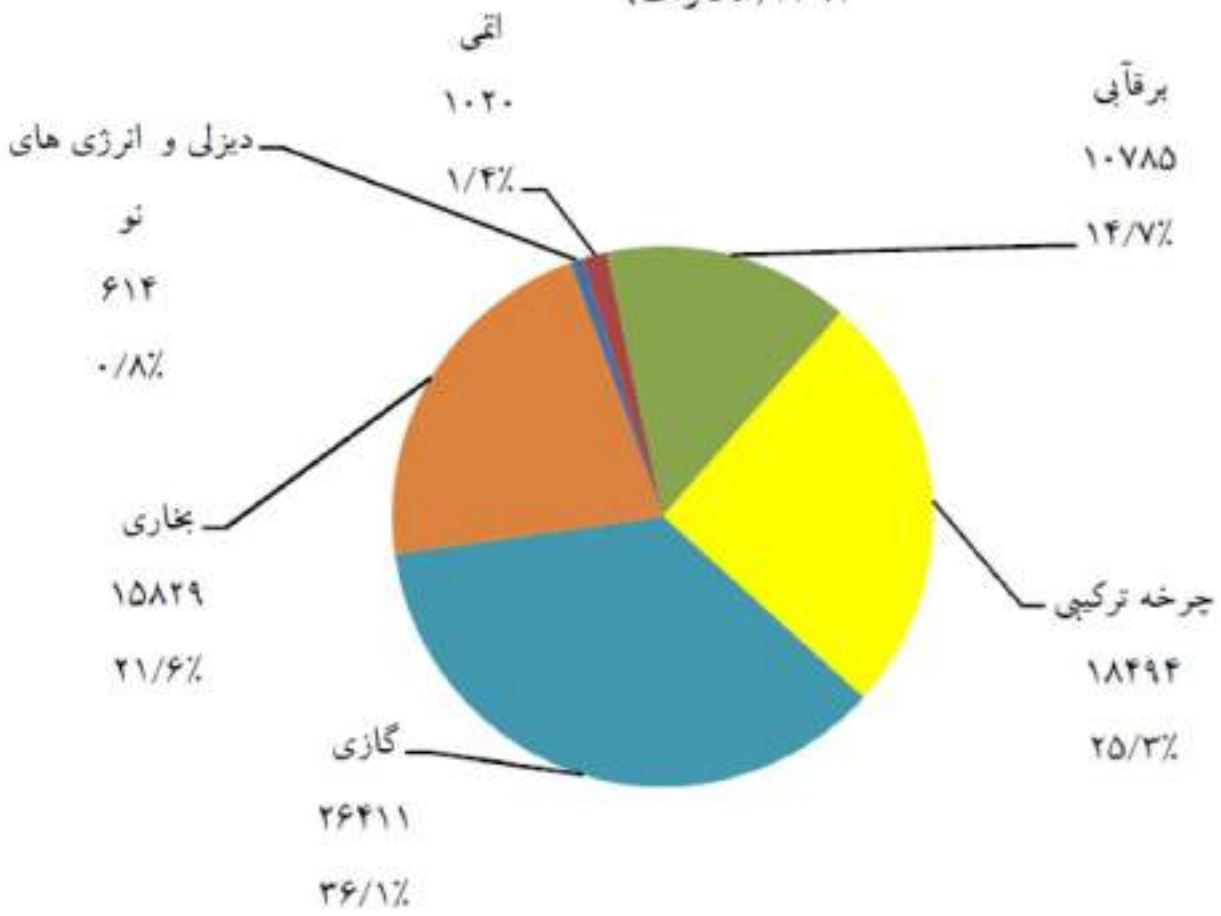
$$g = P_{max} / P_g \qquad \text{(الف-۶)}$$

مجموع توانی که مصرف کنندگان در یک شبکه بالقوه دراختیار دارند، بسیار بیشتر از حداکثر توان مصرفی حداکثر در شبکه می باشد، زیرا مصرف کنندگان برحسب خصوصیاتشان در زمانهای مختلف برق مصرف می نمایند. هرچه ضریب همزمانی کوچکتر باشد تامین انرژی بطور اقتصادی تری صورت می پذیرد، بدلیل آنکه شرکت تامین کننده انرژی نیاز به سرمایه گذاری کمتری برای احداث نیروگاهها و خطوط جدید دارد.

# خلاصه وضعیت بخش تولید صنعت برق در سال ۱۳۹۳

| | شرح | واحد | تعداد واحدهای نیروگاهی | | | سال ۱۳۹۳ | | | | | | سال ۱۳۹۲ | سال ۱۳۹۱ | درصد رشد سال ۹۳ به ۹۲ | درصد رشد سال ۹۲ به ۹۱ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | وزارت نیرو | صنایع بزرگ | بخش خصوصی | شبکه سراسری | | | | خارج از شبکه وزارت نیرو | جمع وزارت نیرو | جمع کل | | | |
| | | | | | | وزارت نیرو | بخش خصوصی | صنایع بزرگ | جمع شبکه | | | | | | |
| قدرت نامی | بخاری | مگاوات | ۵۲ | ۲۳ | ۲۵ | ۱۱۲۴۱ | ۴۰۰۰ | ۵۸۹ | ۱۵۸۳۰ | | ۱۱۲۴۱ | ۱۵۸۳۰ | ۱۵۸۳۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| | گازی | | ۱۲۱ | ۵۹ | ۱۸۷ | ۶۹۸۶ | ۱۴۲۲۵ | ۴۹۹۲ | ۲۶۲۰۳ | ۲۰۹ | ۷۱۹۵ | ۲۶۴۱۲ | ۲۴۷۱۵ | ۶/۹ | -۴/۹ |
| | جرخه ترکیبی | | ۳۰ | | ۱۰۲ | ۴۲۷۵ | ۱۴۲۱۹ | | ۱۸۴۹۴ | | ۴۲۷۵ | ۱۸۴۹۴ | ۱۷۸۵۰ | ۳/۶ | ۱۳/۴ |
| | دیزلی | | ۱۶۹ | | | ۴۰۹ | | | ۴۰۹ | ۳۰ | ۴۳۹ | ۴۳۹ | ۴۳۹ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| | جمع حرارتی | | ۳۷۴ | ۸۲ | ۳۱۴ | ۲۲۹۱۱ | ۳۲۴۴۴ | ۵۵۸۱ | ۶۰۹۳۶ | ۲۳۹ | ۲۳۱۵۰ | ۶۱۱۷۵ | ۵۸۸۳۴ | ۴/۰ | ۱/۴ |
| | برقابی | | ۱۲۵ | | | ۱۰۷۸۲ | | | ۱۰۷۸۲ | ۳ | ۱۰۷۸۵ | ۱۰۷۸۵ | ۱۰۲۶۵ | ۵/۱ | ۵/۳ |
| | آبی و تجدید پذیر | | ۱۷۶ | | ۶۰ | ۱۱۴۰ | ۵۳ | | ۱۱۹۳ | | ۱۱۴۰ | ۱۱۹۳ | ۱۱۸۱ | ۱/۰ | ۰/۰ |
| | جمع تجدید پذیر | | ۳۰۱ | ۰ | ۶۰ | ۱۱۹۲۲ | ۵۳ | - | ۱۱۹۷۵ | ۳ | ۱۱۹۲۵ | ۱۱۹۷۸ | ۱۱۴۴۶ | ۴/۶ | ۴/۸ |
| | جمع | | ۶۷۵ | ۸۲ | ۳۷۴ | ۳۴۸۳۳ | ۳۲۴۹۷ | ۵۵۸۱ | ۷۲۹۱۱ | ۲۴۲ | ۳۵۰۷۵ | ۷۳۱۵۲ | ۷۰۲۸۰ | ۴/۱ | ۱/۹ |
| مشارکت قدرت عملی | بخاری | | | | | ۱۰۹۸۴ | ۳۷۷۸ | ۴۹۰ | ۱۵۲۵۲ | | ۱۰۹۸۴ | ۱۵۲۵۲ | ۱۵۳۱۵ | -۰/۴ | ۰/۰ |
| | گازی | | | | | ۵۵۰۹ | ۱۱۶۰۵ | ۴۱۰۷ | ۲۱۲۲۱ | ۱۴۷ | ۵۶۵۶ | ۲۱۲۶۸ | ۲۰۰۴۸ | ۶/۶ | -۵/۴ |
| | جرخه ترکیبی | | | | | ۳۳۸۹ | ۱۱۷۱۶ | | ۱۵۱۰۵ | | ۳۳۸۹ | ۱۵۱۰۵ | ۱۴۸۱۴ | ۲/۰ | ۱۴/۰ |
| | دیزلی | | | | | ۲۶۳ | | | ۲۶۳ | ۲۱ | ۲۸۴ | ۲۸۴ | ۲۸۴ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| | جمع حرارتی | مگاوات | | | | ۲۰۱۲۵ | ۲۷۰۹۹ | ۴۵۹۷ | ۵۱۸۴۱ | ۱۶۸ | ۲۰۳۱۳ | ۵۲۰۰۹ | ۵۰۴۶۱ | ۳/۱ | ۱/۳ |
| | برقابی | | | | | ۱۰۷۸۲ | | | ۱۰۷۸۲ | ۳ | ۱۰۷۸۵ | ۱۰۷۸۵ | ۱۰۲۶۵ | ۵/۱ | ۵/۳ |
| | آبی و تجدید پذیر | | | | | ۱۱۴۰ | ۵۳ | | ۱۱۹۳ | | ۱۱۴۰ | ۱۱۹۳ | ۱۱۸۱ | ۱/۰ | ۰/۰ |
| | جمع تجدید پذیر | | | | | ۱۱۹۲۲ | ۵۳ | - | ۱۱۹۷۵ | ۳ | ۱۱۹۲۵ | ۱۱۹۷۸ | ۱۱۴۴۶ | ۴/۶ | ۴/۸ |
| | جمع | | | | | ۳۲۰۶۷ | ۲۷۱۵۲ | ۴۵۹۷ | ۶۳۸۱۶ | ۱۷۱ | ۳۲۲۳۸ | ۶۳۹۸۷ | ۶۱۹۰۷ | ۳/۴ | ۱/۹ |
| حداکثر قدرت تولیدشده همزمان | | مگاوات | | | | ۲۳۱۸۰ | ۲۱۶۵۳ | ۷۲۴ | ۲۴۵۵۷ | ۱۳۹ | ۲۳۳۱۹ | ۲۴۶۹۶ | ۲۵۶۵۹ | ۲/۳ | ۵/۶ |

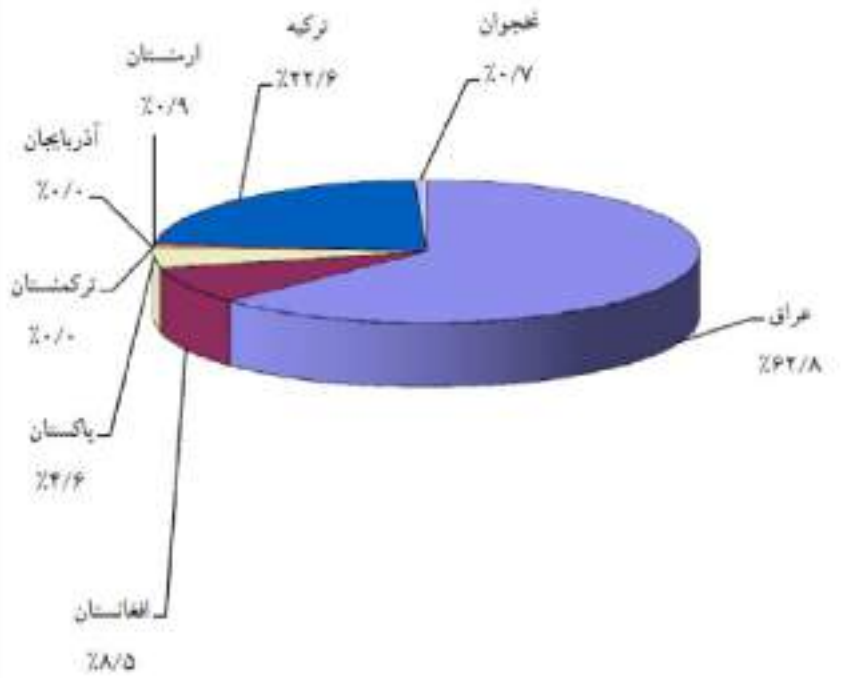
مقدار و سهم ظرفیت نامی انواع نیروگاه های بهره برداری شده در پایان سال ۱۳۹۳(مگاوات)



# خلاصه وضعیت بخش تولید صنعت برق در سال ۱۳۹۳

| شرح | | واحد | سال ۱۳۹۳ | | | | | | سال ۱۳۹۲ | سال ۱۳۹۱ | درصد رشد سال ۹۳ به ۹۲ | درصد رشد سال ۹۲ به ۹۱ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | شبکه سراسری | | | | جمع وزارت نیرو | جمع کل | | | | |
| | | | وزارت نیرو | بخش خصوصی | صنایع بزرگ | جمع شبکه | خارج از شبکه وزارت نیرو | | | | | |
| انرژی ارسالی شده مرزی | ارمنستان | میلیون کیلووات ساعت | ۸۵ | | | ۸۵ | | ۸۵ | ۸۵ | ۸۲ | ۷ | ۳/۷ | ۱۰۷۱/۴ |
| | آذربایجان | | | | | | | | | | | |
| | ترکیه | | ۲۱۷۹ | | | ۲۱۷۹ | | ۲۱۷۹ | ۲۱۷۹ | ۲۳۹۵ | ۱۹۱۲ | -۹/۰ | ۲۵/۳ |
| | نخجوان | | ۶۶ | | | ۶۶ | | ۶۶ | ۶۶ | ۶۵ | ۵۹ | ۱/۵ | ۱۰/۲ |
| | پاکستان | | ۴۴۶ | | | ۴۴۶ | | ۴۴۶ | ۴۴۶ | ۴۱۴ | ۳۶۹ | ۷/۷ | ۱۲/۲ |
| | افغانستان | | ۸۱۹ | | | ۸۱۹ | | ۸۱۹ | ۸۱۹ | ۷۹۶ | ۶۴۰ | ۲/۹ | ۲۴/۴ |
| | ترکمنستان | | ۱ | | | ۱ | | ۱ | ۱ | ۳ | ۸ | -۶۶/۷ | -۶۲/۵ |
| | عراق | | ۶۰۶۳ | | | ۶۰۶۳ | | ۶۰۶۳ | ۶۰۶۳ | ۷۸۳۱ | ۸۰۳۵ | -۲۲/۶ | -۲/۵ |
| | جمع | | ۹۶۶۰ | | | ۹۶۶۰ | | ۹۶۶۰ | ۹۶۶۰ | ۱۱۵۸۶ | ۱۱۰۳۰ | -۱۶/۶ | ۵/۰ |
| انرژی دریافت شده برق مرزی | ارمنستان | میلیون کیلووات ساعت | ۱۰۵۱ | | | ۱۰۵۱ | | ۱۰۵۱ | ۱۰۵۱ | ۱۱۰۳ | ۱۵۸۲ | -۴/۷ | -۳۰/۳ |
| | آذربایجان | | ۲ | | | ۲ | | ۲ | ۲ | ۶ | ۲ | -۶۶/۷ | ۲۰۰/۰ |
| | ترکیه | | | | | | | | | | | | |
| | نخجوان | | ۶۵ | | | ۶۵ | | ۶۵ | ۶۵ | ۶۵ | ۶۰ | ۰/۰ | ۸/۳ |
| | پاکستان | | | | | | | | | | | | |
| | افغانستان | | | | | | | | | | | | |
| | ترکمنستان | | ۲۶۵۳ | | | ۲۶۵۳ | | ۲۶۵۳ | ۲۶۵۳ | ۲۵۳۳ | ۲۲۵۳ | ۴/۷ | ۱۲/۴ |
| | عراق | | | | | | | | | | | | |
| | جمع | | ۳۷۷۲ | | | ۳۷۷۳ | | ۳۷۷۲ | ۳۷۷۳ | ۳۷۰۷ | ۳۸۹۷ | ۱/۸ | -۴/۹ |

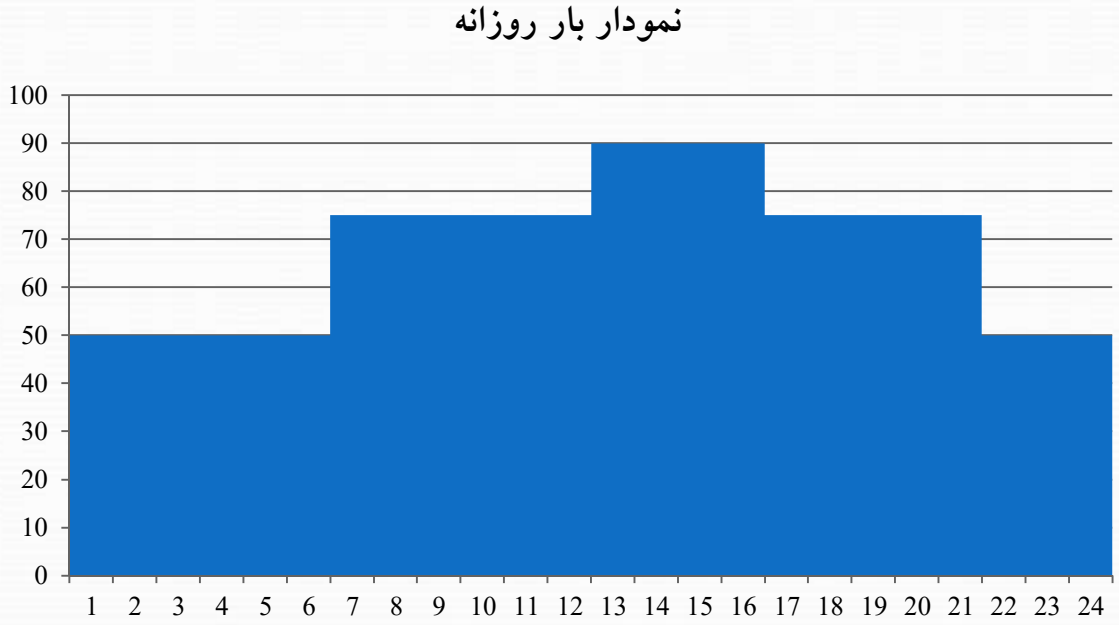
سهم کشورهای همجوار از ۹۶۶۰میلیون کیلوواتساعت صادرات برق
از کشور در سال ۱۳۹۳




سهم کشورهای همجوار از ۳۷۷۲ میلیون کیلوواتساعت واردات برق به
کشور در سال ۱۳۹۳

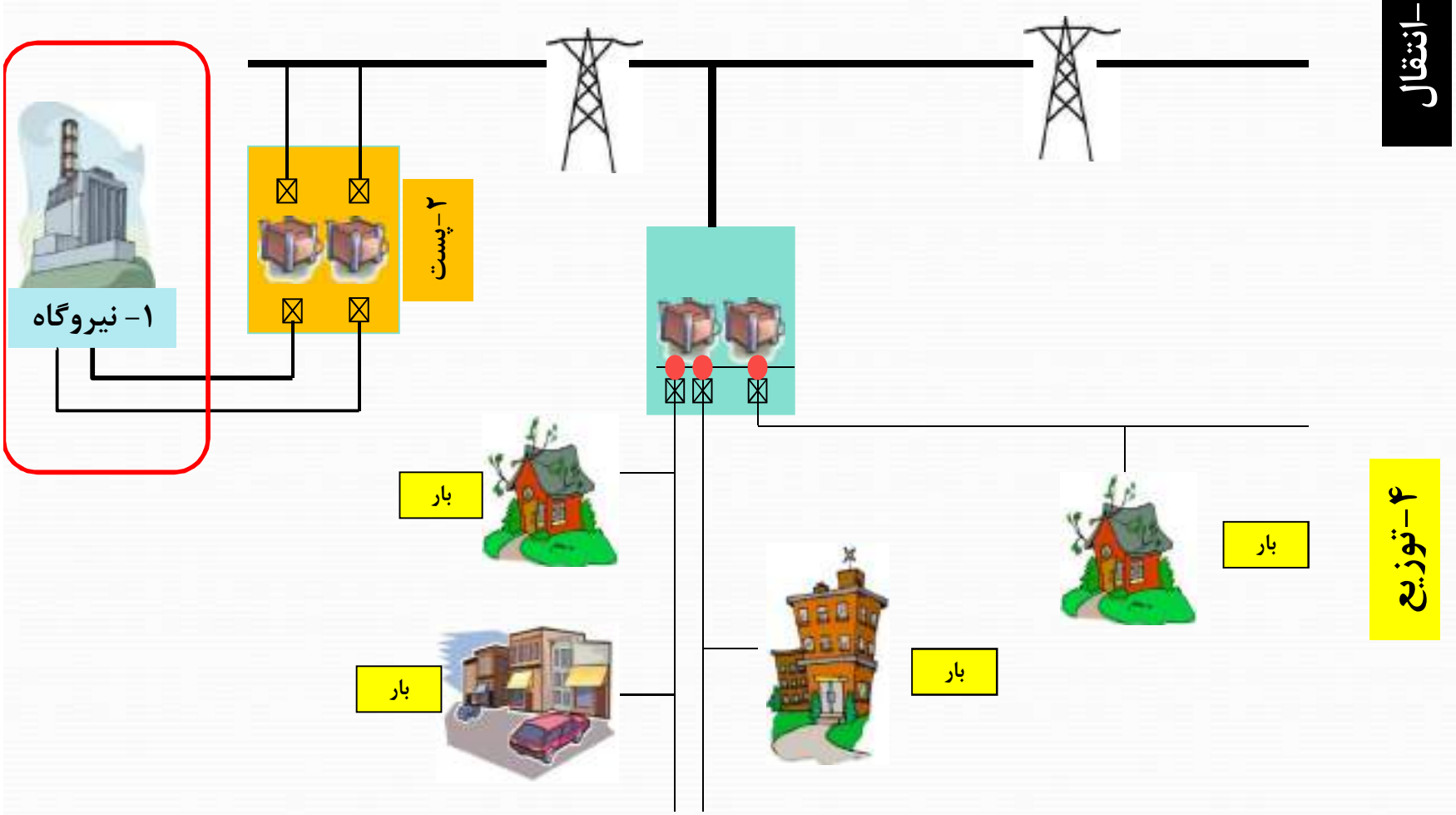
# سوالات

1. مفهوم سلف و خازن را در شبکه توضیح دهید.
2. منحنی بار روزانه چیست و چه کاربردی دارد ؟
3. منحنی تداوم بار چیست و بر اساس چه منحنی ترسیم می شود و چه کاربردی دارد ؟
4. بار پیک، بار میانی و پایه چیست ؟
5. نمودار تداوم بار شبکه روبرو را ترسیم نمایید و بار پایه، میانی و پیک آن را مشخص کنید



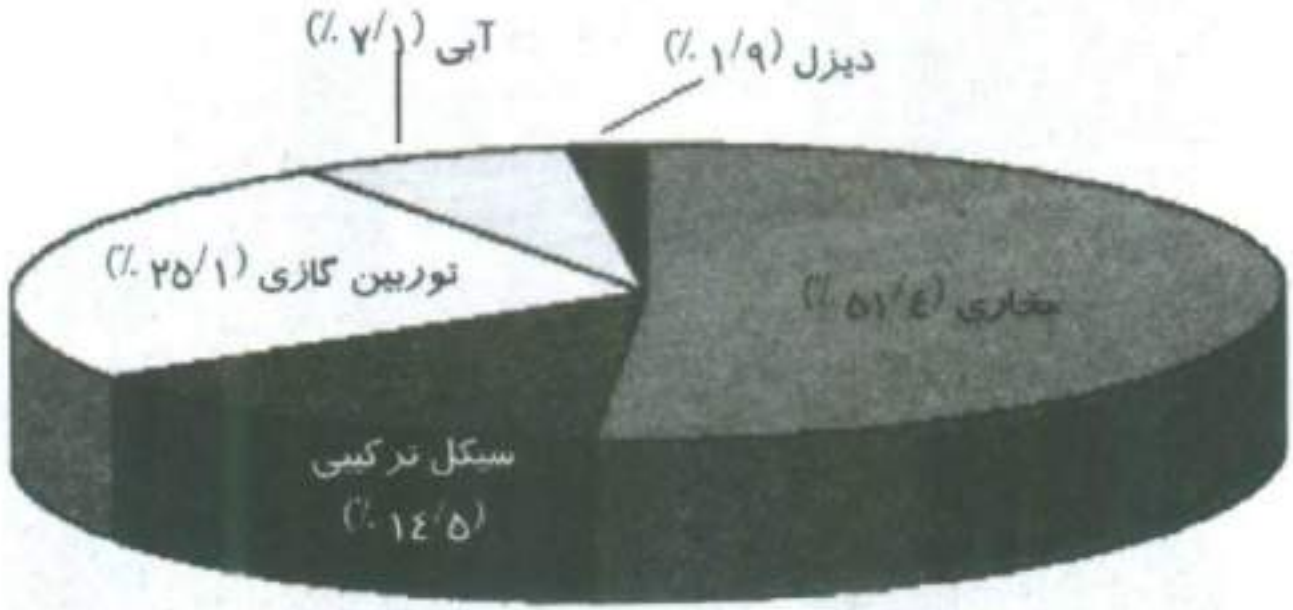
# نیروگاه

# شبکه برق



# نیروگاههای حرارتی

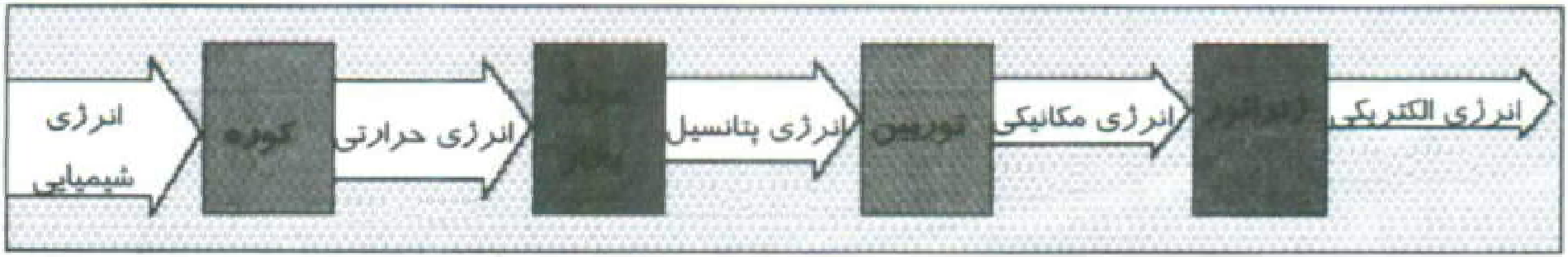
نیروگاههای حرارتی به نیروگاههایی اطلاق می گردند، که در حین پروسه تبدیل انرژی اولیه به انرژی الکتریکی در آنها، انرژی حرارتی نقش یک انرژی واسط را ایفا نماید. این نیروگاهها دارای انواع مختلفی نظیر نیروگاههای بخار، نیروگاههای توربین گازی، نیروگاههای سیکل ترکیبی، نیروگاههای شکافت هسته ای، نیروگاههای گداخت 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.



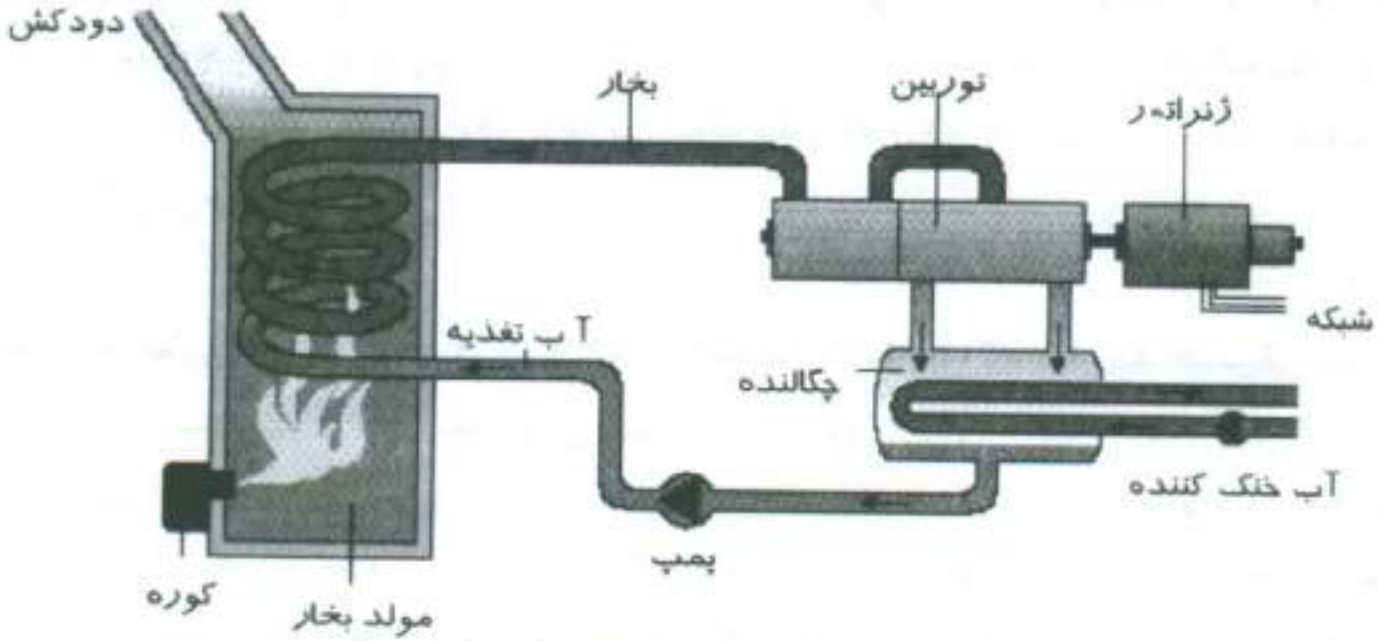

شکل (۲-۱): مجموع ظرفیت نیروگاهی نصب شده در سال ۱۳۸۰ به تفکیک نوع نیروگاه

# نیروگاه بخار

# مراحل تبدیل انرژی شیمیایی سوخت به انرژی الکتریکی

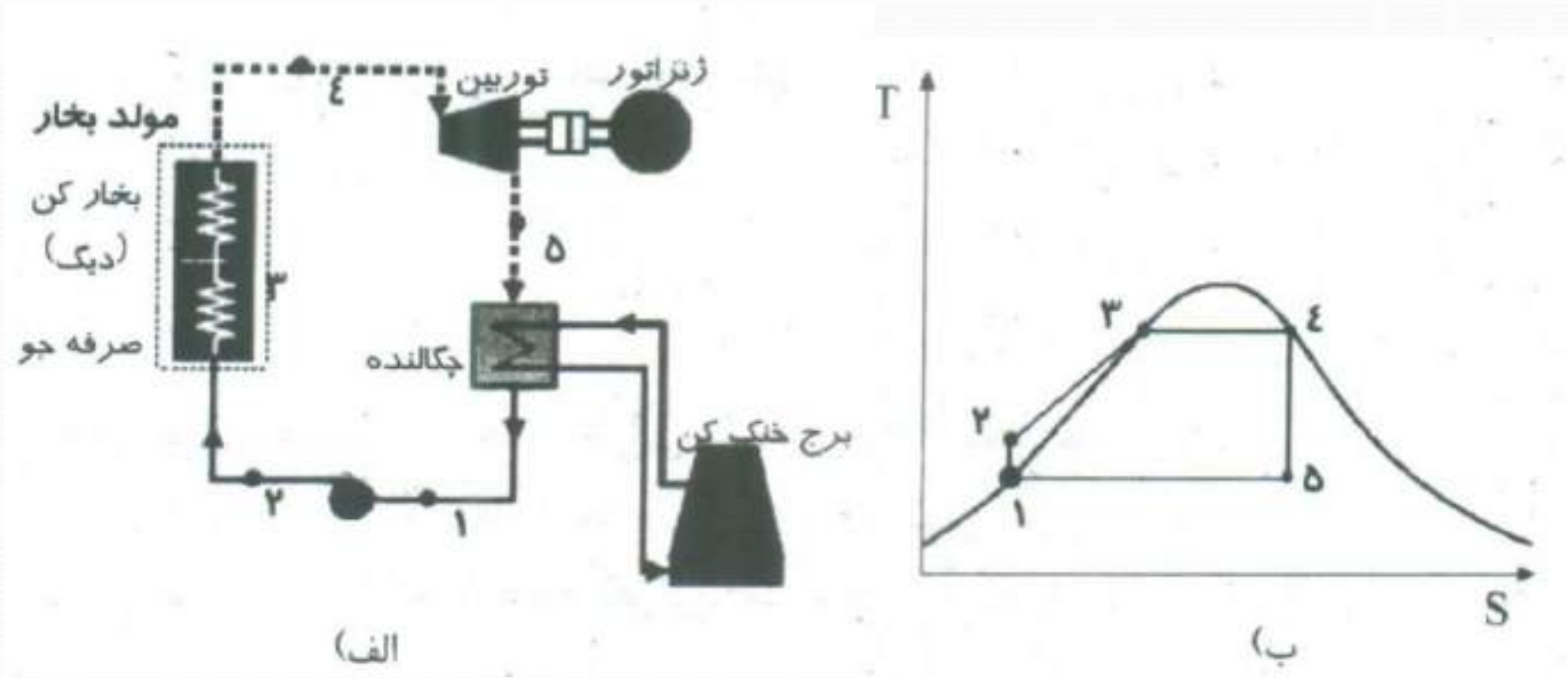


# ساختار شماتیک یک نیروگاه بخار




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

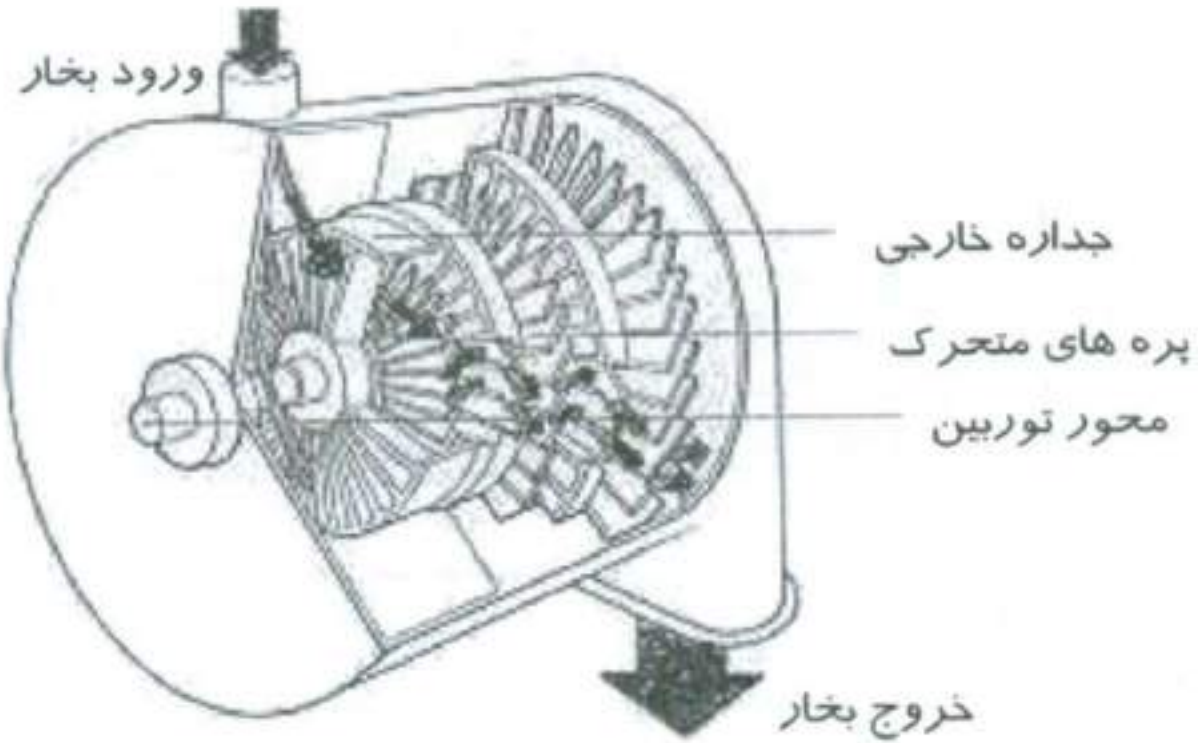
# ساختار شماتیک یک نیروگاه بخار



# نحوه کار یک نیروگاه بخار

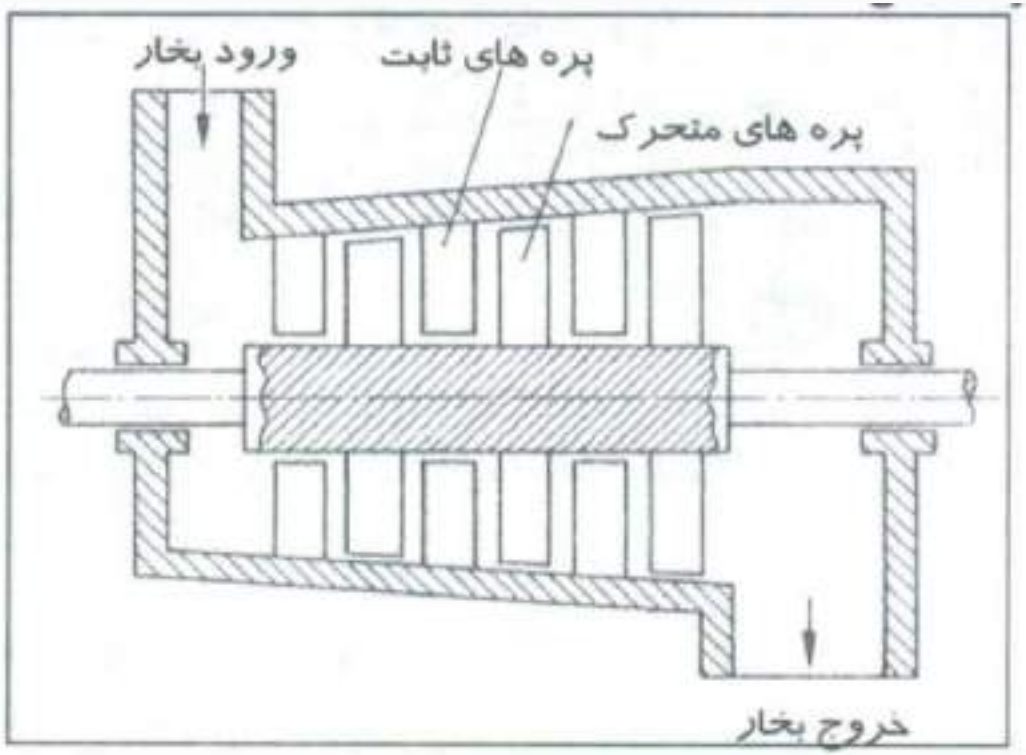
در این نیروگاهها، آب پس از پمپ شدن و افزایش فشار وارد مولد بخار می گردد و در آن با دریافت انرژی حرارتی ناشی از احتراق سوخت تبدیل به بخار می گردد. بخار با عبور از توربین، انرژی خود را به آن انتقال می دهد و موجب چرخش محور توربین می گردد. روتور ژنراتور به محور توربین متصل می باشد، لذا با چرخش محور توربین، 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

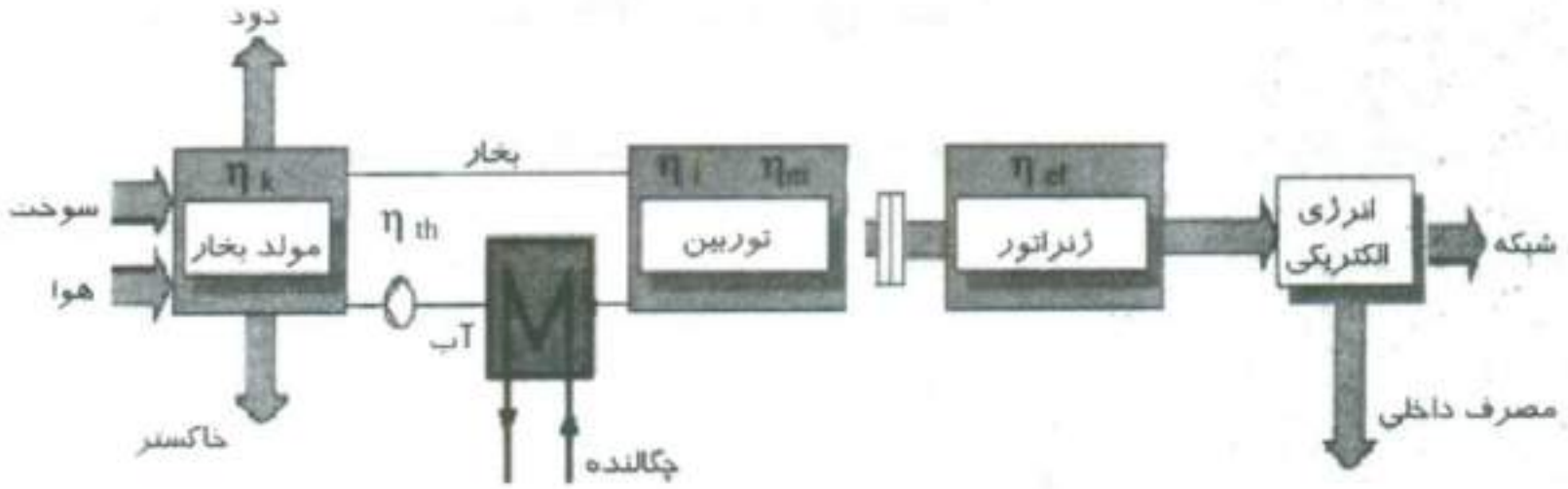
**شرایط بهره برداری:** تجهیزات یک نیروگاه بخار نظیر مولد بخار و یا توربین، تغییرات حرارتی کمی را می توانند تحمل کنند، لذا جهت جلوگیری از کاهش عمر این تجهیزات تا حد امکان می بایست نیروگاه بطور ثابت و با حداقل تعداد دفعات خاموش و روشن شدن مورد بهره برداری قرار گیرد. هزینه تولید برق در نیروگاههای بخار، 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

**بازدهی:** 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

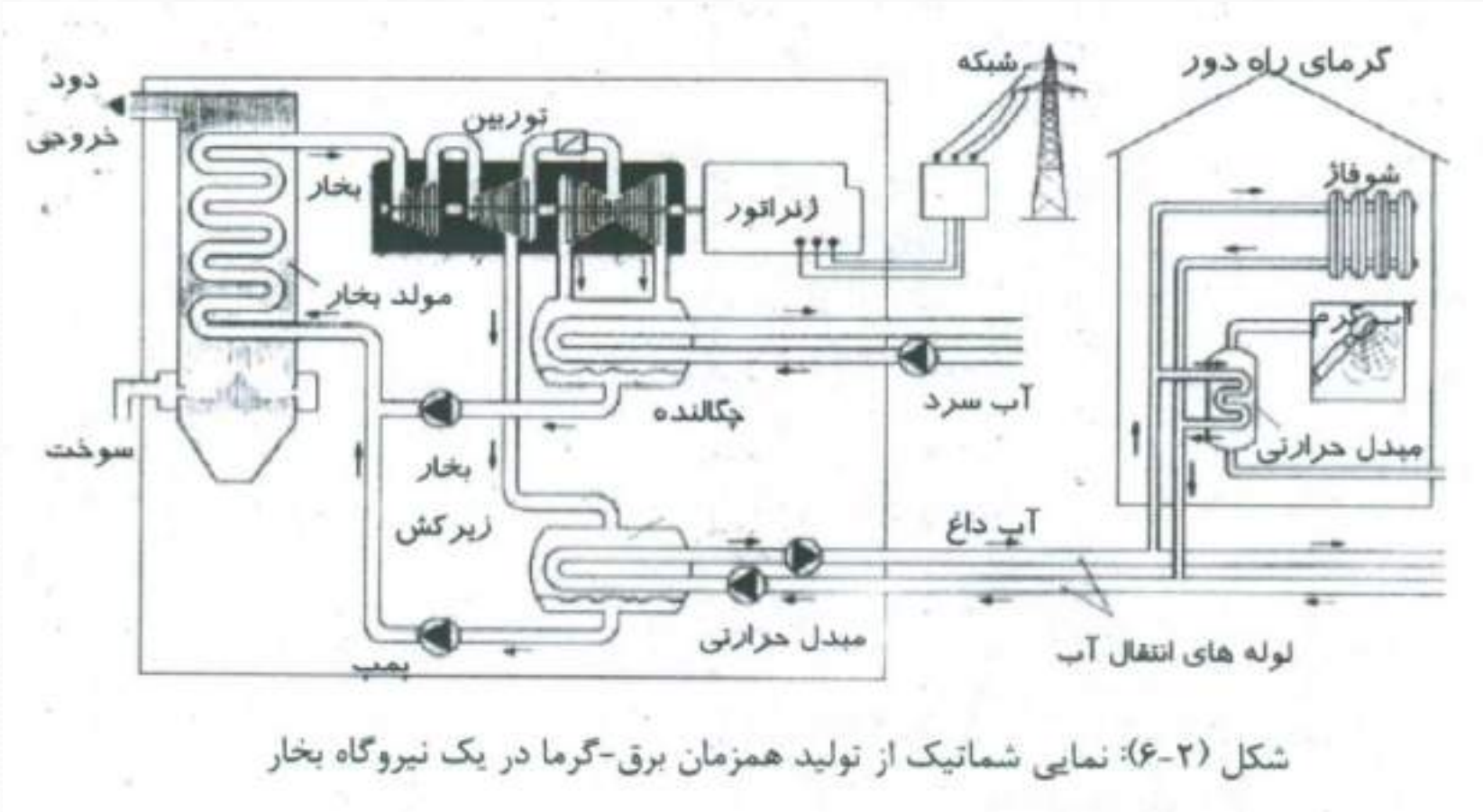
# بازدهی نیروگاه بخار

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): $\eta_k$= ۰/۷۵ ... ۰/۹۳
- بازدهی گرمایی چرخه: $\eta_{th}$= ۰/۳۰ ... ۰/۵۰
- تلفات اصطکاک بخار (لوله ها، دریچه ها، توربین): $\mu_i$ =۰/۹۰ ... ۰/۹۵
- تلفات مکانیکی (توربین و ژنراتور): $\eta_m$= ۰/۸۵ ... ۰/۸۸
- تلفات الکتریکی در ژنراتور : $\eta_{el}$= ۰/۹۲ ... ۰/۹۸
- مصرف داخلی[1] بدون تجهیزات زیست محیطی $\varepsilon$ : (۱- $\varepsilon$) = ۰/۹۲ ... ۰/۹۵
- مصرف داخلی با تجهیزات زیست محیطی $\varepsilon$ : (۱- $\varepsilon$ )= 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

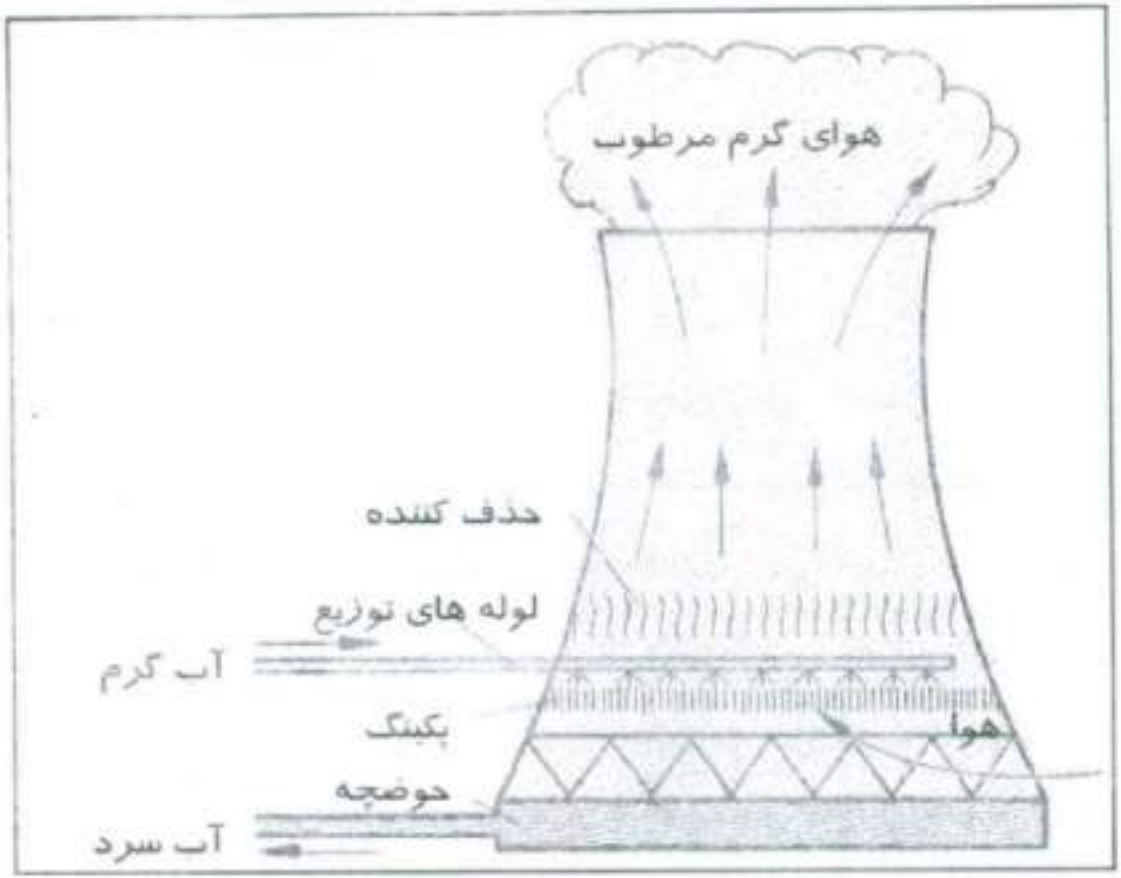
# برج خنک کننده

**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

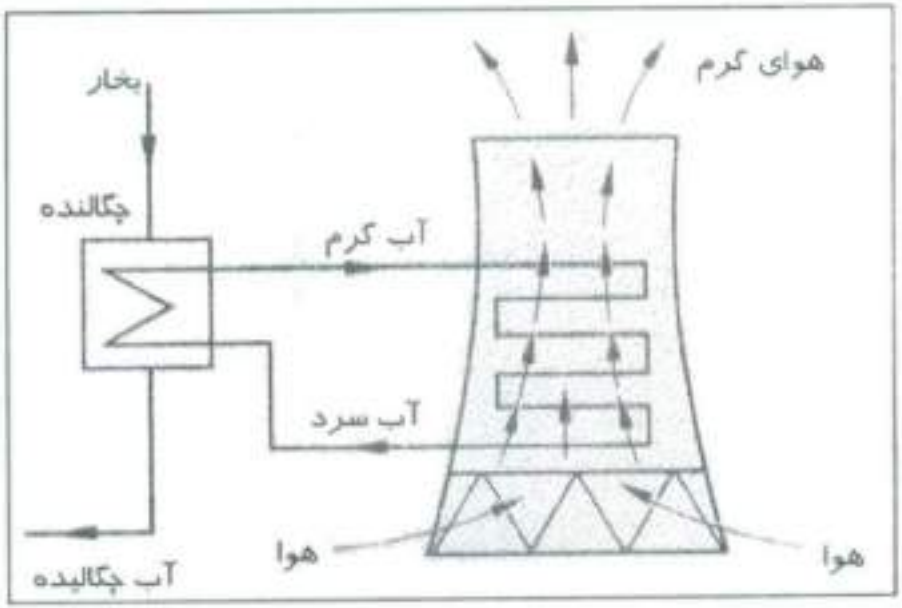
# برج خنک کننده تر




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.

## مثالی از تخریب برج خنک کننده تر

- نیروگاه همدان و قزوین (شهید رجایی) کاملا مشابه یکدیگر است برج خنک کننده نیروگاه همدان تر و برج خنک کننده نیروگاه قزوین خشک است.
- در اثر برداشت آب از چاههای نیروگاه همدان، زمین نشست کرد و برای نجات نیروگاه از تخریب شدید پساب اطراف را از طریق چاه به زیر نیروگاه تزریق نمودند.
- به عبارتی وجود یک نیروگاه با سیکل تر می تواند به خشک شدن چاههای اطراف نیروگاه منجر شود !!!

# حذف برج خنک کن

- در بعضی از شرایط می توان برج خنک کـن را حـدف کـرد. زمـانی کـه بتـوان حرارت چگالنده را به مصرف رساند (به طور عمده در کشورهای سردسیر بـرای تامین گرمایش ساختمانها یا آب کردن یخ جاده ها و ... ) یـا حـرارت را بـه آب دریا داد.
- در نیروگاه نکا (مکان آن نزدیک شهر ساری در کنـار دریـای خـزر ) و نیروگـاه هسته ای بوشهر (مکان آن در نزدیکی شهر بوشهر و کنار خلیج فارس) حـرارت چگالنده به آب دریا منتقل می شود برای حفظ محیط زیست سیستم بـه گونـه ای طراحی شده است که دمای آب منتقـل شـده بـه دریـا کمتـر از ۳۵ درجـه باشد.

# سوالات

1. کوره، مولد بخار، توربین و ژنراتور چه وظیفه ای در نیروگاه بخار دارند ؟
2. چگالنده و برج خنک کن چه نقشی در چرخه نیروگاه بخار دارند ؟
3. شماتیک نیروگاه بخار را ترسیم کنید و نحوه کار نیروگاه بخار را شرح دهید.
4. نیروگاه بخار برای تامین کدام بار مناسب است (بار پیک، بار میانی، بار پایه ) علت آن چیست ؟
5. راندمان نیروگاه بخار در چه بازه ای قرار دارد ؟
6. برج خنک کن چه نقشی را دارد و نوع تر و خشک آن به چه نحو کار می کند ؟
7. مزایای برج خنک کن خشک چیست ؟
8. برج خنک کننده تر چه عواقبی برای منطقه می تواند داشته باشد ؟
9. آیا سیستم خنک کن در همه نیروگاه به صورت برج است ؟

# نیروگاه گازی

# 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

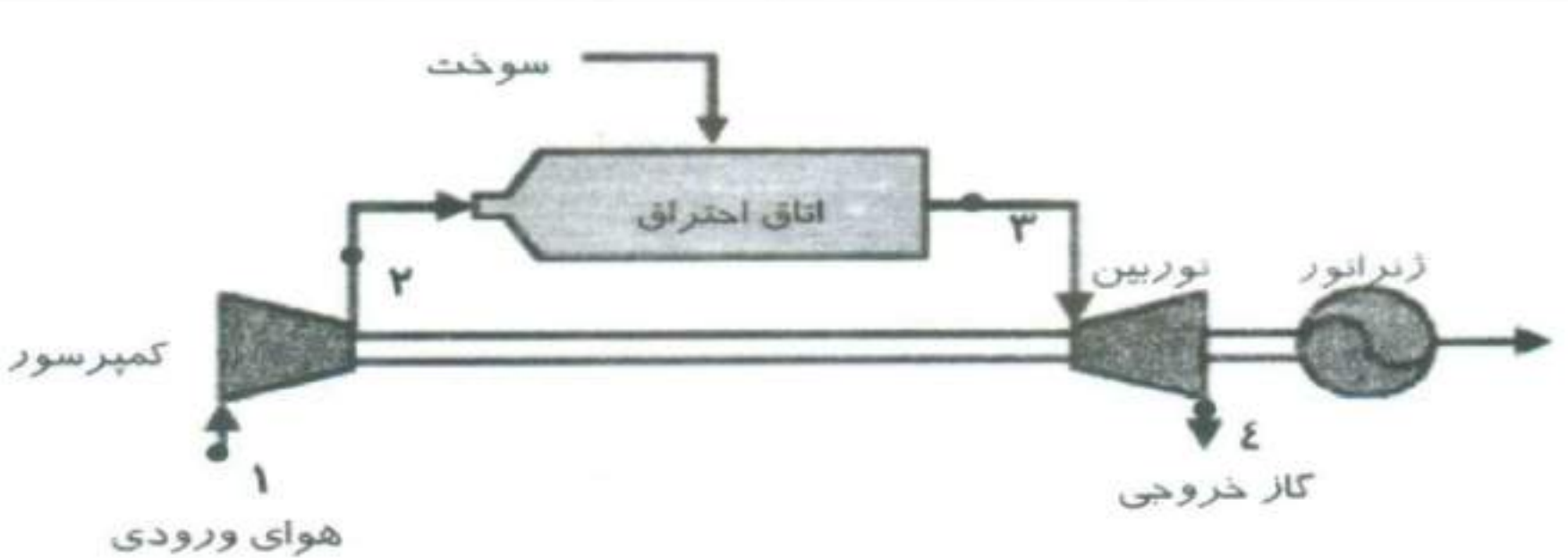
## ۲-۳-۲-۱ نیروگاه توربین گازی مدار باز

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.

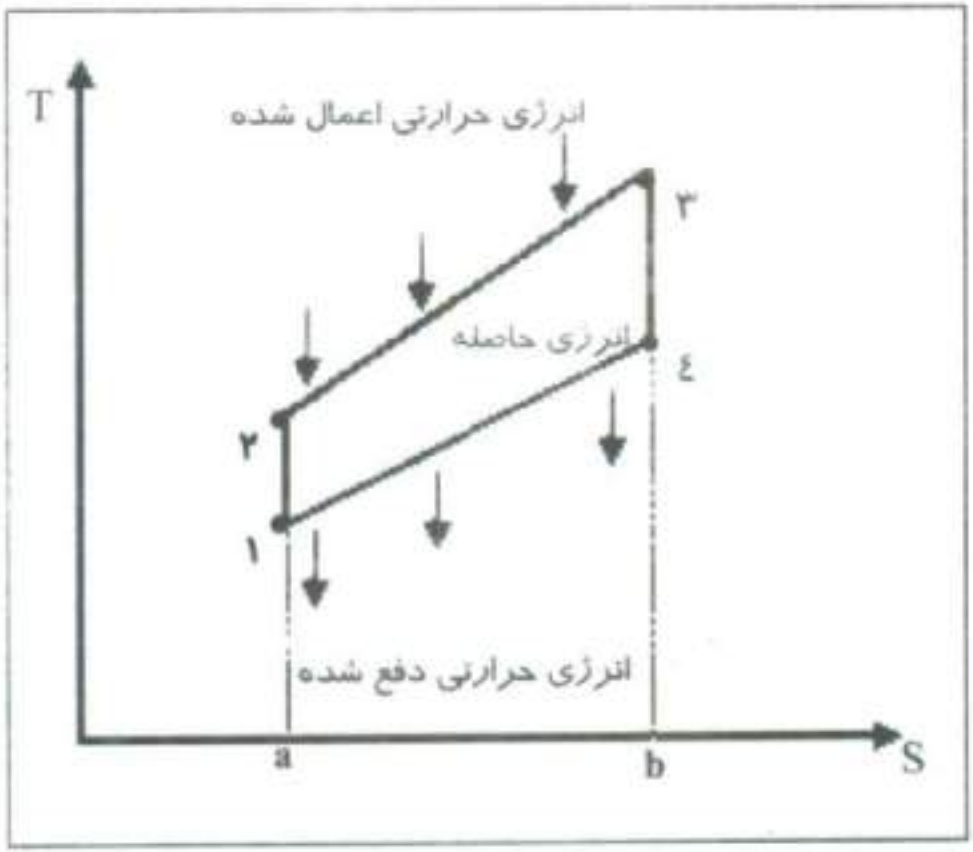
- مکش هوا و متراکم کردن آن در کمپرسور
- احتراق با سوخت مایع و یا گاز در اتاق احتراق
- انبساط هوای سوخته در توربین

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 ابده ال (T-S) مربوط به تحویلات انرژی در پروسه کاری آن نشان داده شده است.

# شمای کلی نیروگاه گازی

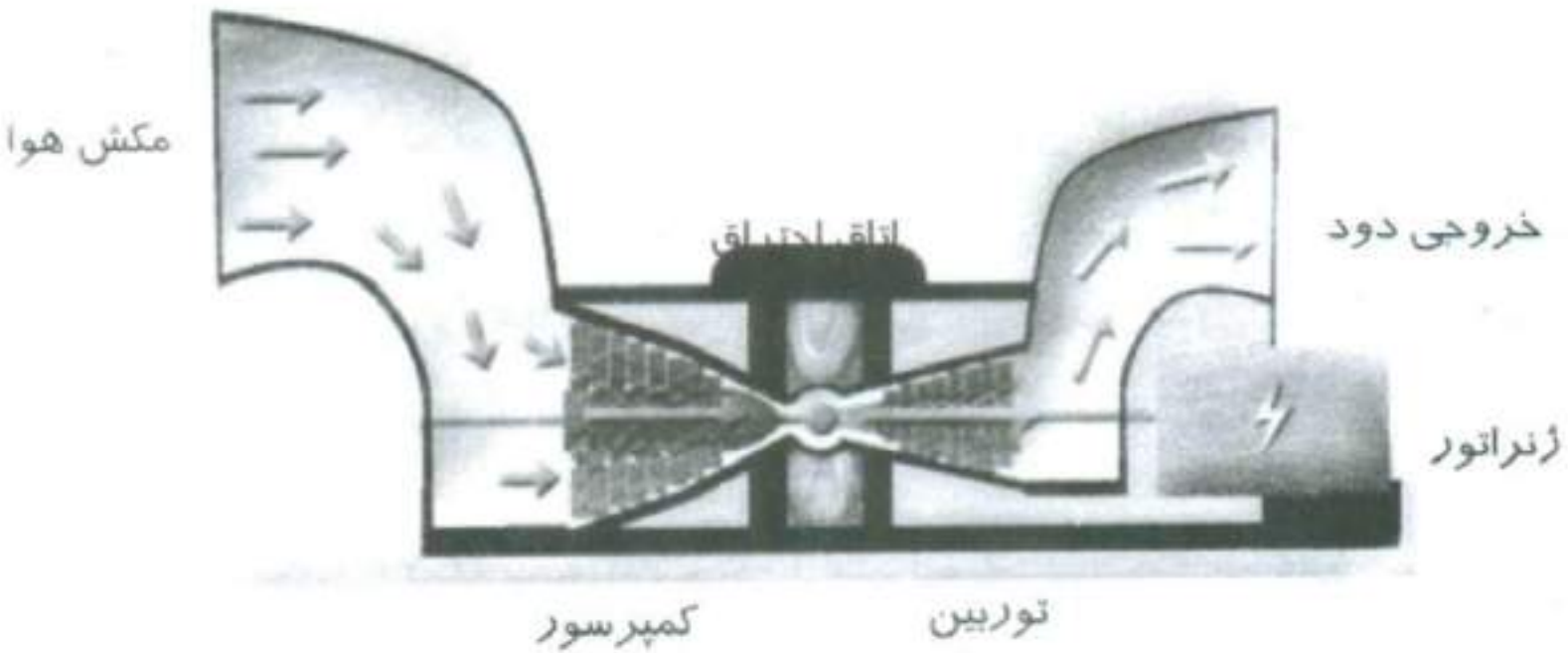


# نمودار دما- انرژی




شکل (۲-۴۷): نیروگاه توربین گازی مدار باز ساده

# شمای کلی نیروگاه گازی




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

# سوالات

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

# نیروگاه سیکل ترکیبی

# مشخصات کلی نیروگاه سیکل ترکیبی

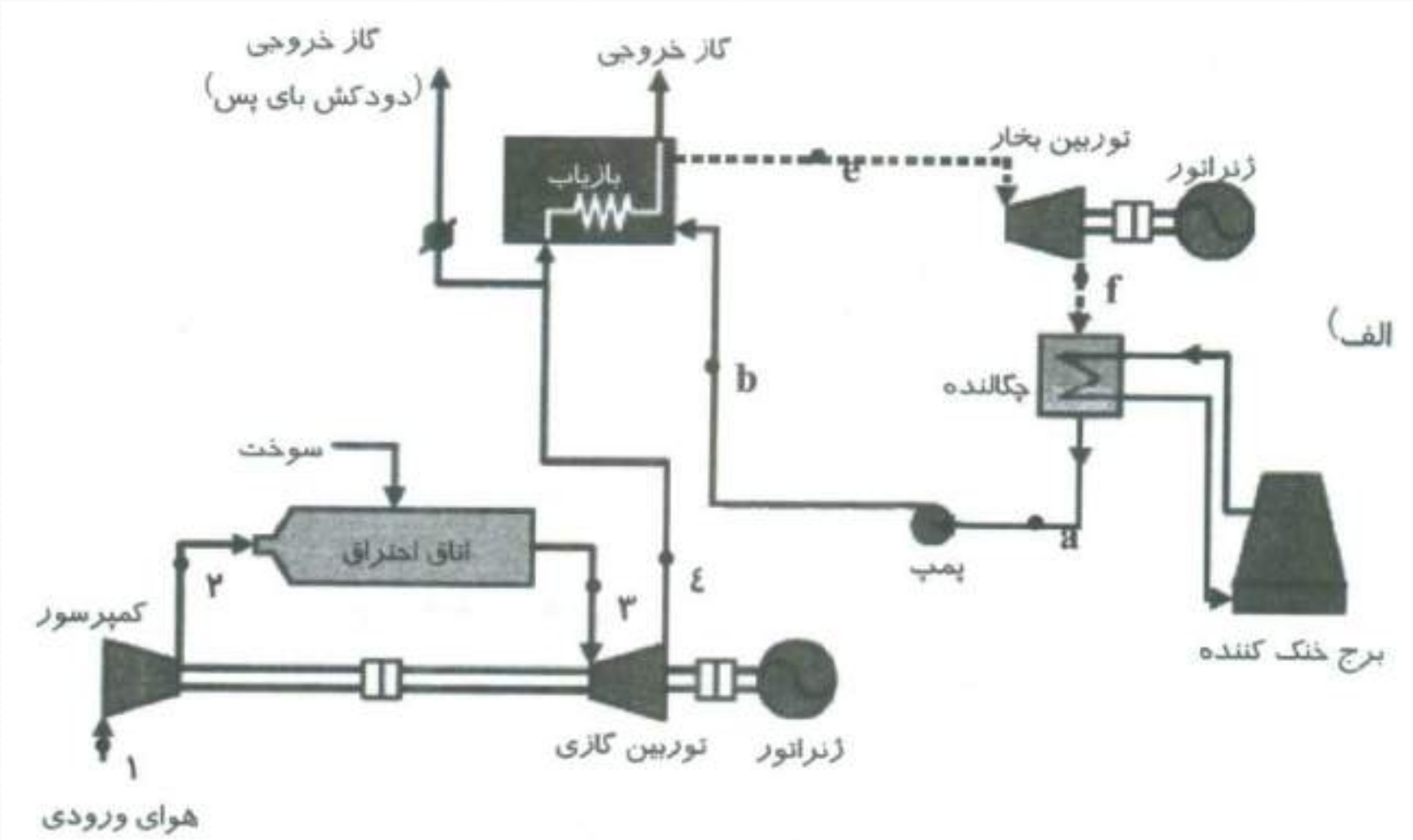
**۲-۴ نیروگاههای سیکل ترکیبی**

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 بسیار بالا می باشد. براساس آمار سال ۱۳۸۰ بیش از ۱۵ درصد از ظرفیت کل نصب شده زیر نظر وزارت نیرو در کشور، بدون احتساب ظرفیت نیروگاههایی که تنها قسمت گازی آنها فعال بوده است، مربوط به نیروگاههای سیکل ترکیبی می باشد. در جدول (۲-۵) مشخصات برخی از نیروگاههای سیکل ترکیبی کشور ذکر شده اند

# 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 بیش 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

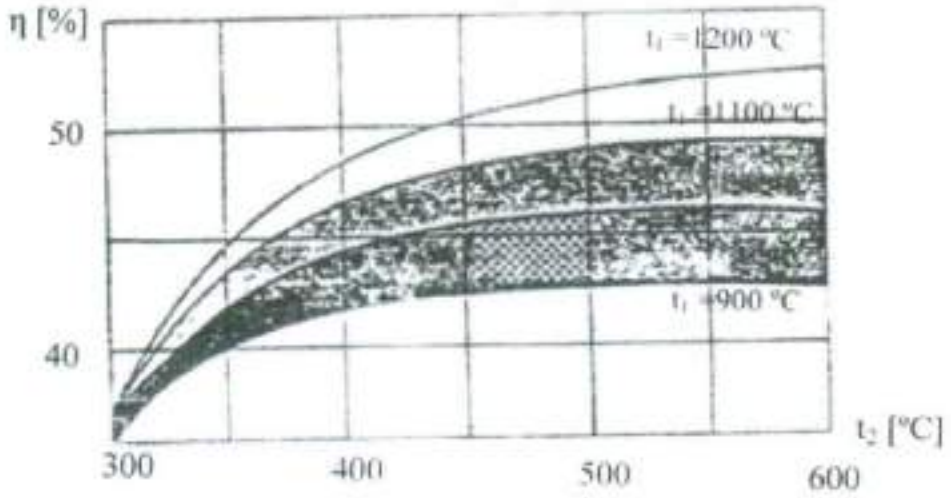
**۲-۴-۲ بازدهی نیروگاههای سیکل ترکیبی**

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 $\eta_{c1}$ و $\eta_{c2}$ نشان دهیم، آنگاه بازدهی کل سیستم $\eta_{co}$ 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)

$$\eta_{CO} = \eta_{e2} + \eta_{e1} - (\eta_{e1} \bullet \eta_{e2}) \qquad (۸-۲)$$

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 ($\eta$) در ارتباط با درجه حرارت گاز ورودی ($t_1$) و خروجی ($t_2$) از توربین گازی

# سوالات

1. نیروگاه سیکل ترکیبی چیست و از چه قسمتهایی تشکیل شده است ؟
2. شماتیک نیروگاه سیکل ترکیبی را ترسیم کنید و نحوه کار آن را شرح دهید.
3. آیا می توان در نیروگاه سیکل ترکیبی بدون روشن بودن نیروگاه گازی، از نیروگاه بخار استفاده نمود ؟
4. راندمان نیروگاه سیکل ترکیبی چه میزان است ؟
5. 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 ؟