# جزوه تولید و نیروگاه

بهروز آدینه

# فهرست مطالب


**۱ مقدمه** ۳
۱-۱ انواع نیروگاه‌ها . . . . . ۳
۱-۲ عرضه و تقاضای انرژی برق . . . . . ۶

**۲ انتخاب نوع نیروگاه‌ها و موقعیت نصب آن‌ها** ۸
۲-۱ مقدمه . . . . . ۸
۲-۲ تعاریف اساسی . . . . . ۸
۲-۲-۰-۱ روش تعیین تقاضای حداکثر یک سیستم . . . . . ۱۰
۲-۳ منحنی بار . . . . . ۱۲
۲-۴ منحنی مرتب شده بار و منحنی انرژی مصرفی . . . . . ۱۲
۲-۵ مسائل اقتصادی نیروگاه‌ها . . . . . ۱۹
۲-۵-۱ هزینه‌های ثابت سالیانه . . . . . ۱۹
۲-۵-۲ رابطه هزینه ثابت سالیانه . . . . . ۲۰
۲-۵-۳ هزینه‌های متغیر سالیانه . . . . . ۲۱
۲-۵-۴ رابطه هزینه متغیر سالیانه . . . . . ۲۱
۲-۵-۵ هزینه کل سالیانه نیروگاه . . . . . ۲۲
۲-۶ هزینه‌های ثابت و متغیر نیروگاه بخار . . . . . ۲۲
۲-۷ هزینه‌های ثابت و متغیر نیروگاه گازی . . . . . ۲۳
۲-۸ هزینه‌های ثابت و متغیر نیروگاه‌های آبی . . . . . ۲۴
۲-۹ هزینه‌های ثابت و متغیر نیروگاه هسته‌ای . . . . . ۲۴
۲-۱۰ عوامل موثر در کاهش هزینه تولید نیروگاه‌ها . . . . . ۲۴
۲-۱۱ انتخاب نوع نیروگاه باتوجه به هزینه آن‌ها . . . . . ۲۵
۲-۱۲ انتخاب موقعیت نیروگاه . . . . . ۲۷
مراجع . . . . . ۳۱

# فصل ۱

# مقدمه

## ۱-۱ انواع نیروگاه‌ها

در میان پرکاربردترین و مهم‌ترین نیروگاه‌های[۲] متداول در جهان و ایران، می‌توان از نیروگاه‌های حرارتی نام برد. این نوع نیروگاه‌ها، مبدل‌هایی هستند که انرژی نهفته در سوخت‌های جامد، مایع، گازی و یا سوخت‌های هسته‌ای را به انرژی برق تبدیل می‌کنند. نیروگاه‌های حرارتی، طیف وسیعی از نیروگاه‌ها را در برمی‌گیرند که از آن جمله می‌توان به نیروگاه‌های بخاری، گازی، چرخه ترکیبی، دیزلی و هسته‌ای اشاره نمود. نوع بسیار متداول نیروگاه‌های حرارتی، نیروگاه بخار می‌باشد. در این نیروگاه، با مشتعل شدن سوخت‌های فسیلی، آب سیکل تبدیل به بخار می‌شود. سپس انرژی بخار تولیدی، سبب چرخش توربین و در نهایت، تولید انرژی برق می‌گردد. تفاوت اساسی نیروگاه‌های گازی با بخاری در آن است که سیال سیکل توربین گازی هوای محیط می‌باشد. اما نیروگاه‌های چرخه ترکیبی، متشکل از واحدهای گازی و بخاری می‌باشند که در آن‌ها، به منظور افزایش بازده کل حرارتی و بازیافت بخشی از انرژی باقی‌مانده در گازهای خروجی از توبین‌های گازی این گازها را به یک دیگ بخار بازیاب هدایت می‌کنند. بخار حاصل از این طریق، توربین بخاری را به گردش در می‌آورد [۱].

از مهم‌ترین نیروگاه‌های حرارتی می‌توان به نیروگاه‌های هسته‌ای اشاره نمود. در این نوع نیروگاه‌ها معمولا، با استفاده از انرژی نهفته در سوخت‌های هسته‌ای (اورانیوم غنی شده، پلوتونیوم، ...) بخار با انرژی نهفته بسیار زیادی تولید می‌شود. به دلیل مقدار استعمال بسیار کم، ارزش انتقال سوخت هسته‌ای ناچیز است. یک نیروگاه GW ۱ هسته‌ای در حدود ۲/۴۱ تن اورانیوم در هر هفته نیاز دارد؛ این در حالی است که در یک نیروگاه ذغال-سوختی در حالت ایده‌آل، ۵۰۰۰۰ تن سوخت در یک هفته سوزانده می‌شود. در حال حاضر، نیروگاه‌های هسته‌ای، آیب خنک بیشتری در مقایسه با نیروگاه‌های ذغال-سوختی و نفت-سوختی که کارایی و بازده پایینی دارند، استفاده می‌کنند. با استفاده از انرژی بخار

[2] Powerplants (Power Stations)

تولید شده، تورین بخاری به چرخش در می‌آید و در نهایت، انرژی الکتریکی تولید می‌شود [۱].

در نیروگاه‌های برق آبی، عامل و سیال واسطه، جریان آب و یا انرژی پتانسیل آب پشت سدها و آب‌بندها است. همه طرح‌های برق-آبی به دو فاکتور اساسی وابسته هستند: یکی جریان آب و دیگری اختلاف ارتفاع سطح آب و محل قرارگیری نیروگاه. نیروگاه‌های جریان رودخانه‌ای[۱] و نیروگاه‌های برق آبی[۲] از این نیروگاه‌ها هستند. از انرژی موجود در جریان آب رودخانه‌ها می‌توان در چرخاندن پره‌های یک توربین آبی برای تولید انرژی مکانیکی (و پس از آن تولید انرژی الکتریکی توسط ژنراتورها) بهره جست. همچنین با ایجاد سدها و ذخیره‌سازی آب رودخانه‌ها در پشت این سدها می‌توان از انرژی پتانسیل نهفته در آب پشت سد (برای به چرخش درآوردن توربین‌ها) نیز استفاده نمود [۱].

در حال حاضر نیروگاه‌های حرارتی، بیشترین سهم را در تولید و تامین انرژی برق مورد نیاز صنعت برق برعهده دارند. البته کشورهایی وجود دارند که سهم تولید انرژی نیروگاه‌های برق آبی آن‌ها قابل‌توجه و یا حتی بیشتر از تولید نیروگاه‌های حرارتی است که در این میان می‌توان از کشورهای نروژ، پرتغال، سوئیس، اتریش، آلبانی، کانادا، سوئد، لوکزامبورک، برزیل و برخی از کشورهای آمریکای جنوبی نام برد [۱].

علاوه بر نیروگاه‌های بخاری، هسته‌ای، گازی، جرخه ترکیبی و آبی که کاربرد بیشتری دارند، می‌توان از انواع زیر نیز نام برد:

۱. نیروگاه دیزلی: در این نوع نیروگاه‌ها، نیروی محرکه ژنراتور، یک موتور درونسوز دیزلی است. امروزه از نیروگاه دیزلی به عنوان نیروگاه پایه، کمتر استفاده می‌شود و بیشتر برای مواقع اضطراری و احتمالا بار حداکثر شبکه استفاده می‌گردد [۱].

   در حال حاضر در مناطقی از ایران که به شبکه سراسری وصل نیستند، از نیروگاه‌های دیزلی هم که قدرت تولید آن‌ها معمولا تا ۵۰۰۰ kW می‌باشد، استفاده می‌شود [۱].

   این نوع نیروگاه به دلیل حرکت‌های مکانیکی زیادی که در آنها وجود دارد دارای عمر کمی هستند. به دلیل راندمان پایین این نیروگاه‌ها، هزینه برق تولیدی آنها بالاست [۱].

۲. نیروگاه تلمبه‌ای ذخیره‌ای:[۳] در بعضی از مناطق که شرایط جغرافیایی مناسبی وجود داشته باشد، از مبادله آب بین دو منبع در سطوح مختلف، می‌توان انرژی مورد نیاز را برای چرخاندن توربین‌ها ایجاد نمود. در این نوع نیروگاه‌ها، آب از منبع در سطح پایین (که می‌تواند یک دریاچه باشد) توسط پمپ‌هایی در ساعاتی از روز که مصرف انرژی الکتریکی پایین است، به منبع بالایی فرستاده می‌شود. سپس در مواقعی که به انرژی الکتریکی

[1] Run of river power plants
[2] Hydraulic power plants
[3] Pump Storage Hydroelectricity

نیاز است، از منبع بالایی، آب را توسط لوله‌هایی به روی پره‌های یک توربین آبی هدایت می‌کنند و بدین ترتیب انرژی الکتریکی تولید می‌شود [۱].

۳. نیروگاه خورشیدی[1] : یکی از آرزوهای بزرگ بشر، کاربرد انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع لایزال انرژی برای مضارف بزرگ بوده است. اشکال بزرگ در کاربرد انرژی خورشیدی، متمرکز نبودن، تناوبی بودن و ثابت نبودن مقدار انرژی و پایین بودن شدت تشعشع می‌باشد. به خاطر دانسیته پایین انرژی، سطح لازم برای کسب انرژی قابل‌توجه، بزرگ خواهد شد و به خاطر متناوبی بودن و ثابت نبودن مقدار آن، معمولا برای انرژی خورشیدی، یک منبع برای ذخیره انرژی کسب شده مورد نیاز است. همچنین به دلیل متمرکز نبودن انرژی خورشیدی، احتیاج به تجهیزاتی برای متمرکز ساختن آن‌ها می‌باشد [۱].

انرژی خورشیدی را می‌توان در این موارد استفاده نمود: تامین انرژی‌های کم، مثل گرمایش و سرمایش ساختمان، گرم کردن آب، استرلیزه کردن وسایل بهداشتی، خشک کردن محصولات کشاورزی، شیرین کردن آب، تولید سوخت‌های شیمیایی، احتراق و تبخیر مواد آلی، تولید گاز هیدروژن، تولید الکتریسیته به روش فتوولتائیک (باتری خورشیدی)، تولید بخار آب برای به چرخش درآوردن یک توربین بخار و تولید الکتریسیته و موارد دیگر [۱].

۴. نیروگاه بادی:[2] بادهای محلی و موسمی، حامل مقدار زیادی انرژی می‌باشند که مقدار آن بستگی به سرعت باد دارد. به علاوه هر قدر سطح برخورد باد با یک جسم بیشتر باشد، انرژی بیشتری را می‌توان به آن جسم منتقل کرد؛ بنابراین، کسب انرژی قابل‌توجه از باد، علاوه بر مناسب بودن سرعت باد، به سطح بزرگ تماس با باد نیز وابسته می‌باشد [۱].

استفاده از انرژی باد برای مصارف محدود و محلی مناسب است، ولی به دلایل محدود بودن مقدار انرژی، ثابت نبودن، مقدار متناوبی بودن آن و نیز محلی بودن، نمی‌توان از انرژی باد به عنوان یک منبع تولید عمده انرژی برای آینده یاد نمود. امروزه در مناطقی که یک متوسط وزش باد ثابت دارند و سرعت باد در آنجا مناسب است، با نصب توربین‌های بادی، انرژی الکتریکی تولید می‌شود. همچنین با تولید باد مصنوعی از طریق تابش خورشیدی بر سطح گسترده سیاه رنگ و متمرکز کردن باد ایجاد شده برروی پره‌های توربین بادی نیز انرژی الکتریکی قابل تولید می‌باشد [۱].

۵. نیروگاه زمین گرمایی[3]: یکی از منابع انرژی که به مقدار زیادی در دسترس می‌باشد، انرژی زمین گرمایی (یا ژئوترمال) است که به دو روش قابل بهره‌برداری می‌باشد [۱]:

[1] Solar Powerplant
[2] Wind Powerplant
[3] Geothermal

الف- استفاده از بخار آب به صورت داغ و خشک که در زیر پوسته زمین وجود دارد؛

ب- ایجاد مصنوعی بخار آب، بوسیله عبور آب از روی سنگ‌های داغ زیرزمینی که دارای درجه حرارت زیاد و نزدیک به نقطه ذوب هستند (این موضوع با توجه به این نکته است که در برخی از مناطق زیر پوسته زمین و در عمق ۵ یا ۶ کیلومتری می‌توان به درجه حرارت‌های تا $۳۰۰۰^oC$ هم رسید).

هم‌اکنون نیروگاه‌های متعددی در هر دو روش (الف) و (ب) مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱].

۶. نیروگاه آبی با امواج دریا: امواج دریا به علت بالا و پایین رفتن مداوم و تحرک زیاد و ایجاد اختلاف ارتفاع‌هایی که گاه به چندین متر می‌رسد، دارای مقدار زیادی انرژی هستند. البته این انرژی به صورت پراکنده در سراسر سطح آب وجود دارد؛ بنابراین بوسیله تجهیزات بخصوصی (که سطح بزرگی از آب را می‌پوشانند)، می‌توان مقداری از این انرژی را کسب نمود و در تولید انرژی الکتریکی مورد استفاده قرار داد. البته استفاده از این انرژی هنوز در مراحل تحقیقاتی و آزمایشی خود می‌باشد [۱].

۷. نیروگاه آبی جذر و مدی[۱]: در دریاها بخاطر چرخش ماه به دور زمین، روزانه دو بار جذر و دوبار مد بوجود می‌آید. اختلاف ارتفاع آب در حالت جذر و مد در هر نقطه بستگی به وضع قرار گرفتن ماه، زمین و خورشید دارد و بزرگترین اختلاف ارتفاع آب در حالت جذر و مد، معمولا در اوایل پاییز بوجود می‌آید. برای آنکه بتوان از انرژی جذر و مد استفاده کرد، باید یک خلیج [۲] (یک دریاچه مصنوعی) را توسط سدی از دریا جدا نمود و در هنگام جزر و مد از جریان آبی که متناوبا بین این دو منبع ایجاد می‌شود، با چرخاندن پره‌های توربین (و نهایتا تولید الکتریسیته) استفاده کرد. با توجه به محدودیت‌های جغرافیایی در رابطه با استفاده از نیروی جذر و مد، از این روش معمولا نمی‌توان به عنوان یک منبع عمده تولید انرژی در همه جا استفاده نمود [۱].

۸. نیروگاه زباله‌سوز[۳]: در این نوع نیروگاه‌ها به جای استفاده از سوخت‌های فسیلی و یا گاز، از سوزاندن مواد قابل احتراق زباله‌ها برای تولید انرژی حرارتی مورد نیاز استفاده می‌شود. این نیروگاه‌های کوچک، علاوه بر این که یه مشکلات دفع زباله کمک می‌کنند، نیاز به سوخت‌های گران را مرتفع می‌کنند [۱].

## ۱-۲ عرضه و تقاضای انرژی برق

سالانه میزان رشد تقاضای انرژی برق در کشور ما رشد صعودی دارد. با توجه به تنوع مصرف‌کنندگان شبکه‌های برق از قبیل مصارف خانگی، صنعتی، کشاورزی، عمومی و ...، میزان رشد مصرف برق برای هر کدام متفاوت می‌باشد.

[1] Tidal Power Plant

[۲] بخشی از دریا است که در خشکی پیش رفته باشد.

[3] Biomass

همچنین این نوع تقسیم‌بندی مصرف‌کنندگان را می‌توان از نظر تعداد مشترکان و درصد مصرف آن‌ها مورد بررسی قرار داد [۱]. با مراجعه به سایت www.pep.moe.gov.ir دفتر برنامه‌ریزی و اقتصاد کلان برق می‌توان به آمار کشور دسترسی پیدا نمود. از طریق این سایت می‌توان اطلاعات جامعی در مورد؛ قدرت نصب شده نیروگاه‌ها، قدرت عملی نیروگاه‌ها و تراز باز و انرژی در شبکه برق بدست آورد.

در اکثر کشورهای جهان، مصرف‌کنندگان انرژی الکتریکی به شش بخش کلی خانگی، عمومی، سایر مصارف، صنعتی، کشاورزی و روشنایی معابر تقسیم‌بندی می‌شوند [۱].

قدرت نامی [۱] نیروگاه‌ها برای شرایط استاندارد ایزو (دمای ۱۵ درجه سانتیگراد و هم سطح دریا) می‌باشند. قدرت‌های نامی واحدها که برروی پلاک مشخصات آن‌ها حک می‌شوند، بر پایه همین شرایط هستند؛ اما در نیروگاه‌ها نمی‌توان از این قدرت نامی استفاده نمود و قدرت عملی آن‌ها کمتر از قدرت نامی می‌باشد. دلایل این کاهش را می‌توان به صورت زیر بیان نمود [۱]:

الف- عدم انطباق شرایط واقعی محیط با شرایط فرضی ایزو: با توجه به اینکه اکثر نقاط کشور ما از سطح دریا بالاتر هستند و باعنایت به اینکه دمای بیشتر روزهای سال از ۱۵ درجه سانتیگراد فراتر می‌رود، لذا قدرتی که عملا از یک واحد نیروگاه حرارتی می‌توان گرفت کمتر از مقدار نامی آن خواهد بود. البته افزایش دما و کاهش فشار هوا، تاثیری بر روی واحدهای آبی نخواهد داشت.

ب- سن واحدها، میزان و کمیت تعمیراتی که برروی آن‌ها انجام می‌گیرد، در بازدهی حرارتی و مکانیکی واحدها تاثیر قابل ملاحظه‌ای دارد. هر چه واحدها قدیمی‌تر و نیاز به تعمیران اساسی در آن‌ها بیشتر باشد، به طور طبیعی در میزان قدرتی که می‌توان در عمل از آن‌ها گرفت تاثیر بیشتری می‌گذارند.

این مسائل باعث می‌شود که برحسب تعریفی که از قدرت عملی صورت می‌گیرد، مقادیر متفاوتی برای آن بدست آید که در یک نیروگاه در حال کار یا آماده به کار، بین یک حداقل و یک حداکثر در نوسان باشد. لذا در برنامه‌ریزی‌های بهره‌برداری باید به این حدود توجه کافی داشت [۱].

[1] Rated (Nominal) Power

# فصل ۲

# انتخاب نوع نیروگاه‌ها و موقعیت نصب آن‌ها

## ۲-۱ مقدمه

اولین مرحله در طراحی هر نیروگاهی، شرایط انرژی مورد نیاز شبکه می‌باشد. این شرایط را می‌توان به سه دسته ۱) میزان حداکثر تقاضای شبکه، ۲) کل انرژی مورد نیاز و ۳) نحوه توزیع انرژی تقاضا شده تقسیم نمود [۱].

برای رسیدن به این اهداف در هر شبکه‌ای، نیاز به مطالعه وسیع شبکه و رشد آن می‌باشد. یکی از این مطالعات، پیش‌بینی [۲] افزایش بار در سال‌های آتی است که متناسب با افزایش بار، بتوان میزان تولید مورد نیاز شبکه را افزایش داد تا استفاده بهینه‌تری از میزان تولید کنونی انجام پذیرد [۱].

## ۲-۲ تعاریف اساسی

اولین تعریف هر شبکه‌ای، میزان حداکثر تقاضا [۳] می‌باشد؛ زیرا ظرفیت تولیدی یک نیروگاه بستگی به میزان تقاضای مصرف‌کنندگان هر شبکه دارد. این مصرف‌کنندگان شبکه، عموما از نوع روشنایی، خانگی، صنعتی، تجاری، شهری، کشاورزی و ... می‌باشند [۱].

هر مصرف‌کننده الکتریکی دارای ظرفیت حداکثری در جذب قدرت می‌باشد. البته وسایل مصرف‌کننده در هر گروه (به عنوان مثال در یک خانه یا یک شهر) مستقل از هم می‌باشد. حال اگر در هر گروهی همه وسایل الکتریکی به طور همزمان انرژی الکتریکی دریافت کنند، آنگاه میزان حداکثر تقاضای مصرف‌کنندگان مساوی بارهای قابل اتصال [۴] می‌باشد.

[2] Forcasting
[3] Maximum Demand
[4] Connected Load

اما عموما چنین اتفاقی نمی‌افتد، زیرا همیشه بارهایی که مصرف‌کنندگان در اختیار دارند (که می‌توانند آن‌ها را به شبکه وصل کنند) خیلی بیشتر از میزان حداکثر تقاضای آنان است. به همین خاطر رابطه بین حداکثر تقاضا و بارهای قابل اتصال را به صورت ضریب تقاضا[1] و به شکل زیر بیان می‌کنند [۱]:

$$\text{ضریب تقاضا} = d = \frac{\text{میزان حداکثر تقاضا}}{\text{بارهای قابل اتصال}} \qquad (۱-۲)$$

میزان این ضریب بستگی به نوع فعالیت مصرف‌کنندگان دارد که بین ۰/۵ تا ۰/۹ قابل تغییر است. به عنوان مثال، هتل‌ها کمترین ضریب تقاضا را دارند؛ زیرا این ضریب بیانگر آن است که مصرف‌کننده چند درصد از کل قدرتی را که در اختیار دارد، استفاده می‌کند [۱].

تجربه نشان داده است که تقاضای حداکثر از طرف مصرف‌کنندگان مجزا، به طور همزمان صورت نمی‌گیرد، بلکه در یک دوره زمانی انجام می‌شود. البته این موضوع برای مصرف‌کنندگانی که دارای فعالیت مشابهی هستند (از جمله مصارف خانگی، مصارف صنعتی و ...) صادق می‌باشد. نحوه توزیع زمانی میزان حداکثر تقاضای مصرف‌کنندگان مشابه را می‌توان با ضریب اختلاف[2] به صورت زیر بیان نمود [۱]:

$$\text{ضریب اختلاف یک گروه} = D = \frac{\text{مجموع حداکثر تقاضاهای منفرد}}{\text{میزان حداکثر تقاضای آن گروه}} \qquad (۲-۲)$$

همانگونه که مشخص است، این ضریب همیشه از عدد یک بزرگتر است. معمولا برای مصارف مسکونی دارای بیشترین مقدار (در حدود ۵) و برای مصارف صنعتی دارای کمترین مقدار (در حدود ۱/۳) می‌باشد. با توجه به اختلافی که بین میزان حداکثر تقاضاهای منفرد وجود دارد، مقدار سهم هر مصرف‌کننده منفرد در تقاضای حداکثر سیستم، کمتر از میزان حداکثر تقاضای آن مصرف‌کننده می‌باشد [۱].

مساله دیگر، تقاضای حداکثر یک سیستم می‌باشد که بستگی به میزان مصرف‌کننده‌های شبکه در زمان مشخصی به نام زمان حداکثر بار شبکه دارد. در زمان تقاضای حداکثر یک سیستم، میزان تقاضای یک گروه مشخص از مصرف‌کننده‌های مشابه، به ندرت برابر حداکثر تقاضای خود است؛ زیرا تقاضای حداکثر این گروه ممکن است در زمان‌های دیگری از سال صورت گیرد. این اختلاف را می‌توان به صورت ضریب اختلاف حداکثر[3] و به شکل زیر بیان نمود [۱]:

$$\text{ضریب اختلاف حداکثر} = r = \frac{\text{میزان حداکثر تقاضای گروه مصرف‌کننده}}{\text{میزان تقاضای گروه مصرف‌کننده در زمان تقاضای حداکثر}} \qquad (۳-۲)$$

این ضریب بزرگ‌تر و مساوی یک است. زیرا در زمان تقاضای حداکثر یک سیستم، میزان تقاضای یک گروه مشخص از مصرف‌کننده‌های مشابه، به ندرت برابر حداکثر تقاضای خود است.

[1] Demand Factor
[2] Diversity Factor
[3] Peak Diversity Factor

### ۲-۲-۰-۱ روش تعیین تقاضای حداکثر یک سیستم

تقاضای حداکثر یک سیستم، با در دسترس بودن داده‌های فوق به صورت زیر محاسبه می‌شود؛ فرض کنید که:

$C_{۱}, C_{۱'}, C_{۱''}, \ldots, C_{۱n}$: بارهای متصل منفرد در گروه ۱؛

$C_{۲}, C_{۲'}, C_{۲''}, \ldots, C_{۲n}$: بارهای متصل منفرد در گروه ۲؛

$d_{۱}$: ضریب تقاضای گروه ۱؛

$d_{۲}$: ضریب تقاضای گروه ۲؛

$D_{۱}$: ضریب اختلاف گروه در ارتباط با مصرف‌کنندگان گروه ۱؛

$D_{۲}$: ضریب اختلاف گروه در ارتباط با مصرف‌کنندگان گروه ۲؛

$M_{۱}$: تقاضای حداکثر گروه ۱؛

$M_{۲}$: تقاضای حداکثر گروه ۲؛

$r_{۱}$: ضریب اختلاف حداکثر برای گروه ۱؛

$r_{۲}$: ضریب اختلاف حداکثر برای گروه ۲؛

$L_m$: میزان تقاضای حداکثر سیستم؛

$L_{۱}, L_{۲}, \ldots, L_n$: تقاضای هر نوع از مصرف‌کننده در زمان تقاضای حداکثر سیستم؛

بنابراین می‌توان نوشت:

$$M_{۱} = \frac{\sum C_{۱} \times d_{۱}}{D_{۱}} \quad , \quad M_{۲} = \frac{\sum C_{۲} \times d_{۲}}{D_{۲}} \tag{۲-۴}$$

$$L_{۱} = \frac{M_{۱}}{r_{۱}} \quad , \quad L_{۲} = \frac{M_{۲}}{r_{۲}} \tag{۲-۵}$$

$$L_m = L_{۱} + L_{۲} + \cdots + L_n \tag{۲-۶}$$

**مثال ۲-۱** یک مجتمع ساختمانی بزرگ از تعداد زیادی منزل مسکونی و فروشگاه‌ها و کارگاه‌های مورد نیاز تشکیل شده است. تعداد این منازل به ۱۰۰۰ واحد می‌رسد که هر واحد دارای بار قابل اتصال به مقدار $۴\text{kW}$ می‌باشد. همچنین مشخصات کارگاه‌ها در جدول ۲-۱ ارائه شده است.

ضریب تقاضای واحدهای مسکونی ۴۵ درصد می‌باشد. ضریب اختلاف گروه بارهای مسکونی برای این سیستم به مقدار ۳/۵ است و ضریب اختلاف حداکثر برابر ۱/۴ می‌باشد. همچنین ضریب اختلاف گروه بارهای تجارتی برابر ۱/۵ و ضریب اختلاف حداکثر برابر ۱/۱ است. میزان افزایش تقاضای حداکثر بار در کل سیستم را (که از شین اصلی دریافت می‌کند) محاسبه نمایید. فرض کنید تلفات خط به مقدار ۵ درصد قدرت انتقالی باشد [۱].

جدول ۲-۱: مشخصات مغازه‌ها و کارگاه‌های یک مجتمع ساختمانی

t1

| مغازه یا کارگاه | بار قابل اتصال kW | ضریب تقاضا برحسب درصد |
|---|---|---|
| خشک‌شویی و لباس‌شویی ۱ واحد | ۲۰ کیلووات | ۶۸ |
| نمازخانه ۲ واحد | هرکدام ۱۰ کیلووات | ۵۶ |
| سالن غذاخوری ۱ واحد | ۶۰ کیلووات | ۵۲ |
| کتابفروشی ۱ واحد | ۵ کیلووات | ۶۶ |
| فروشگاه خشکبار ۱ واحد | ۷ کیلووات | ۷۶ |
| داروخانه ۲ واحد | هرکدام ۱۰ کیلووات | ۷۹ |
| فروشگاه سبزی ۲ واحد | هرکدام ۵ کیلووات | ۷۳ |
| فروشگاه کفش ۱ واحد | ۲ کیلووات | ۶۷ |
| فروشگاه لباس ۱ واحد | ۴ کیلووات | ۵۳ |
| سالن نمایش ۱ واحد | ۱۰۰ کیلووات | ۴۹ |

حل:

$$\text{تقاضای حداکثر برای هر کدام} = C_i \times d_i = ۴ \times ۰/۴۵ = ۱/۸\text{kW}$$

$$\text{تقاضای حداکثر برای ۱۰۰۰ واحد} = M_۱ = \frac{۱/۸ \times ۱۰۰۰}{۳/۵} = ۵۱۴\text{kW}$$

$$\text{میزان تقاضای ۱۰۰۰ واحد در زمان حداکثر} = L_۱ = \frac{۵۱۴}{۱/۴} = ۳۶۷\text{kW}$$

بارهای تجاری به همراه نمازخانه در جدول ۲-۲ می‌باشد.

$$\text{تقاضای حداکثر گروه تجاری} = M_۲ = \frac{۱۴۰/۱}{۱/۵} = ۹۳/۴\text{kW}$$

$$\text{تقاضای تجاری در زمان حداکثر سیستم} = L_۲ = \frac{۹۳/۴}{۱/۱} = ۸۴/۹\text{kW}$$

$$\text{تقاضای مصرف‌کنندگان در زمان تقاضای حداکثر سیستم} = L_m = ۳۶۷ + ۸۴/۹ = ۴۵۱/۹\text{kW}$$

$$\text{افزایش کل در تقاضای حداکثر در شین ایستگاه} = ۴۵۲ \times ۱/۰۵ = ۴۷۴/۴۹\text{kW}$$

جدول ۲-۲: میزان حداکثر تقاضای مغازه‌ها و کارگاه‌های یک مجتمع ساختمانی

t2

| مغازه یا کارگاه | بار قابل اتصال kW | ضریب تقاضا برحسب درصد | تقاضای حداکثر kW |
|---|---|---|---|
| خشک‌شویی و لباس‌شویی ۱ واحد | ۲۰ کیلووات | ۶۸ | ۱۳/۶ |
| نمازخانه ۲ واحد | هرکدام ۱۰ کیلووات | ۵۶ | ۱۱/۲ |
| سالن غذاخوری ۱ واحد | ۶۰ کیلووات | ۵۲ | ۳۱/۲ |
| کتابفروشی ۱ واحد | ۵ کیلووات | ۶۶ | ۳/۳ |
| فروشگاه خشکبار ۱ واحد | ۷ کیلووات | ۷۶ | ۵/۳ |
| داروخانه ۲ واحد | هرکدام ۱۰ کیلووات | ۷۹ | ۱۵/۸ |
| فروشگاه سبزی ۲ واحد | هرکدام ۵ کیلووات | ۷۳ | ۷/۳ |
| فروشگاه کفش ۱ واحد | ۲ کیلووات | ۶۷ | ۱/۳ |
| فروشگاه لباس ۱ واحد | ۴ کیلووات | ۵۳ | ۲/۱ |
| سالن نمایش ۱ واحد | ۱۰۰ کیلووات | ۴۹ | ۴۹ |
| کل تقاضای حداکثر تجاری = | | | ۱۴۰/۱ |

## ۲-۳ منحنی بار

هر شبکه قدرت دارای بارهای مختلفی از قبیل بارهای روشنایی، صنعتی، خانگی، شهری، کشاورزی و ... می‌باشد. نحوه تغییرات بار برای یک دوره ۲۴ ساعته (در یک روز) به منحنی زمانی بار روزانه[1] معروف است. این منحنی برای بارهای مختلف متفاوت می‌باشد. به عنوان مثال بارهای تجاری بین 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. به عبارت 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 تقریبا یکسان است [۱].

منحنی بار هر شبکه می‌تواند به صورت روزانه، هفتگی، ماهانه و یا سالانه بدست آید. هر نوع از این منحنی‌ها برای مطالعات خاصی مفید هستند. به عنوان مثال، منحنی بار روزانه برای تصمیم‌گیری‌های کوتاه مدت و منحنی بار سالانه برای تصمیم‌گیری‌های دراز مدت بکار می‌رود [۱].

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 روزانه سال قبل می‌توان تغییرات بار را تا حدودی برای سال جدید پیش‌بینی نمود. با این پیش‌بینی‌ها مقدار تولید اضافی شبکه مشخص می‌شود و می‌توان برنامه‌ریزی تولید برای نیروگاه‌ها و مقدار ذخیره چرخان شبکه را تعیین نمود [۱].

استفاده دیگری که از منحنی بار صورت می‌گیرد، میزان انرژی مصرفی شبکه (مقدار کیلووات ساعت (kWh) شبکه) در دوره تناوب مورد نظر (روزانه، هفتگی،...) می‌باشد که این میزان انرژی مصرفی برابر سطح زیر منحنی بار شبکه است [۱].

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

در صورتی که منحنی بار در زمان خودش رسم شود، منحنی بار روزانه بدست می‌آید. اما اگر بارهای مختلف را بر حسب مدت زمان بارگیری آن بار مرتب کنیم و سپس تغییرات آن را رسم نماییم، منحنی مرتب شده بار[2] بدست می‌آید که این منحنی در شکل ۲-۲ نشان داده شده است. این منحنی بیانگر آن است که مقدار مشخصی از قدرت تولیدی در

[1] Daily Load Curve
[2] Load Duration Curve (LDC)

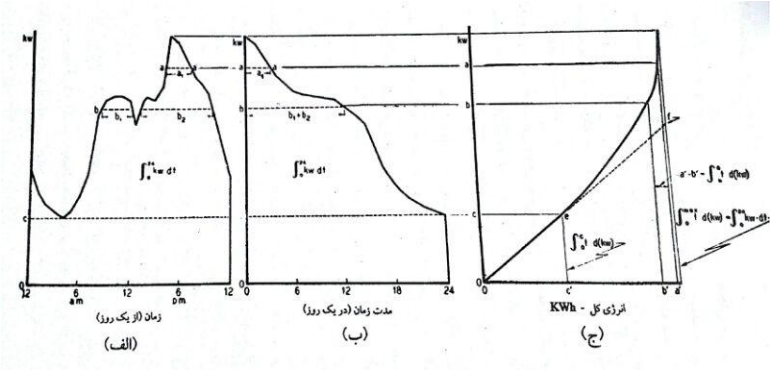



fig1

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

چه مدت از زمان دوره تناوب توسط مصرف‌کننده‌ها جذب می‌شود [۱].

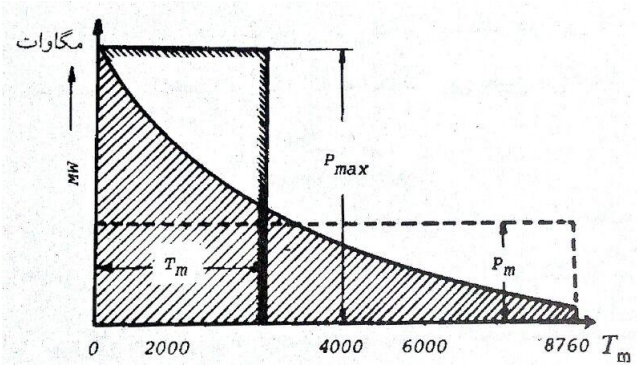



fig2

شکل ۲-۲: منحنی مرتب شده بار برای یک سال

نحوه بدست آوردن این منحنی بدین صورت است که حداکثر قدرت دریافتی در یک لحظه ($t = ۰$) دریافت می‌شود و قدرت دریافتی به مقدار $a$ کیلووات در زمان $a_۱$ می‌باشد که در شکل ۲-۱ الف و ب مشخص شده است. همچنین مدت زمانی که مصرف‌کننده‌ها قدرت $b$ کیلووات را دریافت می‌کنند، به مقدار مجموع زمان‌های $b_۱$ و $b_۲$ می‌باشد. در نتیجه واضح است که حداقل قدرت مصرفی در ۲۴ ساعت توسط مصرف‌کننده‌ها دریافت می‌شود. در شکل ۲-۱ ج منحنی انرژی مصرفی برحسب مقدار بار مصرف‌کنندگان رسم شده است. از این منحنی درمی‌یابیم که برای هر مقدار کیلووات ساعت مصرفی، مقدار انرژی مصرفی شبکه (برحسب کیلووات ساعت) چقدر خواهد بود. در نتیجه برای قدرت حداکثر شبکه، مقدار کل انرژی شبکه برابر مقدار $a'$kWh است و آن مقدار انرژی را که بین قدرت‌های $a$ تا $b$ کیلووات مصرف می‌شود، می‌توان از مقدار تفاضل $a'$kWh و $b'$kWh ($a' - b'$kWh) بدست 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 نشان داده شده است [۱].

الف) **بار حداقل (بار پایه) شبکه**[1]: باری است که تقریبا در تمام مدت دوره موردنظر (روزانه، هفتگی، ...) توسط مصرف‌کنندگان شبکه دریافت می‌گردد. این بار را با $P_{min}$ نشان می‌دهند [۱].

ب) **بار حداکثر شبکه**[2]: حداکثر باری است که در مدت دوره تناوب مورد نظر توسط مصرف‌کنندگان شبکه دریافت می‌شود. این بار با $P_{max}$ مشخص می‌شود [۱].

ج) **بار متوسط شبکه**[3]: مقدار باری است که اگر در دوره تناوب مورد نظر به طور یکسان توسط مصرف‌کنندگان دریافت شود، انرژی دریافتی آن معادل انرژی منحنی بار مرتب شده باشد. این بار با $P_m$ بیان می‌شود [۱].

$$P_m = \frac{۱}{T}\int_T f(t)dt = \frac{۱}{T}(\text{انرژی مصرفی در دوره تناوب T}) \qquad (۲-۷)$$

حال اگر منحنی مرتب شده بار برای یک سال رسم شده باشد، داریم:

$$P_m = \frac{۱}{۸۷۶۰}(\text{انرژی مصرفی سالیانه}) \qquad (۲-۸)$$

د) **ضریب بار شبکه**[4]: میزان تغییرات بار یک شبکه در یک دوره تناوب مورد نظر بوسیله ضریب بار مشخص می‌شود که به صورت زیر تعیین می‌گردد:

$$m = \frac{P_m}{P_{max}} \qquad (۲-۹)$$

مقدار $m$ بیانگر میزان استفاده مناسب از نیروگاه‌ها می‌باشد. به عنوان مثال، یک نیروگاه با $m$ کوچک به این معنی است که اگر چه تولید حداکثر نیروگاه به مقدار $P_{max}$ است، ولی تولید مداوم این نیروگاه به مقدار $P_m$ کوچک می‌باشد. در نتیجه استفاده بهینه‌ای از مقدار سرمایه‌گذاری شده در ساخت نیروگاه صورت نگرفته است. از طرف دیگر با توجه به این که قیمت هر کیلووات ساعت انرژی تولیدی علاوه بر ارزش سوخت مصرفی، بستگی به گرانی و ارزش نیروگاه دارد، لذا هزینه تولید انرژی برای هر کیلووات ساعت در نیروگاه‌های با شبکه‌ی $m$ کوچکتر، نسبت به نیروگاه‌های با شبکه‌ی $m$ بزرگتر بیشتر خواهد بود [۱].

به عنوان مثال، اگر یک نیروگاه دارای بار پیک ۱۰۰۰ مگاوات باشد اما بار متوسط سالیانه آن ۳۵۰ مگاوات باشد، ضریب بار سالیانه آن تنها ۰/۳۵ خواهد بود. بیشتر ظرفیت آن برای اغلب سال غیراستفاده می‌ماند و بنابراین، هزینه برق بالا خواهد بود [۲].

[1] Minimum Load (Base Load)
[2] Maximum Load (Peak Load)
[3] Average Load
[4] Load Factor

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 هرچه تغییرات بار شبکه در دوره تناوب موردنظر بیشتر باشد، ضریب بار کاهش می‌یابد. در این حالت، بار متوسط با بار حداکثر شبکه تفاوت زیادی دارد. به عبارت دیگر، هرچه بار متوسط به بار حداکثر شبکه نزدیکتر شود، ضریب بار به عدد یک نزدیکتر می‌شود. مقدار این ضریب در کشور ایران در سال ۱۳۸۴، برابر ۶۶/۱ درصد و در سال ۱۳۸۵ به مقدار ۶۵/۹ درصد می‌رسد [۱].

برای بالابردن ضریب بار شبکه تدابیر بسیار زیادی اتخاذ می‌شود که از مهم‌ترین این تدابیر، می‌توان به ایجاد شبکه‌های سراسری و به هم 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 [۱].

راه دیگر بیان ضریب بار سالیانه برروی منحنی مرتب شده بار، با استفاده از مقدار انرژی مصرف سالیانه می‌باشد که به صورت زیر بیان می‌گردد [۱]:

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

که

$$P_m = \frac{F\,(\mathrm{kWh})}{۸۷۶۰\,\mathrm{h}} \qquad (۱۱-۲)$$

که $F$ مقدار انرژی مصرفی سالیانه شبکه مورد نظر و ۸۷۶۰ ساعت، مقدار ساعت برای دوره تناوب سالیانه است [۱].

ه) **مدت زمان بهره‌برداری:** همانطور که قبلا 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؛ بنابراین،

$$T_m = \frac{F}{P_{max}} = m \times ۸۷۶۰ \qquad (۱۲-۲)$$

مشخص است که هر چه زمان بهره‌برداری شبکه‌ای بیشتر باشد، هزینه انرژی تولیدی توسط نیروگاه‌ها کاهش می‌یابد که طبعا این موضوع باعث می‌شود تا هزینه انرژی الکتریکی مصرف‌کنندگان کمتر گردد [۱].

و) **ضریب استفاده (بهره) نیروگاه**[1]: نسبت بار حداکثر نیروگاه ($P_{max}$) به ظرفیت نامی آن ($P_e$)، معرف ضریب استفاده نیروگاه می‌باشد [۱].

$$\text{ضریب استفاده (بهره)} = \frac{\text{بار حداکثر نیروگاه}}{\text{ظرفیت نامی نیروگاه}} = \frac{P_{max}}{P_e} \qquad (۱۳-۲)$$

که این ضریب بیانگر استفاده‌ای است که از نیروگاه به عمل می‌آید. مقدار کم این ضریب، بدین معنی است که یا نیروگاه به صورت ذخیره در شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرد، یا این که برای افزایش بار مصرفی شبکه در آینده برنامه‌ریزی شده است. برای یک نیروگاه در شبکه سراسری، بزرگ بودن ضریب بهره به معنای استفاده بهینه و حداکثر از نیروگاه با بازده حداکثر خواهد بود. البته در شبکه‌های مجزا، بزرگ بودن این ضریب، به مفهوم طراحی مناسب نیروگاه برای شبکه مورد نظر، با ظرفیت اضافه بار مجاز می‌باشد [۱].

نسبت انرژی تولید شده در یک زمان مشخص به حداکثر انرژی ممکن که می‌توان در همان زمان بهره‌برداری تولید نمود.

$$u = \frac{\text{انرژی تولیدی}}{\text{زمان بهره‌برداری} \times \text{ظرفیت تجهیز}} = \frac{kWh_{gen}}{\text{ساعت‌های بهره‌برداری} \times kW_{inst}} \qquad (۱۴-۲)$$

اگر زمان بهره‌برداری یک سال یا ۸۷۶۰ ساعت باشد، ضریب استفاده نیروگاه با ضریب ظرفیت برابر خواهد بود ($m = n$). مقدار زیاد ضریب استفاده نیروگاه بیانگر این است که نیروگاه کاملا بهینه عمل می‌کند. در برخی سیستم‌های بهم‌پیوسته، ضریب استفاده نیروگاه ممکن است از یک بیشتر باشد (۱/۱ یا ۱/۲)، یعنی بارها بیشتر از ظرفیت نامی هستند، از همین رو یک تجهیز همیشه برای ۱۰ تا ۲۰ درصد بیشتر بار نسبت به مقدار ظرفیت نامی خود طراحی می‌شود [۲].

ز) **ضریب ظرفیت نیروگاه**[2]: ضریب ظرفیت نیروگاه (که به طور اختصار به آن ضریب نیروگاه هم می‌گویند) نسبت بار متوسط سالیانه نیروگاه ( $P_m$ ) به ظرفیت تولید آن است که [۱]:

$$\text{ضریب نیروگاه} = n = \frac{\text{بار متوسط سالیانه نیروگاه}}{\text{ظرفیت نامی نیروگاه}} = \frac{P_m}{P_e} \qquad (۱۵-۲)$$

همچنین این ضریب را می‌توان از نسبت انرژی سالیانه تولیدی توسط نیروگاه به حداکثر انرژی تولیدی سالیانه در نیروگاه بدست 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 به این علت

[1] Utilization Factor
[2] Capacity Factor (Plant Factor)

است که ظرفیت نامی هر نیروگاه همیشه بزرگ‌تر از بار حداکثر قابل انتظار است. اغلب نیروگاه‌های قدرت، دارای مقداری ظرفیت ذخیره (رزرو) چرخان[۱] (برای در نظر گرفتن گسترش آینده شبکه) می‌باشند که در نتیجه [۱]:

$$\text{ضریب ظرفیت} = \frac{\text{بار حداکثر نیروگاه}}{\text{ظرفیت نامی نیروگاه}} \times \text{ضریب بار} = \text{ضریب بهره} \times \text{ضریب بار} \qquad (۲-۱۶)$$

البته عموما 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 به صورت ذخیره چرخان قرار گیرند، کافی خواهد بود و بقیه نیروگاه‌ها با ظرفیت کامل خود تولید خواهند کرد [۱].

اگر ظرفیت نامی نیروگاه ($P_m$) با بار پیک برابر باشد، سپس ضریب بار و ضریب ظرفیت به صورت عددی برابر خواهند بود. اختلاف بین ضریب بار و ضریب ظرفیت شاخصی برای ظرفیت رزرو است [۲].

### ح) ضریب رزرو[۲] [۲]:

$$r = \frac{m}{n} = \frac{\text{ضریب بار}}{\text{ضریب ظرفیت}} \qquad (۲-۱۷)$$

ex2 **مثال ۲-۲** یک نیروگاه بارها را طبق جدول ۲-۳ تغذیه می‌کند.

الف- منحنی بار را رسم کنید و ضریب بار نیروگاه را تخمین بزنید.

ب- اگر واحد جانشینی[۳] با ظرفیت ۳۰ مگاوات فقط بارهای بیشتر از ۷۰ مگاوات را تغذیه کند، ضریب بار و ضریب استفاده آن را محاسبه کنید [۲].

جدول ۲-۳: جدول مثال ۲-۲

t3

| زمان (ساعت) | ۰ – ۶ | ۶ – ۱۰ | ۱۰ – ۱۲ | ۱۲ – ۱۶ | ۱۶ – ۲۰ | ۲۰ – ۲۲ | ۲۲ – ۲۴ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بار (مگاوات) | ۳۰ | ۷۰ | ۹۰ | ۶۰ | ۱۰۰ | ۸۰ | ۶۰ |

حل:

[1] Spinning Reserve
[2] Reserve Factor
[3] Standby equipment (Unit)

الف- منحنی بار در شکل ۲-۳ رسم شده است.

$$\text{انرژی تولیدی} = \text{مساحت زیر نمودار} =$$

$$۳۰ \times ۶ + ۷۰ \times ۴ + ۹۰ \times ۲ + ۶۰ \times ۴ + ۱۰۰ \times ۴ + ۸۰ \times ۲ + ۶۰ \times ۲ =$$

$$۱۸۰ + ۲۸۰ + ۱۸۰ + ۲۴۰ + ۴۰۰ + ۱۶۰ + ۱۲۰ = ۱۵۶۰\text{MWh}$$

$$\text{متوسط بار} = P_m = \frac{۱۵۶۰\text{MWh}}{۲۴} = ۶۵\text{MW}$$

$$\text{ضریب بار} = m = \frac{P_m}{P_{max}} = \frac{۶۵}{۱۰۰} = ۰/۶۵$$

ب-

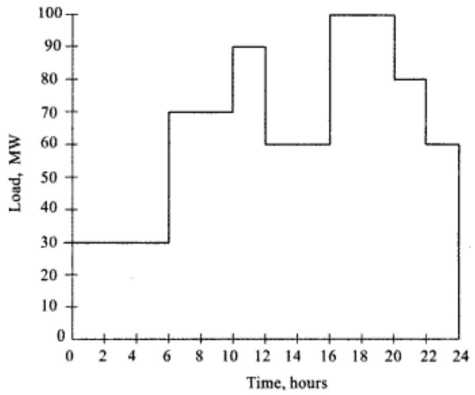
$$\text{انرژی تولیدی} = ۲۰ \times ۲ + ۳۰ \times ۴ + ۱۰ = ۴۰ + ۱۲۰ + ۲۰ = ۱۸۰\text{MWh}$$

$$\text{زمانی که واحد جانشین در حال بهره‌برداری است} = ۲ + ۴ + ۲ = ۸\text{h}$$

$$\text{متوسط بار} = P_{m۱} = \frac{۱۸۰\text{MWh}}{۸} = ۲۲/۵\text{MW}$$

$$\text{ضریب بار} = \frac{۲۲/۵}{۳۰} = ۰/۷۵$$

$$\text{ضریب استفاده} = u = \frac{\text{انرژی تولیدی}}{\text{زمان بهره‌برداری} \times \text{ظرفیت تجهیز}} = \frac{۱۸۰ \times ۱۰^۳ kWh}{۳۰ \times ۱۰^۳ kW \times ۸h} = ۰/۷۵$$




شکل ۲-۳: منحنی بار مثال ۲-۲

fig6

**مثال ۲-۳** بار پیک در یک نیروگاه ۶۰ مگاوات است. بارهایی با ماکزیمم تقاضای ۳۰، ۲۰، ۱۰ و ۱۴ مگاوات به نیروگاه متصل شده‌اند. ظرفیت نیروگاه ۸۰ مگاوات و ضریب بار سالیانه ۰/۵ می‌باشد. محاسبه کنید:

الف- متوسط بار نیروگاه،

ب- انرژی تامین شده سالیانه،

ج- ضریب تقاضا،

د- ضریب اختلاف [۲].

حل:

الف-

$$\text{ضریب بار} = m = \frac{\text{متوسط بار}}{\text{بار پیک}} = \frac{P_m}{P_{max}} \Rightarrow ۰/۵ = \frac{P_m}{۶۰} \Rightarrow P_m = ۳۰\text{MW}$$

ب-

$$\text{انرژی تامین شده سالیانه} = \text{بار متوسط} \times ۸۷۶۰ = ۳۰ \times ۸۷۶۰ = ۲۶۲/۸ \times ۱۰^۶\text{kWh}$$

ج-

$$\text{ضریب تقاضا} = d = \frac{\text{تقاضای ماکزیمم}}{\text{بار متصل}} = \frac{۶۰}{۳۰+۲۰+۱۰+۱۴} = \frac{۶۰}{۷۴} = ۰/۸۱۱$$

د-

$$\text{ضریب اختلاف} = D = \frac{\text{مجموع تقاضاهای ماکزیمم منفرد}}{\text{تقاضای ماکزیمم لحظه‌ای}} = \frac{۳۰+۲۰+۱۰+۱۴}{۶۰} = \frac{۷۴}{۶۰} = ۱/۲۳۳$$

## 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 [۱].

### ۲-۵-۱ هزینه‌های ثابت سالیانه

هزینه‌های ثابت سالیانه[1]، هزینه‌هایی هستند که تقریبا هیچ ارتباطی با میزان بار متصل به نیروگاه ندارند. به عبارت دیگر، مقدار تولید نیروگاه، تاثیری در این نوع هزینه‌ها نخواهد داشت [۱]. مواردی که هزینه‌های ثابت یک نیروگاه را تشکیل می‌دهند، عبارتند از:

[1] Annual fixed Cost

الف) **هزینه سرمایه‌گذاری تاسیسات:** این هزینه شامل هزینه خرید زمین و تجهیزات و 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 [۱].

ب) **هزینه‌های سالیانه بیمه، مالیات و بهره نیروگاه:** با توجه به این که تقریبا هزینه‌های بیمه، مالیات و بهره نیروگاه به طور سالیانه برای هر نیروگاهی محاسبه می‌شود، در نتیجه این موارد را جزو هزینه‌های ثابت در نظر می‌گیرند [۱].

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 این که این موارد به مقدار تولید نیروگاه بستگی ندارد، در نتیجه هزینه استهلاک ساختمان و ماشین‌آلات را جزو هزینه‌های ثابت نیروگاه در نظر می‌گیرند [۱].

د) **هزینه‌های نگه‌داری و مدیریتی:** 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 در نتیجه، جزو هزینه‌های ثابت در نظر گرفته می‌شود [۱].

## ۲-۵-۲ رابطه هزینه ثابت سالیانه

در صورتی که قیمت تمام شده نیروگاه به ازای هر کیلووات ظرفیت پس از تاسیس به مقدار $a$ 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 به مقدار 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 بدست آوردن هزینه ثابت سالیانه، باید هزینه کل نیروگاه را در ضریب هزینه ثابت سالیانه FCR[1] (که همیشه از یک کوچکتر است) ضرب نمود که در نتیجه هزینه ثابت سالیانه $K_{AFC}$ به صورت زیر در می‌آید [۱]:

$$K_{AFC} = P_e \cdot a \cdot FCR \qquad (۱۸-۲)$$

به مقدار $a$، قیمت مخصوص نیروگاه ( $\frac{\$}{\text{kW}}$ ) می‌گویند که بستگی به نوع نیروگاه دارد. این مقدار در نیروگاه‌های آبی و هسته‌ای بیشترین مقدار و برای نیروگاه‌های گازی کمترین مقدار را خواهد داشت [۱].

[1] Fixed Charge Rate

### ۲-۵-۳ هزینه‌های متغیر سالیانه

هزینه‌های متغیر سالیانه[1]، هزینه‌هایی هستند که ارتباط مستقیمی با مقدار انرژی تولیدی نیروگاه دارند. عوامل موثر در مقدار این هزینه را می‌توان به صورت موارد زیر بیان نمود:

الف) **هزینه سوخت:** این هزینه، بیشترین و مهمترین هزینه در نیروگاه‌های حرارتی (بخاری، گازی، چرخه ترکیبی، 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 زغال‌سنگ، نفت، مازوت یا گاز طبیعی باشد. هزینه سوخت وابسته به نوع سوخت، در دسترس بودن آن و هزینه‌های حمل و نقل است. همچنین این مقدار بستگی به میزان تولید و بازده نیروگاه دارد. به عبارت دیگر، هرچه ظرفیت تولید یک نیروگاه بیشتر باشد، سوخت مصرفی آن بیشتر خواهد شد و برای نیروگاه‌های با بازده کمتر، انرژی مصرفی بیشتر می‌گردد [۱].

ب) **هزینه عملکرد**[2]: عملکرد یک نیروگاه نیاز به کار و کارمند دارد. البته با به کار بردن تجهیزات اتوماتیک و افزایش ابعاد نیروگاه، تعداد افراد مورد نیاز برای عملکرد نیروگاه (برای یک مقدار مشخص) کم می‌شود. در نیروگاه آبی و دیزلی، نیروی کار و کارمند به مقدار زیادی کاهش می‌یابد [۱].

ج) **هزینه نگه‌داری:** هر نیروگاهی نیاز به نگه‌داری‌های اضطراری (معاینه فنی، تعمیر و تمیز کردن، باز و بسته کردن تجهیزات[3]) دارد تا شرایط مطلوب بر نیروگاه حاکم گردد. هزینه‌های نگه‌داری را می‌توان به هزینه مورد نیاز برای نگه‌داری و هزینه نیروی کار تقسیم نمود [۱].

د) **تدارکات و ملزومات:** این مورد در ارتباط با هزینه آب مورد نیاز نیروگاه (برای آب سیکل، آب خنک‌کنندگی، آب مصرف عمومی)، هزینه روغن مورد نیاز برای روغن‌کاری تجهیزات و دیگر مواد مصرفی می‌باشد [۱].

### ۲-۵-۴ رابطه هزینه متغیر سالیانه

با توجه به اینکه هزینه متغیر سالیانه هر نیروگاهی را اکثرا هزینه سوخت در برمی‌گیرد، در نتیجه برای نیروگاهی با قدرت $P_e$ که در یک مدت اثر بهره‌برداری $T_m$ مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، هزینه متغیر را می‌توان به صورت زیر محاسبه نمود [۱]:

$$K_{OAC} = P_e \cdot T_m \cdot b \qquad (۲-۱۹)$$

[1] Annual Operating Cost
[2] Operating Labour Cost
[3] Overhauling

که برای ایجاد هر کیلووات ساعت انرژی به مقدار $b$ دلار سوخت مصرف می‌شود. به عبارت دیگر، هزینه سوخت برای تولید یک کیلووات ساعت برابر $b\frac{\$}{\text{kWh}}$ در نظر گرفته می‌شود [۱].

### 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 به شکل زیر نمایش داد [۱]:

$$K_{APC} = K_{AFC} + K_{AOC} = a \cdot FCR \cdot P_e + P_e \cdot T_m \cdot b \qquad (۲۰-۲)$$

همچنین ارزش تولید یک کیلووات برابر است با [۱]:

$$\frac{K_{APC}}{P_e} = a \cdot FCR + T_m \cdot b \quad \frac{\$}{\text{kW}} \qquad (۲۱-۲)$$

با توجه به اینکه در طول سال به مقدار $P_e \cdot T_m$ کیلووات ساعت انرژی تولید می‌شود، آنگاه هزینه تولید یک کیلووات ساعت به صورت زیر محاسبه می‌شود [۱]:

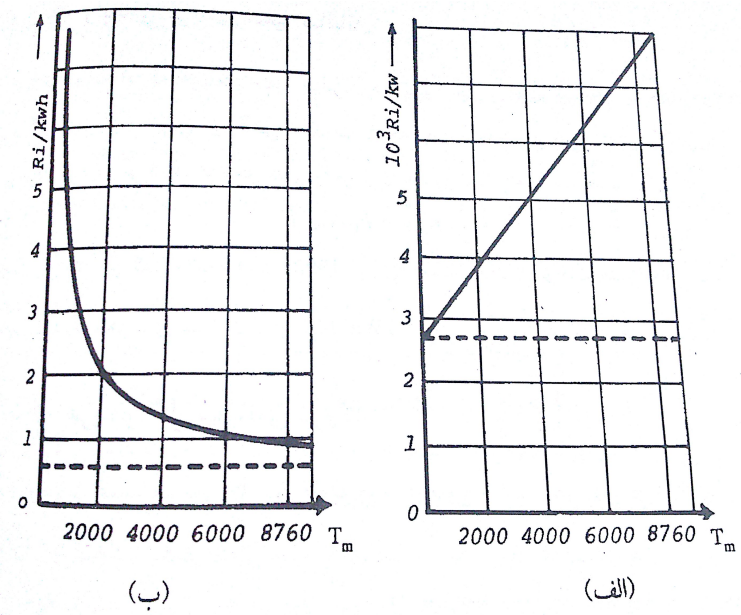
$$\frac{K_{APC}}{P_e \cdot T_m} = \frac{a \cdot FCR}{T_m} + b \quad \frac{\$}{\text{kW}} \qquad (۲۲-۲)$$

نحوه تغییرات $\frac{K_{APC}}{P_e}$ و $\frac{K_{APC}}{P_e \cdot T_m}$ برای یک نیروگاه نمونه در شکل ۲-۴ نشان داده شده است. همانگونه که از شکل ۲-۴ الف برمی‌آید، هرچه از نیروگاه بار کمتری دریافت شود، جزء مربوط به هزینه ثابت نیروگاه (FCR) نسبت به جزء مربوط به هزینه متغیر $(b \cdot T_m)$ اثر بیشتری در قیمت یک کیلووات تولیدی دارد؛ و بالعکس، هرچه 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 شکل ۲-۴ ب هرچه 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 را ارزان‌تر دریافت می‌کنند [۱].

## ۲-۶ هزینه‌های ثابت و متغیر نیروگاه بخار

همانگونه که قبلا هم بیان گردید، هزینه‌های سرمایه‌گذاری نیروگاه‌های بخار 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 [۱].

[1] Annual Plant Cost




شکل ۲-۴: تغییرات هزینه تولیدی یک نیروگاه نمونه الف) هزینه تولیدی برای هر کیلووات؛ ب) هزینه تولیدی برای هر کیلووات ساعت

fig3

هزینه‌های متغیر نیروگاه بخار هم شامل هزینه سوخت، روغن، آب، تدارکات، تعمیرات، حقوق و دستمزد کارگران و کارمندان و ... می‌باشد. اثر هزینه سوخت در هزینه کل نیروگاه‌های بخار قابل توجه می‌باشد. به عبارت دیگر، به طور تقریبی می‌توان گفت که ۲۵ درصد کاهش در هزینه سوخت، باعث کاهش تقریبی ۱۰ درصد در کل هزینه برای هر کیلووات ساعت انرژی تولیدی توسط نیروگاه بخار است. بعلاوه، مقدار سوخت مصرفی هم بستگی به بازده و عمر نیروگاه دارد. هرچه بازده نیروگاه کم و عمر آن زیاد باشد، مقدار سوخت مصرفی آن نسبت به نیروگاه‌های بخار جدید برای تولید انرژی مشابه بیشتر خواهد شد و در نتیجه هزینه تولیدی نیز افزایش می‌یابد [۱].

## ۲-۷ هزینه‌های ثابت و متغیر نیروگاه گازی

هزینه‌های ثابت این نوع نیروگاه‌ها نسبت به نیروگاه بخار بسیار کمتر است؛ زیرا تجهیزات مورد استفاده در سیکل گازی از نظر کمیت نسبت به تجهیزات سیکل بخار قابل مقایسه نمی‌باشد. در عوض، هزینه متغیر نیروگاه‌های گازی نسبت به نیروگاه‌های بخار بیشتر است و آن هم به این علت است که بازده سیکل گازی کمتر از بازده سیکل بخاری می‌باشد. همچنین تلفات در این سیکل‌ها بیشتر از تلفات سیکل بخار است. با مطالعه دقیق‌تر نیروگاه‌های بخار و گازی در فصل‌های آینده این موضوع بهتر مشخص خواهد شد [۱].

## 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 [۱].

هزینه‌های متغیر نیروگاه‌های آبی شامل حقوق و دستمزد کارمندان و کارگران و تدارکات است که نسبت به هزینه‌های ثابت آن بسیار ناچیز است. 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 [۱].

## ۲-۹ هزینه‌های ثابت و متغیر نیروگاه هسته‌ای

عواملی که تشکیل‌دهنده هزینه سرمایه‌گذاری نیروگاه‌های هسته‌ای هستند، کم و بیش مشابه همان عوامل نیروگاه‌های بخار است. تکنولوژی پیشرفته به کار 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 بخار زیاد می‌باشد. بعلاوه، تجهیزات خنک‌کنندگی آب مورد نیاز این نیروگاه‌ها نسبت به همین تجهیزات در نیروگاه‌های بخار با تولید مشابه، بزرگتر است و در نتیجه، هزینه آن هم افزایش می‌یابد [۱].

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 است. در نتیجه هزینه متغیر یک نیروگاه هسته‌ای خیلی بیشتر از نیروگاه‌های آبی، ولی بسیار کمتر از نیروگاه بخار است. در صورتی که ضریب بار این نیروگاه‌ها بالا باشد، تولید آن‌ها در بازده بالایی انجام می‌شود؛ بنابراین، همیشه این نیروگاه‌ها به عنوان یک نیروگاه پایه مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱].

## ۲-۱۰ عوامل موثر 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 موثر در کاهش هزینه تولید نیروگاه‌ها می‌توان به صورت زیر اشاره نمود:

۱. **ساخت نیروگاه‌های با ابعاد و قدرت بزرگ:** در سال ۱۹۳۰ میلادی، بزرگترین واحد نصب شده به قدرت ۲۰۰MW بود، ولی هم‌اکنون، 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 [۱].

۲. **کاهش هزینه‌های طراحی نیروگاه:** یکی دیگر از عوامل موثر در کاهش هزینه نیروگاه، بهبود در طرح نیروگاه، نحوه قرار گرفتن تجهیزات دیگ بخار و توربین و هماهنگی مناسب در جایابی تجهیزات در طبقات مختلف آن می‌باشد که این موضوع، باعث کاهش هزینه سرمایه‌گذاری می‌شود [۱].

۳. **بهبود بازده نیروگاه‌ها:** بازده نیروگاه‌ها در سال‌های حدود ۱۹۳۰ میلادی، تقریبا ۱۷ درصد بود، ولی اکنون به بیش از ۴۰ درصد 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 [۱].

۴. **بهره‌برداری اقتصادی از نیروگاه‌ها:** برنامه‌ریزی مناسب در تولید نیروگاه‌ها عامل بسیار موثری در صرفه‌جویی سوخت و استفاده بهینه از آن است [۱].

۵. **عملکرد سراسری سیستم‌های قدرت:** با به هم 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 [۱].

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 به مقدار زیادی کاهش می‌یابد. بالطبع با افزایش بازده انتقال قدرت، هزینه تولید انرژی برای تحویل دادن به مصرف‌کنندگان نیز کاهش پیدا می‌کند [۱].

## ۲-۱۱ انتخاب نوع نیروگاه با توجه به هزینه آن‌ها

در انتخاب نوع نیروگاه به منظور تامین قدرت مصرفی شبکه، عوامل متعدد و مختلفی وجود دارد. به عنوان مثال، برای نصب نیروگاه آبی علاوه بر هزینه کل، نیاز به رودخانه وجود دارد. در نصب نیروگاه‌های هسته‌ای، مساله وجود تکنولوژی پیشرفته در ساخت آن و در نصب نیروگاه‌های گازی عوامل زیست محیطی دخیل می‌باشند [۱].

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 بخار یا گاز، یکی را انتخاب کنیم. فرض کنید که قیمت سوخت نیروگاه‌های بخار و گاز به ترتیب $b_s$ و $b_g$ دلار بر کیلووات ساعت و قیمت تجهیزات برای هر کیلووات این دو نیروگاه، به ترتیب برابر $a_s$ و $a_g$ باشد؛ آنگاه ارزش تولید هر کیلووات انرژی در این دو نیروگاه برابر است با [۱]:

$$K_s = a_s \cdot FCR_s + T_{ms} \cdot b_s \quad \frac{\$}{\text{kW}} \tag{۲۳-۲}$$

$$K_g = a_g \cdot FCR_g + T_{mg} \cdot b_g \quad \frac{\$}{\text{kW}} \tag{۲۴-۲}$$

همانگونه که قبلا بیان کردیم، هزینه ثابت نیروگاه‌های گازی کمتر از نیروگاه‌های بخار است؛ ولی بالعکس، هزینه متغیر نیروگاه‌های گازی بیشتر از نیروگاه‌های بخار می‌باشد. در نتیجه منحنی تقریبی ارزش تولید هر کیلووات برای هر دو نیروگاه را می‌توان به صورت شکل ۲-۵ نشان داد [۱].

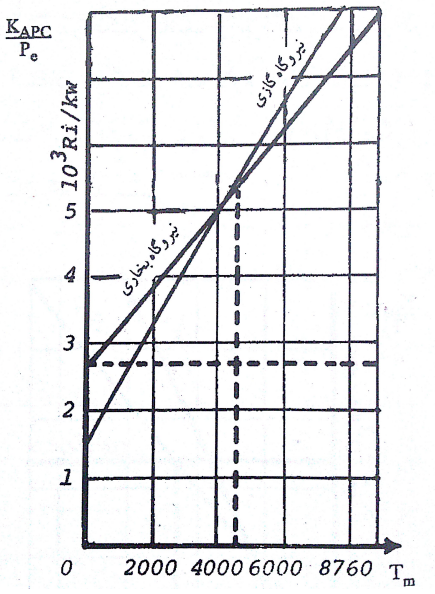



fig4

شکل ۲-۵: منحنی تغییرات هزینه برای هر کیلووات تولیدی در نیروگاه‌های بخار و گاز

برای تعیین مدت اثر بهره‌برداری $T_m$ که هر دو نیروگاه با یک قیمت کار کنند، باید رابطه زیر برقرار باشد [۱]:

$$a_s \cdot FCR_s + T_m \cdot b_s = a_g \cdot FCR_g + T_m \cdot b_g \tag{۲۵-۲}$$

در نتیجه،

$$T_m = \frac{a_s \cdot FCR_s - a_g \cdot FCR_g}{b_g - b_s} \qquad (۲۶-۲)$$

حال اگر مدت اثر بهره‌برداری منطقه ($T'_m$) از $T_m$ کوچکتر باشد، استفاده از نیروگاه گازی مقرون به صرفه‌تر است؛ در غیر این صورت از نیروگاه بخار استفاده می‌شود. این مقایسه را می‌توان برای نیروگاه‌های گازی، بخاری یا آبی با یکدیگر انجام داد. ارزش هر کیلووات این سه نیروگاه در شکل ۲-۶ بطور تقریبی رسم شده است [۱].

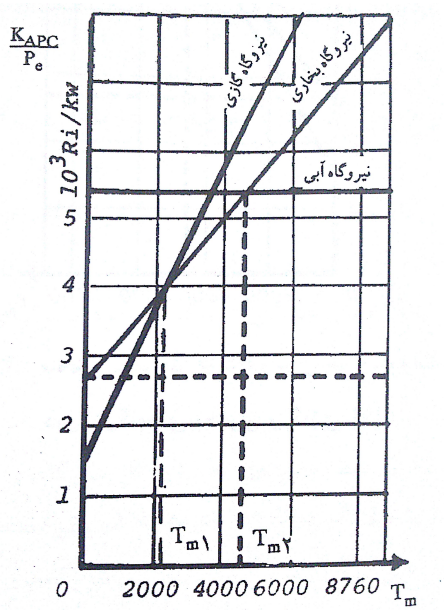



fig5

شکل ۲-۶: منحنی تغییرات هزینه برای هر کیلووات تولیدی در نیروگاه‌های آبی، بخار و گاز

در این حالت، اگر مدت بهره‌برداری منطقه از $T_{m۱}$ کوچکتر باشد، از نیروگاه گازی استفاده می‌شود و اگر از $T_{m۲}$ کوچکتر باشد، از نیروگاه بخار و در صورت بزرگتر بودن از $T_{m۲}$، از نیروگاه آبی استفاده می‌گردد. البته لازم به ذکر است که این مقایسه فقط از نظر هزینه کلی نیروگاه است. برای انتخاب نیروگاه عوامل موثر دیگری نیز دخیل می‌باشند که در قسمت‌های مربوطه بیان خواهد شد [۱].

## 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 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 به طور جداگانه بعدا بیان خواهد شد. پارامترهای موثر در تعیین موقعیت دیگر نیروگاه‌ها، از قبیل نیروگاه‌های بخار، گازی، چرخه ترکیبی و هسته‌ای تقریبا مشترک می‌باشد. به همین دلیل در این قسمت، توجه خود را برروی نیروگاه‌های بخار متمرکز می‌کنیم [۱].

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

۱. **دسترسی به مواد اولیه و حمل و نقل آن:** این موضوع در نیروگاه‌ها، به صورت نیاز به سوخت مصرفی روزانه پدیدار می‌شود. موقعیت نیروگاه‌ها باید به گونه‌ای 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. به عنوان نمونه، نیروگاه گازی ری، بخار شهید محمد منتظر قائم و بخار بعثت در نزدیک پالایشگاه تهران قرار دارند تا امکان انتقال سوخت به راحتی ایجاد گردد [۱].

۲. **دسترسی به بازار فروش محصولات:** در نیروگاه‌ها، این پارامتر را می‌توان به صورت انتقال انرژی الکتریکی مطرح نمود. لذا موقعیت نیروگاه‌ها را باید به گونه‌ای انتخاب نمود که نزدیک به مراکز بار مصرفی (نزدیک شهرها و کارخانه‌های صنعتی و ...) باشد؛ زیرا در غیر این صورت، 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 پرجمعیت و مراکز بار قرار دارند [۱].

۳. **وجود نیروی کارگر و متخصص:** موقعیت نیروگاه‌ها باید به گونه‌ای انتخاب شود تا دسترسی به نیروی کارگر و متخصص به سهولت انجام پذیرد [۱].

۴. **امکان دفع مازاد فرآورده‌های ناخواسته:** یکی از مشکلات بسیار مهم در بیشتر کارخانه‌ها از جمله نیروگاه‌های بخار، گاز، چرخه ترکیبی و هسته‌ای، ایجاد دود و فرآورده‌های گازی ناخواسته می‌باشد. همچنین در نیروگاه‌های بخار، دفع حرارتی در برج‌های خنک‌کننده هم یکی دیگر از مشکلات فرآورده‌های ناخواسته است و محل نیروگاه باید بگونه‌ای باشد که بتوان بدون آلودگی محیط زیست، براحتی فرآورده‌های ناخواسته را دفع نمود [۱].

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 می‌باشد. بعلاوه، با توجه به این که 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 به همراه خواهد داشت. به عنوان مثال، زمین‌های تصرف شده توسط نیروگاه‌های شهید محمد منتظر قائم، ری و بعثت به ترتیب برابر ۱/۰۰۰/۰۰۰، ۵۲۵/۰۰۰ و ۲۰۰/۰۰۰ مترمربع می‌باشد [۱].

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

۶. **آلودگی زیست محیطی:** در نیروگاه‌های بخار، 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. به عنوان مثال، در نیروگاه‌های بخار با قدرت بالا، ارتفاع دیگ بخار، برج‌های خنک‌کننده و دودکش بسیار زیاد است؛ بگونه‌ای که این تجهیزات در یک محیط باز، از فاصله چند کیلومتری براحتی قابل رویت می‌باشند. طبعا این تجهیزات با ارتفاع زیاد، چشم‌انداز محیط زیست را از بین می‌برد. پس موقعیت نیروگاه باید بگونه‌ای انتخاب گردد تا این لطمه به محیط زیست به حداقل خود کاهش یابد. به عنوان نمونه، ارتفاع دودکش و برج‌های خنک‌کن نیروگاه شهید رجایی قزوین به ترتیب ۲۲۰ و ۱۵۰ متر می‌باشد که اثرات زیست محیطی این تجهیزات با ارتفاع زیاد باید به حداقل خود کاهش یابد [۱].

۷. **رشد منطقی کلیه نواحی کشور:** ایجاد نیروگاه‌ها در هر منطقه‌ای، باعث توسعه و پیشرفت آن منطقه از نظر صنعتی خواهد شد؛ زیرا به طور 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 بگونه‌ای انتخاب شود که حتی‌الامکان این رشد صنعتی و اجتماعی در تمام کشور به طور یکنواخت مهیا شود [۱].

۸. **در دسترس بودن آب:** در نیروگاه‌های بخار به منظور تامین 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 بخار، برای تامین آب سیکل اصلی بخار می‌باشد. در صورتی که موقعیت زمین بگونه‌ای باشد که نزدیک به رودخانه یا دریا باشد، براحتی می‌توان از آب این منابع استفاده نمود؛ در غیر این صورت، استفاده از آب شهری یا آب‌های منابع زیرزمینی (پس از تصفیه و خالص نمودن آب) الزامی خواهد بود [۱].

۹. **بررسی موقعیت زمین از نظر زمین‌شناسی:** با توجه به هزینه بسیار زیاد تجهیزات نیروگاه، نباید این

تجهیزات را برروی مسیر خط زلزله و سیلاب‌ها نصب نمود. از این رو، موقعیت نیروگاه‌ها را باید از نظر زمین‌شناسی و مسیر سیلاب‌های فصلی مورد مطالعه و ارزیابی قرار داد [۱].

۱۰. **مطالعه شبکه:** موقعیت نیروگاه‌ها باید بگونه‌ای انتخاب شود که لطمه‌ای به مسائل عملکرد، پایداری و کنترل سیستم‌های قدرت وارد نسازد. در این راستا 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 به گونه‌ای باشد که حتی‌الامکان براحتی به شبکه سراسری متصل شود تا نیازی به احداث خط انتقال جدید نباشد [۱].

# مراجع

[۱] دکتر رحمت‌الله هوشمند. تولید برق در نیروگاه‌ها. چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، ویرایش دوم، ۱۳۸۷.

[2] P. Nag. *Power plant engineering*. Tata McGraw-Hill Education, 2002.