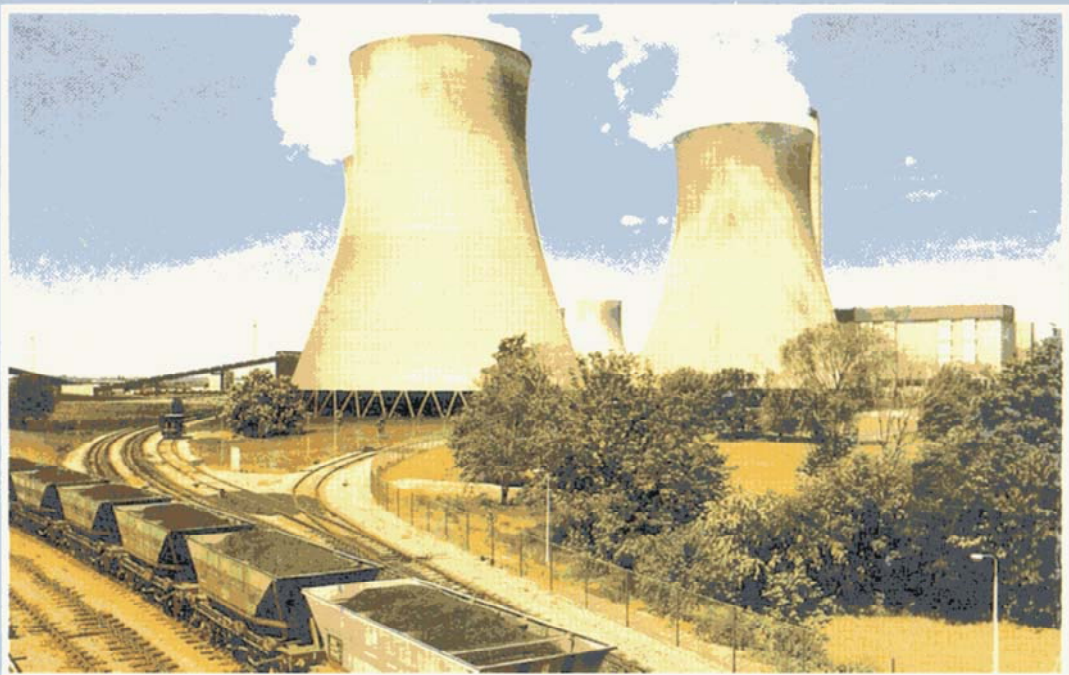




جمهوری اسلامی ایران  
وزارت نیرو  
امور انرژی

## راهنماهای فنی مدیریت انرژی



استفاده اقتصادی  
از الکتریسیته  
در صنعت



دفتر بهینه سازی مصرف انرژی

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## پیشگفتار

در طی دهه آینده، هزینه انرژی الکتریکی چه برای گرمایش و سرمایش، چه برای روشنایی و چه بعنوان نیروی محرکه در فرآیند تولید صنعتی، ادارات، مدارس، منازل، ... رشد چشمگیری پیدا خواهد کرد که البته دلایل این رشد، خارج از بحث این نوشتار است.

در عرصه رقابت جهانی در راستای مصرف کمتر (مصرف بهینه) و تولید هرچه بیشتر، کشورها، جوامع و صنایعی موفقتر خواهند بود که در این رقابت که شاید از دیدگاهی بتوان آن را مبارزه برای تنوع بقا و ادامه فعالیت نامید، با تحقیقات و مطالعات موفق به یافتن و پس از آن بکار بردن راههای جلوگیری از اتلاف انرژی شوند.

انرژی بطور عام و انرژی الکتریکی بطور خاص که امروز در اختیار و خدمت هم میهنان عزیز، قرار می گیرد، با هزینه‌ای به مراتب گزافتر تهیه می‌شود ولیکن دولت جمهوری اسلامی ایران با تأمین بخشی از هزینه‌های تولید آن از محل درآمدهای عمومی خود و یا به قیمت عدم انجام بسیاری از پروژه‌های زیربنایی ملی، آنرا بدینگونه در اختیار وا می‌گذارد.

اتلاف این انرژی الکتریکی و اصولاً هر نوع انرژی تولید شده از منابع فسیلی، علاوه بر خسارات مالی جبران‌ناپذیری که دارد، زیانهای غیرقابل انکاری نیز بر محیط زیست ملی ما و جهان وارد خواهد آورد. اکنون سالیان متمادی از زمانی می‌گذرد که کشورهای پیشرفته که حتی برخی از آنها از حداکثر امکانات طبیعی و صنعتی برای تولید انرژی برخوردارند، در کنار تلاش در جهت استفاده از انرژی‌های نو (خورشید، باد، امواج، ...)، استفاده صحیح از انرژی را در رأس اهم اهداف خود قرار داده و صاحبان صنایع، صنعتگران، مدیران سازمانها، ..... و حتی سازندگان ساختمانهای مسکونی و بالاخره استفاده‌کنندگان این بناها را مخاطب قرار داده و با وضع دستورالعملها و در مواردی ضوابط و قوانین بازدارنده، آنها را تشویق، راهنمایی و حتی راهبری در جهت جلوگیری از اتلاف انرژی می‌نمایند.

انجام پاره‌ای از این اقدامات، اگر در زمان مناسب نسبت به اعمال آنها اقدام گردد، حتی هیچگونه هزینه اضافی را نیز تحمیل نخواهد نمود و جهت همه‌گیر شدن جنبش جلوگیری از اتلاف انرژی، دائماً جلسات توجیهی و سمینارهایی برای تصمیم‌گیرندگان برگزار می‌گردد تا از پی‌آمدها و بهتر بگوئیم عواقب مختلف آن آگاه گردند. در کنار اقدامات فوق، تلاش متخصصین و دانشمندان در جهت اختراع، ابداع و تولید وسایل و تجهیزات کارآمد نیز جبهه دیگری است که برای مبارزه با اتلاف انرژی گشوده شده است که از جمله آنها می‌توان به تولید صنعتی تجهیزات و لامپهای پرنرژی، کم مصرف و بادوام اشاره کرد.

با توجه به روند افزایش جمعیت و تبعات آن و هرچه بیشتر مستهلک شدن منابع تولید انرژی، چندان دور نخواهد بود که نه تنها افراد، بلکه جوامع نیز در موقعیتی قرار نداشته باشند که بتوانند به میزان مورد علاقه خود انرژی مصرف نمایند بلکه با هرچه فشرده‌تر شدن جوامع، حتماً اهرمهای ملی و جهانی و خود

محدودکننده‌ای وارد عمل خواهند گردید که ابتکار عمل در زمینه تولید و مصرف انرژی را بعهدہ خواهند گرفت.

علیرغم اینکه کاربرد بعضی از اقدامات صرفه‌جویانه (یا بهتر است گفته شود استفاده صحیح و جلوگیری کننده از اتلاف بیهوده)، نیاز به مقداری سرمایه‌گذاری اولیه دارند که البته میزان آن بستگی به دامنه و وسعت اقدامات بعمل آمده دارد، ولی نکته‌ای که مبرهن و غیرقابل انکار می‌باشد آن است که این سرمایه‌گذاری اولیه در مدت کوتاهی خودبخود مستهلک می‌گردد.

علاوه بر نشست‌ها و سمینارهایی که به آنها اشاره گردید تشکیلات گوناگونی که در کشورهای مختلف جهان جهت سامان دادن به مشکل انرژی و آگاه کردن قشرهای مختلف جامعه ایجاد شده‌اند، اقدام به نشر جزوات، بروشورها و اطلاعیه‌هایی نموده و آنها را در دسترس کلیه افرادی که به نوعی با مصرف و صرفه‌جویی انرژی ارتباط دارند قرار می‌دهند.

در همین راستا، معاونت انرژی وزارت نیرو نیز اقدام به ترجمه و چاپ جزوه‌ای که ملاحظه می‌فرمائید نموده است که در کشور انگلستان و بتوسط "مرکز تحقیقات ساختمان" (Building Research Establishment) "واحد صرفه‌جویی انرژی مرکز تحقیقات ساختمان" (Building Research Energy Conservation Support Unit) "واحد پشتیبانی تکنولوژی انرژی" (Energy Technology Support Unit) "اداره کارائی انرژی" (Energy Efficiency Office) تهیه گردیده‌اند که این معاونت به لحاظ ضرورت تسریع در نشر و ارائه راهنماها و دستورالعملهای فنی، هیچگونه تغییری در ارقام، آمار، نمودارها، جداول و اشکال آن نداده است ولیکن امیدوار است که انشاء... چاپ‌های بعدی این جزوه و همچنین جزوات دیگری که در دست ترجمه و چاپ قرار دارند، براساس آمار و اطلاعات کشور ایران تهیه شده و در اختیار شما قرار داده شوند.

## فهرست مطالب

۷	۱ - مقدمه
۷	۲ - روشهای صرفه‌جویی هزینه
۸	۱ - ۲ - بهره‌برداری مناسب
۸	۲ - ۲ - بهره‌برداری اقتصادی
۸	۳ - تعمیر و نگهداری
۸	۱ - ۳ - تعمیر و نگهداری اضطراری
۸	۲ - ۳ - تعمیر و نگهداری برنامه‌ریزی شده
۹	۳ - ۳ - اهداف تعمیر و نگهداری
۹	۴ - ۳ - اقتصاد تعمیر و نگهداری
۱۰	۱ - ۴ - ۳ - استاندارد کردن تجهیزات
۱۰	۲ - ۴ - ۳ - ایجاد قابلیت ثبت خرابیها
۱۰	۳ - ۴ - ۳ - تناوب تعمیر و نگهداری
۱۰	۴ - ۴ - ۳ - اقتصاد تعمیر و نگهداری متعارف
۱۱	۵ - ۴ - ۳ - ارتقاء به سیستمی با بازده بیشتر
۱۱	۴ - هزینه‌های تأمین برق و تعرفه‌ها
۱۲	۵ - وسایل اندازه‌گیری و قرائت آنها
۱۵	۶ - ضریب توان و اصلاح آن
۱۶	۱ - ۶ - ضریب تون
۱۸	۲ - ۶ - اصلاح ضریب توان
۱۸	۱ - ۲ - ۶ - موتورهای القایی
۱۹	۳ - ۶ - کوره‌ها
۱۹	۱ - ۳ - ۶ - کوره‌های القایی
۱۹	۲ - ۳ - ۶ - کوره‌های قوس الکتریکی
۲۱	۴ - ۶ - دستگاه‌های جوشکاری
۲۱	۱ - ۴ - ۶ - دستگاه‌های جوشکاری با قوس الکتریکی
۲۲	۲ - ۴ - ۶ - دستگاه‌های جوشکاری مقاومتی
۲۲	۵ - ۶ - کلیات
۲۳	۷ - مدیریت بار

- ۱- ۷- زمینه‌های مدیریت بار ..... ۲۳
- ۱- ۱- ۷- مدیریت بار توسط تولیدکننده ..... ۲۴
- ۲- ۱- ۷- مدیریت محلی بار ..... ۲۴
- ۲- ۷- چگونه حداکثر تقاضا تعیین می‌شود؟ ..... ۲۴
- ۳- ۷- ضریب بار ..... ۲۵
- ۴- ۷- انواع روش‌های کنترل ضریب بار ..... ۲۶
- ۱- ۴- ۷- بارزدائی دستی ..... ۲۶
- ۲- ۴- ۷- بارزدائی اتوماتیک ..... ۲۷
- ۵- ۷- ملاحظات اجرایی ..... ۲۸
- ۱- ۵- ۷- اندازه‌گیری بار ..... ۲۹
- ۲- ۵- ۷- کنترل‌های محلی و مرکزی ..... ۲۹
- ۳- ۵- ۷- برنامه‌های کنترل بار ..... ۲۹
- ۸- کاهش بارهای موتوری ..... ۳۰
- ۱- ۸- انتخاب اندازه موتور ..... ۳۰
- ۲- ۸- بی‌باری موتور ..... ۳۱
- ۳- ۸- تعویض موتور ..... ۳۲
- ۱- ۳- ۸- موتورهای با توان نامی بالاتر از مقدار لازم ..... ۳۲
- ۲- ۳- ۸- موتورهای با بازده بالا ..... ۳۲
- ۳- ۳- ۸- محرکه‌های دور متغیر ..... ۳۴
- ۹- مطالعات موردی ..... ۳۵
- ۱- ۹- کنترل کامپیوتری اجاق‌های مادون قرمز ..... ۳۵
- ۲- ۹- خشک کردن منسوجات سنگین به کمک هوا و فرکانس رادیویی (ARFA) ..... ۳۵
- ۳- ۹- نظارت بر انرژی در معادن زغال سنگ ..... ۳۶
- ۴- ۹- محرکه‌های دور متغیر بر روی فن یک دیگ‌خار ..... ۳۶
- ۵- ۹- لامپ‌های فلورسنت با فرکانس بالا ..... ۳۶

## ۱ - مقدمه

تقریباً ۳۴٪ از مصرف منابع اولیه انرژی در کشور انگلیس صرف تولید برق می‌گردد. روشهای استفاده از برق بسیار متنوع هستند. سایر مصارف برق شامل مواردی از قبیل روشنایی، گرمایش، سرمایش، مصارف خانگی، تهویه مطبوع، بالابر در ساختمانهای تجاری و هتل‌ها و بسیاری از فرآیندهای صنعتی مانند ذوب فلزات و تغذیه انواع ماشینهای گردان و خشک‌کردن محصولات ساخته شده می‌باشد.

استفاده مناسب از منابع تأمین برق باید با پشتوانه اقتصادی همراه باشد کتابچه حاضر رهنمودهایی درخصوص موضوعات استفاده شده در تعرفه‌های برق را ارائه می‌دهد و توضیح می‌دهد که چگونه می‌توان با کاهش هزینه‌ها از یک سیستم الکتریکی بهره‌برداری کرد، همچنین بهره‌برداری و نگهداری مؤثر از تجهیزات الکتریکی و بارگذاری صحیح آنها جهت استفاده اقتصادی از برق ضروری است.

در این کتابچه، ساختار مناسب تعرفه‌های برق به گونه‌ای که مصرف‌کنندگان تشویق به اقتصادی‌ترین استفاده از برق شوند، بیان خواهد گردید. همچنین مشاهده خواهید کرد که چه معیارهای عملی را در جهت نیل بیشتر به این اهداف و صرفه‌جویی بیشتر هزینه می‌توان اتخاذ کرد.

## ۲ - روشهای صرفه‌جویی هزینه

در ابتدا، از دیدگاهی کلی، صرفه‌جویی در هزینه انرژی، بیان می‌گردد. صرفه‌جویی در انرژی در سه شاخه عمومی قرار می‌گیرد. اولین شاخه پرهیز از اسراف در مصرف است. مثالهایی از این نمونه عبارتند از: هنگامی که ساختمانها بیش از حد گرم می‌شوند، لامپها و ماشینهای الکتریکی بطور غیرضروری روشن و دربها باز گذاشته می‌شوند. غالباً بدون یا با حداقل نیاز به صلاحیت فنی، می‌توان از اینگونه مصارف غیرضروری، با اعمال روشهای مناسب و ساده اجرائی، تا حد قابل توجهی جلوگیری کرد. پس از شناسایی و اجتناب از مصارف اضافی، دومین شاخه، تعمیر و نگهداری در شرایط مطلوبست. این کار می‌تواند هم با نظارت پیوسته یک فرد و هم با استفاده از وسایل نظارت و کنترل انجام گیرد. این وسایل می‌توانند قابلیت‌های مختلفی داشته باشند که بعداً به تفصیل در این زمینه بحث خواهد شد. علاوه بر ارتقاء شرایط بهره‌برداری به یک سطح مطلوب، کار مفید وسیله الکتریکی، خود باید با دید افزایش کیفیت، بررسی شود. سومین شاخه، بررسی روشهای جدید یا تغییراتی در وسیله الکتریکی است که نتایج مطلوب یا هزینه انرژی کمتر را بوجود آورد.

در هر یک از شاخه‌های دوم و سوم فوق‌الذکر، صلاحیت و مشاوره فنی مورد نیاز است. ملاحظه می‌گردد که از دیدگاه سرمایه‌گذاری مورد نیاز جهت ایجاد اثر مطلوب، به ترتیب سه شاخه فوق هزینه بر هستند. لذا اگر روشهای اجرائی مناسبی اعمال شوند سرمایه‌گذاری اندک مورد نیاز است، در حالی که در طرف مقابل، بازسازی یک سیستم الکتریکی ممکن است هزینه قابل ملاحظه‌ای را نیاز داشته باشد. بنابراین نتیجه

می‌گیریم که اگر چه اعمال روشهای مناسب اجرائی، پرجاذبه‌ترین زمینه صرفه‌جویی هزینه برای انرژی یا غیر از آن نیست اما یقیناً زمینه‌ای است که نتایج سودمندی را به بار می‌آورد.

### ۱ - ۲ - بهره‌برداری مناسب<sup>۱</sup>

تاکنون درباره بهره‌برداری مناسب و اعمالی از قبیل خاموش کردن لامپها و ماشینهای الکتریکی غیرضروری، مطالب زیادی نوشته شده است. در این کتابچه قصد نداریم که بیش از این تأکید دوباره بر اهمیت این زمینه از صرفه‌جویی نمائیم.

### ۲ - ۲ - بهره‌برداری اقتصادی

در مرور بر بهره‌برداری اقتصادی از سیستم‌های الکتریکی. به همان اندازه که میزان مصرف مورد توجه است، باید الگوی مصرف نیز مورد توجه قرار گیرد. جهت کاهش هزینه‌ها، موضوعات زیر بررسی می‌شوند:

- تعمیر و نگهداری
- هزینه‌ها و تعرفه‌های تأمین برق
- وسایل اندازه‌گیری و قرائت آنها
- ضریب توان و اصلاح آن
- مدیریت بار
- کاهش بار موتور

### ۳ - تعمیر و نگهداری<sup>۲</sup>

به‌طور کلی، می‌توان تعمیر و نگهداری را به دو صورت «تعمیر و نگهداری اضطراری» و «تعمیر و نگهداری برنامه‌ریزی شده»<sup>۳</sup> بیان نمود.

### ۱ - ۳ - تعمیر و نگهداری اضطراری

این نوع بندرت بعنوان نگهداری مطرح می‌شود زیرا در بسیاری از حالات شامل تعمیر یا تعویض شتاب‌زده واحد از کار افتاده می‌باشد. آشکارا بهتر است که برای کاهش تکرار انجام تعمیر و نگهداری اضطراری، یک برنامه دقیق تعمیری نگهداری برنامه‌ریزی شده، دنبال شود.

### ۲ - ۳ - تعمیر و نگهداری برنامه‌ریزی شده

بدیهی است که در استفاده از سیستم‌ها و تجهیزات الکتریکی، منابع خطری وجود دارند که این خطرات در «مجموعه قوانین کاری برق سال ۱۹۸۹»<sup>۴</sup> آورده شده‌اند. این قوانین اجباری است و برای اطمینان از اینکه کلیه

---

<sup>1</sup> House Keeping

<sup>2</sup> Maintenance

<sup>3</sup> Planned maintenance

<sup>4</sup> The 1989 Electricity at Work Regulations



سیستمها و تجهیزات الکتریکی بخوبی نگهداری و آزمایش شده‌اند، بکار می‌روند تا از حوادث خطرناکی که بتواند به استفاده‌کننده از آن تجهیزات صدمه بزند، جلوگیری نمایند. تعمیر و نگهداری که صرفاً به منظور ایمنی، مطرح می‌شود، معمولاً بکمک روشهای استاندارد صورت می‌گیرد. این استانداردها براساس قوانین عملی استاندارد بریتانیا می‌باشد. بطور مثال، BS 6867:1987، دربرگیرنده، تعمیر و نگهداری کلیدهای فشار قوی تا ولتاژ ۱۴۵KV، BS 6423:1983 در برگیرنده تعمیر و نگهداری کلیدهای فشار ضعیف تا ولتاژ ۶۵۰V می‌باشد. چون این نوع تعمیر و نگهداری معمولاً دلخواه نیست، پیشنهاد نمی‌شود که در بحثهای مربوط به مطالعات اقتصادی آورده شود.

هر چند سایر روشهای تعمیر و نگهداری اجباری نیست اما جهت نیل به عملی‌ترین و اقتصادی‌ترین روش بهره‌برداری از سیستمها و تجهیزات الکتریکی بسیار مطلوب است.

تعمیر و نگهداری برنامه‌ریزی شده، می‌تواند بر پایه عملکرد بخشی از تجهیزات الکتریکی انجام پذیرد. بطور مثال در نظرگرفتن اینکه همه موتورها باید بطور متناوب تمیز و بازرسی گردند، حصول اطمینان از این که آلودگی و غبار همراه خنک‌کننده موتور وارد نشده باشد و اینکه هیچ نشستی روغنی بداخل سیم‌پیچهای موتور وجود نداشته باشد، حائز اهمیت است. یاتاقان‌ها نیز بایستی از نظر فرسودگی بازبینی شوند تا از تماس بین موتور و استاتور که باعث ایجاد تلفات مکانیکی اضافی می‌شود و بازده بهره‌برداری را کاهش می‌دهد، جلوگیری شود.

همچنین تعمیر و نگهداری می‌تواند عمدتاً براساس مجموعه کامل تأسیسات و یا تأسیسات کمکی برنامه‌ریزی شود. به‌طور مثال یک خط خاص تولید یا مجموع تجهیزات الکتریکی همانند جرثقیل‌ها و یا نقاله‌هایی که در جرثقیل استفاده می‌شود را می‌توان مدنظر قرار داد.

### ۳ - ۳ - اهداف تعمیر و نگهداری

صرف نظر از ایمنی، برای حفظ سیستم در یک شرایط قابل قبول، نیاز به نگهداری است. این نوع نگهداری، باید برپایه اصول اقتصادی بررسی شود. اگر چه خراب شدن تأسیسات باعث از دست رفتن تولید و بالطبع تحمیل هزینه سنگین می‌شود، باید این نکته را نیز در نظر داشت که متوقف کردن تأسیسات برای نگهداری آن نیز می‌تواند باعث از دست رفتن تولید گردد. در اکثر حالات، تجهیزاتی که دارای وظیفه مداوم و سنگین می‌باشند نیاز به توجه بیشتری در مقایسه با تجهیزاتی دارند که دارای بار کم بوده و بندرت مورد استفاده قرار می‌گیرند.

### ۴ - ۳ - اقتصاد تعمیر و نگهداری

صرفنظر از توضیحات فوق سؤالی بصورت: «تعمیر کردن یا تعویض کردن» مطرح می‌شود. پاسخ به این سؤال مستلزم توانایی تحلیل هزینه‌های گذشته و آینده نگهداری و مزایای تجهیزات جدید است. درخصوص موضوعاتی از قبیل احتمال خرابی، محدودیتهای تعویض و تعمیر و خط مشی‌های تعمیر کلی<sup>۱</sup>، تحقیقات احتمال زیادی صورت گرفته است. بدیهی است که این موضوع نیاز به تلاش و مهارت قابل ملاحظه دارد و ممکن است نیاز به خدمات یک مشاور از بیرون داشته باشد. با این حال، بعضی از گامهای ساده اولیه می‌توانند برداشته شوند.

<sup>1</sup> Overhaul

### ۱ - ۴ - ۳ - استاندارد کردن تجهیزات

استفاده از تجهیزات استاندارد مانند کلیدها<sup>۱</sup> بر مبنای اقتصادی‌ترین و مناسب‌ترین اصول، تا حد زیادی مؤسسه را در خرید، انبارداری و تعویض اجزا کمک خواهد کرد.

### ۲ - ۴ - ۳ - ایجاد قابلیت ثبت خرابیها

این عمل ممکن است به شکل ابتدایی با یک دفتر یادداشت ساده یا توسط یک سیستم مجهز به کارتهای ذخیره اطلاعات انجام گیرد. این اطلاعات باید دیدگاهی نسبت به اینکه کدام سیستم و در چه فواصل زمانی نیاز به بازدید دارد، ایجاد کند. همچنین این اطلاعات ممکن است در جهت بهبود روشهای بهره‌برداری یا در جهت اصلاح خود سیستمها، بطریقی که تناوب خطاها در آینده کاهش یابند، مدیریت فنی را رهنمون باشد.

### ۳ - ۴ - ۳ - تناوب تعمیر و نگهداری

تناوب تعمیر و نگهداری و تنظیم آنها طبق نیازمندیهای بهره‌برداری، به هماهنگی دقیقی بین مدیریتهای تعمیر و نگهداری و بهره‌برداری نیاز دارد. لذا کلیه طرح‌های تعمیر و نگهداری برنامه‌ریزی شده قبل از اجرا باید مورد موافقت بهره‌بردار قرار گرفته باشند.

### ۴ - ۴ - ۳ - اقتصاد تعمیر و نگهداری متعارف

گرچه انجام بازرسیهای ایمنی همواره مورد نیاز است، لیکن ممکن است که قرار دادن بخشی تجهیزات در یک طرح تعمیر و نگهداری برنامه‌ریزی شده، اقتصادی یا عملی نباشد. مثالهایی از نگهداری غیر مربوط به ایمنی با اولویت پایین‌تر عبارتند از:

- تجهیزاتی که در معرض خرابی‌های مکرر قرار ندارند مانند گرم‌کننده‌های برقی.
  - تجهیزاتی که یا تلاقی کمی با مسائل بهره‌برداری ایجاد می‌کنند و یا اصلاً تلاقی ندارند و می‌توانند در بخش تعمیر و نگهداری، متناسب با دیگر موارد، تعمیر یا تعویض شوند.
- در بعضی حالات تنها تا ۲۵٪ از تجهیزات براساس یک روال برنامه‌ریزی شده، در سال نیاز به تعمیر و نگهداری دارند. اگرچه طراحی یک برنامه تعمیر و نگهداری موفق، کار ساده‌ای نیست، لیکن مزایای اقتصادی آن می‌تواند قابل ملاحظه باشد.

استفاده از یک بانک اطلاعاتی با پشتیبانی یک کامپیوتر شخصی می‌تواند هم در ایجاد یک سیستم ثبات و هم در طرح‌ریزی برنامه‌های تعمیر و نگهداری کمک کند. در نظر داشته باشید که هر مؤسسه، مسائل و خط‌مشی‌های مالی مخصوص خود را دارد و هر برنامه باید با توجه به پارامترهای عملی و اقتصادی تشکیلات، تنظیم گردد.

---

<sup>1</sup> Switchgear

## ۵ - ۴ - ۳ - ارتقاء به سیستمی با بازده بیشتر

صرفه جویی انرژی می تواند با تغییر نوع تجهیزات مورد استفاده، حاصل شود، بطور مثال:

- تغییر سیستم روشنایی کم بهره از جمله لامپهای رشته ای تنگستن
- جایگزینی کنترلرهای الکترومکانیکی محیطی با سیستمهای الکترونیکی
- نصب موتورهای جدید با بازده بالا بجای موتورهای الکتریکی قدیمی که دارای بازده کم می باشند. بخصوص در مواردی که بار عمده قابل توجهی به عهده موتور می باشد
- تجهیز به محرکه های دور متغیر برای کنترل دور فن ها و پمپها، آشکار است که از دیدگاه اقتصادی تغییر سیستمهای کم بازده موجود، به منظور نیل به عملکرد مناسب بهره برداری نیاز به ملاحظات دقیق دارد. در این مورد نه تنها هزینه های مربوطه بلکه عمر تجهیزات که می تواند اثر قابل ملاحظه ای بر قابلیت صرفه جویی کل هزینه مربوط به هر تغییر داشته باشد، بایستی مدنظر قرار گیرد.

## ۴ - هزینه های تأمین برق و تعرفه ها

همزمان با تأمین برق بسیاری از مصارف مختلف و اندازه گیری نسبتاً ساده این مصارف، صنعت برق رسانی<sup>۱</sup> مجموعه ای از تعرفه ها را که جهت انعکاس الگوهای مصرف مصرف کنندگان مختلف تنظیم شده است، ارائه می دهد. این تعرفه ها، نه تنها براساس نوع مصرف از جمله خانگی، تجاری، کشاورزی و صنعتی تنظیم شده اند، بلکه براساس انواع مختلف نرخ که نشان دهنده نحوه تأمین می باشد تقسیم بندی می شوند. بطور مثال: هزینه های ثابت<sup>۲</sup>، مصرف انرژی، حداکثر تقاضا<sup>۳</sup>، ضریب توان و غیره.

هزینه تولید و توزیع برق بطور قابل توجهی با ساعت روز یا فصل سال تغییر می کند. برخلاف دیگر منابع انرژی مانند زغال سنگ، نفت و گاز، برق نمی تواند بطور اقتصادی به مقدار قابل توجهی، ذخیره گردد. در نتیجه، گرچه طرحهای تلمبه ذخیره ای<sup>۴</sup>، قابلیت هایی جهت ذخیره سازی بوجود می آورند، اما هزینه تأمین برق برای یک مصرف کننده، معمولاً وابسته به زمان و نوع خاصی است که انرژی مصرف می شود.

برای هر مصرف کننده حداکثر نرخ مصرف برق «حداکثر تقاضا» خوانده می شود. معمولاً حداکثر تقاضا دو برابر مقدار کیلووات ساعت (با کیلووات آمپر ساعت) مصرفی در طول هر نیم ساعت در نظر گرفته می شود. برای تعیین میزان پرداخت هزینه، حداکثر تقاضای ماهانه، فصلی و یا سالانه بکار گرفته می شود. تعرفه های برق عموماً پیچیده تر از تعرفه های مورد استفاده برای تأمین و پرداخت هزینه منابع دیگر انرژی است. زیرا هزینه تولید و توزیع برق برای یک مصرف کننده خاص، متأثر از حداکثر تقاضا، میزان واقعی کیلووات ساعت (kWh) یا واحدهای تحویل شده، و خصوصیات متعدد دیگر سیستم تولید می باشد.

<sup>1</sup> Electricity Supply Industry

<sup>2</sup> Standing Charges

<sup>3</sup> Maximum Demand

<sup>4</sup> Pumped Storage

در مواردی که احتمالاً یک بار بزرگ سلفی با ضریب توان پس فاز وجود داشته باشد (مانند کارخانه‌هایی که قسمت اعظم بارشان ماشینهای الکتریکی هستند) حداکثر تقاضا برحسب kW بوسیله تقسیم حداکثر تقاضا به متوسط ضریب توان پس فاز دو طول زمان پرداخت هزینه، تنظیم می‌شود تا هزینه‌های بیشتری که توسط این مصرف‌کننده تحمیل می‌شود، در نظر گرفته شود. چنانچه وسایل اندازه‌گیری توان راکتیو نصب شده باشند، (قسمت ۱ - ۶ ملاحظه گردد) در صورتیکه مقدار کیلووار ساعت (kVarh) از ۰.۵٪ کیلووار ساعت (kWh) مصرفی بیشتر شود، آنگاه جریمه‌های مربوط به ضریب توان اعمال می‌شوند.

برای مصرف‌کنندگانی که حداکثر تقاضایی بیش از یک مگاوات (1000 kW) دارند و در صورتی که مصرف‌کننده برای خرید برق مصرفی خود، تولیدکننده‌ای غیر از شرکت برق منطقه‌ای محل خود را انتخاب کرده است، معمولاً وسیله اندازه‌گیری که مصرف هر نیم ساعت را ثبت می‌کند، نصب می‌شود. این نوع وسیله اندازه‌گیری به شرکت تولیدکننده برق اجازه می‌دهد که بر میزان مصرف روز یا شب، زمستان یا تابستان نظارت کند. لذا برای تولیدکننده امکان‌پذیر است که مصرف مکانهای مختلف را با کل تولید شبکه سراسری در هر دوره نیم ساعته، مقایسه کند (این موضوع اجازه می‌دهد که هزینه‌های حداکثر تقاضا بر اساس مصرف هر مصرف‌کننده در زمانهای اوج بار (اوج مصرف)<sup>۱</sup> سیستم محاسبه شود). در عمل آنچه که معمولاً رخ می‌دهد عبارتست از اینکه در پایان سال مالی، تولیدکنندگان از مقادیر اوج سیستم و بزرگترین آنها و بزرگترین بعد از آن در هر دو طرف مقدار اوج اطلاع حاصل می‌کنند. این سه مقدار اوج بعنوان "سه‌گانه"<sup>۲</sup> شناخته می‌شوند. مصارف یک مکان خاص در زمانهای مربوط به مقادیر "سه‌گانه" متوسط‌گیری شده و در نرخ مورد توافق به حساب مصرف‌کننده گذاشته می‌شود.

## ۵ - وسایل اندازه‌گیری و قرائت آنها

یکی از خصوصیات مصرف برق اینست که مقدار آن می‌تواند بطور صحیح اندازه‌گیری شود. مقادیر اندازه‌گیری شده تا آنجا که به صورت‌حسابهای برق مربوط می‌شود توسط مسئولین تولید برق فراهم و قرائت می‌شوند. صورت‌حسابهای حاصل از این قرائتها برای مصرف‌کننده فرستاده می‌شوند. اکثر مصرف‌کنندگان، این صورت‌حسابها را بدون هیچ پرسشی می‌گیرند و اگرچه ممکن است از میزان برق مصرف شده برای طول مدت ذکر شده در صورت‌حساب، متعجب شوند، اما برای درک علت میزان حداکثر تقاضا، کیلووات ساعت مصرفی و ضریب توان عملاً یا اقدامی نمی‌کنند و یا توجه کمی به آن مبذول می‌دارند.

این مهم است که جهت بررسی مصرف باید تلاشهایی انجام شود لذا باید قرائتهای منظمی از مقادیر اندازه‌گیری شده بعمل آید. کتابچه «میزی انرژی برای صنعت» که توسط معاونت انرژی وزارت نیرو انتشار یافته است، توصیه‌هایی در این زمینه ارائه می‌دهد. انواع مختلفی از وسایل اندازه‌گیری الکتریکی شامل آمپرمترها (A)،

<sup>1</sup> Peak Demand

<sup>2</sup> Triads

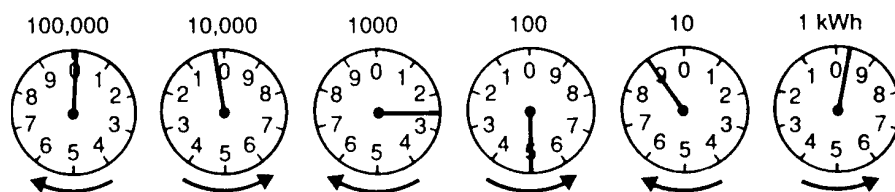
ولت‌مترها (V)، دستگاه‌های اندازه‌گیری کیلووات ساعت (kWh)، کیلووات آمپرساعت (kVAh) و کیلووات آمپرساعت راکتیو (kVArh) وجود دارند.

در تعرفه‌های مربوط به مصرف‌کنندگان بدون اشاره به حداکثر تقاضا یا ضریب توان، معمولاً فقط کیلووات ساعت سنج ساده بکار برده می‌شود. دو نوع عمده نمایش مقدار اندازه‌گیری شده، یکی به روش عقربه‌ای و دیگری دیجیتال مطابق با اشکال ۱ و ۲ وجود دارد.

این وسایل اندازه‌گیری می‌توانند طوری ساخته شوند که میزان برق مصرفی را در نرخ عادی و نرخ‌های کاهش‌یافته بطور جداگانه اندازه‌گیری کنند. به عنوان مثال در مصارف خانگی و تجاری کوچک، از کنتور Economy 7 یا White Meler (سفید) می‌توان نام برد.

قرائت دستگاه اندازه‌گیری نوع عقربه‌ای می‌تواند پیچیده باشد. قانون آن اینست که همیشه عدد کمتر از موقعیتی که عقربه در آن موقعیت ایستاده است خوانده شود. متأسفانه، بخاطر ساختمان چرخ‌دنده‌ای این دستگاه‌های اندازه‌گیری، عقربه‌های متوالی در جهات مختلف حرکت می‌کنند. یعنی اینکه بعضی عقربه‌ها در جهت خلاف حرکت عقربه‌های ساعت و بعضی دیگر در جهت حرکت عقربه‌های ساعت، قرائت می‌شوند و طبعاً این موضوع باعث افزایش امکان خطا در قرائت می‌شود.

- همیشه عددی را که عقربه از آن عبور کرده است ثبت کنید. این عدد ضرورتاً نزدیکترین عدد به عقربه نمی‌باشد.
- اگر عقربه درست روی یک عدد است، آن عدد را ثبت کرده و زیر آن خط بکشید.
- اگر عدد بعد از عددی که زیر آن خط کشیده‌اید، ۹ بود عددی را که زیر آن خط کشیده‌اید به اندازه یک واحد کاهش دهید.



شکل ۱: دستگاه اندازه‌گیری با نمایشهای عقربه‌ای

در شکل ۱ قرائت به صورت زیر انجام می‌گیرد:

عقربه نمایش	۱۰۰۰۰۰	به میزان کمی از صفر گذشته است:	قرائت صفر
عقربه نمایش	۱۰۰۰۰	از صفر گذشته و به یک نرسیده است:	قرائت صفر
عقربه نمایش	۱۰۰۰	از ۲ گذشته است:	قرائت ۲
عقربه نمایش	۱۰۰	درست روی ۵ است:	قرائت ۵
عقربه نمایش	۱۰	درست روی ۱ است:	قرائت ۹
عقربه نمایش	۱	از ۹ گذشت و قبل از صفر است:	قرائت ۹

عددی که ابتدا ۰۰۲۵۹۹ بنظر می‌رسید حالا به عدد ۰۰۲۴۸۹ تصحیح می‌شود. قرائت اندازه‌گیر دیجیتال (شکل ۲) نسبتاً ساده است. قرائت از روی آنچه نمایش داده شده، ۱۲۳۴۵۵ است چون نشانگر آخرین رقم به ۶ نرسیده است.

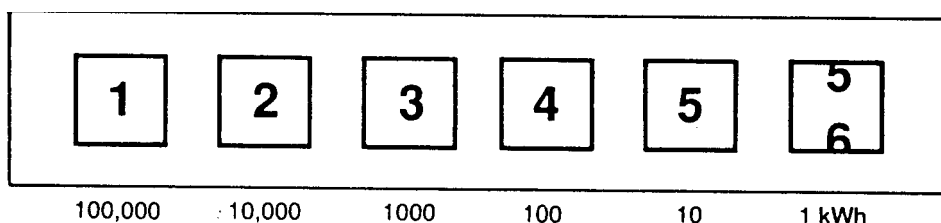
از دستگاه ساده اندازه‌گیری kWh در صورتیکه وسایل دیگری برای اندازه‌گیری موجود نباشند، می‌توان برای اندازه‌گیری میزان تقاضا در هر زمان خاصی استفاده نمود. دستگاه‌های اندازه‌گیری kWh روی صفحه مشخصات خود عددی را با نمایش دور بر kWh دارند که منظور از این عدد، تعداد دفعاتی است که یک دیسک‌گردان به ازاء مصرف یک kWh می‌چرخد. در دستگاه اندازه‌گیری kWh خانگی ممکن است این عدد حدود ۳۰۰ دور بر kWh باشد. برای مصرف‌کنندگان بزرگتر این عدد کوچکتر است.

چنانچه این عدد مثلاً برابر ۲۰ دور بر kWh باشد، دیسک‌گردان برای هر kW مصرف در هر ساعت ۲۰ دور می‌چرخد. لذا دیسک‌گردان به ازاء مصرف یک kW در هر دقیقه به مقدار ۲۰ تقسیم بر ۶۰ یعنی یک سوم دور خواهد چرخید.

اگر تعداد گردشها برای یک دقیقه ۳۵ باشد، میزان تقاضا برای یک دقیقه ۳۵ تقسیم بر یک سوم یعنی ۱۰ kW است. این موضوع جهت انجام رسیدگی‌های موضعی<sup>۱</sup> بر روی تقاضا مفید است و در صورت عدم وجود نمایشگرهای تقاضا می‌توانند جهت ثبت مصرف بمنظور ایجاد منحنی بار مورد استفاده قرار گیرند. در اعمال تعرفه‌ها، هنگامی که ضریب توان نیز مورد توجه باشد، دستگاه اندازه‌گیری ساده kWh کافی نیست. دو قسمت ۶، توضیح داده می‌شود که چه ولتاژ و جریان هم فاز باشند چه نباشند، قرائت دستگاه اندازه‌گیر kWh توان حقیقی مصرف شده را نشان می‌دهد.

جریان واقعی جهت تأمین این توان بسته به ضریب توان در آن محل، تغییر خواهد کرد. یک وسیله اندازه‌گیری که مقدار واقعی تغذیه را نشان می‌دهد برای موارد زیر مورد نیاز است:

- شرکت تولید کننده، تا اطمینان حاصل کند که مطابق با آنچه که تولید کرده است پول دریافت نموده است.
- مصرف‌کننده، بطوری که آنها بتوانند نظارت بر مصرف خود داشته باشند و سعی کنند که ضریب توان را به سمت واحد (یک) سوق دهند و بدین ترتیب برای بهینه‌سازی هزینه‌های برق مصرفی خود مشارکت داشته باشند.



شکل ۲: نمایش واحدهای دستگاه اندازه‌گیری

<sup>1</sup> Spot Checks

## ۶ - ضریب توان و اصلاح آن

برق تولید شده توسط شرکت‌های تولید کننده یا از طریق شرکت‌های برق منطقه‌ای به صورت جریان متناوب (AC) می‌باشد. به عبارت دیگر، جریان با زمان بصورت یک موج سینوسی تغییر می‌کند که ۵۰ بار در یک ثانیه تکرار می‌شود. لذا فرکانس جریان تولید شده، Hz است.

در سیستم‌های AC، جریان و بالطبع توان از چند مؤلفه تشکیل می‌شوند. این مؤلفه‌های جریان از عناصر مقاومتی، سلفی و خازنی بار مصرف‌کننده برق، می‌گذرند. در یک بار مقاومتی، جریان، ولتاژ را دنبال می‌کند و لذا گفته می‌شود که هم فاز با ولتاژ است. لامپ‌های روشنایی التهابی (رشته‌ای)<sup>۱</sup> و گرم‌کننده‌های الکتریکی مقاومتی عمده‌ترین مثال‌های بار مقاومتی هستند. در بار سلفی جریان هم‌فاز با ولتاژ نبوده و عقب‌تر از آن است. عمده‌ترین بارهای سلفی موتورهای القایی هستند. در یک بار خازنی نیز، جریان هم‌فاز با ولتاژ نمی‌باشد، اما در این حالت جلوتر از ولتاژ است. عمده‌ترین بارهای خازنی، خازنهای اصلاح ضریب توان هستند. بارهای سلفی و خازنی عموماً بارهای راکتیو نامیده می‌شوند.

در عمل، اکثر بارها بطور خالص مقاومتی، سلفی یا خازنی نیستند. بطور مثال سیم‌پیچ‌های یک موتور و القایی خاصیت یک بار سلفی را دارد در حالی که مسی که سیم‌پیچها از آن ساخته شده‌اند یک بار مقاومتی را ارائه می‌دهد.

اهمیت انواع مختلف بار این است که توان حقیقی با توان مفید می‌تواند فقط در قسمت مقاومتی یک بار که در آن جریان و ولتاژ هم‌فاز هستند مصرف شود. اجزای راکتیو بار تنها توان راکتیو یا بدون وات<sup>۲</sup> مصرف می‌کنند. جمع‌برداری توان حقیقی و توان راکتیو توان ظاهری یا توان کل را نتیجه می‌دهد. بردارهای توان در شکل ۳ نشان داده شده‌اند. بطوری که بردار توان راکتیو عمود بر بردار توان حقیقی کشیده شده است. توان ظاهری جمع‌برداری این دو توان می‌باشد.

توان حقیقی بر حسب وات (W) یا به طور معمول‌تر بر حسب کیلووات (kW) اندازه‌گیری می‌شود. توان ظاهری بر حسب ولت آمپر (VA) یا کیلوولت آمپر (kVA) اندازه‌گیری می‌شود. توان راکتیو بر حسب ولت آمپر راکتیو (Var) یا کیلوولت آمپر راکتیو (kVar) اندازه‌گیری می‌شود. نسبت توان حقیقی به توان ظاهری به ضریب توان موسوم است.

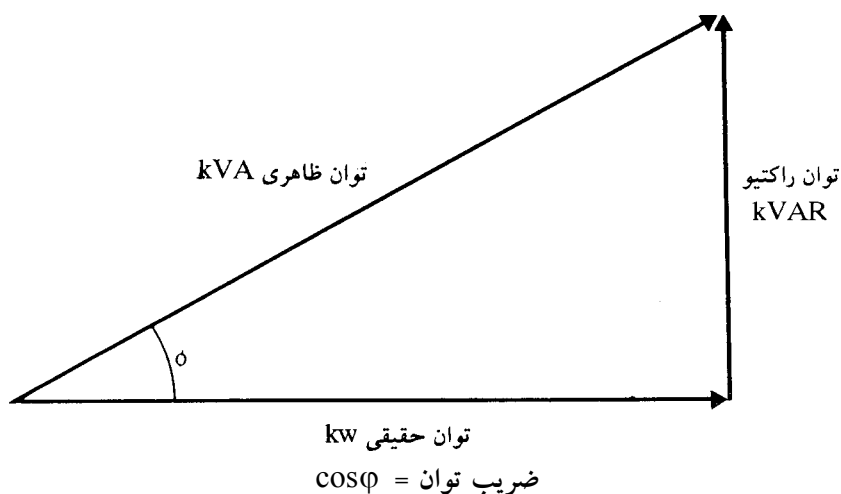
$$\text{توان حقیقی} = \frac{\text{توان حقیقی}}{\text{توان ظاهری}} = \text{ضریب توان}$$

برای یک مقاومت ایده‌آل خالص، ضریب توان برابر با یک است. برای یک سلف خالص ضریب توان برابر با صفر پس از فاز و برای یک خازن خالص برابر با صفر پیش‌فاز است. از مثلث نشان داده شده در شکل ۳ می‌توان

<sup>1</sup> Incandescent Lighting

<sup>2</sup> Wattless

مشاهده کرد که ضریب توان برابر با کسینوس زاویه  $\phi$  است. توان ظاهری بسادگی با ضرب ولتاژ اندازه‌گیری شده در جریان اندازه‌گیری شده، محاسبه می‌شود.



شکل ۳: رابطه بین kW و kVA و kVAR

بنابراین هنگامی که ضریب توان بار معلوم باشد، می‌توان توان حقیقی را از معادله زیر محاسبه کرد:

$$\text{توان حقیقی (kW)} = \frac{\text{جریان} \times \text{ولتاژ}}{1000} \times \text{ضریب توان} = \frac{\text{جریان} \times \text{ولتاژ}}{1000} \times \cos \phi$$

هنگامی که ضریب توان مجهول باشد یا تغییر کند، همیشه باید از وسایل اندازه‌گیری که توان حقیقی را می‌توانند اندازه‌گیری کنند، استفاده شود.

### ۱-۶- ضریب توان

در بسیاری از سیستم‌های الکتریکی صنعتی و تجاری، قسمت اعظم باز از موتورهای الکتریکی، لامپهای تخلیه‌ای<sup>۱</sup> از جمله لامپهای فلورسنت، کوره‌ها، خشک‌کن‌های القایی و تجهیزات جوشکاری تشکیل می‌شود. همه این بارها، راکتانس سلفی و ضریب توان پس‌فاز دارند. این نوع بارها عموماً دارای ضریب توان ۰/۷ یا کمتر می‌باشند.

مثال ساده زیر نشان‌دهنده مقدار جریان مورد نیاز جهت کار یک موتور الکتریکی تک فاز است:

مثال:

منبع ولتاژ ۲۴۰ ولت تک فاز

ورودی موتور ۳ kW

ضریب توان ۰/۷

<sup>۱</sup> Discharge Lighting



با استفاده از رابطه فوق الذکر، می توان نشان داد که:

$$\text{جریان} = \frac{\text{توان حقیقی}}{\text{ضریب توان} \times \text{ولتاژ}}$$

با جایگزینی مقادیر داده شده، داریم:

$$\text{جریان} = \frac{3000}{240 \times 0.7} = 17/86 \text{ A}$$

اما، اگر ضریب توان یک می بود، جریان مورد نیاز عبارت بود از:

$$\text{جریان} = \frac{3000}{240 \times 1} = 12/5 \text{ A}$$

محاسباتی مشابه با آنچه در بالا انجام شد، می تواند برای منبع سیستم سه فاز انجام گردد.

از مثال بالا می توان مشاهده کرد که هر چقدر ضریب توان از یک دور می شود، جریان بزرگتری جهت فراهم کردن مقدار مشخصی توان مفید، لازم است. تأثیر این موضوع بر روی تجهیزات بکاررفته در تغذیه موتور، قابل ملاحظه است. اندازه کلیدها، فیوزها، کابلها و ترانسفورماتورها، همگی باید بزرگتر شوند. آشکارا، این موضوع باعث افزایش هزینه ها می شود.

بعنوان مثالی از این مبحث، می توان مشاهده کرد که با چشم پوشی از ضریب توان، باید اندازه تجهیزات تغذیه

بصورت زیر افزایش یابند:

(سه فاز)  $415 \text{ V}$  ولتاژ تغذیه

$260 \text{ kW}$  = کل بار

$0.7$  = ضریب توان

$$\text{جریان} = \frac{3000}{240 \times 0.7} = 17/86 \text{ A}$$

$372 \text{ (kVA)}$  = کیلوولت آمپر کل

کلیدهای لازم جهت تغذیه چنین جریانی، احتمالاً جریان نامی  $400 \text{ A}$  دارند و ترانسفورماتور تغذیه آن دارای توان نامی  $400 \text{ kVA}$  خواهد بود ( گرچه توان نامی  $500 \text{ kVA}$  اندازه استانداردتری است و احتمالاً همین مقدار انتخاب می شود) و کابلهای متصل به آن هادی مسی با حداقل سطح مقطع  $300 \text{ mm}^2$  می باشند.

اگر ضریب توان تا آنجا که عملی بود بطرف یک اصلاح شده بود، جریان کل به  $362 \text{ A}$  افت می گردد و در نتیجه کلیدها می توانستند جریان نامی  $400 \text{ A}$  داشته باشند. کیلوولت آمپر نیز به  $260 \text{ kVA}$  کاهش پیدا می کرد و امکان این فراهم می شد که از ترانسفورماتوری با توان نامی استاندارد  $300 \text{ kVA}$  استفاده شود. در نهایت اندازه کابلهای رابط می توانست  $185 \text{ mm}^2$  باشد. در انتقال جریان، تلفات حرارتی در ضریب توان کم، بزرگتر است (تلفات حرارتی با مجذور جریان متناسب است و موسوم به تلفات  $RI^2$  است) و افت ولتاژ بصورت رابطه  $ZI$  با

جریان در ارتباط است. از آنجایی که تلفات  $RI^2$  برای کابل‌های کوچکتر بیشتر است، گاه انتخاب کابل با اندازه‌ای بزرگتر از حداقل اندازه مورد نیاز می‌تواند تأثیر با ارزشی داشته باشد.

بدیهی است که در یک سیستم الکتریکی با ضریب توان کم، تلفات باعث ایجاد هزینه‌های اضافی می‌شود و در نتیجه این هزینه‌های اضافی باید بصورت پرداخت پول بیشتر از طرف مصرف‌کنندگان، تأمین گردد. این نکته با اندازه‌گیری حداکثر تقاضا برحسب kVA یا با احتساب تأثیر ضریب توان در تعرفه‌ها اجرا می‌گردد.

بارهای عادی صنعتی معمولاً دارای ضریب توان پس فاز هستند. در حقیقت، یک کارگاه ماشین آلات بدون هیچ اصلاح ضریب توان ممکن است دارای مصرفی با ضریب توانی در حدود ۰/۶ یا حتی کمتر باشد.

در چنین حالتی، منظور از اصلاح ضریب توان، بکاربردن بعضی از انواع خازنها با استفاده از نوع خاصی از موتور است. اگرچه استفاده از خازنهای ثابت بطور وسیعی شناخته شده است، اما همیشه خازنها مطلوبترین و اقتصادی‌ترین راه‌حل نیستند و باید از شرکت برق منطقه‌ای یا دیگر اشخاص ذیصلاح نظرخواهی شود. بهرحال بسته به تعرفه مورد استفاده، بهبود ضریب توان به بیش از یک سطح خاص نیز می‌تواند باعث عدم بازگشت قابل توجه سرمایه‌گذاری شود و از نظر اقتصادی قابل قبول نباشد.

مثال هزینه تعرفه (صفحه ۲۶) و جدول ۱ چگونگی تأثیر افزایش ضریب توان را در کاهش هزینه‌های مصرف و همچنین مقدار صرفه‌جویی سالانه را به ازاء هر kVAR نشان می‌دهند (مثال زیر جدول ۱ ملاحظه شود). در مواردی که قسمت اعظم بار، ضریب توان یک داشته باشد (ناشی از وجود میزان زیادی روشنایی و گرم کننده مقاومتی) و تنها در زمانهای کم‌باری، ضریب توان به مقداری کمتر از ۰/۸ کاهش یابد ممکن است که اصلاح ضریب توان اقتصادی نباشد. هر مورد باید به طور مستقل مطالعه شود و باید در موارد خاص و در صورت نیاز مشورت صورت پذیرد.

## ۲-۶- اصلاح ضریب توان

قبلاً نشان داده شد که ضریب توان کم می‌تواند باعث افزایش هزینه شود. توجه به این مسئله با تفصیل بیشتر مفید خواهد بود.

### ۱-۲-۶- موتورهای القایی

در صنعت و تجارت موتور القایی بعنوان پرکاربردترین وسیله، محتمل‌ترین دلیل ضریب توان پائین می‌باشد. موتورهای القایی، حتی هنگامی که در بار کامل کار می‌کنند، می‌توانند ضریب توانی کمتر از ۰/۶ داشته باشند و در حالت کم باری که جریان راکتیو یا جریان مغناطیس‌کنندگی موتور در حدود ۰/۹۰ جریان کل را تشکیل می‌دهد، ضریب توان می‌تواند به ۰/۱ برسد. بویژه، خصوصیات موتورهای کوچک بخوبی خصوصیات ماشینهای بزرگتر نیست. با این حال، یک موتور بزرگ تحت بار، ضریب توان کمتری نسبت به موتور کوچکتری دارد که دربار کامل کار مشابهی را انجام دهد.

مثال:

برای یک بار  $3/7 \text{ kW}$  ( ۵ اسب بخار)، یک موتور  $3/7 \text{ kW}$  که دربار کامل کار می‌کند ضریب توان بزرگتری (بیش از  $0/9$ ) نسبت به یک موتور  $22 \text{ kW}$  (۳۰ اسب بخار) دارد که در همان بار کار کند (کمتر از  $0/6$ ).

همچنین سرعت موتورها در مقدار ضریب توان مؤثر است و یک موتور با ۲ سرعت بیشتر همیشه ضریب توان بهتری نسبت به موتور با سرعت کمتر، دارد.

آنچه در بالا ذکر شد، می‌تواند بصورت نکات زیر خلاصه شود:

- موتورهایی که خوب طراحی شده‌اند ممکن است گران‌تر باشند اما معمولاً ضریب توان بهتری نسبت به ماشینهای ارزانتر دارند (بعدها درباره این نوع موتورها با تفصیل بیشتری بحث می‌شود).
- موتورهای سرعت زیاد، در مقایسه با ماشینهای کم‌سرعت ارجح می‌باشند.
- باید از انتخاب موتورهایی با اندازه بزرگتر از آنچه لازم است، اجتناب گردد. به عبارت دیگر باید حداقل اندازه مناسب برای موتور که با عملکردی مطمئن و مؤثر سازگار باشد، انتخاب شود (به قسمت ۱ - ۳ - ۸ ، موتورهایی که توان نامی بالاتر از مقدار لازم دارند مراجعه کنید).
- موتورها باید تا حداکثر مقدار ظرفیت بارگذاری شوند و لذا ترجیح داده می‌شود که در جایی که بارها همیشه در مقدار حداکثر خود نیستند به جای یک موتور جهت بحرکت درآوردن چندین بار، از چندین موتور استفاده شود.

### ۳ - ۶ - کوره‌ها

#### ۱ - ۳ - ۶ - کوره‌های القایی<sup>۱</sup>

برخلاف کوره‌های قوسی الکتریکی و کوره‌های مقاومتی<sup>۲</sup>، کوره القایی توسط القای جریان متناوبی با فرکانس ۵۰ هرتز یا بالاتر در درون خود فلز، به فلز حرارت می‌دهد. در کوره القایی از نوع بدون هسته، ضریب توان در سیم‌پیچ القاء کم و در حدود  $0/15$  می‌باشد. فرکانسهای بالاتر از ۵۰ هرتز با استفاده از یک مبدل فرکانسی ایجاد می‌شوند. در این مورد اصلاح ضریب توان بصورت یک مسئله استاندارد انجام می‌شود.

#### ۲ - ۳ - ۶ - کوره‌های قوس الکتریکی<sup>۳</sup>

کوره‌های قوس الکتریکی از ترانسفورماتورهایی استفاده می‌کنند که جریانهای بزرگ و با ولتاژ پایین مورد نیاز را فراهم می‌کنند. در آغاز کار، جریان در یک مقدار حداکثر قرار دارد و ضریب توان ممکن است  $0/75$  باشد. هنگامی که جریان بتدریج کاهش می‌یابد، ضریب توان به بیش از  $0/9$  افزایش می‌یابد.

<sup>1</sup> Induction Furnaces

<sup>2</sup> Resistance Furnaces

<sup>3</sup> Arc Furnaces

چون ضریب توان این نوع کوره‌ها، در اکثر ساعات کار نسبتاً خوب است، معمولاً خازنهای اصلاح ضریب توان برای آنها نصب نمی‌شوند، اما با این حال، ممکن است بررسی اصلاح ضریب توان در مدت زمانهای شکست<sup>۱</sup> (بار زیاد) بمنظور افزایش ضریب توان تا ۰/۹ یا بیشتر، باارزش باشد.

مثال هزینه‌های تعرفه (نرخهای تعرفه)

• تعرفه - مربوط به تغییرات حداکثر تقاضای ماهانه

برای مصرف هر kVA از ظرفیت ۱/۵ پوند

برای مصرف هر kVA از ظرفیت اضافه بر ۵۰ kVA ۱/۲ پوند

• نرخ تعرفه ماهانه برای هر kVA از حداکثر تقاضا در آن ماه

از ماه مارس تا ماه اکتبر با احتساب ماه اکتبر

ماه نوامبر و فوریه

ماه دسامبر و ژانویه

• صورتحساب مشتری

با فرض اینکه بار، مقدار ثابت ۱۰۰ kW در ضریب توان ۰/۶ باشد، توان ظاهری (kVA) در این حداکثر بار

عبارتست از:

بطوری که هزینه‌های ظرفیت و تقاضا بصورت زیر خواهند بود:

هزینه‌های ظرفیت

$$\text{پوند } ۹۰۰/۰۰ = (\text{ماه}) ۱۲ \times (\text{kVA}) ۵۰ \times (\text{پوند}) ۱/۵$$

$$\text{پوند } ۱۶۸۴/۸ = (\text{ماه}) ۱۲ \times (\text{kVA}) ۱۱۷ \times (\text{پوند}) ۱/۲$$

$$\text{پوند } ۲۵۸۴/۸۰$$

هزینه‌های تقاضا (دیماند)

$$\text{پوند } ۱۲۰۲/۴۰ = (\text{ماه}) ۸ \times (\text{kVA}) ۱۶۷ \times (\text{پوند}) ۰/۹$$

$$\text{پوند } ۱۱۵۲/۳۰ = (\text{ماه}) ۲ \times (\text{kVA}) ۱۶۷ \times (\text{پوند}) ۳/۴۵$$

$$\text{پوند } ۳۰۷۲/۸ = (\text{ماه}) ۲ \times (\text{kVA}) ۱۶۷ \times (\text{پوند}) ۹/۲$$

$$\text{پوند } ۵۴۲۷/۵۰$$

$$\text{پوند } ۸۰۱۲/۳ \text{ هزینه کل سالانه}$$

<sup>1</sup> Break-Down

جدول ۱: مثال آثار افزایش ضریب توان			
میزان صرفه‌جویی سالانه پوند بر kVAr در نتیجه افزایش ضریب توان به مقدار بعدی جدول	مصرف توان راکتیو *kVAr	هزینه‌های ظرفیت و تفاضل (پوند)	ضریب توان
۳۶/۳	۱۳۳	۸۰۱۲	۰/۶
۳۱/۳	۱۰۲	۶۸۸۷	۰/۷
۲۴/۳	۷۵	۶۰۴۳	۰/۸
۱۰/۸	۴۸	۵۳۸۶	۰/۹
	صفر	۴۸۷۰	۱

مصرف توان راکتیو (kVAr) می‌تواند بصورت زیر محاسبه شود:

$$kVAr = \sqrt{\left[ \frac{\text{بار واقعی (kW)}}{\text{ضریب توان واقعی}} \right]^2 - \left[ \frac{\text{بار واقعی (kW)}}{\text{ضریب توان یک}} \right]^2}$$

بطور مثال، برای یک بار ۱۰۰ kW با ضریب توان ۰/۸ داریم:

$$kVAr = \sqrt{\left( \frac{100}{0.8} \right)^2 - \left( \frac{100}{1} \right)^2} = \sqrt{15625 - 10000} = \sqrt{5625} = 75$$

## ۴ - ۶ - دستگاه‌های جوشکاری

### ۱ - ۴ - ۶ - دستگاه‌های جوشکاری با قوس الکتریکی

اگرچه در گذشته بخاطر جوشکاری بهتر از جریان مستقیم استفاده می‌شد اما پیشرفتهای امروزه باعث شده است که تقریباً همه جوشکاریها با استفاده از جریان متناوب که نیاز به کاربرد ترانسفورماتور دارد، انجام پذیرد. چون بار ایجاد شده توسط ترانسفورماتور جوشکاری بشدت سلفی است، ضریب توان معمولاً کم و بسته به طراحی و شرایط کار آن در حدود ۰/۳ تا ۰/۵ برای هر دستگاه جوشکاری می‌باشد. اگر دستگاه جوشکاری تک‌فاز، مجهز به خازن نباشد ضریب توان می‌تواند با قرار گرفتن یک خازن تک فاز در طرف اولیه ترانسفورماتور، بهبود یابد.

با وجود این، باید این نکته را در نظر داشت که جوشکاریهای قوسی الکتریکی همیشه در بار کامل نیستند. بطور مثال، اگر یک کارخانه دارای تعداد زیادی دستگاههای جوشکاری انفرادی باشد آنگاه باید از اصلاح بیش از حد ضریب توان خودداری کرد. ممکن است که در نیمی از زمانی که دستگاههای جوشکاری به برق متصل

می‌باشند هیچ عمل جوشکاری واقعی انجام نشود. لذا، اگر دستگاه جوشکاری مجهز به یک خازن جداگانه باشد امکان آن وجود دارد که مجموعه بار بصورت پیش فاز عمل کند.

این مسئله را می‌توان به طریق زیر حل نمود:

- اپراتورهای جوشکاری هنگامی که جوشکاری تمام می‌شود خازن‌ها را از مدار خارج کنند.

- هنگامی که جوشکاری انجام می‌شود خازن‌ها بطور خودکار در مدار قرار گیرند.

- اصلاح مرکزی ضریب توان کل کارخانه، براساس تجزیه بارهای مشاهده، انجام شود.

قاعده کلی می‌تواند بهبود ضریب توان ماشینها تا مقدار ۰/۶۵ در بار کامل، باشد. این بدین معنی است که بطور

متوسط ضریب توان می‌تواند به بزرگی ۰/۹۵ باشد.

## ۲ - ۴ - ۶ - دستگاههای جوشکاری مقاومتی<sup>۱</sup>

نرخ زیادی دستگاههای جوشکاری مقاومتی وجود دارند و ضرایب توان اصلاح‌نشده آنها متفاوت است. بطور مثال دستگاههای جوشکاری درزی<sup>۲</sup> ضرایب توان کوچکتری نسبت به دستگاههای جوشکاری نقطه‌ای<sup>۳</sup> دارند. بسیاری از دستگاههای نوع اول برای اهداف خاصی و بطور ویژه طراحی می‌شوند و شامل تجهیزاتی جهت کنترل فرآیند می‌باشند. مشاوره با سازندگان این ماشینها برای اصلاح ضریب توان آنها، توصیه می‌شود.

## ۵ - ۶ - کلیات

معمولاً بهتر است اصلاح ضریب توان برای بارهای سلفی از قبیل موتورهای القایی، در محل موتور انجام گردد. هنگامی که این کار انجام شود، طول سیم‌کشی کم می‌شود و افت ولتاژ و تلفات حرارتی کاهش خواهد یافت. اگر خازن روی موتور نصب شود، نیازی به جعبه کلید اضافی نیز نیست زیرا روشن و خاموش شدن موتور خازن را نیز کنترل می‌کند.

یک مثال از اصلاح ضریب توان در شکل ۳ نشان داده شده است. هنگامی که خازنی با اندازه صحیح نصب می‌شود، ضریب توان به میزان زیادی بهبود یافته و عملاً برای بارهای بیش از ۳۰٪ بار کامل ثابت می‌ماند.

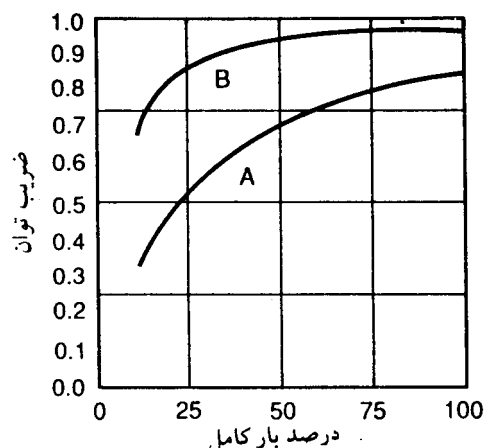
با انتخاب ظرفیت صحیح و قطع و وصل خودکار خازن توسط موتور، از اصلاح بیش از حد لازم ضریب توان اجتناب می‌شود. باید این نکته را در نظر داشت که اصلاح ضریب توان بیشتر از حد لازم مناسب بارهای ثابت است.

---

<sup>1</sup> Resistance Welders

<sup>2</sup> Seam Welders

<sup>3</sup> Spot Welders



شکل ۴: نصب خازن اصلاح ضریب توان برای یک موتور القایی

منحنی A - بدون خازن

منحنی B - مجهز به خازن

همچنانکه در قسمت ۱ - ۶ - متذکر شدیم، اصلاح مرکزی ضریب توان ممکن است زمانی که قسمتهای کوچک سیستم بطور ناپیوسته و متناوب بکار گرفته می شوند، اقتصادی باشد. اصلاح بیشتر ضریب توان می تواند بصورت دستی با قطع و وصل خازنهای کوچکتری که مناسب با شرایط بار خاصی هستند، انجام گیرد. همانطور که برای دستگاههای جوش گفته شد باید توجه کرد که در این حالت نیز اصلاح بیش از حد ضریب توان بدلیل وجود حالت کم باری، انجام نمی شود. قطع و وصل خودکار مجموعه های خازنی، این امکان را فراهم می کند تا ضریب توان در مقدار بهینه خود نگهداشته شود. به عبارت دیگر، اصلاح بیش از حد ضریب توان اتفاق نمی افتد. معمولاً یک رله ضریب توان با ۱۲ مرحله، می تواند خازنهای با مقادیر نامی مختلف را بمنظور ثابت نگهداشتن ضریب توان در مقدار تعیین شده ای که می تواند تغییر کند، قطع و وصل نماید. خازنها باید با تهویه کافی در نظر گرفته شوند تا از بوجود آمدن دمای بالا در آنها جلوگیری شود. در صورت عدم اطمینان در خصوص دمای کار بایستی با تولیدکنندگان مشاوره شود.

## ۷ - مدیریت بار

همانطور که تا اینجا نکاتی از قبیل تعمیر نگهداری مناسب و اصلاح ضریب توان مرور شد باید مشخصه های کل بار حاصل تأسیسات نیز مورد بررسی قرار گیرد.

### ۱ - ۷ - زمینه های مدیریت بار

دو زمینه مدیریت بار وجود دارد:

مدیریت بار از طرف تولیدکننده و مدیریت بار توسط مصرف‌کننده بطور محلی.

### ۱-۱-۷- مدیریت بار توسط تولیدکننده

معمولاً بین شرکتهای تولیدکننده و مشتریان آنها می‌تواند قراردادهایی منعقد گردد کد براساس آنها، چنانچه مصرف‌کننده مصرف خود را در ساعات اوج مصرف کاهش دهد، تولیدکننده، هزینه حداکثر تقاضا (دیماند) را برای وی کاهش خواهد داد. طبیعی است که به مشتریان یک روز قبل، باید لزوم کاهش بار در ساعات خاصی از روز بعد و در مواردی خاص به مقدار مشخص، اطلاع داده شود. معمولاً، با یک اوج مصرف کمتر از ۵ MW به مشتریان پیشنهاد انجام مدیریت بار نمی‌شود.

مدت زمان مدیریت بار در روز بندرت از یک ساعت و نیم تجاوز می‌کند. شرکتهای برق منطقه‌ای نیز معمولاً، با وارد کردن ژنراتورهای پشتیبان نسبتاً کوچک (۱/۵ MW) برای مدت زمان کوتاهی، مدیریت بار را انجام می‌دهند.

### ۲-۱-۷- مدیریت محلی بار

این نوع مدیریت بار توسط مشتری و روی بارهای متعلق به او انجام می‌پذیرد. فواید یک مدیریت بار خوب عبارتست از:

- امکان وارد کردن فرآیندهای جدید بدون صرف هزینه‌های زائد.
- افزایش ظرفیت متوسط تحمل بار سیستم الکتریکی.
- امکان افزایش مصرف کل برق بدون افزایش هم زمان حداکثر تقاضا.
- کاهش نرخهای هزینه برق یا امکان استفاده بیشتر از برق با همان میزان هزینه کل.

### ۲-۷- چگونه حداکثر تقاضا تعیین می‌شود؟

مطابق قسمت ۴ (هزینه‌های تولید برق و تعرفه‌ها) حداکثر تقاضا عموماً بصورت دو برابر بیشترین بار وارد شده در مدت زمان هر نیم ساعت در هر ماه، در نظر گرفته می‌شود.

مثال:

اگر در مدت زمان نیم ساعت ۱۰۰ kWh برق مصرف شود، حداکثر تقاضا عبارتست از:

$$\frac{100 \text{ kWh}}{0.5 \text{ h}} = 200 \text{ kW}$$



این عدد چه بار ثابت باشد چه نباشد بدست می‌آید، لذا تأثیر هرگونه تغییرات کنترل‌کننده‌های بار می‌تواند آنچنان طراحی شوند که اگر مشاهده شود که میزان بار از حداکثر تقاضای تعیین شده ممکن است تجاوز نماید طی مراحل بار را کاهش دهند.

### ۳-۷- ضریب بار<sup>۱</sup>

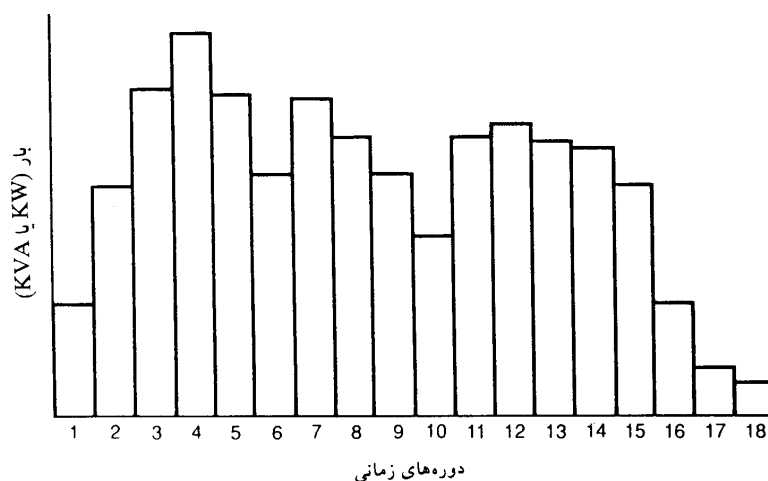
در تأمین برق، ضریب بار بصورت درصد نسبت بار متوسط بر حداکثر بار موجود در یک فاصله زمانی دلخواه تعریف می‌شود. در خصوص یک واحد، ضریب بار سالانه معنی متفاوتی دارد و بصورت درصد نسبت بار واقعی موجود بر حداکثر بار ممکن (حداکثر ظرفیت نامی واحد را مد نظر داشته باشید) در یک فاصله زمانی دلخواه بیان می‌شود.

در تمام روش‌های بهره‌برداری، ضریب بار بالا از نظر اقتصادی مطلوب است بویژه در مواردی که تعرفه‌بندی براساس مدیریت بار مناسبی صورت گرفته باشد. شکل ۵ متوسط مصرف الکتریکی در دوره‌های نیم ساعته در تأسیسات یک فرآیند را نشان می‌دهد.

با توجه به اینکه ضریب بار را بشکل زیر تعریف کرده‌ایم:

$$\text{ضریب بار (درصد)} = \frac{\text{متوسط تقاضا}}{\text{حداکثر تقاضا}} \times 100$$

آشکار خواهد بود که اگر حداکثر تقاضا را با جابجایی بارها به دوره‌های کم مصرف، بتوان کاهش داد، میزان انرژی مصرف شده و بالطبع مقدار متوسط تقاضا ممکن است بدون تغییر باقی بماند در حالی که ضریب بار بهبود خواهد یافت (شکل ۶ را ببینید)، ضریب بار برای بار نشان داده شده در شکل ۵ مقدار ۶۰٪ است که با انتقال بارها به دوره‌های کم مصرف مطابق شکل ۶ بمقدار ۸۰٪ افزایش یافته است. در حقیقت، در این مثال بعلاوه کاهش هزینه‌های مربوط به حداکثر تقاضا، امکان استفاده بیشتر از برق به مقدار ۶٪ با همان مقدار هزینه کل قبل ممکن می‌باشد.



شکل ۵: الگوی بار بدون کنترل ضریب بار - ضریب بار ۶۰٪

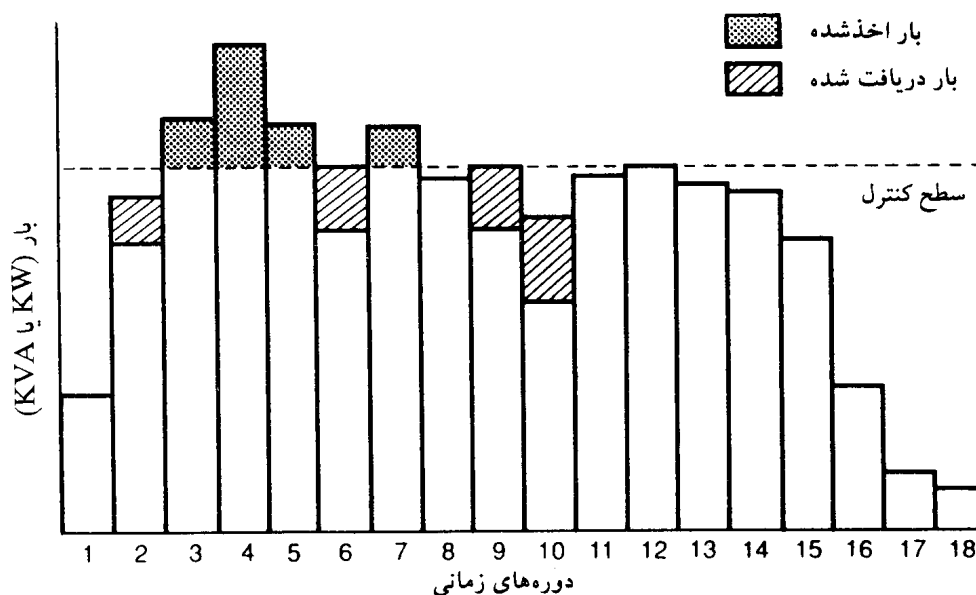
<sup>1</sup> Load Factor

## ۴ - ۷ - انواع روش‌های کنترل ضریب بار

هزینه بهبود ضریب بار لزوماً زیاد نیست و می‌تواند از چند هشداردهنده<sup>۱</sup> و نشانگر<sup>۲</sup> ساده تشکیل شده باشد. کنترل‌کننده‌های ساده بار می‌توانند یا به تعویق انداختن بارها، اوج مصرف را کاهش دهند که این مطلب در شکل ۷ نشان داده شده است. در این گونه موارد زمان برگشت سرمایه<sup>۳</sup> بسیار کوتاه است. در موارد دیگر، بویژه در مورد مصرف‌کننده‌های بزرگ، نصب تجهیزات اتوماتیک برای کنترل بار در اغلب موارد سودهای قابل‌ملاحظه‌ای را نتیجه خواهد داد. مطابق با شکل ۶ با افزایش بار در دوره ۲، تقاضای بیش از حد مصرف دوره ۳ پیش‌بینی و کنترل بار براساس معیارهای از پیش تعیین شده، اجرا شده است. همچنین اگر بارها از زمان اوج مصرف به شب‌ها یا آخر هفته منتقل شوند نتایج بهتری حاصل می‌شود.

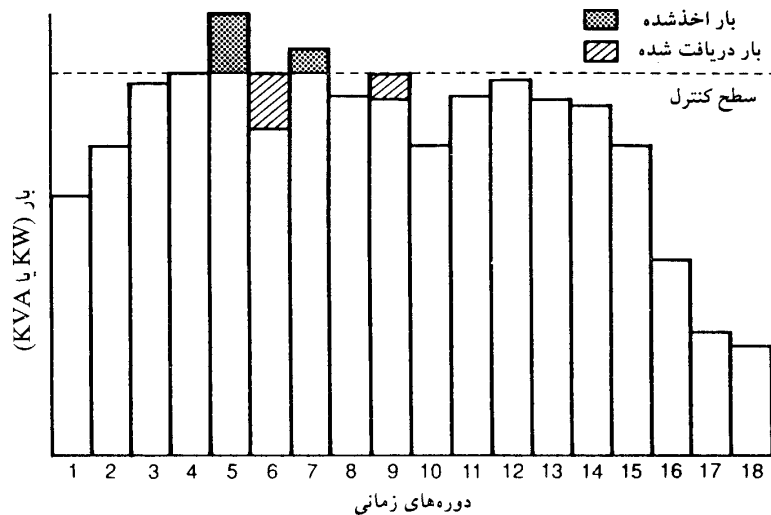
### ۱ - ۴ - ۷ - بارزدائی دستی

هشدار دهنده‌هایی به شکل زنگ یا چراغ را می‌توان دو قسمتی از یک مرکز کنترل و یا درشرایطی که یک بار بزرگ می‌تواند برای مدتی بدون وارد شدن لطمه به فرآیند قطع شود و یا کاهش داده شود، نصب کرد. تصمیم به بارزدائی می‌تواند توسط اپراتور یا مدیر کارخانه که تصمیم می‌گیرد کدام بار مشخص قطع شود، انجام گردد.



شکل ۶: الگوی بار کنترل ضریب بار - ضریب بار ۸۰٪

<sup>1</sup> Alarm  
<sup>2</sup> Indicator  
<sup>3</sup> Payback



شکل ۷: الگوی بار با تعویق بار جهت افزایش ضریب بار

## ۲ - ۴ - ۷ - بارزدائی اتوماتیک

بارهای از پیش تعیین شده می توانند در مواقع غیر ضروری قطع شوند و کنترل کننده ها می توانند آنها را بطور اتوماتیک قطع کنند. همچنین با کاهش مصرف کل به کمتر از مقدار تعیین شده، این نوع بارها را می توان مجدداً وصل کرد.

### • کنترل کننده های ایده آل نرخ بار<sup>۱</sup>

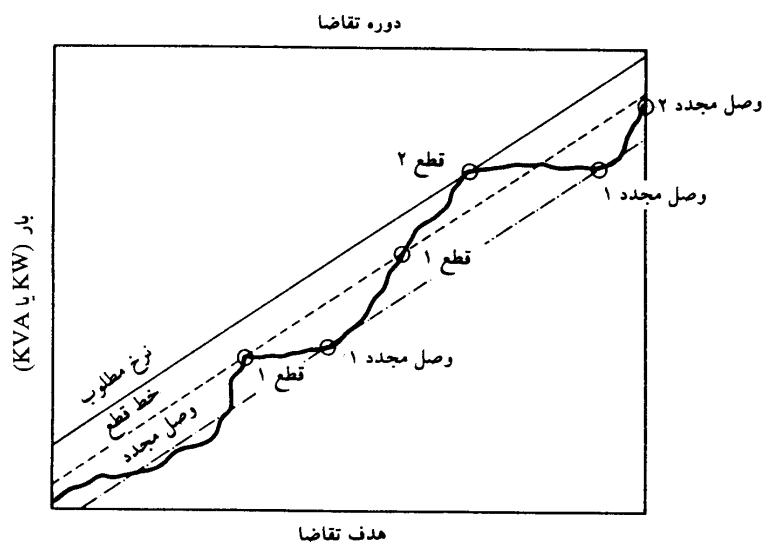
این نوع کنترل کننده ها می توانند بدون تداخل با بارهای اصلی، دو مرحله بارزدائی را در نظر بگیرند. در این خصوص روش های متعددی وجود دارد. به عنوان مثال اولین مرحله قطع بار شامل قطع بارهای غیر اساسی است و چنانچه قبل از پایان دوره نیم ساعته بارها به اندازه کافی کاهش یابند، بطور خودکار مجدداً وصل می شوند. در هر صورت اگر مجدداً بار افزایش پیدا کند، مجدداً بارهای غیر اساسی قطع می شوند.

در مواردی که بار بیشتر از سطح قطع بارهای غیر اساسی افزایش پیدا کند در دومین مرحله بارهای کمتر غیر اساسی قطع می شوند. اگر مجدداً بار کاهش پیدا کرد، بارهای مرحله دوم تا پایان دوره اندازه گیری وصل نمی شوند زیرا که مدت قطع این بارها زیاد طول نمی کشد و از نظر تعداد تکرار کمتر از قطع بارهای غیر اساسی مرحله اول صورت می پذیرد. برعکس، اگر بار تا خط وصل مجدداً<sup>۲</sup> بار کاهش پیدا کند، بارهای غیر اساسی مجدداً وصل می شوند. این روش در شکل ۸ نشان داده شده است.

کنترل کننده ابتدائی فوق را می توان بوسیله چاپگرها، شمارنده ها و نمایش تصویری عملیات گسترش داد. تجهیزات فوق باید با دوره های نیم ساعته اندازه گیری که توسط تولید کننده برق صورت می پذیرد سنکرون باشند. مقدار انرژی عرضه نشده بکمک ترانسفورماتورهای خطوط تغذیه ویا از طریق پالسی هائی که بوسیله تعرفه سنجها ارسال می شوند، اندازه گیری می شود.

<sup>1</sup> Ideal Rate Load Controllers

<sup>2</sup> Restore Line



شکل ۸: عملکرد یک کنترل کننده ایده آل نرخ بار

- کنترل کننده‌های پیش‌بینی کننده<sup>۱</sup>

این کنترل کننده‌ها از نظر طراحی بسیار پیچیده می‌باشند و بجای کار مبنای مقایسه بر مبنای پیش‌بینی کار می‌کنند. در ابتدای هر دوره نیم ساعته نظارت، تمام بارها ارزیابی شده و محاسبه می‌شود که آیا با این رشد مصرف، میزان مصرف از حد تعیین شده تجاوز می‌کند یا خیر. اگر مقدار پیش‌بینی شده بیش از حد مجاز بود، قطع بار انجام می‌شود و اگر مقدار پیش‌بینی شده به حد تعیین شده نرسد، بار مجدداً وصل می‌شود.

- کنترل کننده‌های نرخ لحظه‌ای بار<sup>۲</sup>

در جاهائی که بارگذاری پیچیده است ممکن است بتوان قابلیت انعطاف کنترل با را بهبود بخشید. در این موارد کنترل کننده نرخ لحظه‌ای بار می‌تواند مفید باشد.

اصول حاکم بر این کنترل کننده‌ها با کنترل کننده‌های پیش‌بینی کننده که انتهای هر دوره نظارت را در نظر می‌گیرند تفاوت دارد. در این نوع کنترل کننده‌ها مقدار واقعی مصرف در هر نقطه از دوره نظارت، ملاک و معیار است. اگر در هر زمان، نرخ لحظه‌ای مصرف از حد از پیش تعیین شده تجاوز کند، بار قطع می‌شود. از طرف دیگر اگر مقدار بار زیر حد مجاز باشد بار بیشتری پذیرفته می‌شود. مزیت این کنترل کننده این است که بر روی منحنی بار، اوج‌ها<sup>۳</sup> و دوه‌های<sup>۴</sup> کمتری وجود دارد و در نتیجه ضریب بار بهتری حاصل می‌شود.

## ۵ - ۷ - ملاحظات اجرایی

استفاده از تجهیزات کنترل بار لزوماً به این معنی نیست که نمی‌توان بدون تغییر در روش‌های معمول تولید، ضریب بار را بهبود بخشید. در بسیاری از موارد نیاز به هیچ تغییر اساسی در برنامه‌ریزی‌های بهره‌برداری وجود ندارد، اما امکان توزیع بارها به دلیل بهره‌های زیادی که ممکن است حاصل شود، باید در نظر گرفته شود.

<sup>1</sup> Predicting Controllers

<sup>2</sup> Instantaneous Controllers

<sup>3</sup> Peaks

<sup>4</sup> Troughs

## ۱ - ۵ - ۷ - اندازه‌گیری بار

تمام کنترل‌کننده‌ها برای ارزیابی بار نیاز به ورودی دارند. شرکت‌های برق منطقه‌ای<sup>۱</sup> می‌توانند اندازه‌گیری‌های تعبیه نمایند که اطلاعات لازم از قبیل توان اخذ شده و زمان مربوط به دوره‌های نظارت را شامل باشد. همچنین کنترل‌کننده‌ها می‌توانند از طریق ترانسفورماتورهای گیره‌ای<sup>۲</sup> (ترانس جریانی که برای اندازه‌گیری جریان دور کابل توزیع و بدون تماس با آن حلقه می‌زند) و معلوم فرضی کردن ولتاژی ضریب توان موجود، عمل نمایند. واحدهای سیار از این نوع می‌توانند برای نظارت بر مصرف بکار روند و می‌توانند با یک چاپگر که منحنی بار را تهیه می‌کند، مجهز شوند.

این روش بندرت بخوبی اندازه‌گیری‌های دقیق عمل می‌کند. این مطلب بخصوص اگر بدلیل وجود موتورهای القائی ضریب توان معلوم نباشد و یا تغییر کند، صحیح است. به عنوان یک معیار، یک ترانسفورماتور گیره‌ای باید ۱۰٪ دقت داشته باشد. البته ولتاژ می‌تواند در حد تعیین شده ۶٪ $\pm$  تغییر کند اما معمولاً در ۱/۵٪ $\pm$  تا حفظ می‌شود. کاربرد تجربیات عملی باعث بهره‌برداری رضایت‌بخش کنترل‌کننده‌ها می‌شود.

## ۲ - ۵ - ۷ - کنترل‌های محلی و مرکزی

کنترل‌های محلی، مواردی را که کارخانه در داخل یک مجموعه ساختمانی کوچک و بهم پیوسته قرار دارد، دربرمی‌گیرد. مواردی وجود دارند که بارها پراکنده می‌باشند و در فاصله‌ای از محل کنترل قرار دارند. در این شرایط کنترل‌ها می‌توانند با یک سیستم خودکار شماره‌گیر تلفن کار کنند و اطلاعات را به محل کنترل مرکزی ارسال کرده و از آنجا دستورها را دریافت دارند. در داخل تاسیسات و ساختمان‌های بزرگ، انتقال اطلاعات بشکل پالس از طریق کابل‌های برق می‌تواند نیاز به سیستم کابلی کنترل و نظارت را که گران و دارای کابل‌کشی طولانی است، رفع کند.

## ۳ - ۵ - ۷ - برنامه‌های کنترل بار

برنامه‌های ساده‌ای می‌تواند نوشته شود که توانایی آنها محدود یه اینکه کدام بار، چه مقدار و برای چه مدت قطع شود باشد. این برنامه‌ها بارها را براساس جداول از پیش تعیین شده اداره می‌کنند. برنامه‌های پیچیده‌تر بارها را بصورت کاملتری مدلسازی می‌کنند و بنابراین به اطلاعات ورودی بیشتری نیاز دارند که شامل اولویت بارها، اندازه بارها، حداکثر و حداقل دوره قطعشان و رشد مصرف آنها و همینطور تعداد دفعات مجاز واه‌اندازی در هر دوره زمانی، می‌باشد.

هنگامی که این اطلاعات تکمیل و به کنترل‌کننده داده شد، سیستم کنترل از آنها استفاده کرده و بارها را طوری تنظیم می‌کند که مطمئن شود مقدارشان از حداکثر مجاز تجاوز نخواهند کرد. بطور همزمان حداکثر بهره‌برداری از تاسیسات کارخانه حاصل می‌شود. هر نوع برنامه‌ای که استفاده شود لازم است که با شناخت درست از عملکرد بار تنظیم شود. بدینصورت مدیر واحد است که باید برنامه کنترل بار را تعیین کند. هر برنامه‌ای باید تضمین کند که شرایط ایمنی برآورده شود، شرایط تولید بمخاطره نیفتد و بر شرایط کاری تأثیر منفی گذاشته نشود.

<sup>1</sup> Regional Electricity Company (REC)

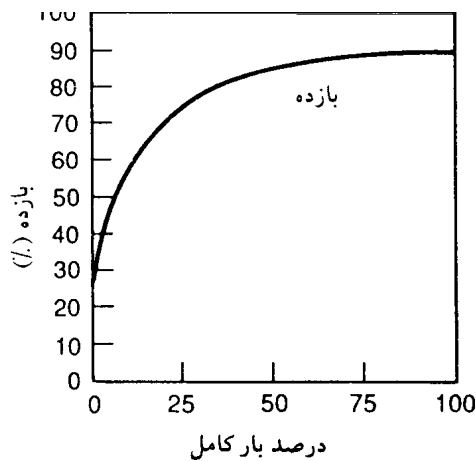
<sup>2</sup> Clip – on Transformer

## ۸ - کاهش بارهای موتور

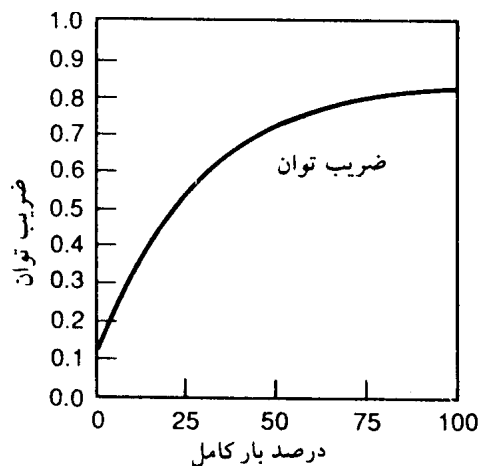
یقیناً موتورهای الکتریکی پرستفاده‌ترین وسیله الکتریکی در تجهیزات صنایع می‌باشند و حدود ۶۵٪ از کل مصرف برق را به خود اختصاص می‌دهند. در حال حاضر موتورهای مورد استفاده صنایع، موتورهای القائی سه‌فاز می‌باشند. این موتورها بسته به تعداد قطب‌هائی که دارند، می‌توانند در سرعت‌های مختلف کار کنند و منبع توان مکانیکی دورانی نسبتاً ارزانی را فراهم کنند. بیشتر موتورها برای حداکثر بازده در بار کامل طراحی می‌شوند، اما بندرت در بار کامل کار می‌کنند.

### ۱ - ۸ - انتخاب اندازه موتور<sup>۱</sup>

بار حداکثری که موتورها برای تأمین آن طراحی می‌شوند ممکن است بطور قابل ملاحظه‌ای کمتر از مقادیر نامی موتور باشد. برای این کار دلایل متعددی وجود دارد که تعدادی از آنها از خود واحد نشأت می‌گیرد. از جمله می‌توان در نظر گرفتن فاصله مجاز (ضریب اطمینان) در طراحی مکانیکی برای حوادث پیش‌بینی نشده را نام برد. علاوه بر این در کارهای عملی بدلیل افزایش قابلیت اطمینان و امکان انجام تغییرات در عملکرد سیستم، روش معمول این است که موتورهای الکتریکی را بزرگتر از مقدار مورد نیاز<sup>۲</sup> انتخاب می‌کنند.



شکل ۹: بازده موتور القائی استاندارد برحسب بار



شکل ۱۰: ضریب توان موتور القائی استاندارد برحسب بار

بزرگتر انتخاب کردن موتورها از هر صنعت به صنعت دیگر و از هر کاربرد با کاربرد دیگر تفاوت می‌کند. یک بررسی اولیه نشان می‌دهد که متوسط بارگذاری واقعی موتورها در حدود ۶۵٪ حداکثر بار آنها می‌باشد. در بسیاری از موارد که استفاده‌کننده قادر به انتخاب موتور الکتریکی نیست و موتور همراه با دستگاه تحویل می‌شود. تأمین‌کننده دستگاه باید بدترین حالت را در نظر بگیرد، به این معنی که موتور بر مبنای سخت‌ترین شرایط

<sup>۱</sup> Motor Sizing

<sup>۲</sup> Oversizing

بارگذاری انتخاب می‌شود. این امکان وجود دارد که موتورهای هماهنگ‌تر با حداکثر بار واقعی خود انتخاب شوند. این امکان وجود دارد که موتورهای هماهنگ‌تر با حداکثر بار واقعی خود انتخاب شوند.

بازده موتورهای بسته به اندازه آنها (توان نامی)، بار و سازنده آنها تغییر می‌کند. موتورهای استاندارد، دربار کامل بسته به اندازه و سرعتشان بازدهی بین ۵۵٪ تا ۹۵٪ دارند. هرچه سرعت کمتر باشد بویژه در موتورهای کم توان (زیر ۱/۵ کیلووات) بازده کمتر است. منحنی بازده موتورهای استاندارد متفاوت است اما شکل ۹ بطور نمونه نشان می‌دهد که بازده تقریباً تا ۷۵٪ زیر بار کامل ثابت می‌ماند و تا ۵۰٪ زیر این مقدار، کمتر از ۵٪ افت می‌کند. بعد از این نقطه بازده بشدت افت می‌کند. توجه کنید در حالی که شکل منحنی بازده برای مقادیر نامی مختلف موتور مشابه یکدیگر است، مقدار واقعی بازده معمولاً با کاهش توان نامی موتور کم می‌شود.

نتیجه این است که اگر موتورهای در بار نسبتاً ثابت کارکنند، بزرگتر انتخاب کردن موتور تا حد ۳۰٪ تأثیر زیادی بر بازده ندارد. درحالی‌که اگر بار تغییر کند و بندرت به ۷۵٪ بار کامل برسد، بازده بشدت تأثیر می‌پذیرد. برای مثال از روی منحنی شکل ۹ و یک حداکثر بار ثابت ۱۰ kW، یک موتور ۱۵ kW در ۶/۶۶٪ بار کامل کار می‌کند و در مقایسه با موتوری که به اندازه نیاز انتخاب شود کاهش بازدهی حدود ۱٪ خواهد داشت. در حالی که اگر حداکثر بار هنوز ۱۰ kW باشد اما بار در اغلب مواقع فقط ۳ kW باشد با انتخاب موتور به ظرفیت مناسب، بازده در این بار حدود ۸۰٪ خواهد شد در حالی که یک موتور ۱۵ kW در بازده کمتر از ۷۰٪ کار خواهد کرد. ضریب توان نیز با کاهش بار موتور، بصورت نامطلوبی تأثیر می‌پذیرد. شکل ۱۰ یک منحنی نمونه را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود ضریب توان سریعتر از بازده کاهش پیدا می‌کند و بنابراین اگر موتوری بار کمی داشته باشد، به این معنی که توان نامی موتور بسیار بالاتر از بار موتور باشد، اصلاح ضریب توان هزینه بیشتری را تحمیل خواهد کرد.

بنابراین بزرگتر انتخاب کردن موتور:

- هزینه کلی خرید خود موتور را افزایش می‌دهد.
- هزینه کلی سیم‌کشی و کلیدگذاری مناسب را افزایش می‌دهد.
- هزینه کلی لوازم اصلاح ضریب توان را افزایش می‌دهد.
- بدلیل کاهش بازده، هزینه (مصرف) برق را افزایش می‌دهد.

## ۲ - ۸ - بی‌باری موتور<sup>۱</sup>

بی‌باری موتورهای از مشخصه‌های خیلی معمول مصارف صنعتی است. کمپرسورها، نقاله‌ها، دستگاه‌های بافندگی و بطور کلی ماشینهای ابزاو و همچنین خطوط تولید هنگامی که هیچ کار مفیدی انجام نمی‌شود معمولاً بی‌بار می‌شوند. بسته به شرایط هنگامی که موتور هیچ کار مفیدی انجام نمی‌دهد می‌تواند تا ۵۰٪ بار کامل

<sup>۱</sup> Motor Idling

جریان بکشد. این مطلب بویژه در مورد موتورهای که به چرخ‌دنده و خط‌نقاله وصل شده‌اند، صحت دارد. این موضوع مجدداً بر لزوم انتخاب صحیح توان نامی موتور تأکید می‌کند.

### ۳ - ۸ - تعویض موتور

بطور طبیعی تعویض موتور زمانی صورت می‌گیرد که تعمیر آنها اقتصادی نباشد. در مواردی بدلیل مشکلات تأمین موتورهای جدید، موتورها تعمیر می‌شوند اما به طور کلی قیمت موتورهای جدید و هزینه تعمیرات موتورهای موجود معیار تعیین‌کننده می‌باشد.

### ۱ - ۳ - ۸ - موتورهای با توان نامی بالاتر از مقدار لازم<sup>۱</sup>

با توجه به بخش ۱ - ۸ معایب بزرگتر در نظر گرفتن توان نامی موتورها روشن است. با طولانی شدن دوره بی‌باری موتورها، هر دو عامل ضریب توان و بازده بصورت نامطلوبی متأثر خواهند شد. از طرف کارخانه باید جدولی تنظیم شود که تعیین می‌کند روی هر موتور چه مقدار بار واقعی وجود دارد. اگر وسیله‌ای برای اندازه‌گیری توان واقعی در دسترس نباشد برای رسیدگی به امر فوق می‌توان از تحلیل‌گران بهره‌وری انرژی الکتریکی برای تحقیقات در این زمینه کمک گرفت و یا اینکه با استفاده از روش مطروحه در بخش ۵، از یک کیلووات ساعت سنج، استفاده کرد.

این کار باید روی تمام موتورهای در حال کار انجام شود و با بدست آمدن جدول عملکرد این بارها، ظرفیت واقعی موتورها با ارقام واقعی حداکثر بار مقایسه شود.

مجموعه موتورهای موجود در انبار را نیز باید بررسی کرد تا بررسی شود که آیا امکان جایگزینی موتورها وجود دارد طوری که موتورهای بزرگتر که زیر توان نامی کار می‌کنند با موتورهای کم ظرفیت‌تر جایگزین شوند. با وجودیکه دو شرایط ایده‌آل، تعویض و جایگزینی موتورها به این معنی است که جهت پرکردن فضاهای خالی در انتهای لیست فقط به خرید چند موتور کم توان نیاز است اما در بعضی موارد بدلیل مشکلات نصب موتورها و کم‌بودن اوج بارها نمی‌توان موتورها را با واحدهای کوچکتر جایگزین کرد. در این موارد باید جایگزینی موتورها با واحدهایی با بازده بالاتر را در نظر گرفت.

### ۲ - ۳ - ۸ - موتورهای با بازده بالا

موتورهای القائی شامل دو نوع تلفات می‌باشند بخشی که با بار تغییر می‌کند و بخش دیگر که ثابت است. وقتی موتور در بار کامل راه‌اندازی می‌شود، نسبت تلفات در بار کامل، حدود ۷۰٪ از نوع اول و ۳۰٪ از نوع دوم است. تلفات الکتریکی بار شامل تلفات مقاومتی روتور و استاتور و تلفات اضافی می‌باشد که تلفات اضافی به شکل تلفات در اطراف یا داخل شیارهای هادی‌های روتور می‌باشد. هنگامی که موتور بی‌بار راه‌اندازی می‌شود تلفات

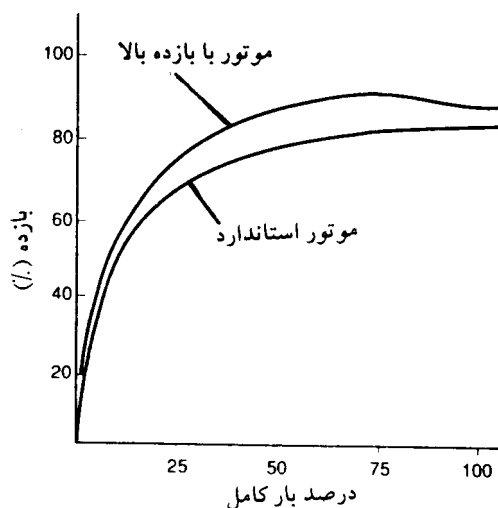
<sup>۱</sup> Oversized Motors



مسی بسیار کوچک هستند. اما هنگامی که باری به موتور اعمال شود این تلفات متناسب با مجذور جریان موتور افزایش می‌یابند و از اینرو به تلفات  $RI^2$  معروفند. بعلاوه در مدار مغناطیسی روتور نیز تلفات آهن وجود دارد. این تلفات که به شکل تلفات جریانهای گردابی و هیستریسیس<sup>۱</sup> شناخته شده‌اند با ولتاژ ارتباط دارند و بنابراین ثابت و مستقل از بار می‌باشند. تلفات مکانیکی شامل اصطکاک یا تاقانها، آشفستگی هوای اطراف روتور هنگام گردش آن و فن خنک‌کننده سیم‌پیچ‌ها می‌شود. موتورهایی که برای حداقل کردن تمام تلفات فوق طراحی می‌شوند به «موتورهای با بازده بالا» معروفند.

عامل دیگر که در طراحی باید در نظر گرفته شود، در نظر گرفتن « بار معمولی<sup>۲</sup> » است. اگر در مورد کاربرد یک موتور نشان داده شود که با وجود نیاز به حداکثر توان، به طور معمول موتور مثلاً در ۶۰٪ بار کامل کار می‌کند در اینصورت موتور می‌تواند طوری طراحی شود که بجای داشتن حداکثر بازده در بار کامل، دارای حداکثر بازده در بار مذکور باشد.

طراحی به منظور حداقل کردن تلفات الکتریکی معادل با افزایش هزینه مربوط به مواد اولیه می‌باشد. هنگامی که تلفات  $RI^2$  (تلفات گرمایی) کم فن خنک‌کننده نیز می‌تواند کوچکتر شود (همینطور تلفات مربوط به سیم‌پیچی). در حال حاضر هزینه تمام‌شده موتورهای با بازده بالا در مقایسه با موتورهای استاندارد بالاتر است اما این وضعیت با کاهش یافتن تفاوت قیمت بین موتورهای استاندارد و موتورهای با بازده بالا می‌تواند تغییر کند. در شکل ۱۱ منحنی بازده یک موتور با بازده بالا و یک موتور استاندارد نشان داده شده است.



شکل ۱۱: راندمان موتور با بازده بالا و موتور استاندارد برحسب بار موتور

عواملی که باید هنگام بررسی اقتصادی موتورهای با بازده بالا در نظر گرفته شوند عبارتند از:

<sup>۱</sup> Hysteresis

<sup>۲</sup> Normal Loading

- بار موتور برحسب بار نامی و چگونگی تغییرات بار. از اینجا اندازه صحیح موتورها را می توان تعیین کرد و ایده هایی در مورد مقدار متوسط بار بدست آورد.
  - مقایسه بازده موتورهای استاندارد و موتورهای با بازده بالا در بار متوسط و بازای توان نامی مساوی.
  - زمان و ساعت های کارکرد در یک سال.
  - تعرفه های برق شامل نرخ های کیلووات ساعت هزینه های مصرف حداکثر تقاضا.
- در کارخانه های جدید و جاهائی که نیاز به جایگزینی یک موتور هست، جایگزینی با موتورهای با بازده بالا بسته به اینکه موتور بطور دائم کار کند و یا در یک شیفت و بصورت ۵ روز در هفته کار کند، بازگشت سرمایه حدود ۶ ماه تا ۲ سال می باشد.

### ۳-۳-۸ - محرکه های دور متغیر<sup>۱</sup>

تخمین زده می شود که حدود ۵۵٪ از موتورهای سه فاز جریان متناوب پمپ ها و فن ها هستند. سرعت فن ها و پمپ ها معمولاً بصورت مکانیکی و با محدود کردن جریان سیال کنترل می شود، به این طریق که از دمپر روی فن ها و از شیر روی پمپ ها استفاده می شود. این ساختار مکانیکی جریان سیال را کنترل می کند و ممکن است بار روی فن ها و موتور پمپ ها را کاهش دهد اما خود، باعث تلفات انرژی می شود که طبیعتاً مطلوب است. بنابراین اگر بتوان با کاهش سرعت فن یا موتور پمپ ها، جریان سیال را کنترل کرد روش بسیار مؤثری برای کنترل سرعت سیال عرضه می شود.

در حقیقت صرفه جوئی حاصله بیشتر از چیزی است که در ابتدا ممکن است بنظر رسد. زیرا با کاهش سرعت فن یا پمپ، جریان سیال بطور متناسب کم می شود. در حالی که توان لازم برای فن یا پمپ با توان سوم سرعت کم می شود.

مثال:

اگر سرعت سیال ۲۰٪ کم شود سرعت موتور به ۸۰٪ سرعت طبیعی می رسد که باعث کاهش توان (به مقدار زیر) می شود:

$$0/8^3 = 0/8 \times 0/8 \times 0/8 = 0/512$$

این پتانسیل صرفه جوئی در انرژی باعث کاربرد محرکه های دور متغیر (VSD) در کنترل جریان سیالات شده است که یکی از مهمترین هزینه های مؤثر سرمایه گذاری در بهره وری انرژی است که می تواند برای موتورها در نظر گرفته شود. بازگشت سرمایه در کمتر از یکسال معمول است اما در کمتر از یکسال نیز امکان پذیر است.

<sup>1</sup> Variable Speed Drives

همواره کنترل سرعت موتورهای جریان متناوب امکان‌پذیر بوده است اما در گذشته فقط در موارد خاص استفاده می‌شده است. در سال‌های اخیر نیمه‌هادی‌های جدید قدرت و ریزپردازنده‌ها زمینه ایجاد محرکه‌های الکترونیکی دور متغیر را فراهم کرده‌اند که باعث توسعه عملکرد و قابلیت اطمینان نسبت به سیستم‌های قدیمی می‌شود. این در حالیست که هزینه تجهیزات نیز کم می‌شود. از اینرو در حال حاضر گستره‌ای از موتورها می‌توانند مجهز به محرکه‌های دور متغیر (VSD) شوند که جهت صرفه‌جویی در مصرف برق به کار گرفته می‌شوند.

این مطلب مهم است که قبل از انتخاب محرکه دور متغیر (VSD) مناسب، شرایط کاری موتور تعیین شود. عواملی از قبیل توان نامی موتور، ساعات کار، میزان دبی سیال و هزینه برق، نوع محرکه دور متغیر (VSD) را تعیین خواهد کرد.

محرکه‌های دور متغیر بطور موفقیت‌آمیزی در محدوده صنعت و مصارف عملی به کار گرفته شده‌اند. به عنوان نمونه به موتورهای روی فن‌های دیگ‌بخار<sup>۱</sup>، پمپ‌های آب، پمپ‌های چیلر سیستم تهویه مطبوع، فن‌های برج‌های خنک‌کن<sup>۲</sup>، فن‌های احتراق و پمپ‌های یخچال‌ها می‌توان اشاره کرد.

## ۹ - مطالعات موردی

### ۱ - ۹ - کنترل کامپیوتری اجاق‌های مادون قرمز

با حمایت مالی فراهم‌شده در جهت بهره‌وری انرژی و به منظور کاهش هزینه‌ها، یک تولیدکننده بزرگ اتومبیل، یک اجاق مادون قرمز با کنترل کامپیوتری را به خط تکمیلی تولید اتومبیل‌های جدید اضافه کرد. با حذف اجاق‌های گازی قدیمی و با تسهیل افزایش تولید و امکان تولید در شیفت‌های شبانه، ظرفیت تولید بطور قابل‌ملاحظه‌ای توسعه پیدا کرد و در مصرف انرژی صرفه‌جویی شد. صرفه‌جویی انرژی به حدود ۹۰۰۰۰۰ پوند در سال رسید که برای بازگشت سرمایه‌گذاری کوره‌ها در کمتر از ۳ سال کافی بود و درصد کاهش انرژی برای هر اتومبیل بیش از ۸۰٪ بود. اضافه شدن صرفه‌جویی مربوط به نیروی کار، زمان بازگشت سرمایه را به ۱۰ ماه کاهش داد.

### ۲ - ۹ - خشک کردن منسوجات سنگین به کمک هوا و فرکانس رادیویی<sup>۳</sup> (ARFA)

یک شرکت تولیدکننده منسوجات سنگین رزینی اشباع شده، یک خشک‌کننده با هوا و فرکانس رادیویی (ARFA) نصب کرده است که با همان تعداد کارگر و شیفت کاری، شرکت را قادر می‌کند که تولیدات پارچه را

---

<sup>1</sup> Boiler Forced Draft Fans

<sup>2</sup> Cooling Tower

<sup>3</sup> Air/Radio Frequency Assisted (ARFA) Drying Heavy Textiles

تقریباً ۱۰۰٪ افزایش دهد. همزمان با آن بدلیل تعویض گرم‌کننده‌های قدیمی، مصرف انرژی به ازای هر متر از تولیدات بیش از ۶۰٪ کاهش می‌یابد.

با صرفه‌جویی در مصرف انرژی و سود ناشی از تولیدات با سرمایه‌گذاری حدود ۲۱۲۰۹۷ پوند، بازگشت سرمایه ۲/۳ سال بود.

### ۳ - ۹ - نظارت بر انرژی در معادن زغال سنگ

یک سیستم کامپیوتری نظارت بر انرژی در چند معدن ذغال‌سنگ نصب شده است. آزمون‌های موفقیت آمیز انجام شده نشان می‌دهند که صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در انرژی می‌تواند حاصل شود. تلفات گوناگونی تحت کنترل درآمدند که از آنجمله برنامه‌ریزی دو کمپرسور ۵۰۰kW بود که بیش از زمان لازم کار می‌کردند.

در یکی از معادن صورت‌حساب برق حدود ۱۵٪ کاهش پیدا کرد که با سرمایه‌گذاری ۱۸۰۰۰ پوند، بازگشت سرمایه یک ماه طول کشید.

### ۴ - ۹ - محرکه‌های دور متغیر بر روی فن یک دیگ‌بخار

در بیمارستانی بزرگ با سه دستگاه دیگ‌بخار ظرفیت بالا، به منظور کنترل سرعت موتور فن‌های خشک‌کن بر روی دیگ‌بخاری که تقریباً بصورت پیوسته، قسمت عمده گرمای خروجی را تأمین می‌کرد، یک راه‌انداز الکترونیکی دور متغیر نصب شد. مصرف برق موتور به ازای هر پوند بخار خروجی ۷۰٪ کاهش پیدا کرد و بدلیل قابل تغییر بودن سرعت فن‌ها و متناسب بودن آن با شدت احتراق دیگ بخار، بازده بهینه احتراق دیگ‌بخار برای مدت طولانی‌تری ثابت مانده است.

به ازای ۷۱۰۰ پوند سرمایه‌گذاری انجام شده، بازگشت سرمایه ناشی از صرفه‌جویی انرژی بین ۱۰ تا ۱۱ ماه تأمین شد.

### ۵ - ۹ - لامپ‌های فلورسنت با فرکانس بالا

جایزه اعمال مدیریت انرژی در بخش روشنایی واحدهای صنعتی در سال ۱۹۹۱، ۲۵٪ صرفه‌جویی در مصرف انرژی کسب کرد، در حالیکه در کارگاه اصلی ماشین‌های کارخانه که دقت مهندسی بالایی نیاز دارد، سطح روشنایی دو برابر شده است.

روش جدید روشنایی براساس نصب لامپ‌های فلورسنت فرکانس و بالا می‌باشد که بسیار کنترل‌پذیر می‌باشند. کارخانه به ۱۰ منطقه با کنترل فتوسل تقسیم‌بندی و از نور طبیعی روز حداکثر استفاده شده است. انتظار می‌رود که زمان بازگشت سرمایه‌گذاری این روش جدید بیشتر از ۳۶ ماه نباشد.

## ضمیمه ۱: ساختار صنعت تولید برق

در انگلستان قسمت عمده برق توسط سه شرکت Nuclear Power Gen ، National Power و Electric تولید می‌شود. هر سه شرکت‌ها قراردادهایی برای تأمین مستقیم برق مشترکین دارند و مازاد تولید خود را به «مجموعه اشتراکی»<sup>۱</sup> می‌فروشند. مجموعه اشتراکی برای متعادل کردن عرضه و تقاضای برق و اطمینان از تولید پیوسته آن طراحی شده است.

در انگلستان و ولز؛ برق تولید شده توسط شرکت National Grid به ۱۲ شرکت برق منطقه‌ای منتقل می‌شود که این شرکت‌ها برق را بین مشترکین خود و مشترکین که با تولیدکنندگان قراردادهای مستقیم منعقد کرده‌اند توزیع می‌کنند. در حال حاضر فقط مشترکینی که حداکثر تقاضای آنها بیش از یک مگاوات باشد می‌توانند برای تأمین برق با مؤسساتی غیر از شرکت‌های برق منطقه‌ای محلی وارد قرارداد شوند. این معافیت در آوریل ۱۹۹۴ میلادی به سطح ۱۰۰ کیلووات kW کاهش یافته است و با قوانین جاری تا سال ۱۹۹۸ میلادی حذف خواهد شد.

در اسکاتلند وضعیت مشابهی موجود است بجز اینکه دو شرکت تولیدکننده Scottish Hydro و Scottish Power مسئول تولید برق و انتقال و توزیع آن به مشترکین بزرگ می‌باشند.

وضعیت فوق کمی پیچیده است زیرا بین انگلستان و اسکاتلند اتصال الکتریکی شبکه‌ها وجود دارد و اجازه می‌دهد توان بطور عمده از شمال به جنوب منتقل شود. در نتیجه ژنراتورهای اسکاتلند توانایی تأمین مشترکین را که خارج از محدوده سستی آنها می‌باشند، دارند.

مفاد قراردادهای تأمین برق که بین تولیدکنندگان و مشترکین آنها (شامل شرکت‌های برق منطقه‌ای نیز می‌شود) منعقد می‌گردد، محرمانه است اما اطلاعات قیمت توسط «مجموعه اشتراکی» در هر نیم ساعت و در تمام ۳۶۵ روز چاپ می‌شود. برای مشترکینی که زیر حد معافیت قرار دارند تا زمانی که این قانون وجود داشته باشد، شرکت‌های برق منطقه‌ای تعرفه‌های برق را تأمین می‌کنند که بطور پیوسته اطلاعات قیمت را تهیه کرده و به مشترکین ابلاغ می‌کنند تا بتوانند تا حد ممکن از برق بصورت اقتصادی استفاده کنند.

زمان خصوصی‌سازی صنعت برق، شرکت‌های تولیدی جدید با نیروگاه‌های کوچک و بزرگ تا سطح مشابهی که شرکت‌های بزرگ تعیین‌کننده، دارند، وارد بازار شده‌اند. بیشتر این نیروگاه‌های جدید از نوع سیکل ترکیبی با سوخت‌گاز می‌باشند که نسبت به واحدهای با سوخت ذغال‌سنگ و واحدهایی که باید زودتر از زمان پیش‌بینی شده از رده خارج شوند، امکان بهره‌برداری با بازده بالاتری را فراهم می‌کنند. بنابراین جایگزینی نیروگاه‌ها برای تأمین تقاضای برق کشور بیشتر یک تصمیم‌گیری اقتصادی شده است.

در انگلستان برنامه‌ریزی تمام نیروگاه‌های اصلی توسط «مجموعه اشتراکی» انجام می‌شود (که توسط شرکت National Grid بهره‌برداری می‌شود) که برای اطمینان از تأمین اوج مصرف عمل می‌نماید. این کار با اطمینان

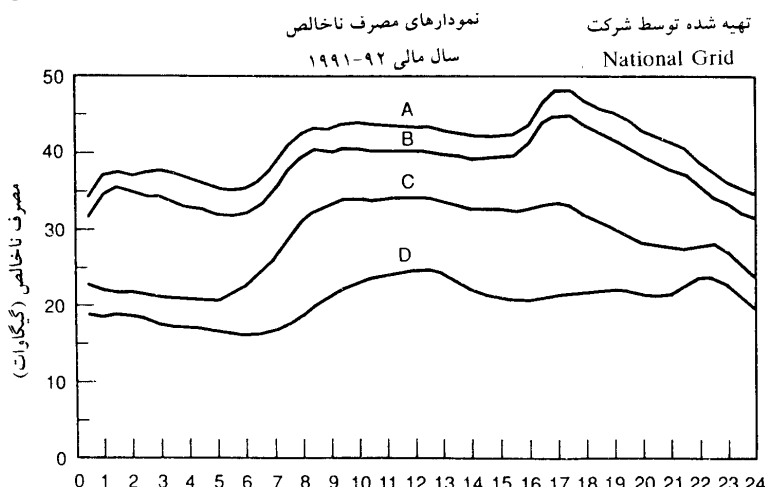
<sup>1</sup> Electric Pool

یافتن از اینکه سطح کافی ظرفیت تولید از طریق تمام منابع انرژی وجود دارد، انجام می‌گیرد. برحسب درجه‌شایستگی<sup>۱</sup> واحدها برحسب بازده آنها، ظرفیت ضروری وارد مدار می‌شود. همچنین اوج‌های کوتاه مدت مصرف توسط در مدار قرارگرفتن توربین‌های گازی کوچک که بسرعت راه‌اندازی می‌شوند، انجام می‌شود با وجودی که هزینه بهره‌برداری این واحدها نسبتاً زیاد است. علاوه بر اینها مدیریت بار نیز اجرا می‌شود.

از طرف دیگر، مصرف کم در شب‌ها باعث می‌شود که واحدهای بزرگ ۵۰۰ تا ۶۰۰ مگاوات از مدار خارج شده یا بصورت جزئی بارگذاری شوند. هر دو کار در مقایسه با بهره‌برداری در بار ثابت نامطلوبند و بدلیل راه‌اندازی مجدد واحدها باعث افزایش هزینه می‌شوند. واضح است که بارهای اضافی در این ساعات می‌تواند این اثرات نامطلوب را حداقل کرده و در نتیجه هزینه نیروگاه‌ها کمتر شود. مقدار مصرف همانطور که در ساعات روز تغییر می‌کند در فصول سال نیز تغییر می‌کند. منحنی بار شکل ۱۲ بطور نمونه حداکثر و حداقل مصرف را در زمستان و تابستان نشان می‌دهد. هر کدام از تولیدکنندگان، شرکت National Grid شرکت‌های برق منطقه‌ای بسته به میزان حداکثر مصرف هزینه‌هایی را متحمل می‌شوند که این هزینه‌ها در قراردادهای تعرفه‌ها با پیچیدگی‌های گوناگون وارد می‌شود بطوری که:

- در شب هزینه‌های نیروگاه نسبت به هزینه متوسط که هنگام غروب و روزهای آخر هفته حادث می‌شود و بطور قابل ملاحظه‌ای نسبت به روزهای کاری هفته بویژه در زمستان کمتر است.
- در ماه‌های زمستان که نیاز مشترکین به بالاترین سطح خود می‌رسد، قیمت برق افزایش می‌یابد.
- اوج مصرف معمولاً در اواخر بعد از ظهرهای زمستانی و در محل‌هایی رخ می‌دهند که دارای تعرفه‌هایی با ساختار پیچیده می‌باشند. ممکن است برای این ساعات قیمت بیشتری تعیین شود.

درک کامل این موارد تاکید شده و اعمال کردن آن در تعرفه‌های مصرف برق باعث می‌شود که مشترکین درصد کاهش هزینه‌ها برآیند. درباره این موضوع در بخش ۷ (ضریب بار و مدیریت بار) بحث شد. با روند خصوصی‌سازی، دولت، اداره قانون‌گذاری برق<sup>۲</sup> (OFFER) را به منظور بررسی کل صنعت برق و اطمینان از محفوظ ماندن حقوق مصرف‌کننده و دیگرگروه‌های ذینفع تأسیس کرد. به مدیر کل این موسسه اختیار داده شده است که بر مالیات‌های مورد منازعه بین تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان و دیگرگروه‌های ذینفع نظارت کند.



<sup>1</sup> Merit - Order

<sup>2</sup> Office Of Electricity Regulation

A چهارشنبه ۱۱ دسامبر ۱۹۹۱ (حداکثر مصرف)

B روز چهارشنبه ۱۸ دسامبر ۱۹۹۱ یک روز زمستانی نمونه

C روز سه‌شنبه ۱۱ جولای یک روز تابستانی نمونه

D یک‌شنبه ۲۸ جولای ۱۹۹۱ (حداقل مصرف)

مصرف تابستانی و زمستانی شبکه شرکت National Grid در سال ۹۲-۱۹۹۱ شامل حداکثر و حداقل مصرف، حداکثر مصرف در ۱۱ دسامبر ۱۹۹۱، ۴۸۰۰۹ مگاوات (MW) بود.

شکل ۱۲: نمودارهای مصرف ناخالص انگلستان در سال مالی ۹۲ - ۱۹۹۱

## ضمیمه ۲: واژه‌نامهٔ برگه‌های تعرفه

در تعرفه‌ها و قراردادهایی که بسته می‌شود چند لغت خاص توسط شرکت‌های برق منطقه‌ای بکار می‌رود که احتمالاً احتیاج به توضیحاتی دارند تا مشترک دقیقاً از چگونگی تنظیم صورت‌حساب‌ها مطلع شود. آنچه در ذیل می‌آید الزاماً تعریف دقیق واژه‌های تعرفه نبوده بلکه برای همه تولیدکنندگان برق نیز صدق نمی‌کنند، اما به عنوان یک راهنما برای لغاتی که معمولاً استفاده می‌شوند، ارائه شده است.<sup>۱</sup>

ماه (Month):  
فواصل زمانی ۴ تا ۵ هفته‌ای بین بار قرائت کنتور که معمولاً در صورت‌حساب‌های ماهانه از آن استفاده می‌شود.

فصل (Quarter):  
فواصل زمانی بین ۱۳ هفته یا ۳ ماه بین دوبار قرائت کنتور که در صورت‌حساب‌های سه‌ماهه از آن استفاده می‌شود (معمولاً برای مصارف خانگی و مشترکین کوچک غیرخانگی بکار می‌رود).

سال (Year):  
فاصله زمانی معادل با ۱۲ ماه تقویمی که از اولین روز آوریل و یا اینکه نزدیکترین تاریخ قرائت کنتور به اول ماه آوریل شروع و در روز ۳۱ مارس و یا نزدیکترین روز قرائت کنتور به حدود روز ۳۱ ماس تمام شود. در بعضی متن‌ها می‌تواند به معنای یک دوره ۱۲ ماهه باشد.

زمان ساعتی - زمان تابستانی:  
(Clock time - Summer time)  
در یک روز قراردادی بعد از اینکه ساعت تابستانی انگلستان تنظیم شد در حداقل زمان معقول و عملی همه ساعت‌ها و ساعت‌های شرکت‌های برق منطقه‌ای یک ساعت جلو کشیده

<sup>۱</sup> - آنچه که در این ضمیمه بیان شده است در خصوص برگه‌های تعرفه کشور انگلستان است و لزوماً در خصوص نمونه‌های موجود در ایران صادق نمی‌باشد.

می‌شوند و بطور مشابه بعد از پایان تابستان به حالت اول  
برخواهند گشت. ساعت‌های تعیین شده در برگه‌های تعرفه  
همزمان با ساعت مبنای گرینویچ می‌باشد بجز ساعت‌هایی که بین  
دو بار جلو و عقب کشیدن ساعت وجود دارد که کمتر رخ  
می‌دهد و در این موارد ساعت تابستانی انگلستان بکار می‌رود.

مجموع ظرفیت اسمی تجهیزات نصب‌شده در محل  
مصرف‌کننده

بار نصب‌شده:

(Installed Load)

بخشی از بار نصب‌شده مصرف‌کننده که ممکن است توسط  
اداره برق تأمین شود.

بار متصل:

(Connected Load)

به ولتاژهای زیر ۱۰۰۰ ولت گفته می‌شود و در بعضی موارد  
تغذیه‌ای که اندازه‌گیری آن در سمت ولتاژ پائین ترانسفورماتور و  
در نزدیکی محل مصرف قرار گرفته است.

فشار ضعیف:

(Low Voltage)

به ولتاژهای بالای ۱۰۰۰ ولت گفته می‌شود (مثلاً ۱۱۰۰۰  
ولت که معادل ۱۱ کیلوولت است)

فشار قوی:

(High Voltage)

مقدار ثابتی که در هر دوره تعیین شده (یک ساله یا سه ماهه  
یا یک ماهه) و مستقل از مقدار مصرف توسط مشترک پرداخت  
می‌شود. میزان هزینه ثابت با عوامل ویژه‌ای از قبیل ولتاژ تغذیه،  
اندازه و پیچیدگی لوازم اندازه‌گیری تعرفه تغییر می‌کند.

هزینه ثابت:

(Standing Charge)

این واژه به اتصال فیزیکی مصرف‌کننده به شبکه  
تغذیه‌کننده ارتباط دارد که باید متناسب با حداکثر توان  
مورد نیاز مشترکین مستقل از ساعات روز یا فصلی که در آن  
قرار دارد، باشد. در بعضی موارد به آن ظرفیت تغذیه یا سرویس  
(Supply or Service Capacity) یا ظرفیت اظهارشده  
(Declared Capacity) گفته می‌شود. ظرفیت به جای  
کیلووات (KW) بر حسب کیلووات آمپر (kVA) بیان می‌شود،  
زیرا کیلووات تأثیر فاز را در نظر نمی‌گیرد (بخش ۶ - ضریب  
توان را ببینید). در قدم اول ظرفیت تغذیه را می‌توان بشکل  
ظرفیت توافق‌شده (Agreed Capacity) یا حداکثر تقاضای  
مجاز (Authorised Maximum Demand) در نظر گرفت  
و مقدار این ظرفیت به صورت قطعی تعیین می‌شود و طبعاً  
شرکت‌های برق منطقه‌ای برای یک دوره اعلام شده (معمولاً پنج  
سال اول) هیچگونه تقاضای تجدید یا افزایش ظرفیت را  
نمی‌پذیرد. بعد از این دوره اولیه قبض‌های ظرفیت فعلی بررسی  
می‌شوند که هم حداکثر ظرفیت ثبت‌شده در ماه‌های گذشته را

قابلیت دسترسی به تغذیه:

(Availability of Supply)



نشان می‌دهد (معمولاً ۱۲ ماه و ماه مورد نظر بررسی می‌شوند) و هم مقدار جدید ظرفیت تقاضا را نشان می‌دهند که باید بین مشترک و اداره برق توافق شود.

حداکثر تقاضا:

(Maximum Demand)

این واژه حداکثر توان تحویل شده به مشترک را نشان می‌دهد و بسته به شرایط شرکت برق منطقه‌ای یا تولیدکنندگان برق برحسب کیلووات (kW) یا کیلوولت - آمپر (kVA) بیان می‌شود. این مقدار معمولاً با مراجعه به دوره‌های زمانی تعیین شده (یک ماهه، سه ماهه، یکساله) که در آن این مقدار حداکثر ثبت شده است، تعیین می‌شود.

حداکثر تقاضای سالانه:

(Annual Maximum Demand)

در این حالت هزینه‌های مصرف بر مبنای حداکثر مصرف ثبت شده در یک دوره ۱۲ ماهه تعیین می‌شود. تعداد کمی از شرکت‌های برق منطقه‌ای این نوع هزینه‌ها را در تعرفه‌ها بکار می‌برند. در تعرفه‌ها از این قبیل باید از مشترک حمایت شود.

حداکثر تقاضای فصلی:

(Seasonal Maximum Demand)

در این حالت هزینه‌های مصرف در یک تعرفه برحسب فصل بیان می‌شوند. مثلاً بهای کم یا صفر در تابستان و بهای بسیار بالاتر در زمستان.

اضافه مصرف:

(Excess Demand)

روشی است که اگر مشترک از حداکثر تقاضا Maximum Demand) زمانی استفاده کند که مصرف کلی سیستم در سطح پائینی باشد باید هزینه کمتری پرداخت نماید. شرکت برق منطقه‌ای در این شرایط می‌تواند هزینه‌های اضافی مربوط به این تعرفه‌بندی‌ها را مطالبه نماید.

تعرفه بر ساعت‌های روز

(Time Of Day Tariff)

این تعرفه می‌تواند تغییرات بهای انرژی و بهای مصرف را برحسب ساعات مصرف در نظر گیرد به عنوان مثال تعرفه در روز و شب. در این حالت معمولاً - اما نه همیشه - شب به یک دوره ۷ ساعته متوالی بین ساعت ۲۳/۰۰ تا ۸/۰۰ گفته می‌شود. برای مثال شب می‌تواند بین ۰۰/۳۰ تا ۷/۳۰ و روز بین ۷/۳۰ تا ۰۰/۳۰ باشد.

تعرفه ساعات روز برحسب فصل:

(Seasonal Time Of Day Tariff)

این تعرفه موارد فوق را به تفاوت فصل‌ها و ماه‌های سال به شکل تعرفه در تابستان و زمستان توسعه می‌دهد و قیمت‌های هر بخش را با تغییر فصل در نظر می‌گیرد.

حق انشعاب:

(Capital Contribution)

پولی است که در قبال ایجاد یا تقویت خط تغذیه که تاسیسات مشترک را به شبکه وصل می‌کند، پرداخت می‌شود. این پول در مواردی که هزینه ایجاد انشعاب بطور قابل ملاحظه‌ای زیادتر از مبالغ دریافتی پیش‌بینی شده از عایدی تعرفه‌ها است و

قیمت‌گذاری مجموعه‌ای:  
(Blocked Charges)

یا بسته به نیازهای خاص مصرف‌کننده می‌تواند دریافت گردد.  
این واژه روشی را بیان می‌کند که در آن هزینه تعرفه براساس  
تعدادی از نرخ‌های مختلف (Kwh) تعیین می‌شود که بر  
مجموعه‌ای از مصارف پشت سرهم که در یک دوره مشخص رخ  
می‌دهد، اعمال می‌گردد. اندازه این مجموعه‌ها معمولاً ثابت است،  
اما می‌تواند متغیر هم باشد.

مثال:

مثال:

برای اولین مجموعه‌ی کیلووات ساعت (kWh) در ماه با  
نرخ  $P^1$  و بقیه مصرف در طول ماه با نرخ  $P^2$   
متغیر:

بر مبنای تقاضا و عوامل دیگر. برای نمونه اولین ۱۰۰  
کیلووات ساعت (kWh) مصرفی از حداکثر تقاضا در طول  
یک ماه با نرخ  $P^1$  بقیه مصرف در طول ماه با نرخ  $P^2$   
در بعضی تعرفه‌ها جریمه‌های مصرف نیز به صورت  
مجموعه‌ای می‌باشد.

تعرفه‌های دو قسمتی:  
(Two – Part Tariff)

این تعرفه‌ها به طور معمول یک هزینه ثابت و یک هزینه  
وابسته به مصرف برحسب (kWh) کیلووات ساعت دریافت  
می‌کنند.

تعرفه با یکنواخت:  
(Flat-Rate Tariff)

این تعرفه‌ها با یک نرخ ثابت برای مصرف برحسب کیلووات  
ساعت (kWh) در نظر می‌گیرند و معمولاً برای موارد ویژه‌ای  
مانند روشنایی و غیره بکار می‌روند.

تعرفه با محدودیت ساعت:  
(Restricted Hour Tarrif)

این تعرفه فقط اجازه مصرف در زمان‌های معینی را می‌دهد  
که معمولاً متناسب با ویژگی مصرف می‌باشد مانند گرم‌کننده‌های  
آب و هوا. این تعرفه معمولاً همراه با تعرفه‌های دیگر در نظر  
گرفته می‌شود تا یک روش مرکب ایجاد شود. برای مثال در  
جاهائی که تغذیه فقط در شب صورت می‌گیرد ( توضیح «شب»  
را در بخش تعرفه بر ساعت‌های روز ملاحظه کنید).

تعرفه خارج از زمان اوج:  
(Off Peak Tariff)

یک تعرفه با محدودیت ساعت می‌باشد که در جاهایی که  
فقط در خارج از ساعات اوج، مصرف مجاز است، قابل استفاده  
است. تعرفه با محدودیت ساعت طبیعتاً برای مشترکین جدید  
وجود ندارد.

اکونومی ۷:  
(Economy 7)

اکونومی ۷ مثالی از تعرفه ساعتی روز، برای مصرف خانگی  
است. اندکی بیشتر از هزینه ثابت سه ماهه بوده و معمولاً کمتر از  
نصف نرخ عادی مصرف خانگی برای واحدهایی که در طول ۷

ساعت متوالی بین نیمه شب تا ۸ صبح تغذیه می‌شوند، می‌باشد و کمی بیشتر از نرخ عادی مصرف خانگی برای واحدهایی که در ساعات دیگر تغذیه می‌شوند، خواهد بود. همچنین یک تعرفه اکونومی ۷ یا تعرفه شبانه‌روزی معادلی قابل اعمال به مصارف غیرخانگی، وجود دارد. در این مورد همانند آنچه برای تغذیه مصارف خانگی گفته شد، یک هزینه ثابت سه ماهه و یک نرخ کم برای واحدهای تغذیه شده در طول ۷ ساعت متوالی شب (معمولاً از نیمه شب تا ۸ صبح) وجود دارد اما علاوه بر این یک قیمت‌گذاری مجموعه‌ای در یک نرخ نسبتاً بالاتر (معمولاً کمی بیشتر از نرخ عادی) برای واحدهای تغذیه شده در طی روز وجود دارد.

بطور خیلی خلاصه، این مفهوم به معنی تعیین یک قیمت برای هزینه‌های اضافی است که این هزینه‌ها براساس ضریب توان ایجاد شده ناشی از مصرف توان راکتیو مصرف‌کننده، تعیین می‌شود. ( به قسمت ۶ تحت عنوان ضریب توان و اصلاح آن نگاه کنید).

این شاخص روشی فراهم می‌کند که هر تغییر در قیمت‌های سوخت‌های فسیلی (زغال سنگ، کک، نفت و سوخت‌های گازی) مصرف شده توسط ژنراتور در ماه مربوطه را بحساب می‌آورد. جریمه یا تخفیفی توسط یک ضمیمه به هزینه واحد، برای مصرف‌کنندگان منظور می‌گردد که مقدار آن بسته به اینکه ولتاژ تغذیه فشار قوی یا فشار ضعیف کمی تغیر می‌کند. یک تنظیم نمونه توسط روش جریمه یا تخفیف برای هر واحد تغذیه شده در هر ماه با ولتاژ تغذیه فشار ضعیف می‌تواند با ضرب کردن هر یک پنس که توسط آن بهای سوخت در هر تن بیشتر یا کمتر از ۵۰ پوند است در ۰/۰۰۰۲۲۱ / بدست آید. بنابراین، بطور مثال، یک افزایش ۱۵ پوند در تن در هزینه سوخت، هزینه واحد را بیش از ۰/۳ پنس افزایش می‌دهد. مقصود از اصلاح ماهانه، اعمال هر تغییری در هزینه سوخت بر پایه یک ماه است که این افزایش بزرگی را هنگام بازبینی تعرفه ایجاد می‌کند. این هزینه با حساب‌های بسته‌شده سه ماهه از مشتریان گرفته نمی‌شود بلکه در بازبینی سالانه بحساب آورده می‌شود.

شرط ضریب توان یا پرداخت هزینه توان راکتیو:

(Power Factor Clause or Reactive Power Charge)

شرط تنظیم هزینه سوخت یا شاخص سوخت:

(Fuel Cost Adjustment Clause/Fuel Index)