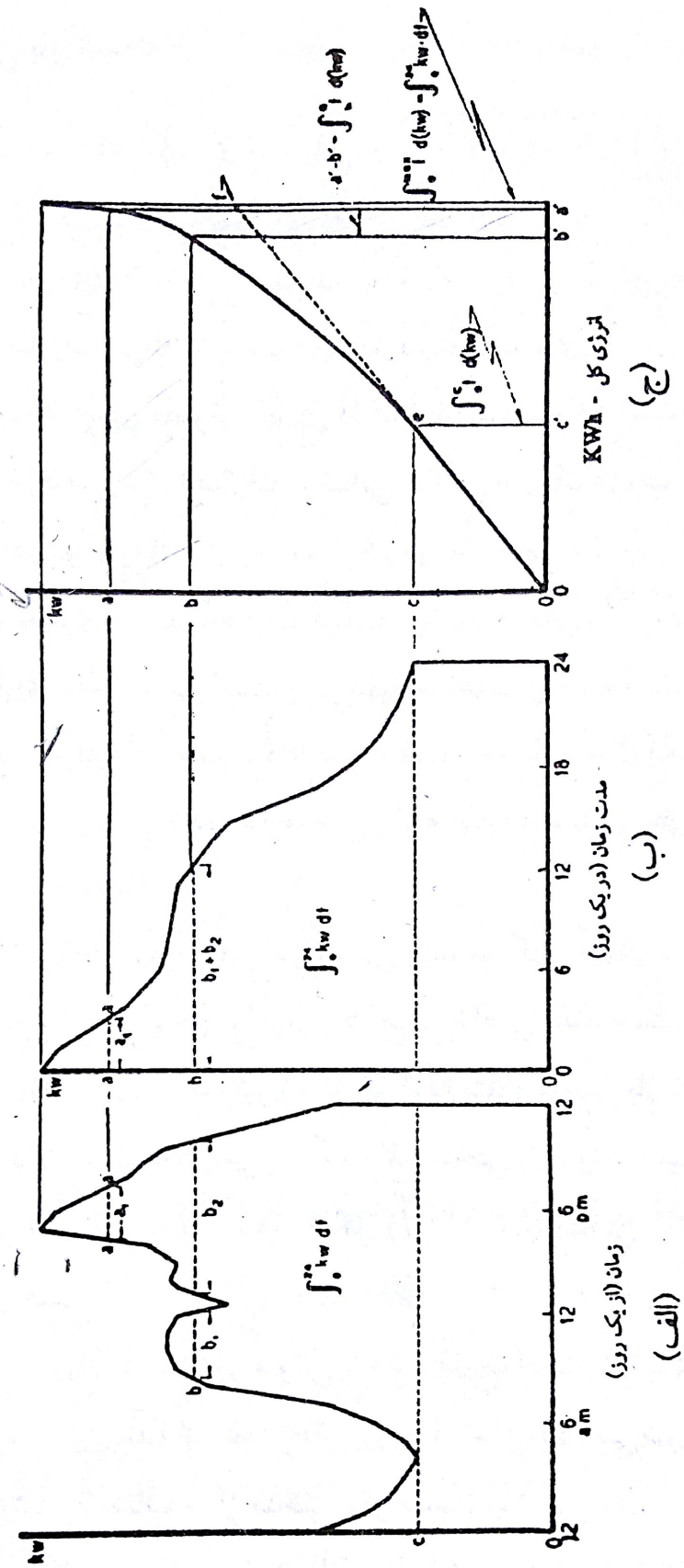
۲-۳- منحنی بار شبکه

هر شبکه قدرت دارای بارهای مختلفی از قبیل بارهای روشنایی، صنعتی، خانگی، شهری، کشاورزی و ... می‌باشد. نحوهٔ تغییرات تقاضای بار برای یک دوره ۲۴ ساعته (در یک روز) به منحنی زمانی بار روزانه معروف است. این منحنی برای بارهای مختلف متفاوت می‌باشد. به‌عنوان مثال، بارهای تجاری در بین ساعت‌های ۸ صبح تا ۱۰ شب تقاضای مصرف زیادی دارند و از ساعت ۱۰ شب تا ۸ صبح تقاضا به حداقل خود می‌رسد. مصارف روشنایی خانگی از زمان غروب تا نیمه شب دارای حداکثر، و در دیگر زمان‌های روز بسیار کم می‌باشد. اما روشنایی معابر عکس روشنایی بارهای تجاری است. به‌عبارت دیگر، روشنایی معابر از غروب تا ابتدای صبح روز بعد دارای مقدار ثابتی است و در بقیه ساعات روز به صفر می‌رسد. همچنین تقاضای بار برای اکثر مصرف‌کننده‌ها در فصول مختلف سال مانند زمستان، تابستان، بهار و پاییز تغییر می‌کند. البته منحنی بار مصارف صنعتی در فصل‌های مختلف تقریباً یکسان است.

منحنی بار هر شبکه‌ای می‌تواند به‌صورت روزانه، هفتگی، ماهانه و یا سالیانه به‌دست آید. هر نوع از این منحنی‌ها برای مطالعات خاصی مفید هستند. به‌عنوان مثال، منحنی بار روزانه برای تصمیم‌گیری‌های کوتاه مدت، و منحنی بار سالیانه برای تصمیم‌گیری‌های دراز مدت به‌کار می‌رود. در واقع منحنی بار روزانه، میزان فعالیت شبکه را به‌صورت ساعتی نشان می‌دهد. شکل (۲-۱-الف) منحنی بار روزانه یک شبکه را نشان می‌دهد.

نظر به این‌که بار روزانه در دو روز متوالی با هم متفاوت است، لذا برای پیش‌بینی کوتاه مدت، مصرف روز بعد، از منحنی بار روز قبل استفاده نمی‌شود؛ بلکه با استفاده از میزان رشد بار سالیانه، از منحنی بار همین روز در سال قبل استفاده می‌شود. در نتیجه با داشتن منحنی بار روزانهٔ سال قبل می‌توان تغییرات بار را تا حدودی برای سال جدید پیش‌بینی نمود. با این پیش‌بینی‌ها مقدار تولید اضافی



شکل (۲-۱): منحنی بار الف) منحنی زمانی بار؛ ب) منحنی مرتب شده بار؛ ج) منحنی بار-انرژی

شبکه مشخص می‌شود و می‌توان برنامه‌ریزی تولید برای نیروگاه‌ها و مقدار ذخیره چرخان شبکه را تعیین نمود.

استفاده دیگری که از منحنی بار صورت می‌گیرد، میزان انرژی مصرفی شبکه (مقدار کیلو وات ساعت شبکه) در دورهٔ تناوب مورد نظر (روزانه، هفتگی، ...) می‌باشد که این میزان انرژی مصرفی برابر سطح زیر منحنی بار شبکه است. استفاده دیگر از این منحنی در ادامه بیان خواهد شد.

۲-۴- منحنی مرتب شده بار و منحنی انرژی مصرفی

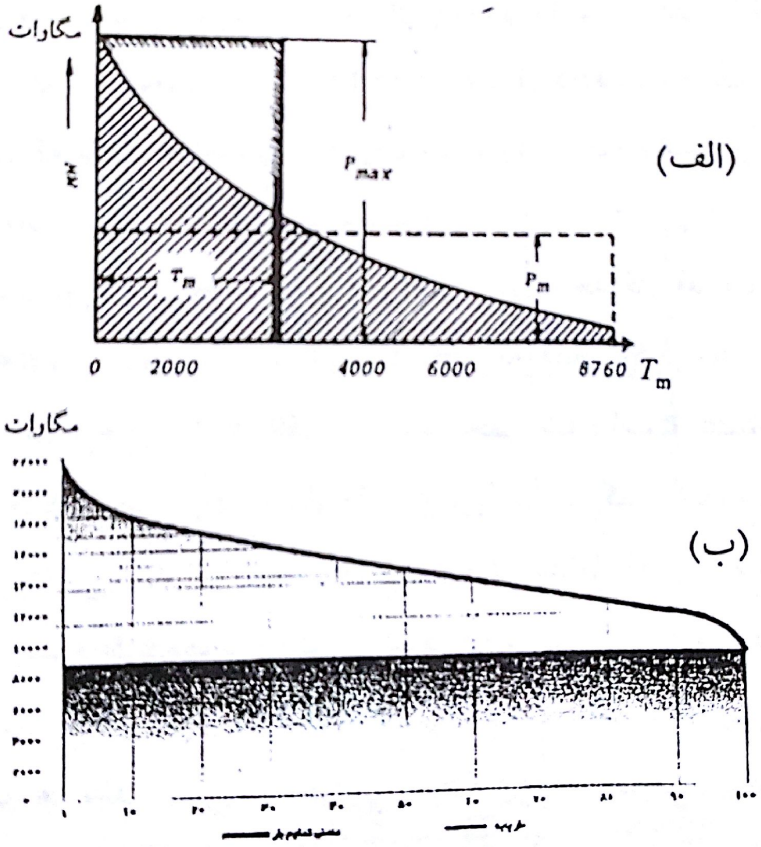
در صورتی‌که منحنی بار در زمان خودش رسم شود، منحنی بار روزانه مطابق با شکل (۲-۱-الف) به‌دست می‌آید. امّا اگر بارهای مختلف را بر حسب مدت زمان بارگیری آن بار مرتب کنیم و سپس تغییرات آن را رسم نماییم، منحنی مرتب شده بار به‌دست می‌آید که این منحنی در شکل (۲-۱-ب) نشان داده شده است. این منحنی بیانگر آن است که مقدار مشخصی از قدرت تولیدی در چه مدت از زمان دوره تناوب توسط مصرف‌کننده‌ها جذب می‌شود.

نحوهٔ به‌دست آوردن این منحنی بدین‌صورت است که حداکثر قدرت دریافتی در یک لحظه (t=۰) دریافت می‌شود و قدرت دریافتی به‌مقدار a کیلو وات در زمان a_1 می‌باشد که در شکل‌های (۲-۱-الف و ب) مشخص شده است. همچنین مدت زمانی که مصرف‌کننده‌ها قدرت b کیلو وات را دریافت می‌کنند، به‌مقدار مجموع زمان‌های b_1 و b_2 می‌باشد. در نتیجه واضح است که حداقل قدرت مصرفی در ۲۴ ساعت توسط مصرف‌کننده‌ها دریافت می‌شود. در شکل (۲-۱-ج) منحنی انرژی مصرفی بر حسب مقدار بار مصرف‌کنندگان رسم شده است. از این منحنی در می‌یابیم که برای هر مقدار کیلووات مصرفی، مقدار انرژی مصرفی شبکه (بر حسب کیلو وات ساعت) چقدر خواهد بود. در نتیجه برای قدرت حداکثر شبکه، مقدار کل انرژی شبکه برابر مقدار a' kWh است و آن مقدار انرژی راکه بین قدرت‌های a تا b کیلو وات مصرف می‌شود، می‌توان از مقدار تفاضل a' kWh و b' kWh و

($a' - b'$ kWh) به‌دست آورد. همان‌گونه که از شکل (۲-۱-ب) مشخص است، منحنی مرتب شده بار روزانه دارای تغییرات غیریکنواختی است که اگر این منحنی برای بار سالیانه مرتب شود، تغییرات آن یکنواخت‌تر خواهد شد که این موضوع در شکل (۲-۲-الف) نشان داده شده است. همچنین در شکل (۲-۲-ب)، منحنی مرتب شده بار شبکه سراسری ایران در سال ۱۳۸۰ ارائه شده است.

منحنی بار، اطلاعات بسیار زیادی را به‌منظور مطالعه تولید و مصرف شبکه به‌دست می‌دهد که در زیر، به موارد اساسی آن اشاره می‌شود.

الف) بار حداقل (بار پایه) شبکه: باری است که تقریباً در تمام مدت دوره مورد نظر (روزانه، هفتگی، ...) توسط مصرف‌کنندگان شبکه دریافت می‌گردد. این بار را با P_{min} نشان می‌دهند. این مقدار در شکل (۲-۲-ب) نزدیک به ۹۰۰۰MW می‌باشد.



شکل (۲-۲): منحنی مرتب شده بار برای یک سال الف) منحنی مرتب شده نمونه؛ ب) منحنی مرتب شده شبکه سراسری ایران در سال ۱۳۸۰

ب) بار حداکثر شبکه: حداکثر باری است که در مدت دوره تناوب مورد نظر توسط مصرف‌کنندگان شبکه دریافت می‌شود. این بار با P_{max} مشخص می‌شود. در شکل (۲-۲-ب)، حداکثر بار شبکه سراسری ایران در سال ۱۳۸۰، برابر ۲۱۸۵۳MW و در سال ۱۳۸۱ به مقدار ۲۳۴۹۴MW می‌باشد.

ج) بار متوسط شبکه: مقدار باری است که اگر در کل دوره تناوب مورد نظر به‌طور یکسان توسط مصرف‌کنندگان دریافت شود، انرژی دریافتی آن معادل انرژی منحنی بار مرتب شده باشد. این بار با P_m بیان می‌شود. این مقدار در شکل (۲-۲-ب) و در سال ۱۳۸۰ به‌مقدار ۱۴۱۸۲/۶MW می‌باشد که در سال ۱۳۸۱ به مقدار ۱۵۴۳۵/۶MW رسیده است.

د) ضریب بار شبکه: میزان تغییرات باریک شبکه در یک دوره تناوب مورد نظر به‌وسیله ضریب بار مشخص می‌شود که به‌صورت زیر تعیین می‌گردد:

$$m = \frac{P_m}{P_{max}} \qquad (۷-۲)$$

مقدار m، بیانگر میزان استفاده مناسب از نیروگاه‌ها می‌باشد. به‌عنوان مثال، یک نیروگاه با mکوچک به این معنی است که اگر چه تولید حداکثر نیروگاه به‌مقدار P_{max} است، ولی تولید مداوم این نیروگاه به‌مقدار P_mکوچک می‌باشد. در نتیجه استفاده بهینه‌ای از مقدار سرمایه‌گذاری شده در ساخت نیروگاه صورت نگرفته است. از طرف دیگر با توجه به این‌که قیمت هر کیلو وات ساعت (kWh) انرژی تولیدی علاوه بر ارزش سوخت مصرفی، بستگی به گرانی و ارزش نیروگاه دارد، لذا هزینه تولید انرژی برای هر کیلو وات ساعت (kWh) در نیروگاه‌های با شبکه m کوچکتر، نسبت به نیروگاه‌های با شبکه m بزرگتر بیشتر خواهد بود.

روش دیگر بیان ضریب بار آن است که شبکه‌هایی که دارای منحنی بار صاف‌تری هستند (تغییرات در زمان‌های مختلف کمتر باشد)، ضریب بار آنها نزدیک به یک است و هر چه تغییرات بار شبکه در دوره تناوب مورد نظر بیشتر باشد، ضریب بار (m) کاهش می‌یابد. در این حالت، بار متوسط با بار حداکثر شبکه تفاوت زیادی دارد. به‌عبارت دیگر، هر چه بار متوسط به بار حداکثر شبکه نزدیکتر

شود، ضریب بار به عدد یک نزدیکتر می‌شود. مقدار این ضریب در کشور ایران و در سال ۱۳۸۰، برابر ۶۴/۹٪ و در سال ۱۳۸۱ به مقدار ۶۵/۷٪ می‌باشد.

برای بالا بردن ضریب بار شبکه تدابیر بسیار زیادی اتخاذ می‌شود که از مهمترین این تدابیر، می‌توان به ایجاد شبکه‌های سراسری و به‌هم پیوسته نام برد؛ زیرا با توجه به تنوع بارهای این نوع شبکه‌ها (از قبیل بارهای صنعتی، کشاورزی، روشنایی، تجاری و ...) و اختلاف زمانی طلوع و غروب خورشید در مناطق مختلف شبکه‌های سراسری، منحنی بار صاف‌تری حاصل می‌گردد.

راه دیگر بیان ضریب بار سالیانه بر روی منحنی مرتب شده بار، با استفاده از مقدار انرژی مصرفی سالیانه می‌باشد که به‌صورت زیر بیان می‌گردد:

$$m = \frac{P_{\mathrm{m}}}{P_{\max}} = \frac{F}{۸۷۶۰ \times P_{\max}} \qquad (۸-۲)$$

که،

$$P_{\mathrm{m}} = \frac{F\ (\mathrm{kWh})}{۸۷۶۰\ (\mathrm{h})} \qquad (۹-۲)$$

و F مقدار انرژی مصرفی سالیانه شبکه مورد نظر و ۸۷۶۰ (h)، مقدار ساعت برای دوره تناوب سالیانه است.

هـ) مدت زمان بهره‌برداری

همان‌گونه که قبلاً هم بیان نمودیم، سطح زیر منحنی مرتب شده بار سالیانه، معرف مقدار انرژی دریافتی مصرف‌کنندگان در طول یک سال می‌باشد که باید توسط نیروگاه‌های شبکه تولید شود. حال اگر تمام نیروگاه‌های شبکه با حداکثر قدرت خود، انرژی الکتریکی تولید کنند، آنگاه مدت زمانی که انرژی تولیدی نیروگاه‌ها برابر انرژی مصرفی سالیانه مصرف‌کنندگان شود، معرف مدت زمان بهره‌برداری خواهد بود. این زمان در شکل (۲-۲) نشان داده شده است. بنابر این،

$$T_{\mathrm{m}} = \frac{F}{P_{\max}} = m \times ۸۷۶۰ \qquad (۱۰-۲)$$

مشخص است که هر چه زمان بهره‌برداری شبکه‌ای بیشتر باشد، هزینه انرژی تولیدی توسط نیروگاه‌ها کاهش می‌یابد که طبعاً این موضوع باعث می‌شود تا هزینه انرژی الکتریکی مصرف‌کنندگان کمتر گردد.

و) ضریب استفاده (بهره) نیروگاه[۱]

نسبت بار حداکثر نیروگاه (P_{Max}) به ظرفیت نامی آن (P_e)، معرف ضریب استفاده نیروگاه می‌باشد.

$$\text{ضریب استفاده(بهره)} = \frac{\text{بار حداکثر نیروگاه}}{\text{ظرفیت نامی نیروگاه}} = \frac{P_{Max}}{P_e} \qquad (۲-۱۱)$$

که این ضریب بیانگر استفاده‌ای است که از نیروگاه به‌عمل می‌آید. مقدار کم این ضریب، بدین معنی است که یا نیروگاه به‌صورت ذخیره در شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرد، یا این‌که برای افزایش بار مصرفی شبکه در آینده برنامه‌ریزی شده است. برای یک نیروگاه در شبکه سراسری، بزرگ بودن ضریب بهره به‌معنای استفاده بهینه و حداکثر از نیروگاه با بازده حداکثر خواهد بود. البته در شبکه‌های مجزا، بزرگ بودن این ضریب، به‌مفهوم طراحی مناسب نیروگاه برای شبکه مورد نظر، با ظرفیت اضافه بار مجاز می‌باشد.

ز) ضریب ظرفیت نیروگاه[۲]

ضریب ظرفیت نیروگاه (که به‌طور اختصار به آن ضریب نیروگاه هم می‌گویند) نسبت بار متوسط سالیانه نیروگاه (P_M) به ظرفیت تولید آن است که،

$$\text{ضریب نیروگاه} = \frac{\text{بار متوسط سالیانه نیروگاه}}{\text{ظرفیت نامی نیروگاه}} = \frac{P_M}{P_e} \qquad (۲-۱۲)$$

همچنین این ضریب را می‌توان از نسبت انرژی سالیانه تولیدی توسط نیروگاه به

1- *Utilization Factor*

2- *Capacity Factor*

حداکثر انرژی تولیدی سالیانه در نیروگاه به‌دست آورد. حال اگر نیروگاه همیشه با ظرفیت نامی خود کار کند، مقدار این ضریب برابر واحد است. ضریب نیروگاه بیانگر حد استفاده از نیروگاه‌های برق می‌باشد. البته این ضریب از ضریب بار متفاوت است و آن به‌این علت است که ظرفیت نامی هر نیروگاه همیشه بزرگتر از بار حداکثر قابل انتظار است. اغلب نیروگاه‌های قدرت، دارای مقداری ظرفیت ذخیره چرخان (برای در نظر گرفتن گسترش آینده شبکه) می‌باشند که در نتیجه:

$$\text{ضریب ظرفیت} = \text{ضریب بار} \times \frac{\text{بار حداکثر نیروگاه}}{\text{ظرفیت نامی نیروگاه}} \times \text{ضریب بهره بار} \quad (۲-۱۳)$$

البته عموماً در شبکه‌های سراسری که توسط چندین نیروگاه تغذیه می‌شوند، لازم نیست که هر نیروگاه دارای ظرفیت ذخیره چرخان باشد؛ بلکه اگر فقط چند نیروگاه محدود به‌صورت ذخیره چرخان قرار گیرند، کافی خواهد بود و بقیه نیروگاه‌ها با ظرفیت کامل خود تولید خواهند کرد.

۲-۵- مسائل اقتصادی نیروگاه‌ها

هزینه تولید نیروگاه‌ها بستگی به پارامترهای متعددی از قبیل هزینه تجهیزات، نصب، راه‌اندازی، بهره‌برداری، سوخت و ... دارد. این هزینه‌های سالیانه را می‌توان به دو قسمت هزینه‌های ثابت و هزینه‌های متغیر تقسیم نمود. در اینجا این دو هزینه را به اختصار بیان می‌کنیم.

۲-۵-۱- هزینه‌های ثابت سالیانه

هزینه‌های ثابت سالیانه، هزینه‌هایی هستند که تقریباً هیچ ارتباطی با میزان بار متصل به نیروگاه ندارند. به‌عبارت دیگر، مقدار تولید نیروگاه، تأثیری در این نوع هزینه‌ها نخواهد داشت. مواردی که هزینه‌های ثابت یک نیروگاه را تشکیل می‌دهند، عبارتند از:

الف) هزینه سرمایه‌گذاری تأسیسات: این هزینه شامل هزینه خرید زمین و تجهیزات، هزینه نصب و راه‌اندازی می‌باشد. البته این هزینه باید در کل طول عمر نیروگاه تقسیم شده و درصدی از این هزینه در هر سال برای نیروگاه در نظر گرفته شود تا در نهایت از مصرف‌کنندگان دریافت شود.

ب) هزینه‌های سالیانه بیمه، مالیات و بهره نیروگاه: با توجه به این‌که تقریباً هزینه‌های بیمه، مالیات و بهره نیروگاه به‌طور سالیانه برای هر نیروگاهی محاسبه می‌شود، در نتیجه این موارد را جزء هزینه‌های ثابت در نظر می‌گیرند.

ج) هزینه استهلاک ساختمان و ماشین‌آلات: همه تجهیزات نیروگاه بر اثر کارکرد، دچار فرسودگی، استهلاک و خرابی تدریجی می‌شوند و در نتیجه، در طول عمر نیروگاه بعضی از تجهیزات، نیاز به تعمیر و تعویض دارند. همچنین بر اثر این عوامل، کارکرد نیروگاه هم کاهش می‌یابد. با توجه به این‌که این موارد به‌مقدار تولید نیروگاه بستگی ندارد، در نتیجه هزینه استهلاک ساختمان و ماشین‌آلات را جزء هزینه‌های ثابت نیروگاه در نظر می‌گیرند.

د) هزینه‌های نگهداری ومدیریتی: بسیاری از هزینه‌های انجام شده در هر نیروگاه، ثابت است و هیچ ارتباطی با مقدار انرژی تولید شده ندارد. از جمله این هزینه‌ها، می‌توان به هزینه‌های نگهداری و مدیریتی نیروگاه‌ها اشاره نمود که حتی اگر تولید انرژی آن صفر باشد، این هزینه‌ها وجود خواهد داشت. البته مقدار این هزینه‌ها بستگی به ابعاد نیروگاه دارد که بالطبع، جزء هزینه‌های ثابت در نظر گرفته می‌شود.

۲-۵-۲- رابطه هزینه ثابت سالیانه

در صورتی‌که قیمت تمام شده نیروگاه به‌ازای هر کیلو وات ظرفیت پس از تأسیس

به‌مقدار a دلار باشد و تجهیزات نصب شده برای تولید قدرت P_e باشد، آنگاه کل هزینه نصب نیروگاه برابر $a.P_e$ خواهد بود. اما با توجه به عمر یک نیروگاه، باید مقدار این هزینه با توجه به‌مقدار موارد ارائه شده در قسمت قبل (از قبیل مسائل استهلاک، هزینه‌های مدیریت و نگهداری، بهره، مالیات و بیمه) از مصرف‌کنندگان دریافت شود. در نتیجه برای به‌دست آوردن هزینه ثابت سالیانه[۱]، باید هزینه کل نیروگاه را در ضریب هزینه ثابت سالیانه FCR[۲] (که همیشه از ۱ کوچکتر است) ضرب نمود که در نتیجه هزینه ثابت سالیانه K_{AFC} به‌صورت زیر درمی‌آید:

$$K_{AFC} = P_e \,.\, a \,.\, FCR \qquad (۱۴-۲)$$

به‌مقدار a، قیمت مخصوص نیروگاه ($/kW) می‌گویند که بستگی به‌نوع نیروگاه دارد. این مقدار در نیروگاه‌های آبی و هسته‌ای بیشترین مقدار و برای نیروگاه‌های گازی کمترین مقدار را خواهد داشت.

۲-۵-۳- هزینه‌های متغیر سالیانه

هزینه‌های متغیر سالیانه، هزینه‌هایی هستند که ارتباط مستقیمی با مقدار انرژی تولیدی نیروگاه دارند. عوامل مؤثر در مقدار این هزینه را می‌توان به‌صورت موارد زیر بیان نمود:

الف) هزینه سوخت: این هزینه بیشترین و مهمترین هزینه در نیروگاه‌های حرارتی (بخاری، گازی، چرخه‌ترکیبی، دیزلی) می‌باشد و در نیروگاه‌های آبی، هسته‌ای و نیروگاه‌های با انرژی‌های نو (از قبیل نیروگاه‌های خورشیدی، بادی، جذر و مد و ...) به حداقل خود می‌رسد. سوخت نیروگاه‌های حرارتی می‌تواند زغال سنگ، نفت، مازوت، یا گاز طبیعی باشد.

1- *Annual Fixed Cost*

2- *Fixed Charge Rate*

هزینه سوخت وابسته به‌نوع سوخت، در دسترس بودن آن، و هزینه‌های حمل و نقل است. همچنین این مقدار بستگی به‌میزان تولید و بازده نیروگاه دارد. به‌عبارت دیگر، هر چه ظرفیت تولید یک نیروگاه بیشتر باشد، سوخت مصرفی آن بیشتر خواهد شد و برای نیروگاه‌های با بازده کمتر، انرژی مصرفی بیشتر می‌گردد.

ب) هزینه عملکرد[۱]: عملکرد یک نیروگاه نیاز به کار و کارمند دارد. البته با به‌کار بردن تجهیزات اتوماتیک و افزایش ابعاد نیروگاه، تعداد افراد مورد نیاز برای عملکرد نیروگاه (برای یک مقدار تولید مشخص) کم می‌شود. در نیروگاه‌های آبی و دیزلی، نیروی کار و کارمند به‌مقدار زیادی کاهش می‌یابد.

ج) هزینه نگهداری: هر نیروگاهی نیاز به نگهداری‌های اضطراری (معاینه فنی، تعمیر و تمیز کردن، باز و بسته کردن تجهیزات[۲]) دارد تا شرایط مطلوب بر نیروگاه حاکم گردد. هزینه‌های نگهداری را می‌توان به هزینه مورد نیاز برای نگهداری و هزینه نیروی کار تقسیم نمود.

د) تدارکات و ملزومات: این مورد در ارتباط با هزینه آب مورد نیاز نیروگاه (برای آب سیکل، آب خنک کنندگی، آب مصرف عمومی)، هزینه روغن مورد نیاز برای روغنکاری تجهیزات و دیگر مواد مصرفی می‌باشد.

۲-۵-۴- رابطه هزینه متغیر سالیانه

با توجه به این‌که هزینه متغیر سالیانه[۳] هر نیروگاهی را اکثراً هزینه سوخت در بر می‌گیرد، در نتیجه برای نیروگاهی با قدرت P_e که دریک مدت اثر بهره‌برداری T_m

---

1- Operating Labour Cost *2- Overhauling*

3- Annual Operating Cost

مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، هزینه متغیر را می‌توان به‌صورت زیر محاسبه نمود:

$$K_{AOC} = P_e . T_m . b \qquad (۱۵-۲)$$

که برای ایجاد هر کیلو وات ساعت (kWh) انرژی به‌مقدار b دلار سوخت مصرف می‌شود. به‌عبارت دیگر، هزینه سوخت برای تولید ۱ kWh برابر $b \frac{\$}{kWh}$ در نظر گرفته می‌شود.

۲-۵-۵- هزینه کل سالیانه نیروگاه

با توجه به تقسیم هزینه کل نیروگاه به هزینه متغیر و ثابت، هزینه کل سالیانه[1] را می‌توان به‌شکل زیر نمایش داد:

$$K_{APC} = K_{AFC} + K_{AOC} = a . FCR . P_e + P_e . T_m . b \qquad (۱۶-۲)$$

همچنین ارزش تولید یک کیلو وات برابر است با،

$$\frac{K_{APC}}{P_e} = a . FCR + T_m . b \quad \$/kW \qquad (۱۷-۲)$$

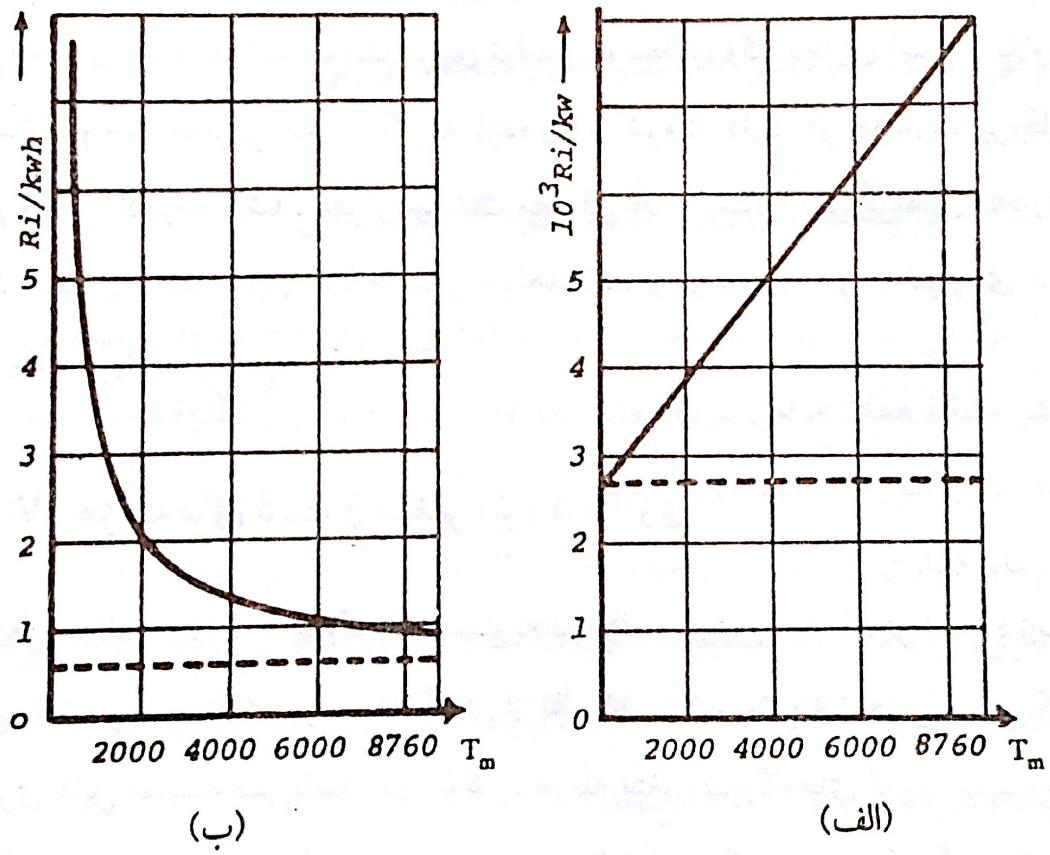
با توجه به این‌که در طول سال به‌مقدار $P_e.T_m$ کیلووات ساعت انرژی تولید می‌شود، آنگاه هزینه تولید یک کیلووات ساعت به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{K_{APC}}{P_e.T_m} = \frac{a . FCR}{T_m} + b \quad \$/kWh \qquad (۱۸-۲)$$

نحوه تغییرات $\frac{K_{APC}}{P_e}$ و $\frac{K_{APC}}{P_e.T_m}$ برای یک نیروگاه نمونه در شکل (۲-۳) نشان داده شده است. همان‌گونه که از شکل (۲-۳-الف) بر می‌آید، هر چه از نیروگاه بار کمتری دریافت شود، جزء مربوط به هزینه ثابت نیروگاه (FCR) نسبت به جزء

1- Annual Plant Cost

مربوط به هزینه متغیر ($b.T_m$) اثر بیشتری در قیمت یک کیلووات تولیدی دارد؛ و بالعکس، هر چه تولید نیروگاه بیشتر شود اثر قیمت سوخت نسبت به قیمت تجهیزات بیشتر می‌گردد. در نتیجه اگر نیروگاه بخواهد برق ارزانتری تولید نماید، باید مدت اثر بهره‌برداری نیروگاه افزایش یابد؛ زیرا مطابق با شکل (۲-۳-ب) هر چه مدت اثر بهره‌برداری یک نیروگاه (T_m) زیادتر شود، هزینه تولید هر کیلووات ساعت انرژی هم کمتر می‌گردد و بالطبع، هزینه مربوط به مصرف‌کننده هم کاهش می‌یابد. پس نتیجه می‌گیریم که شبکه‌های با m بزرگتر ($m=\frac{P_m}{P_{max}}$) برق ارزانتری را دریافت می‌کنند.



شکل (۲-۳): تغییرات هزینه‌های تولیدی یک نیروگاه نمونه: الف) هزینه تولیدی برای هر کیلووات؛ ب) هزینه تولیدی برای هر کیلووات ساعت

۲-۶- هزینه‌های ثابت و متغیر نیروگاه بخاری

همان‌گونه که قبلاً هم بیان گردید، هزینه‌های سرمایه‌گذاری نیروگاه‌های بخاری شامل هزینه‌های زمین، طراحی، تجهیزات، نصب، ساختمان اصلی، تست نیروگاه و ... می‌باشد. در هزینه‌های ثابت علاوه بر هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های بیمه، مالیات، بهره، استهلاک، نگهداری و مدیریتی نیز وجود دارد.

هزینه‌های متغیر نیروگاه بخاری هم شامل هزینه سوخت، روغن، آب، تدارکات، تعمیرات، حقوق و دستمزد کارگران و کارمندان و ... می‌باشد. اثر هزینه سوخت در هزینه کل نیروگاه‌های بخاری قابل توجه می‌باشد. به‌عبارت دیگر به‌طور تقریبی می‌توان گفت که ۲۵٪ کاهش در هزینه سوخت، باعث کاهش تقریبی ۱۰٪ در کل هزینه برای هر کیلووات ساعت انرژی تولیدی توسط نیروگاه بخاری است. بعلاوه، مقدار سوخت مصرفی هم بستگی به بازده و عمر نیروگاه دارد. هر چه بازده نیروگاه، کم و عمر آن زیاد باشد، مقدار سوخت مصرفی آن نسبت به نیروگاه‌های بخاری جدید برای تولید انرژی مشابه بیشتر خواهد شد و در نتیجه هزینه تولیدی هم افزایش می‌یابد.

۲-۷- هزینه‌های ثابت و متغیر نیروگاه گازی

هزینه ثابت این نوع نیروگاه‌ها نسبت به نیروگاه بخاری بسیار کمتر است؛ زیرا تجهیزات مورد استفاده در سیکل گازی از نظر کمیت نسبت به تجهیزات سیکل بخاری قابل مقایسه نمی‌باشد. در عوض، هزینه متغیر نیروگاه‌های گازی نسبت به نیروگاه‌های بخاری بیشتر است و آن هم به‌این علت است که بازده سیکل گازی کمتر از بازده سیکل بخاری می‌باشد. همچنین تلفات در این سیکل‌ها بیشتر از تلفات سیکل بخاری است. با مطالعه دقیقتر نیروگاه‌های بخاری و گازی در فصل‌های آینده، این موضوع بهتر مشخص خواهد شد.

۲-۸- هزینه‌های ثابت و متغیر نیروگاه آبی

هزینه سرمایه‌گذاری این نوع نیروگاه‌ها شامل هزینه‌های مربوط به بررسی و مطالعه اولیه، بررسی جزیی طرح، ایجاد سد، کارهای عمرانی جانبی، راه عبور تجهیزات، نصب پل‌های مورد نیاز، حفاری و گودبرداری و دیگر کارهای مهندسی عمران، تاوان زمین‌هایی است که توسط مخزن پشت سد زیر آب می‌روند و همچنین شامل زیرسازی و روسازی، طراحی و تعیین مشخصات تجهیزات، نصب، تست، راه‌اندازی و .... می‌باشد.

هزینه‌های متغیر نیروگاه‌های آبی شامل حقوق و دستمزد کارمندان و کارگران و تدارکات است که نسبت به هزینه‌های ثابت آن بسیار ناچیز می‌باشد. همچنین هزینه‌های ثابت این نیروگاه نسبت به نیروگاه‌های دیگر بسیار زیاد است؛ ولی در عوض، هزینه‌های متغیر آن نسبت به نیروگاه‌های حرارتی، بسیار کم می‌باشد.

۲-۹- هزینه‌های ثابت و متغیر نیروگاه هسته‌ای

عواملی که تشکیل دهنده هزینه سرمایه‌گذاری نیروگاه‌های هسته‌ای هستند، کم و بیش مشابه همان عوامل نیروگاه‌های بخاری است. تکنولوژی پیشرفته به‌کار رفته در ساخت راکتورهای هسته‌ای و تجهیزات حفاظتی و ایمنی آنها، باعث افزایش هزینه سرمایه‌گذاری می‌شود و در نتیجه، هزینه ثابت سالیانه آنها در مقایسه با نیروگاه‌های بخاری، زیاد می‌باشد. بعلاوه، تجهیزات خنک‌کنندگی آب مورد نیاز این نیروگاه‌ها نسبت به همین تجهیزات در نیروگاه‌های بخاری با تولید مشابه، بزرگتر است و در نتیجه، هزینه آن هم افزایش می‌یابد.

هزینه متغیر یک نیروگاه هسته‌ای شامل هزینه‌های سوخت، حقوق و دستمزد کارمندان و کارگران، هزینه‌های نگهداری، روغن و آب مورد نیاز، و مواد مورد نیاز برای نگهداری و تعمیرات می‌باشد. البته مقدار سوخت مورد نیاز این نیروگاه‌ها (اورانیوم) بسیار کم است، ولی هزینه همین مقدار کم هم بسیار زیاد می‌شود. در

نتیجه هزینه متغیر یک نیروگاه هسته‌ای خیلی بیشتر از نیروگاه‌های آبی، ولی بسیار کمتر از نیروگاه بخاری می‌باشد. در صورتی‌که ضریب بار این نیروگاه‌ها بالا باشد، تولید آنها در بازده بالایی انجام می‌شود. بنابر این، همیشه این نیروگاه‌ها به‌عنوان یک نیروگاه پایه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲-۱۰- عوامل مؤثر در کاهش هزینه تولید نیروگاه‌ها

با توجه به افزایش روز افزون تقاضای انرژی در کشورهای مختلف، تعداد نیروگاه‌های نصب شده و خطوط انتقال روز به روز افزایش می‌یابد. در نتیجه بسیار مناسب است تا هر چه بیشتر، هزینه تولید نیروگاه‌ها کاهش یابد. از مهمترین عوامل مؤثر در کاهش هزینه تولید نیروگاه‌ها می‌توان به‌صورت زیر اشاره نمود:

۱- ساخت نیروگاه‌های با ابعاد و قدرت بزرگ: در سال ۱۹۳۰ میلادی، بزرگترین واحد نصب شده به قدرت ۲۰۰MW بود، ولی هم اکنون، واحدهای نیروگاهی با قدرت‌های ۱۵۰۰MW تا ۲۰۰۰MW مورد استفاده وسیعی قرار می‌گیرند. با بزرگ شدن قدرت نیروگاه‌ها، هزینه سرمایه‌گذاری نسبت به قدرت نصب شده (در مقایسه با نیروگاه‌های کوچک) کمتر می‌شود و میزان سوخت مصرفی هم کاهش می‌یابد.

۲- کاهش هزینه‌های طراحی نیروگاه: یکی دیگر از عوامل مؤثر در کاهش هزینه نیروگاه، بهبود در طرح نیروگاه، نحوه قرار گرفتن تجهیزات دیگ‌بخار و توربین و هماهنگی مناسب در جایابی تجهیزات در طبقات مختلف آن می‌باشد که این موضوع، باعث کاهش هزینه سرمایه‌گذاری می‌شود.

۳- بهبود بازده نیروگاه‌ها: بازده نیروگاه‌ها در سال‌های حدود ۱۹۳۰ میلادی، تقریباً ۱۷٪ بود، ولی اکنون به بیش از ۴۰٪ رسیده است. این کار با ساخت دیگ‌های بخار و توربین در عملکرد با فشار و درجه حرارت‌های بالا، استفاده از تکنولوژی‌های

پیش‌گرمکن و گرمکن‌های مجدد و .... می‌باشد که این موارد، باعث افزایش بازده نیروگاه‌ها می‌گردد. در این حالت، مقدار کار انجام شده در نیروگاه‌ها با سوخت کمتری انجام می‌شود.

۴- بهره‌برداری اقتصادی از نیروگاه‌ها: برنامه‌ریزی مناسب در تولید نیروگاه‌ها عامل بسیار مؤثری در صرفه‌جویی سوخت و استفاده بهینه از آن است.

۵- عملکرد سراسری سیستم‌های قدرت: با به‌هم پیوستن نیروگاه‌ها به یکدیگر در قالب شبکه سراسری، مقدار ذخیره چرخان نیروگاه‌ها کاهش می‌یابد و استفاده بهینه‌ای از تسهیلات انتقال صورت می‌گیرد که در نهایت، کاهش هزینه‌های سیستم را به دنبال خواهد داشت.

۶- کاهش تلفات سیستم‌های انتقال: با گردش مصرف روزانه شبکه‌های قدرت، سیستم‌های انتقال و توزیع این‌گونه شبکه‌ها هم وسعت می‌یابند. با طراحی مناسب این سیستم‌ها، تلفات خطوط به‌مقدار زیادی کاهش می‌یابد. بالطبع با افزایش بازده انتقال قدرت، هزینه تولید انرژی برای تحویل دادن به مصرف‌کنندگان نیز کاهش پیدا می‌کند.

۲-۱۱- انتخاب نوع نیروگاه‌ها با توجه به هزینه آنها

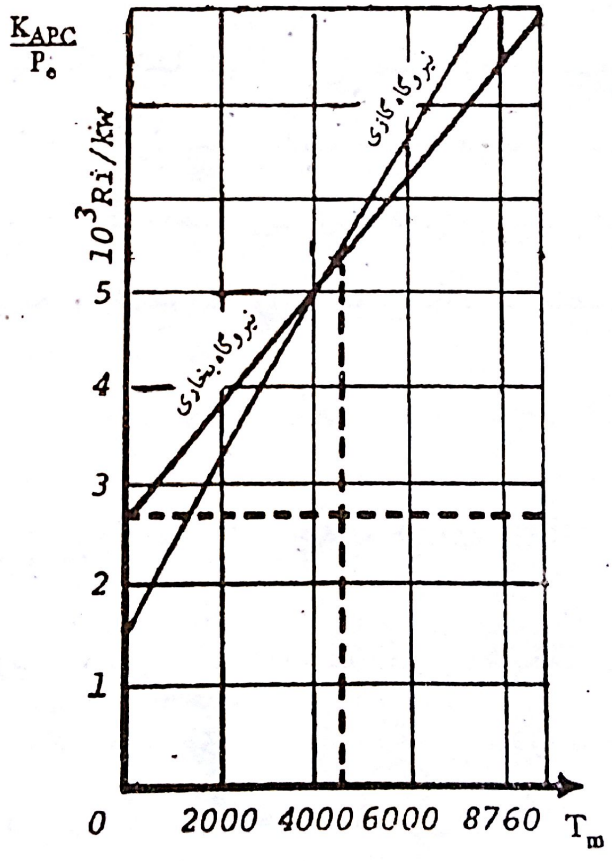
در انتخاب نوع نیروگاه به‌منظور تأمین قدرت مصرفی شبکه، عوامل متعدد و مختلفی وجود دارد. به‌عنوان مثال، برای نصب نیروگاه آبی علاوه بر هزینه کل، نیاز به رودخانه وجود دارد. در نصب نیروگاه‌های هسته‌ای، مسأله وجود تکنولوژی پیشرفته در ساخت آن، و در نصب نیروگاه‌های گازی عوامل زیست محیطی دخیل می‌باشد. این موارد در فصل‌های مربوط به نیروگاه‌های بخاری، گازی، آبی و هسته‌ای در این کتاب بیان می‌گردند. در اینجا موضوع مذکور را فقط از جنبه هزینه

کل نیروگاه، و بدون توجه به شرایط جانبی بیان می‌کنیم. بدین منظور فرض کنید که برای تغذیه منطقه‌ای که نیاز به قدرت P_{max} با مدت اثر بهره‌برداری T_m' دارد، می‌خواهیم از بین نیروگاه‌های بخاری یا گازی، یکی را انتخاب نماییم. فرض کنید که قیمت سوخت نیروگاه‌های بخاری و گازی بترتیب b_s و b_g دلار بر کیلو وات ساعت، و قیمت تجهیزات برای هر کیلو وات این دو نیروگاه، بترتیب برابر a_s و a_g باشد؛ آنگاه ارزش تولید هر کیلو وات انرژی در این دو نیروگاه برابر است با،

$$K_s = a_s \,.\, FCR_s + T_{ms} \,.\, b_s \quad \$/kW \qquad (۱۹-۲)$$

$$K_g = a_g \,.\, FCR_g + T_{mg} \,.\, b_g \quad \$/kW \qquad (۲۰-۲)$$

همان‌گونه که قبلاً بیان کردیم، هزینه ثابت نیروگاه‌های گازی کمتر از نیروگاه‌های



شکل (۲-۴): منحنی تغییرات هزینه برای هر کیلو وات تولیدی در نیروگاه‌های بخاری و گازی

بخاری است؛ ولی بالعکس، هزینه متغیر نیروگاه‌های گازی بیشتر از نیروگاه‌های بخاری می‌باشد. در نتیجه، منحنی تقریبی ارزش تولید هر کیلو وات برای هر دو نیروگاه را می‌توان به‌صورت شکل (۲-۴) نشان داد.

برای تعیین مدت اثر بهره‌برداری T_m که هر دو نیروگاه با یک قیمت کار کنند، باید رابطه زیر برقرار باشد:

$$a_s \cdot FCR_s + T_m \cdot b_s = a_g \cdot FCR_g + T_m \cdot b_g \qquad (۲۱-۲)$$

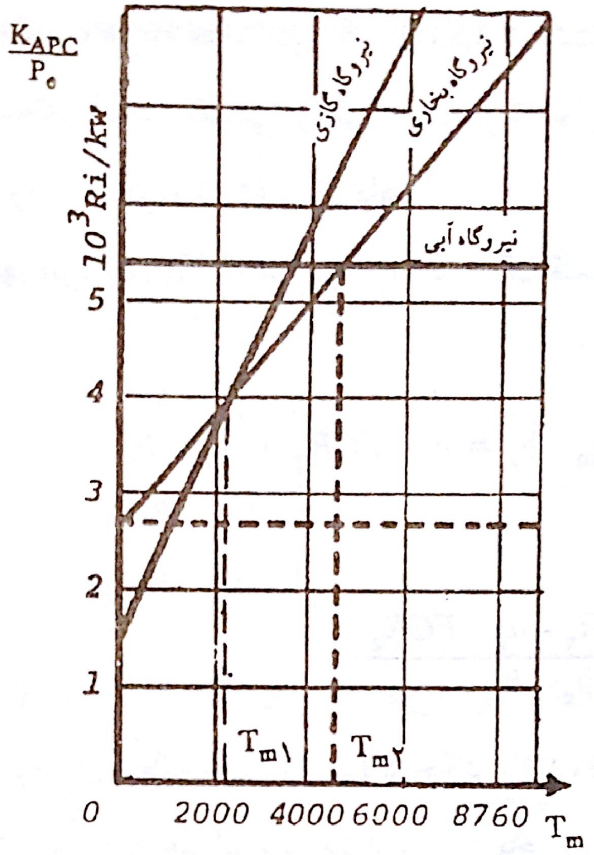
در نتیجه،

$$T_m = \frac{a_s \cdot FCR_s - a_g \cdot FCR_g}{b_g - b_s} \qquad (۲۲-۲)$$

حال اگر مدت اثر بهره‌برداری منطقه (T_m') از T_m کوچکتر باشد، استفاده از نیروگاه گازی مقرون به صرفه‌تر است؛ در غیر این‌صورت از نیروگاه بخاری استفاده می‌شود. این مقایسه را می‌توان برای نیروگاه‌های گازی، بخاری، یا آبی با یکدیگر انجام داد. ارزش هر کیلو وات این سه نیروگاه در شکل (۲-۵) به‌طور تقریبی رسم شده است. در این حالت، اگر مدت بهره‌برداری منطقه از T_{m1} کوچکتر باشد، از نیروگاه گازی استفاده می‌شود و اگر از T_{m2} کوچکتر باشد، از نیروگاه بخاری، و در صورت بزرگتر بودن از T_{m2}، از نیروگاه آبی استفاده می‌گردد. البته لازم به‌ذکر است که این مقایسه فقط از نظر هزینه کلی نیروگاه است. برای انتخاب نیروگاه عوامل مؤثر دیگری نیز دخیل می‌باشد که در قسمت‌های مربوطه بیان خواهد شد.

۲-۱۲- انتخاب موقعیت نیروگاه

برای تعیین موقعیت نیروگاه‌ها پارامترهای پیچیده و متعددی وجود دارند که بعضی از آنها حتی جنبه‌های اقتصادی هم ندارند. در بین نیروگاه‌ها، نیروگاه‌های آبی از موقعیت خاصی برخوردار هستند. در این نوع نیروگاه‌ها نیاز به احداث سد و



شکل (۲-۵): منحنی تغییرات هزینه برای هر کیلووات تولیدی
در نیروگاه‌های آبی، بخاری و گازی

کارهای عمرانی بسیار زیادی می‌باشد و باید مسائل بسیار زیادی از جمله مسائل زمین‌شناسی و نقشه‌برداری مورد مطالعه قرار گیرد. به همین منظور، تعیین موقعیت نیروگاه‌های آبی در فصل پنجم این کتاب به‌طور جداگانه بیان خواهد شد. پارامترهای مؤثر در تعیین موقعیت دیگر نیروگاه‌ها، از قبیل نیروگاه‌های بخاری، گازی، چرخه‌ترکیبی، و هسته‌ای تقریباً مشترک می‌باشد. به همین علت در این قسمت، توجه خود را بر روی نیروگاه‌های بخاری متمرکز می‌کنیم.

اصولاً در تعیین محل هر کارخانه‌ای، از جمله نیروگاه‌های برق (کارخانه‌ای که وظیفه تبدیل کردن انرژی موجود در مواد سوختنی را به انرژی الکتریکی دارد) پارامترهای متعددی مؤثر است که از مهمترین آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- دسترسی به مواد اولیه و حمل و نقل آن: این موضوع در نیروگاه‌ها، به‌صورت نیاز به سوخت مصرفی روزانه دارد. موقعیت نیروگاه‌ها باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که سوخت مصرفی به راحتی در دسترس نیروگاه قرار گیرد. در صورت دور بودن نیروگاه از محل سوخت، نیاز به حمل و نقل مواد سوختی می‌باشد. به‌عنوان نمونه، نیروگاه گازی ری، بخاری شهید محمد منتظر قائم، و بخاری بعثت در نزدیک پالایشگاه تهران قرار دارند تا امکان انتقال سوخت به راحتی ایجاد گردد.

۲- دسترسی به بازار فروش محصولات: در نیروگاه‌ها، این پارامتر را می‌توان به‌صورت انتقال انرژی الکتریکی مطرح نمود. لذا موقعیت نیروگاه‌ها را باید به‌گونه‌ای انتخاب نمود که نزدیک به مراکز بار مصرفی (نزدیک شهرها و کارخانه‌های صنعتی و ...) باشد؛ زیرا در غیر این‌صورت نیاز به احداث خطوط انتقال انرژی می‌باشد که این موضوع باعث ایجاد هزینه‌های انتقال و تلفات انرژی در این سیستم‌ها می‌شود. در کشور ما، اکثر نیروگاه‌ها نزدیک شهرهای پر جمعیت و مراکز بار قرار دارند.

۳- وجود نیروی کارگر و متخصص: موقعیت نیروگاه‌ها باید به‌گونه‌ای انتخاب شود تا دسترسی به نیروی کارگر و متخصص به‌سهولت انجام پذیرد.

۴- امکان دفع مازاد فرآورده‌های ناخواسته: یکی از مشکلات بسیار مهم در بیشتر کارخانه‌ها از جمله نیروگاه‌های بخاری، گازی، چرخه‌ترکیبی و هسته‌ای، ایجاد دود و فرآورده‌های گازهای ناخواسته می‌باشد. همچنین در نیروگاه‌های بخاری، دفع حرارتی در برج‌های خنک‌کننده هم یکی دیگر از مشکلات فرآورده‌های ناخواسته است. محل نیروگاه باید به‌گونه‌ای باشد که بتوان بدون آلودگی محیط زیست، به راحتی فرآورده‌های ناخواسته را دفع نمود.

۵- زمین مورد نیاز برای ساختمان و عملکرد: در نیروگاه‌ها نیاز وسیعی به زمین

برای نصب تجهیزات و ایجاد مخازن سوخت و فضاهای جانبی است؛ این زمین باید خریداری شود. بالطبع، زمین‌های نزدیک به مراکز بار (شهرهای صنعتی) بسیار گرانتر از زمین‌های دور از این نقاط می‌باشند. بعلاوه با توجه به این‌که مخازن سوخت نیروگاه‌ها باید فاصله مناسبی تا تجهیزات اصلی نیروگاه داشته باشند (تا ضریب ایمنی نیروگاه افزایش یابد) در نتیجه، این موضوع باعث می‌شود تا سطح زمین مورد نیاز بیشتر گردد. همچنین زمین مذکور نباید پست و یا بلند باشد؛ زیرا مشکلاتی را در زمینه سیستم خنک‌کنندگی نیروگاه به‌همراه خواهد داشت که در ادامه همین فصل، در این مورد بیشتر صحبت خواهیم نمود. به‌عنوان مثال، زمین‌های تصرف شده توسط نیروگاه‌های شهید محمد منتظر قائم، ری، و بعثت به‌ترتیب برابر ۱/۰۰۰/۰۰۰، ۵۲۵/۰۰۰ و ۲۰۰/۰۰۰ متر مربع می‌باشد.

البته موارد فوق در تمام کارخانه‌ها صادق می‌باشد، ولی در نیروگاه‌های بخاری علاوه بر این موارد، مسائل و پارامترهای دیگری نیز دخیل هستند که عبارتند از:

۶- **آلودگی زیست محیطی**: در نیروگاه‌های بخاری، علاوه بر آلودگی محیط زیست از قبیل آلودگی گازهای خارج شده از دودکش نیروگاه و آلودگی ناشی از بخارهای خارج شده از برج‌های خنک‌کننده، ارتفاع زیاد تجهیزات نیروگاه نیز از نظر لطمه به محیط زیست، بسیار مهم می‌باشد. به‌عنوان مثال در نیروگاه‌های بخاری با قدرت بالا، ارتفاع دیگ بخار، برج‌های خنک‌کننده و دودکش بسیار زیاد است؛ به‌گونه‌ای که این تجهیزات در یک محیط باز، از فاصله چند کیلومتری به‌راحتی قابل رویت می‌باشند. طبعاً این تجهیزات با ارتفاع زیاد، چشم‌انداز محیط زیست را از بین می‌برد. پس موقعیت نیروگاه باید به‌گونه‌ای انتخاب گردد تا این لطمه به محیط زیست به‌حداقل خود کاهش یابد. به‌عنوان نمونه، ارتفاع دودکش و برج‌های خنک کن نیروگاه شهید رجایی قزوین، به‌ترتیب ۲۲۰ و ۱۵۰ متر می‌باشد که اثرات زیست محیطی این تجهیزات با ارتفاع زیاد باید به حداقل خود کاهش یابد.

۷- **رشد منطقی کلیه نواحی یک کشور:** ایجاد نیروگاه‌ها در هر منطقه‌ای، باعث توسعه و پیشرفت آن منطقه از نظر صنعتی خواهد شد؛ زیرا به‌طور معمول و ناخواسته با نصب نیروگاه‌ها، صنایع و کارخانه‌های جانبی دیگری ایجاد خواهند شد که باعث رشد صنعتی و اجتماعی آن ناحیه می‌شوند. پس باید مکان نیروگاه‌ها به‌گونه‌ای انتخاب شود که حتی‌الامکان این رشد صنعتی و اجتماعی در تمام کشور به‌طور یکنواخت مهیا شود.

۸- **در دسترس بودن آب:** در نیروگاه‌های بخاری به‌منظور تأمین آب سیکل، آب خنک‌کنندگی در کندانسور و برج‌های خنک‌کننده، و آب مصرفی عمومی، دسترسی به منابع آب از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. البته مصرف عمده آب نیروگاه بخاری، برای تأمین آب سیکل اصلی بخار می‌باشد. در صورتی‌که موقعیت زمین به‌گونه‌ای باشد که نزدیک رودخانه یا دریا باشد، به‌راحتی می‌توان از آب این منابع استفاده نمود؛ در غیر این صورت، استفاده از آب شهری یا آب‌های منابع زیر زمینی (پس از تصفیه و خالص نمودن آب) الزامی خواهد بود.

۹- **بررسی موقعیت زمین از نظر زمین‌شناسی:** با توجه به هزینه بسیار زیاد تجهیزات نیروگاه، نباید این تجهیزات را بر روی مسیر خط زلزله و سیلاب‌ها نصب نمود. بدین منظور، موقعیت نیروگاه‌ها را باید از نظر زمین‌شناسی و مسیر سیلاب‌های فصلی مورد مطالعه و ارزیابی قرار داد.

۱۰- **مطالعه شبکه:** موقعیت نیروگاه‌ها باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که لطمه‌ای به مسائل عملکرد، پایداری و کنترل سیستم‌های قدرت وارد نسازد. بدین منظور پس از انتخاب مورد نظر، مطالعات مورد نیاز در سیستم‌های قدرت با وجود نیروگاه جدید و موقعیت آن انجام می‌شود و اثرات این واحد تولیدی بر روی شبکه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. همچنین مکان نیروگاه باید به‌گونه‌ای باشد که حتی‌الامکان به‌راحتی به

شبکه سراسری متصل شود تا نیازی به احداث خط انتقال جدید نباشد.

۲-۱۳- ساختار یک نیروگاه بخاری

۲-۱۳-۱- مقدمه

ارائه یک الگوی مشخص و آماده برای ساختار یک نیروگاه بخاری تقریباً غیر ممکن است. امّا مشابه با مسائل طراحی، ساختار یک نیروگاه باید به‌گونه‌ای تعیین شود تا علاوه بر نصب آسان، هزینه‌های کل آن نیز به حداقل خود کاهش یابد. همچنین باید ساختار مناسب نیروگاه، بهره‌برداری ساده‌ای را به همراه آورد.

با توجه به این‌که ساختار نیروگاه‌های گازی و چرخه‌ترکیبی تفاوت زیادی با مسائل موجود در ساختار نیروگاه‌های بخاری ندارد، به این منظور فقط ساختار نیروگاه‌های بخاری مد نظر قرار می‌گیرد. در انتها به ارائه یک طرح کلی از ساختار نیروگاه گازی بسنده می‌کنیم.

۲-۱۳-۲- عوامل مؤثر در ساختار نیروگاه بخاری

در نیروگاه‌های بخاری عوامل بسیار زیادی در تعیین ساختار آن دخیل می‌باشند، که مهمترین این پارامترها را می‌توان به‌صورت زیر بیان نمود:

الف) فونداسیون: موقعیت تجهیزات اصلی نیروگاه باید به‌گونه‌ای انتخاب شود تا هزینه فونداسیون آن، کمترین مقدار خود را داشته باشد. به‌عبارت دیگر، با اقتصادی‌ترین نگرش از نظر هزینه‌های خاک‌برداری و پی‌ریزی و در نظر گرفتن کلیه محدودیت‌های جغرافیایی محل، نقشه فونداسیون نیروگاه طراحی می‌شود.

ب) محوطه نیروگاه و سطح تراز آن: عوامل مؤثر در انتخاب محوطه نیروگاه و سطح تراز آن را می‌توان به‌صورت زیر دسته‌بندی نمود: