



جمهوری اسلامی ایران  
وزارت نیرو  
امور انرژی

## راهنماهای فنی مدیریت انرژی



استفاده اقتصادی  
از الکتریسیته  
در ساختمانها



دفتر بهینه سازی مصرف انرژی



POWEREN.IR



## فهرست مطالب

۱ - مقدمه	۵
۲ - روشهای صرفه‌جویی هزینه	۷
۱ - ۲ - بهره‌برداری مناسب	۸
۲ - ۲ - بهره‌برداری اقتصادی	۸
۳ - تعمیر و نگهداری	۹
۱ - ۳ - تعمیر و نگهداری اضطراری	۹
۲ - ۳ - تعمیر و نگهداری برنامه‌ریزی شده	۹
۳ - ۳ - اهداف تعمیر و نگهداری	۱۰
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	۱۳
۶ - ضریب توان و اصلاح آن	۱۵
۱ - ۶ - ضریب توان	۱۷
۲ - ۶ - اصلاح ضریب توان	۱۹
۱ - ۲ - ۶ - موتورهای القایی	۱۹
۳ - ۶ - کلیات	۲۱
۷ - مدیریت بار	۲۲
۱ - ۷ - زمینه‌های مدیریت بار	۲۲
۱ - ۱ - ۷ - مدیریت بار توسط تولید کننده	۲۳
۲ - ۱ - ۷ - مدیریت محلی بار	۲۳
۲ - ۷ - چگونه حداکثر تقاضا تعیین می‌شود؟	۲۳
۳ - ۷ - ضریب بار	۲۴

- ۸ - کاهش بارهای موتوری ..... ۲۵
- ۸ - ۱ - انتخاب اندازه موتور ..... ۲۵
- ۸ - ۲ - تعویض موتور ..... ۲۷
- ۸ - ۲ - ۱ - موتورهای با توان نامی بالاتر از مقدار لازم ..... ۲۷
- ۸ - ۲ - ۲ - موتورهای با بازده بالا ..... ۲۸
- ۸ - ۲ - ۳ - محرکه‌های دور متغیر ..... ۲۹
- ۹ - روشنایی ..... ۳۰
- ۹ - ۱ - لامپ‌ها ..... ۳۱
- ۹ - ۲ - بالاست ..... ۳۱
- ۹ - ۳ - حباب‌ها ..... ۳۲
- ۹ - ۴ - کنترل روشنایی ..... ۳۲
- ۱۰ - تبرید ..... ۳۴
- ۱۰ - ۱ - اصول اولیه تبرید ..... ۳۴
- ۱۰ - ۲ - اجزاء سیستم تبرید ..... ۳۵
- ۱۰ - ۲ - ۱ - اواپراتورها ..... ۳۵
- ۱۰ - ۲ - ۲ - کمپرسورها ..... ۳۵
- ۱۰ - ۲ - ۳ - کندانسورها ..... ۳۶
- ۱۰ - ۲ - ۴ - وسائل انبساط ..... ۳۶
- ۱۱ - نظارت و هدف‌یابی (M&T) ..... ۳۷
- ۱۲ - مطالعات موردی ..... ۳۸
- ۱۲ - ۱ - سیستم قطع و وصل اتوماتیک روشنایی انبار ..... ۳۸
- ۱۲ - ۲ - محرکه دور متغیر روی فن دیگ‌بخار ..... ۳۸
- ۱۲ - ۳ - کنترل روشنایی فروشگاه ..... ۳۹
- ۱۲ - ۴ - نورپردازی با لامپ‌های فلورسنت فرکانس بالا ..... ۳۹
- ۱۳ - خلاصه ..... ۳۹
- ضمیمه ۱: ساختار صنعت تولید برق ..... ۴۰
- ضمیمه ۲: واژه نامه برگه‌های تعرفه ..... ۴۲

## 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 تنازع بقاء 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 تصمیم گیرندگان 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 پر انرژی، 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 کارآئی 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.



## ۱ - مقدمه

تقریباً ۳۴٪ از مصرف منابع اولیه انرژی در کشور انگلیس صرف تولید برق می‌گردد. روشهای استفاده از برق بسیار متنوع هستند. 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 می‌باشد.

استفاده مناسب از منابع تأمین برق باید با پشتوانه اقتصادی همراه باشد. کتابچه حاضر رهنمودهایی در خصوص 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 توضیح می‌دهد که چگونه بهره‌برداری و نگهداری موثر 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

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 غیر ضروری روشن و درها باز گذاشته می‌شوند. غالباً بدون و 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 تجهیزات الکتریکی، خود باید با دید افزایش کیفیت، بررسی شود.

سومین شاخه، بررسی روشهای جدید یا تغییر تجهیزات است که نتایج مطلوب با هزینه انرژی کمتری را موجب گردد. در ضمن با وجودی که در این کتابچه به آن نمی‌پردازیم، بهبود ساختار ساختمان، روش دیگری جهت صرفه‌جویی انرژی است (برای اطلاعات بیشتر به کتابچه‌ای تحت عنوان «ضخامت اقتصادی عایق برای ساختمانهای صنعتی موجود» مراجعه کنید).

در هر یک از شاخه‌های دوم و سوم فوق‌الذکر، صلاحیت و مشاوره فنی مورد نیاز است. در تعیین و ایجاد هر سه گروه فوق می‌توان از یک سیستم موثر نظارت و هدف‌یابی<sup>۱</sup> (M&T) کمک گرفت. این مطلب در آخر این کتابچه شرح داده می‌شود.

از دیدگاه سرمایه‌گذاری مورد نیاز جهت ایجاد اثر مطلوب، به ترتیب سه شاخه فوق هزینه‌بر هستند. لذا اگر روشهای اجرایی مناسبی اعمال نشوند سرمایه‌گذاری اندک مورد نیاز است، در حالی که در طرف مقابل، بازسازی یک سیستم الکتریکی ممکن است هزینه قابل ملاحظه‌ای را نیاز داشته باشد. این موضوع باعث می‌شود که در اغلب موارد، اعمال روشهای مناسب اجرایی، یکی از زمینه‌هایی باشد که قطعاً نتایج مفیدی را به بار می‌آورد.

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

در گذشته 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 عملکرد اقتصادی سیستم‌های الکتریکی، به همان اندازه که میزان مصرف مورد توجه است، باید الگوی مصرف نیز مورد توجه قرارگیرد. 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
- موتورها و محرکه‌ها
- روشنایی
- تأسیسات تبرید
- نظارت و هدف‌یابی

<sup>۱</sup> Monitoring and Targeting (M&T)

<sup>۲</sup> House keeping



## ۳ - تعمیر و نگهداری<sup>۱</sup>

به طور کلی می‌توان تعمیر و نگهداری را به دو صورت «تعمیر و نگهداری اضطراری» و «تعمیر و نگهداری برنامه‌ریزی شده»<sup>۲</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 تعمیر و 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>۳</sup> آورده شده‌اند. این قوانین اجباری است و برای اطمینان از اینکه کلیه سیستم‌ها و تجهیزات الکتریکی بخوبی نگهداری و آزمایش شده‌اند، بکار می‌روند تا از حوادث خطرناکی که بتواند به استفاده کننده آن تجهیزات صدمه بزند، جلوگیری نمایند. تعمیر و نگهداری که صرفاً به منظور ایمنی مطرح می‌شود، معمولاً بکمک روشهای استاندارد صورت می‌گیرد. این استانداردها بر اساس قوانین عملی استاندارد بریتانیا می‌باشد. بطور مثال، BS 6867:1987، دربرگیرنده تعمیر و نگهداری کلیدهای فشار قوی تا ولتاژ ۱۴۵KV، و 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 عملی‌ترین و اقتصادی‌ترین نحوه بهره‌برداری از واحد و تجهیزات مربوطه بسیار مطلوب هستند.

تعمیر و نگهداری برنامه‌ریزی شده، می‌تواند بر پایه عملکرد بخشی از تجهیزات الکتریکی انجام پذیرد. بطور مثال، در نظر گرفتن اینکه همه موتورها باید بطور متناوب تمیز شوند 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 بازرسی شوند تا از تماس بین رتور و استاتور که باعث ایجاد تلفات مکانیکی اضافی می‌شود و لذا بازده بهره‌برداری را کاهش می‌دهد، جلوگیری شود. همچنین تعمیر و نگهداری می‌تواند عمدتاً براساس مجموعه کامل تأسیسات و یا تأسیسات کمکی برنامه‌ریزی شود. به طور مثال یک خط خاص تولید یا واحد تهویه هوا را می‌توان نام برد.

<sup>1</sup> Maintenance

<sup>2</sup> Planned Maintenance

<sup>3</sup> The 1989 Electricity at Work Regulations

### ۳ - ۳ - اهداف تعمیر و نگهداری

صرفنظر از ایمنی، برای حفظ سیستم در یک شرایط قابل قبول، نیاز به نگهداری است. این نوع نگهداری، باید بر پایه اصول اقتصادی بررسی شود. اگر چه خراب شدن تأسیسات باعث از دست رفتن تولید و بالطبع تحمیل هزینه سنگین می‌شود، اما 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.

### ۳ - ۴ - اقتصاد تعمیر و نگهداری

صرفنظر از توضیحات فوق سؤالی بصورت: «تعمیر کردن یا تعویض کردن» مطرح می‌شود. پاسخ به این سؤال مستلزم توانائی تحلیل هزینه‌های گذشته و آینده نگهداری و مزایای تجهیزات جدید است. در خصوص موضوعاتی از قبیل احتمال خرابی، محدودیتهای تعویض و تعمیر و خط‌مشی‌های تعمیر کلی<sup>۱</sup> تحقیقات عملی 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.

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

استفاده از تجهیزات استاندارد مانند کلیدها<sup>۲</sup> بر مبنای اقتصادی‌ترین و مناسب‌ترین اصول، تا حد زیادی مؤسسه را در خرید، انبارداری و در 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 رسیدگی دارد، ایجاد کند. همچنین این اطلاعات ممکن است در جهت بهبود روشهای بهره‌برداری یا در جهت اصلاح خود سیستمها، بطریقی که تعداد خطاها در آینده کاهش یابند، مدیریت فنی را رهنمون باشد.

#### ۳ - ۴ - ۳ - تناوب تعمیر و نگهداری

این موضوع نیاز به سازماندهی دقیق به منظور اطمینان از منطبق بودن آن با نیازهای بهره‌برداری دارد. لذا کلیه طرح‌های تعمیر و نگهداری برنامه‌ریزی شده قبل از اجرا باید مورد موافقت بهره‌بردار قرار گرفته باشد.

<sup>1</sup> Overhaul

<sup>2</sup> Switchgear

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

اگر چه انجام بازرسیهای ایمنی همواره مورد نیاز است، لیکن ممکن است که قرارداد بعضی تجهیزات در یک طرح تعمیر و نگهداری برنامه‌ریزی شده، اقتصادی یا عملی نباشد. مثالهایی از نگهداری غیرایمنی با الویت پایین‌تر عبارتند از:

- تجهیزاتی که در معرض خرابی‌های مکرر قرار ندارند مانند گرم کننده‌های 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. اگر چه 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، مشکلات و خط مشی‌های مالی مخصوص خود را دارد و هر برنامه باید با توجه به پارامترهای عملی و اقتصادی تشکیلات، تنظیم گردد.

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

- صرفه‌جویی انرژی می‌تواند با تغییر نوع تجهیزات مورد استفاده، حاصل شود، بطور مثال:
- تغییر سیستم روشنایی کم بهره از جمله لامپهای رشته‌ای تنگستن؛
  - جایگزینی کنترلرهای الکترومکانیکی محیطی با سیستمهای الکترونیکی؛
  - نصب موتورهای جدید با بازده بالا بجای موتورهای الکتریکی قدیمی که دارای بازده کم می‌باشند بخصوص در مواردی که بار عمده قابل توجهی به عهده موتور می‌باشد؛
  - تجهیز به محرکه‌های دور متغیر برای کنترل دور فن‌ها و پمپها؛
- آشکار است که از دیدگاه اقتصادی تغییر سیستمهای کم بازده موجود، به منظور نیل به عملکرد مناسب بهره‌برداری نیاز به ملاحظات دقیق دارد. در این مورد نه تنها هزینه‌های مربوطه بلکه عمر تجهیزات که می‌تواند اثر قابل ملاحظه‌ای بر قابلیت صرفه‌جویی کل هزینه مربوط به هر تغییر داشته باشد، بایستی مد نظر قرارگیرد.

## ۴ - هزینه‌های تأمین برق و تعرفه‌ها

همزمان با تأمین برق بسیاری از مصارف مختلف و اندازه‌گیری نسبتاً ساده این مصارف، صنعت برق رسانی<sup>۱</sup> مجموعه‌ای از تعرفه‌ها را که جهت انعکاس الگوهای مصرف مصرف‌کنندگان مختلف تنظیم شده است، ارائه می‌دهد. این تعرفه‌ها، نه تنها براساس نوع مصرف‌کنندگان از جمله خانگی، تجاری، کشاورزی و صنعتی تنظیم شده‌اند، بلکه براساس انواع مختلف نرخ که نشان دهنده خصوصیات تولید می‌باشد تقسیم‌بندی می‌شوند. بطور مثال: هزینه‌های 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 میکند. بر خلاف دیگر منابع انرژی مانند زغال‌سنگ، نفت و گاز، برق نمی‌تواند بطور اقتصادی به مقدار قابل توجهی ذخیره گردد. در نتیجه، گرچه طرح‌های تلمبه ذخیره‌ای<sup>۴</sup> قابلیت‌هایی جهت ذخیره‌سازی بوجود می‌آورند، اما هزینه تأمین برق برای یک مصرف‌کننده، معمولاً وابسته به زمان و نرخ خاصی است که انرژی مصرف می‌شود.

برای هر مصرف‌کننده، حداکثر نرخ مصرف برق، «حداکثر تقاضا» خوانده می‌شود. معمولاً حداکثر تقاضا دو برابر مقدار کیلووات ساعت (یا کیلوولت آمپر ساعت) مصرفی در طول هر نیم ساعت در نظر گرفته می‌شود. برای تعیین میزان پرداخت هزینه، حداکثر تقاضای ماهانه، فصلی و یا سالانه بکارگرفته می‌شود. تعرفه‌های برق عموماً پیچیده‌تر از تعرفه‌های مورد استفاده برای تأمین و پرداخت هزینه منابع دیگر انرژی است. زیرا هزینه تولید و توزیع برق برای یک مصرف‌کننده خاص، متأثر از حداکثر تقاضا، میزان واقعی کیلووات ساعت (kWh) یا واحدهای تحویل شده، و خصوصیات متعدد دیگر سیستم تولید می‌باشد.

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 بر حسب kW، بوسیله تقسیم حداکثر تقاضا به متوسط ضریب توان پس فاز در 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) واحدها از ۰.۵٪ کیلووات ساعت (kWh) مصرفی بیشتر شود، آنگاه جریمه‌های مربوط به ضریب توان اعمال می‌شود.

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

<sup>1</sup> Electricity Supply Industry

<sup>2</sup> Standing Charges

<sup>3</sup> Maximum Demand

<sup>4</sup> Pumped Storage

تولید کننده امکان پذیر است که مصرف مکانهای مختلف را با کل تولید شبکه سراسری در هر دوره نیم ساعته، مقایسه کند (این موضوع اجازه می دهد که هزینه های حداکثر تقاضا براساس مصرف هر مصرف کننده در زمانهای اوج بار (اوج مصرف)<sup>۱</sup> سیستم محاسبه شود). در عمل آنچه که معمولاً رخ می دهد 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 می کنند. این سه مقدار اوج بعنوان نقاط سه گانه<sup>۲</sup> شناخته می شوند. مصارف یک مکان خاص در زمانهای مربوط به مقادیر سه گانه متوسط گیری شده و نرخ مورد توافق به حساب مصرف کننده گذاشته می شود.

## ۵ - وسایل اندازه گیری و قرائت آنها

یکی از خصوصیات مصرف برق اینست که مقدار آن می تواند بطور صحیح اندازه گیری شود. مقادیر اندازه گیری شده تا آنجا که به صورتحسابهای برق مربوط می شود توسط مسئولین تولید برق فراهم و قرائت می شوند. صورتحسابهای حاصل از این قرائتها برای مصرف کننده فرستاده می شوند. اکثر مصرف کنندگان، این صورتحسابها را بدون هیچ پرسشی می گیرند و اگر چه 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 نمی کنند و یا توجه کمی معمول می دارند.

این مهم است که جهت بررسی مصرف باید تلاشهایی انجام شود و لذا باید قرائتهای منظمی از مقادیر اندازه گیری شده بعمل آید. کتابچه های «میزی انرژی برای صنعت» و «میزی انرژی برای ساختمان» توصیه هایی در این زمینه ارائه می دهند. انواع مختلفی از وسایل اندازه گیری الکتریکی شامل آمپرمترها (A)، ولتمترها (V)، دستگاههای اندازه گیری کیلووات ساعت (kWh)، کیلووات آمپر ساعت (kVAh) و کیلووات آمپر ساعت راکتیو (kVArh) وجود دارند.

در تعرفه های مربوط به مصرف کنندگان بدون اشاره به حداکثر تقاضا یا ضریب توان، معمولاً فقط کیلووات ساعت سنج ساده بکار برده می شود. دو نوع عمده نمایش مقدار اندازه گیری شده، یکی به روش عقربه ای و دیگری دیجیتال مطابق با اشکال ۱ و ۲ وجود دارد.

این وسایل اندازه گیری می توانند طوری ساخته شوند که میزان برق مصرفی را در نرخ عادی و نرخهای کاهش یافته بطور جداگانه اندازه گیری کنند. به عنوان مثال در مصارف خانگی و تجاری کوچک، از کنتور Economy 7<sup>۳</sup> یا White<sup>۴</sup> (سفید) می توان نام برد.

قرائت دستگاه اندازه گیری نوع عقربه ای می تواند پیچیده باشد. قانون آن اینست که همیشه عدد کمتر از موقعیتی که عقربه در آن موقعیت ایستاده است خوانده شود. متأسفانه، بخاطر ساختمان چرخ دنده ای این دستگاههای

<sup>1</sup> Peak Demand

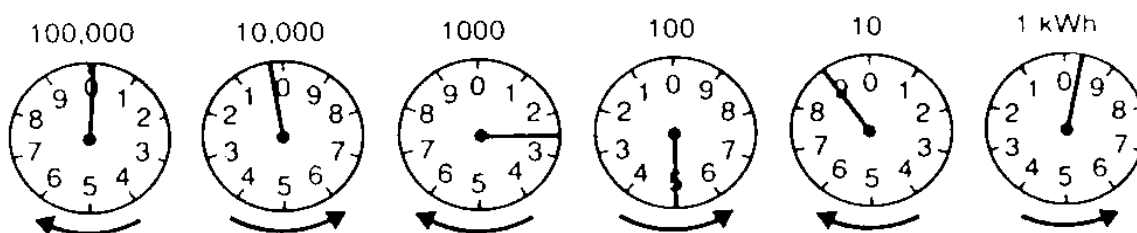
<sup>2</sup> TRIADS

<sup>3</sup> Economy 7

<sup>4</sup> White Meter

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 بصورت 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 ۹ است:	قرائت ۹
عقربه نمایش	۱	از ۹ گذشته 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.

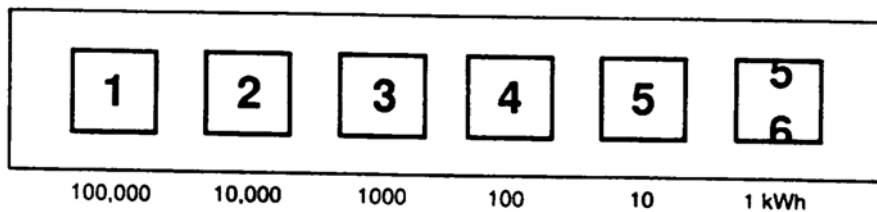
از دستگاه ساده اندازه‌گیری kWh در صورتیکه وسایل دیگری برای اندازه‌گیری موجود نباشند، می‌توان برای اندازه‌گیری میزان تقاضا در هر زمان خاصی استفاده نمود. دستگاههای اندازه‌گیری kWh، روی صفحه مشخصات خود عددی را با نمایش دور بر kWh دارند که منظور از این عدد، تعداد دفعاتی است که دیسک گردان به ازاء مصرف یک 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، دیسک گردان 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 ۱۰۵ 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. در 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.
- مصرف کننده‌ها، 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

## ۶ - ضریب توان و اصلاح آن

برق تولید شده توسط شرکت‌های تولید کننده یا از طریق شرکت‌های برق منطقه‌ای بصورت 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، ۵۰ Hz است.

در سیستم‌های ac، جریان و بالطبع توان از چند مؤلفه تشکیل می‌شوند. این مؤلفه‌های جریان از عناصر مقاومتی، سلفی و خازنی بار مصرف کننده برق، می‌گذرند. در یک بار مقاومتی، جریان، ولتاژ را دنبال می‌کند و لذا گفته می‌شود که هم فاز با ولتاژ است. لامپ‌های ال‌تهدایی (رشته‌ای)<sup>۲</sup> و گرم کننده‌های الکتریکی مقاومتی عمده‌ترین

<sup>1</sup> Spot Checks

<sup>2</sup> Incandescent Lighting

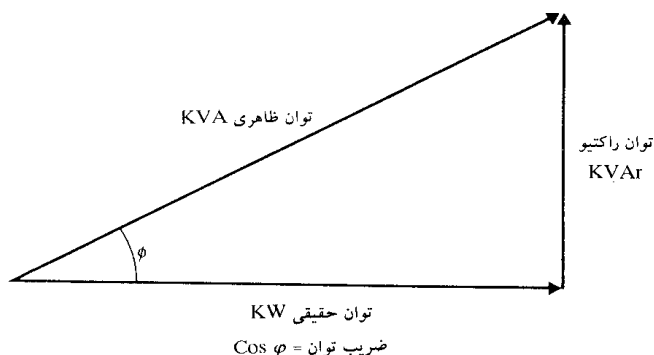
مثالهای بار مقاومتی هستند. در بار سلفی جریان هم فاز با ولتاژ نبوده و عقب‌تر از آن است. عمده‌ترین بارهای سلفی موتورهای القایی هستند. در یک بار خازنی نیز، جریان هم فاز با ولتاژ نمی‌باشد، اما در این حالت جلوتر از ولتاژ است. عمده‌ترین بارهای خازنی، خازنهای اصلاح ضریب توان هستند. بارهای سلفی و خازنی عموماً بارهای راکتیو نامیده می‌شوند. ترکیب مقاومت و راکتانس را امپدانس نامیده و با حرف Z نشان می‌دهند.

در عمل، اکثر بارها بطور خالص مقاومتی، سلفی یا خازنی نیستند. بطور مثال سیم‌پیچهای یک موتور 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 یا توان مفید می‌تواند فقط در قسمت مقاومتی یک بار که در آن جریان و ولتاژ هم فاز هستند مصرف شود. اجزای راکتیو بار تنها توان راکتیو بدون وات<sup>۱</sup> مصرف می‌کنند. جمع برداری توان حقیقی و توان راکتیو توان ظاهری یا توان کل را نتیجه می‌دهد. بردارهای توان در شکل ۳ نشان داده شده‌اند، بطوری‌که 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 بطور 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.

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

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

<sup>1</sup> Wattless



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

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

هنگامی که ضریب توان مجهول باشد یا تغییر کند، همیشه باید از وسایل اندازه گیری که توان حقیقی را می توانند اندازه گیری کنند، استفاده شود.

### ۱ - ۶ - ضریب توان

در بسیاری از سیستم های الکتریکی صنعتی و تجاری، قسمت اعظم بار از موتورهای الکتریکی، لامپهای تخلیه ای<sup>۱</sup> شامل لامپهای فلورسنت یا وسایل دیگر با راکتانس سلفی و ضریب توان پس فاز تشکیل می شوند. این نوع بارها عموماً دارای ضریب توان ۰/۷ یا کمتر می باشند.

مثال ساده زیر نشان دهنده 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

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 هرچقدر 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.

<sup>1</sup> Discharge Lighting

بعنوان مثالی از این مبحث، می‌توان مشاهده کرد که با چشم‌پوشی از ضریب توان، باید اندازه تجهیزات تغذیه بصورت زیر افزایش یابند:

(سه فاز)  $V = 415$  = ولتاژ تغذیه

$KW = 260$  = کل بار

$0.7$  = ضریب توان

$$\text{جریان کل} = \frac{260 \times 1000}{415 \times 0.7 \times \sqrt{3}} = 517 \text{ A}$$

کلیدهای لازم جهت تغذیه چنین جریانی، احتمالاً جریان نامی  $600 \text{ A}$  دارند و ترانسفورماتور تغذیه آن دارای قدرت نامی  $400 \text{ kVA}$  خواهد بود (گرچه قدرت نامی  $500 \text{ kVA}$  اندازه استانداردتری است و احتمالاً همین مقدار انتخاب می‌شود) و کابلهای متصل به آن بصورت هادی مسی با حداقل سطح مقطع  $300 \text{ mm}^2$  می‌باشند.

اگر ضریب توان تا آنجا که عملی بود بطرف یک اصلاح شده بود، جریان کل به  $362 \text{ A}$  افت می‌کرد و در نتیجه کلیدها می‌توانستند جریان نامی  $400 \text{ A}$  داشته باشند. کیلوولت آمپر نیز به  $260 \text{ kVA}$  کاهش پیدا می‌کرد و امکان این فراهم می‌شد که از ترانسفورماتوری با قدرت نامی استاندارد  $300 \text{ kVA}$  استفاده شود. در نهایت اندازه کابلهای رابط می‌توانست  $185 \text{ mm}^2$  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 که  $I$  نشان دهنده جریان و  $R$  نشان دهنده مقاومت الکتریکی می‌باشد) و افت ولتاژ بصورت رابطه  $ZI$  با جریان در ارتباط است ( $Z$  همانطور که قبلاً گفته شد امپدانس می‌باشد). از آنجایی که تلفات  $RI^2$  برای کابلهای کوچکتر بیشتر است، گاه انتخاب کابل با اندازه‌ای بزرگتر از حداقل اندازه مورد نیاز آن 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 مصرف کنندگان، تأمین گردد. این نکته با اندازه‌گیری حداکثر تقاضا بر حسب  $kVA$  یا با احتساب تأثیر ضریب توان در تعرفه‌ها اجرا می‌گردد. اکثر بارهای صنعتی و تجاری معمولاً دارای ضریب توان پس فاز هستند.

در چنین حالتی، منظور از اصلاح ضریب توان، بکار بردن 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 راه حل نیستند و باید از شرکت برق منطقه‌ای یا دیگر اشخاص ذیصلاح نظر خواهی 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  $kVAR$  اضافی نشان می‌دهد (مثال زیر جدول ۱ ملاحظه شود). در مواردی که قسمت اعظم بار، ضریب توان یک داشته باشد (ناشی از وجود میزان زیادی روشنایی و گرم‌کننده

مقاومتی) و تنها در زمانهای کم‌باری، ضریب توان به مقداری کمتر از  $0/8$  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 پایین می‌باشد. موتورهای القایی، حتی هنگامی که در بار کامل کار می‌کنند، می‌توانند ضریب توانی کمتر از  $0/6$  داشته باشند و در حالت کم‌باری که جریان راکتیو یا جریان مغناطیس‌کنندگی موتور در حدود  $90\%$  جریان کل تغذیه شده را تشکیل می‌دهد، ضریب توان می‌تواند به  $0/1$  برسد. بویژه، خصوصیات موتورهای کوچک بخوبی خصوصیات ماشینهای بزرگتر نیست. با اینحال، یک موتور بزرگ تحت بار، ضریب توان کمتری نسبت به موتور کوچکتری دارد که در بار کامل کار مشابهی را انجام دهد.

مثال:

برای یک بار  $3/7\text{kW}$  (۵ اسب بخار)، یک موتور  $3/7\text{kW}$  که در بار 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 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 کم سرعت 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 ۱-۲-۸، موتورهایی که توان نامی بالاتر از مقدار لازم دارند مراجعه کنید).
- موتورها باید تا حداکثر مقدار ظرفیت بارگذاری، بهره‌برداری 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.

مثال هزینه‌های تعرفه ( نرخهای تعرفه )

تعرفه - مربوط به تغییرات حداکثر تقاضای ماهانه

برای مصرف هر ۵۰ kVA اولیه از ظرفیت ۱/۵ پوند

برای مصرف هر kVA از ظرفیت قابل پرداخت اضافه بر ۵۰kVA 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 ۰/۹ پوند

ماه نوامبر و فوریه ۳/۴۵ پوند

ماه دسامبر و ژانویه ۹/۲ پوند

صورتحساب مشتری

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

حداکثر بار عبارتست از:

$$\frac{100}{.6} = 167kVA$$

بطوری که هزینه‌های ظرفیت و تقاضا بصورت زیر خواهند بود:

هزینه‌های ظرفیت

$$1/5 \text{ (پوند)} \times 50 \text{ (kVA)} \times 12 \text{ (ماه)} = 900/00 \text{ پوند}$$

$$1/2 \text{ (پوند)} \times 117 \text{ (kVA)} \times 12 \text{ (ماه)} = 1684/8 \text{ پوند}$$

$$2584/80 \text{ پوند}$$

هزینه‌های تقاضا (دیماند)

$$0/9 \text{ (پوند)} \times 167 \text{ (kVA)} \times 8 \text{ (ماه)} = 1202/40 \text{ پوند}$$

$$3/45 \text{ (پوند)} \times 167 \text{ (kVA)} \times 2 \text{ (ماه)} = 1152/30 \text{ پوند}$$

$$9/2 \text{ (پوند)} \times 167 \text{ (kVA)} \times 2 \text{ (ماه)} = 3072/8 \text{ پوند}$$

$$5427/50 \text{ پوند}$$

$$8012/3 \text{ پوند}$$

هزینه کل سالانه

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 تقاضا (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:

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

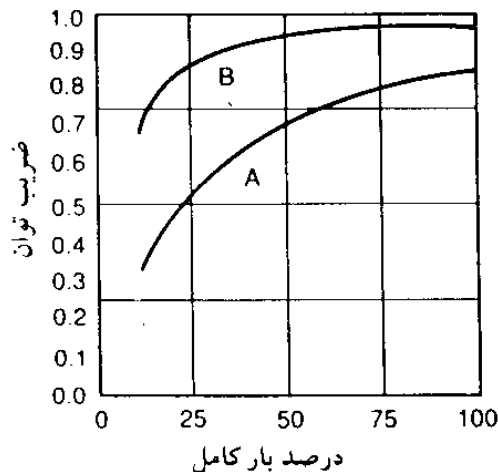
بطور مثال، برای یک بار ۱۰۰ kW با ضریب توان ۰/۸ داریم:

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

### ۳ - ۶ - کلیات

معمولاً بهتر است اصلاح ضریب توان برای بارهای سلفی از قبیل موتورهای القایی، در محل موتور انجام گیرد. 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 ۴ نشان داده شده است. هنگامی که خازنی با اندازه صحیح نصب می‌شود، ضریب توان به میزان زیادی بهبود یافته و 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 توان بیشتر از حد لازم مناسب بارهای ثابت است.



شکل ۴: نصب خازن اصلاح 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 متناوباً 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. باید توجه کرد که اصلاح بیش از حد ضریب توان بدلیل وجود حالت کمباری، انجام نمی شود.

در بیش از ۴۰ کیلوولت آمپر راکتیو، قطع و وصل اتوماتیک خازن ها ضروری است. این قبیل کنترل اتوماتیک، تکنیک جا افتاده ای است که اطمینان می دهد اصلاح بیش از حد ضریب توان انجام نمی گیرد. خازن ها 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 تولید کنندگان مشاوره شود.

## ۷ - مدیریت بار

همانطور که تا اینجا نکاتی از قبیل تعمیر و نگهداری مناسب و اصلاح ضریب توان مرور شد باید مشخصه های کل بار حاصل تاسیسات 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 مصرف کننده بطور محلی.

## ۱-۱-۷- مدیریت بار توسط تولید کننده

معمولاً بین شرکتهای تولیدکننده و مشتریان آنها می‌تواند قراردادهایی منعقد گردد که براساس آنها، چنانچه مصرف کننده مصرف خود را در ساعات اوج مصرف کاهش دهد، تولید کننده، 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 ۵MW 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 تجهیزات 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.
- در هر حال در اغلب موارد برای مدیریت محلی بار در ساختمانها، امکان عملی کمی وجود دارد.

## 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 ۱۰۰kWh برق مصرف شود، حداکثر تقاضا عبارتست از :

$$\frac{۱۰۰.kWh}{.۵h} = ۲۰۰.kW$$

این عدد چه بار ثابت باشد چه نباشد بدست می‌آید، لذا تأثیر هرگونه تغییرات بار خشی می‌گردد. کنترل کننده‌های بار می‌توانند آنچنان طراحی شوند که اگر میزان بار از حداکثر تقاضای تعیین شده تجاوز نمود طی مراحل، بار را کاهش دهند.

### ۳-۷- ضریب بار<sup>۱</sup>

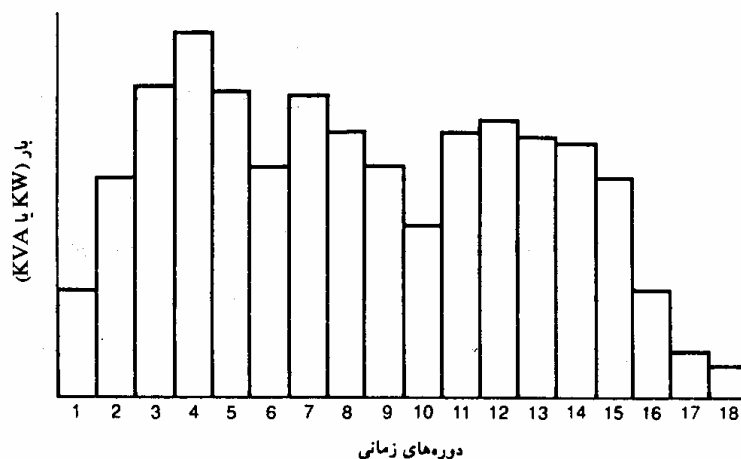
در تأمین برق، ضریب بار بصورت درصد نسبت بار متوسط بر حداکثر بار موجود در یک فاصله زمانی دلخواه تعریف می‌شود. در خصوص یک واحد، ضریب بار سالانه معنی متفاوتی دارد و بصورت درصد نسبت بار واقعی موجود بر حداکثر بار ممکن (حداکثر ظرفیت نامی واحد را مد نظر داشته باشید) در یک فاصله زمانی دلخواه بیان می‌شود.

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 تاسیسات یک فرآیند را نشان می‌دهد.

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

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

واضح است 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 ملاحظه کنید). 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 بعلت کاهش هزینه‌های مربوط به حداکثر تقاضا، امکان استفاده بیشتر از برق به مقدار ۶٪ با همان مقدار هزینه کل قبل ممکن می‌باشد.



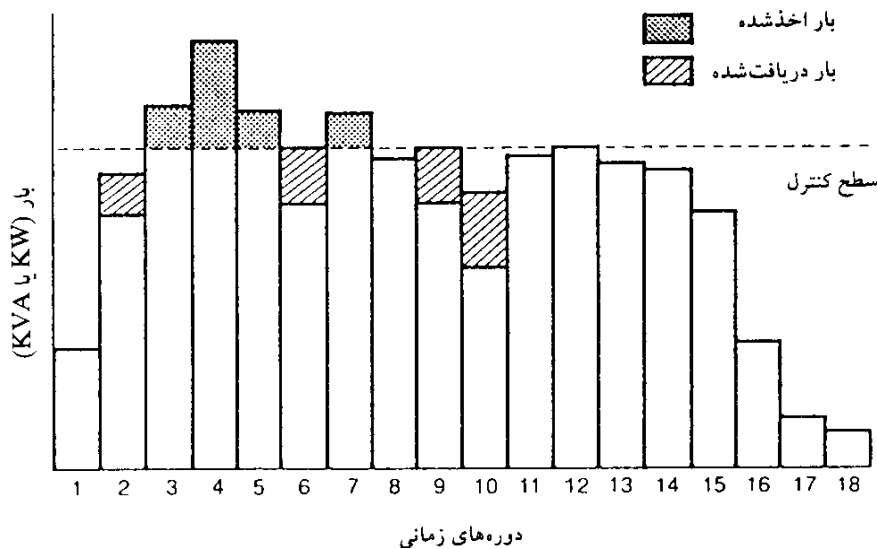
شکل ۵: الگوی بار بدون کنترل ضریب بار- ضریب بار ۶۰٪

<sup>1</sup> Load Factor



## ۸ - کاهش بارهای موتوری

یقیناً موتورهای الکتریکی پر استفاده‌ترین وسیله الکتریکی در ساختمانها می‌باشند و در ساختمانهای صنعتی در حدود ۶۵٪ از کل مصرف برق را به خود اختصاص می‌دهند. در حال حاضر اکثر موتورهایی که معمولاً استفاده می‌شوند، موتورهای القایی سه فاز می‌باشند. این موتورها بسته به تعداد قطب‌هایی که دارند، می‌توانند در سرعت‌های مختلف کار کنند و منبع توان مکانیکی دورانی نسبتاً ارزانی را فراهم کنند.



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

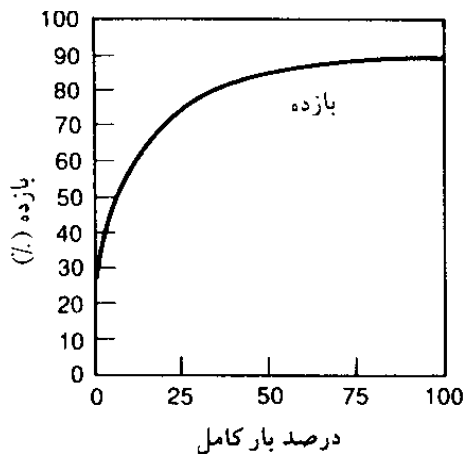
بیشتر موتورها برای حداکثر بازده در بار کامل طراحی می‌شوند، اما بندرت در بار کامل کار می‌کنند.

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

بار حداکثری که موتورها برای تامین 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 پیش بینی 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.

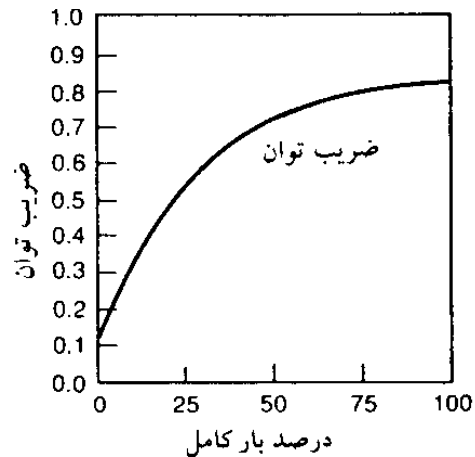
<sup>۱</sup> Motor Sizing

<sup>۲</sup> Oversizing



شکل ۷: بازده موتور القائی

استاندارد بر حسب بار



شکل ۸: ضریب توان موتور القائی

استاندارد بر حسب بار

بزرگتر انتخاب کردن موتورها از هر کاربرد به کاربرد دیگر تفاوت می‌کند. یک بررسی اولیه نشان می‌دهد که متوسط بارگذاری واقعی موتورها در حدود ۶۵٪ بار حداکثر آنها می‌باشد. در بسیاری از موارد استفاده کننده قادر به انتخاب موتور الکتریکی نیست و موتور همراه با دستگاه تحویل می‌شود. تامین کننده دستگاه باید بدترین حالت را در نظر بگیرد به این معنی که موتور بر مبنای سخت‌ترین شرایط بارگذاری انتخاب می‌شود. این امکان وجود دارد که موتورها هماهنگ‌تر با حداکثر بار واقعی خود انتخاب شوند. در بسیاری از کاربردهای ساختمانی همچون فن‌ها، موتورها به طور قابل ملاحظه‌ای بزرگتر از مقدار لازم انتخاب می‌شوند.

بازده موتورها بسته به اندازه آنها (توان نامی)، بار و سازنده آنها تغییر می‌کند. موتورهای استاندارد، در بار کامل بسته به اندازه و سرعتشان بازدهی بین ۵۵٪ تا ۹۵٪ دارند. هر چه سرعت کمتر باشد، بویژه در موتورهای کم قدرت (زیر ۱/۵ کیلووات)، بازده کمتر است. منحنی بازده موتورهای استاندارد متفاوت است اما شکل ۷ 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 که 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 اینکه، اگر موتورها در بار نسبتاً ثابت کار کنند، بزرگتر انتخاب کردن موتور تا حد ۳۰٪ تاثیر زیادی بر بازده ندارد. در حالی که اگر بار تغییر کند و بندرت به ۷۵٪ بار کامل برسد، بازده بشدت تاثیر می‌پذیرد. برای مثال از روی منحنی شکل ۷ و یک حداکثر بار ثابت ۱۰kW، یک موتور ۱۵kW در 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 ۱۰kW باشد اما بار در اغلب مواقع فقط ۳kW باشد با انتخاب موتور به ظرفیت مناسب، بازده در این بار حدود ۸۰٪ خواهد شد در حالی که یک موتور ۱۵kW در بازده کمتر از ۷۰٪ کار خواهد کرد.

ضریب توان نیز با کاهش بار موتور، بصورت نامطلوبی تاثیر می‌پذیرد. شکل ۸ 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 - تعویض موتور

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

### ۱ - ۲ - 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 موتورهای 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 در شرایط ایده‌آل، تعویض و جایگزینی موتورها به این معنی است که جهت پرکردن فضاها خالی در انتهای لیست تنها به خرید چند موتور کم قدرت نیاز است. اما در بعضی موارد بدلیل مشکلات نصب موتورها

<sup>1</sup> Oversized Motors

و کم بودن 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 - ۲ - ۸ - موتورهای با بازده بالا

موتورهای القائی دارای 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 دربار کامل، حدود ۷۰٪ از نوع اول و ۳۰٪ از نوع دوم است.

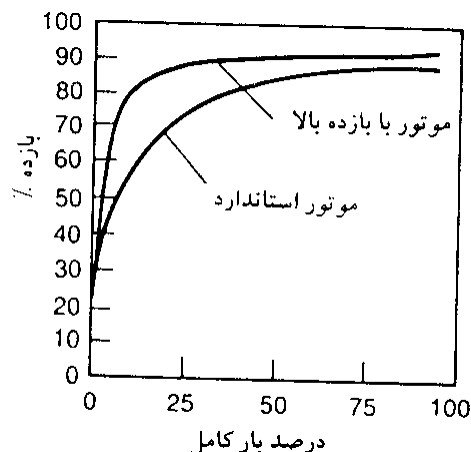
تلفات الکتریکی بار شامل تلفات مقاومتی روتور و استاتور و تلفات اضافی می‌باشد که تلفات اضافی به شکل تلفات اطراف یا داخل شیارهای هادی‌های روتور می‌باشد. هنگامی که موتور بی‌بار راه‌اندازی می‌شود تلفات مسی بسیار کوچک هستند. اما هنگامی که باری به موتور اعمال شود این تلفات متناسب با مجذور جریان موتور افزایش می‌یابند و از اینرو به تلفات  $RI^2$  معروفند. بعلاوه در مدار مغناطیسی روتور نیز تلفات آهنی 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 یاتاقانها، 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 مزبور باشد.

طراحی به منظور حداقل کردن تلفات الکتریکی، معادل با افزایش هزینه مربوط به مواد اولیه می‌باشد. هنگامی که تلفات  $RI^2$  (تلفات گرمائی) کم شود، فن خنک‌کننده نیز می‌تواند کوچکتر شود (همینطور تلفات مربوط به سیم پیچی). در حال حاضر هزینه تمام شده 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 ۹ منحنی بازده یک موتور با بازده بالا و یک موتور استاندارد نشان داده شده است.

<sup>1</sup> Hysterisis

<sup>2</sup> Normal Loading



شکل ۹: راندمان موتور با بازده بالا و موتور استاندارد بر حسب بار موتور

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

- بار موتور بر حسب 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 و هزینه های حداکثر تقاضا.
- در کارخانه های جدید و جاهائی که نیاز به جایگزینی یک موتور هست، در 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، برگشت سرمایه حدود ۶ ماه تا ۲ سال می باشد.

### ۳-۲-۸- 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 میشود، 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 میشود که طبیعتاً نامطلوب است. بنابراین اگر بتوان با کاهش سرعت فن یا موتور پمپ ها، جریان سیال را کنترل کرد روش بسیار موثری برای کنترل سرعت سیال عرضه می شود.

<sup>۱</sup> Variable Speed Drives

در حقیقت صرفه‌جویی حاصله بیشتر از چیزی است که در ابتدا ممکن است بنظر رسد. زیرا با کاهش سرعت فن یا پمپ، جریان سیال بطور متناسب کم می‌شود درحالی که توان لازم برای فن یا پمپ با توان سوم سرعت کم می‌شود.

مثال :

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

$$0.8^3 = 0.8 \times 0.8 \times 0.8 = 0.512$$

این پتانسیل صرفه‌جویی در انرژی باعث کاربرد محرکه‌های دور متغیر (VSD) در کنترل جریان سیالات شده است که یکی از مهمترین هزینه‌های موثر سرمایه‌گذاری در بهره‌وری انرژی است که میتواند برای موتورها در نظر گرفته شود. برگشت سرمایه در کمتر از ۲ سال معمول است اما در کمتر از یکسال نیز امکان‌پذیر است. همواره کنترل سرعت موتورهای جریان متناوب امکان پذیر بوده است اما در گذشته در موارد خاص استفاده می‌شده است. در سال‌های اخیر نیمه‌هادی‌های جدید قدرت و ریز پردازنده‌ها زمینه ایجاد محرکه‌های الکترونیکی دور متغیر را فراهم کرده‌اند که باعث توسعه عملکرد و قابلیت اطمینان نسبت به سیستم‌های قدیمی می‌شود. و این در حالیکه 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 محرکه‌های 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 صنعت و مصارف عملی به کار گرفته شده‌اند. به عنوان نمونه به موتورهای روی فن‌های دیگ بخار<sup>۱</sup>، پمپ‌های چیلر سیستم تهویه مطبوع، فن‌های برجهای خنک کن<sup>۲</sup>، فن‌های احتراق و پمپ‌های یخچال‌ها میتوان اشاره کرد.

## ۹ - روشنایی

در ساختمان‌های تجاری و صنعتی، روشنایی می‌تواند بخش قابل توجهی از مصرف انرژی باشد. در بعضی موارد از قبیل ساختمان‌های اداری، هزینه‌های روشنایی می‌تواند بیشتر از هزینه‌های گرمایش باشد. یکی از موارد مهمی که غالباً نادیده گرفته می‌شود، استفاده از نورپردازی با نور طبیعی است. طراحی خوب ساختمان‌ها می‌تواند استفاده از نور طبیعی را حداکثر کرده و در ضمن از اثرات نامطلوبی چون گرمایش بیش از حد در تابستان جلوگیری کند.

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

<sup>2</sup> Cooling Tower

بکارگیری بهترین تجربیات موجود می‌تواند مصرف انرژی الکتریکی و در نتیجه هزینه‌ها را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد. نشان داده شده است که صرفه‌جوئی‌ها عموماً در محدوده ۳۰ الی ۵۰ درصد قرار دارند. انرژی نوری اغلب به دلیل صرف نظر کردن از شرایط واقعی تلف می‌شود. مهمترین موقعیت و فرصت در خصوص بهره‌برداری مناسب، در زمینه روشنایی و نورپردازی وجود دارد.

### ۱ - ۹ - لامپ‌ها

اکثر ساختمان‌های تجاری و صنعتی توسط لامپ‌های فلورسنت یا انواع دیگر لامپ‌های تخلیه‌ای (گازی)، روشن می‌شوند. در محلهایی که لامپ با رشته تنگستن استفاده می‌شود با جایگزینی با لامپ‌های فلورسنت کمپاکت، بهبود قابل ملاحظه‌ای در روشنایی و مصرف انرژی حاصل می‌شود. در جاهائیکه تعداد زیادی لامپ‌های فلورسنت کمپاکت استفاده شده، ممکن است احتیاج به اصلاح ضریب توان وجود داشته باشد، زیرا در غیر این صورت ضریب توان بسیار پائین می‌باشد.

روشنایی بسیار زیاد معمولاً توسط نورافکن‌های تنگستنی تأمین می‌شده است. لامپ‌های تنگستن هالوژنه می‌تواند بطور موثری در این مورد کاربردی داشته باشد و به طور نمونه باعث کاهش ۵۰ درصد در مصرف انرژی گردد.

لامپ‌های فلورسنت استاندارد با قطر ۳۸ میلی‌متر امروزه توسط لامپ‌هایی با قطر ۲۶ میلیمتری کنار زده شده‌اند. در لامپ‌هایی با مدار کنترل دارای کلید راه‌انداز، حباب‌های کوچکتر می‌توانند بطور مستقیم جایگزین شده و تقریباً نور یکسانی را با ۸٪ کاهش برق تأمین کنند.

این جایگزینی‌ها در زمان خرابی لامپ‌های موجود و یا هنگام تعویض آنها توصیه می‌شوند.

برای نورپردازی محوطه‌های خیلی بزرگ لامپ‌های سدیم پرفشار یا لامپ‌های متال هالاید<sup>۱</sup> وجود دارند. این لامپ‌ها برای محوطه‌های بسیار بزرگ مانند کارخانه‌ها توصیه می‌شوند و همچنین برای نورپردازی نماهای خارجی نیز مناسب می‌باشند.

### ۲ - ۹ - بالاست<sup>۲</sup>

جهت کنترل لامپ، تمام لامپ‌های تخلیه‌ای، به بالاست نیاز دارند. بالاست معمولاً ضریب توان را هم اصلاح می‌کند که یک استثنای قابل ذکر در این مورد بعضی از لامپ‌های فلورسنت کمپاکت می‌باشند. بطور معمول بالاست شامل یک هسته سیم پیچی شده است و تلفات انرژی در حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد مصرف کل معیاری برای این چنین مدارات کنترلی است. بالاست‌های کم تلفات جدیدتر کارآتر می‌باشند اما ممکن است برای کار با لامپ‌های موجود مناسب نباشند.

<sup>1</sup> Metal Halide Lamps

<sup>2</sup> Ballast

بالاست‌های الکترونیکی فرکانس بالا می‌توانند در حدود ۲۰٪ صرفه‌جویی را تحقق بخشند. بازده لامپ‌های فلورسنت (نور خروجی به وات ورودی) با فرکانس افزایش می‌یابد بطوریکه قسمت عمده صرفه‌جویی در انرژی از این طریق و قسمت کمی از آن توسط بالاست حاصل می‌شود. شرایط راه‌اندازی این لامپ‌ها راحت‌تر است و خاموش و روشن کردن تاثیر کمتری بر عمر لامپ دارد. همچنین آشکار است که نورپردازی با استفاده از فرکانس بالا آرامش ساکنین را نسبت به نورپردازی با لامپ‌های سنتی با فرکانس شبکه افزایش می‌دهد.

### ۳ - ۹ - حباب‌ها

حباب‌های جدید دارای بازده بهتری نسبت به حباب‌های قدیمی هستند. تعویض حباب‌هایی که قبلاً نصب شده‌اند با حباب‌های مدرن می‌تواند سبب صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در انرژی شود و علاوه بر این شرایط بصری را بهبود دهد. باید دقت شود که ممکن است شکل ظاهری محیط تغییر کند و معمولاً استفاده از نوعی پیلوت در مقیاس کوچک، مفید است.

### ۴ - ۹ - کنترل روشنایی

کنترل مناسب می‌تواند به بهبود قابل ملاحظه‌ای در بهره‌وری انرژی نورانی منجر شود این بهبودها اصولاً از استفاده بهتر از نور موجود در روز برای کاهش استفاده از روشنایی الکتریکی و خاموش کردن چراغها در زمانیکه فضای مورد نظر خالی از سکنه است، نشأت می‌گیرند. صرفه‌جویی حاصله به مقدار زیادی به نور موجود در روز و فرهنگ ساکنان ساختمان بستگی دارد.

چهار روش برای کنترل روشنایی موجود است: کنترل بر مبنای زمان، کنترل وابسته به روشنایی روز، کنترل وابسته به ساکنان و کنترل موضعی توسط کلیدها. سیستم‌های کنترل می‌توانند ترکیبی از این تکنیک‌ها و کلیدزنی توسط ساکنان را به منظور تحقق صرفه‌جویی قابل ملاحظه در انرژی، بکار ببرند.

این مهم است که ساکنان یک محل از تمام بخش‌های اتوماتیک سیستم کنترل آگاه شوند که چطور کار می‌کنند و چگونه می‌توانند با آن کار کنند. این موضوع، بخصوص در مورد تجهیزاتی که جدیداً به سیستم‌های اتوماتیک مجهز می‌شوند، اهمیت دارد.

از طریق کنترل مناسب روشنایی، صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای ممکن است حاصل شود. برای مثال در ادارات، کاهش ۳۰ تا ۵۰ درصد در مصرف انرژی نورانی با برگشت سرمایه ۲ تا ۳ ساله امری عادی است و در تأسیساتی از قبیل انبارها صرفه‌جویی‌هایی در حدود ۷۰٪ با برگشت سرمایه در کمتر از ۲ سال به تحقق پیوسته است.



جدول ۲: روش های بهره‌وری انرژی نورانی به تفکیک نوع ساختمانها

مراکز تعمیراتی	مغازه‌ها	بیمارستانها	صنایع	آموزش	ادارات	روش های بهره‌وری انرژی
X	X	X	X	X	X	استفاده بهینه از نور روز در داخل ساختمان
X	X	X	X	X	X	نصب لامپ‌های با بازده بالاتر: - جایگزینی لامپ‌های تنگستن بالامپ‌های فلورسنت کمپاکت - جایگزینی حباب‌های ۳۸ میلیمتری با حباب‌های ۲۶ میلیمتری (فقط با کلید راه‌انداز)
X	X			X	X	- جایگزینی لامپ‌های تنگستن تبلیغاتی با انواع تنگستن هالوژن یا لامپ‌های تخلیه‌ای فشار بالا
X	X	X	X	X	X	نصب حباب‌های کارآتر
X	X	X	X	X	X	نصب بالادست فرکانس بالا برای لامپ‌های فلورسنت
X	X	X	X	X	X	نگهداری و نظافت منظم لامپ‌ها و حباب‌های مربوطه
			X		X	روشنایی موضعی به جای روشنایی عمومی
X	X	X	X	X	X	تشویق به خاموش کردن دستی چراغ‌ها زمانی که بدلیل کافی بودن نور روز یا خالی بودن محیط، نیاز به روشنایی وجود ندارد
X			X		X	نصب کلیدها در نزدیک محل کار
X	X	X	X	X	X	نصب کنترل اتوماتیک روشنایی

جدول ۳: روشهای بهره‌وری انرژی: صرفه‌جویی و برگشت سرمایه به صورت نمونه

روش های بهره‌وری انرژی	هزینه (پوند)	انرژی صرفه‌جویی شده (%)	برگشت سرمایه (سال)
جایگزینی لامپ‌های تنگستن بالامپ‌های فلورسنت کمپاکت	۲۰-۱۲ برای هر لامپ	۴۰-۷۰	۱-۳
جایگزینی حباب‌های ۳۸ میلیمتری با نوع ۲۶ میلیمتری (فقط با کلید راه‌انداز)	۵-۳ برای هر لامپ (قیمت‌های مساوی)	۸	کمتر از ۲
جایگزینی نورافکن‌های تنگستن با تنگستن هالوژن	۳۰-۱۵ برای هر لامپ	۳۰-۷۵	۲-۳
بالاست فرکانس بالا برای لامپ‌های فلورسنت	۲۰-۱۵ برای هر حباب	۱۵-۵۰	۵-۱۵
جایگزینی نورافکن‌های مهتابی با صفحات شفاف با رفلکتورهای آینه‌ای	۶۰-۲۵ برای هر حباب	۲۰-۵۰	۲-۶ اگر حبابهای بیشتری مورد نیاز باشد
نصب کنترل اتوماتیک روشنایی	-	۲۰-۵۰	۲-۵
روشنایی موضعی به جای روشنایی عمومی	-	۶۰-۸۰	۴-۸

## ۱۰ - تبرید

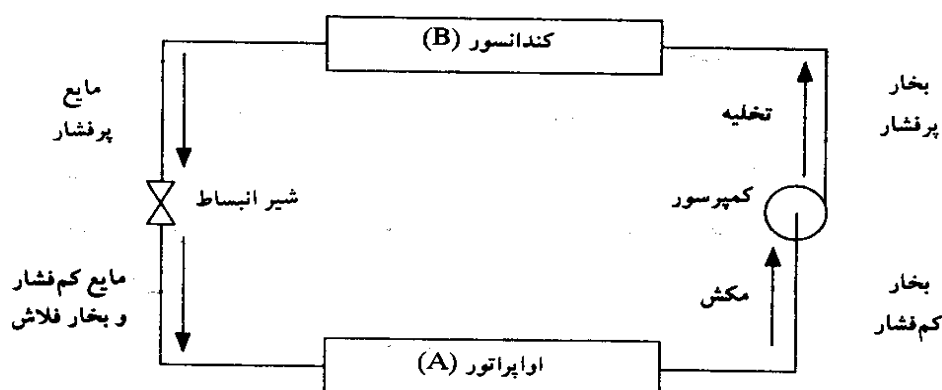
سیستم‌های تبرید بطور وسیعی در خنک‌سازی، ذخیره‌سازی و تهویه مطبوع استفاده می‌شوند. مهمترین مسئله در عملکرد بهینه سیستم‌های تبرید این است که افرادی که در طراحی، خرید، نصب و استفاده از این سیستم‌ها نقش دارند اصول کار اولیه آنها را بدانند. بعلاوه تجهیزات تبرید باید بطور منظم برای اطمینان از اینکه با مشخصات تعیین شده کار می‌کنند، نظارت شوند. این موضوع نسبتاً مرسوم است که مصرف انرژی در این واحدها تا ۳۰ درصد افزایش یابد و تا مدت‌ها نیز به آن توجهی نشود.

این کتابچه یک مرور بسیار مقدماتی بر سیستم‌های تبرید دارد. اطلاعات بیشتر در کتابچه‌ای تحت عنوان «استفاده اقتصادی از تاسیسات تبرید» موجود است.

### ۱ - ۱۰ - اصول اولیه تبرید

اغلب سیستم‌های تبرید در انگلستان توسط فرآیند متراکم‌سازی بخار کار می‌کنند. این فرآیند در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

توسط سیال مبرد جوشان در اوپراتور<sup>۱</sup>، انرژی جذب می‌شود. این انرژی از



شکل ۱۰: مدار مقدماتی متراکم‌سازی بخار

موادی که می‌خواهیم سرد شوند گرفته می‌شود. بخار مبرد سپس توسط کمپرسور (که معمولاً توسط یک موتور الکتریکی کار می‌کند) متراکم می‌شود و باعث می‌شود که فشار و دمای بخار مبرد افزایش یابد. بخار متراکم شده در کندانسور، سرد و تقطیر می‌شود و انرژی درونی آن باز پس گرفته می‌شود (معمولاً توسط هوا یا آب). سپس سیال مبرد از طریق شیر انبساط از بخش پر فشار به بخش کم فشار عبور کرده و سیکل را کامل می‌کند.

<sup>1</sup> Evaporator

## ۲ - ۱۰ - اجزاء سیستم تبرید

چهار جزء اصلی سیستم تبرید در شکل ۱۰ نشان داده شده است. این اجزاء عبارتند از: اواپراتور، کمپرسور، کندانسور و وسایل انبساط که انواع مختلف هر کدام بطور خلاصه در ذیل توضیح داده می‌شود.

### ۱ - ۲ - ۱۰ - اواپراتورها

اواپراتورها سه نوع اصلی دارند:

- انبساط مستقیم (یا انبساط خشک)
- پوسته‌ای و لوله‌ای غوطه‌ور<sup>۱</sup>
- گردش مجدد<sup>۲</sup>

در اواپراتورهای انبساط مستقیم، سیال مبرد هنگامی که به انتهای اواپراتور می‌رسد، بطور کامل بخار شده است. این نوع اواپراتورها تقریباً همیشه همراه با شیر انبساط ترموستاتی<sup>۳</sup> (بخش ۴-۲-۱۰ را ملاحظه کنید) بکار می‌روند. اواپراتورهای نوع پوسته‌ای و لوله‌ای بطور گسترده برای خنک سازی مایعات بکار می‌روند. مایع در داخل لوله‌ها توسط جوش آمدن سیال مبرد در سمت پوسته خنک می‌شود. در اواپراتورهای گردش مجدد، بخار ایجاد شده از سیال مبرد در یک مخزن جدا قرار دارد و مایع سرد کننده به سمت اواپراتور هدایت می‌شود.

در اواپراتورهایی که زیر صفر درجه سانتیگراد کار می‌کنند تجمع برفک در روی سطوح رخ می‌دهد. این حالت بطور جدی باعث کاهش بازده می‌شود بطوریکه هر گونه برفک باید متناوباً آب شود. روش‌های موثر آب کردن برفک به موارد زیر نیاز دارد:

- تعیین زمان آب کردن برفک‌ها.
- استفاده از روشی موثر برای گرم کردن برفک‌ها.
- توقف عمل آب کردن برفک‌ها بعد از ذوب شدن و تخلیه آب.

### ۲ - ۲ - ۱۰ - کمپرسورها

ترکیب کمپرسور/ موتور می‌تواند بصورت باز، نیم بسته و بسته باشد. کمپرسورهای باز کاملاً جدا از موتور راه‌انداز قرار دارند در حالیکه کمپرسورهای بسته با موتورشان تشکیل یک واحد مستقل را می‌دهند. کمپرسورهای نیمه بسته به موتور راه‌انداز متصل می‌شوند اما برخلاف نوع بسته دسترسی به آن ممکن است.

اطلاعات مربوط به عملکرد کمپرسورها معمولاً بصورت نمودار یا جداول کاری ارائه می‌شود و شامل توان لازم در محدوده دماهای کندانسور و اواپراتور می‌باشد. برای بدست آوردن اطلاعات متناسب با شرایط کار واقعی به ضرایب تصحیح نیاز می‌باشد که بدست آوردن این اطلاعات برای مصرف کننده ضروری است.

<sup>1</sup> Flooded Shell And Tube

<sup>2</sup> Recirculation

<sup>3</sup> Thermostatic Expansion Valve

انواع مختلفی از کمپرسورها وجود دارند: پیستونی<sup>۱</sup> (نوع بسیار رایج)، پره‌ای گردان<sup>۲</sup>، دو پیچشی<sup>۳</sup>، تک پیچشی<sup>۴</sup> و گریز از مرکز<sup>۵</sup>. هر کدام از انواع فوق مشخصه‌های متفاوت و عوامل متفاوتی دارند که برای عملکرد بهینه باید در نظر گرفته شوند.

در مقداری کمتر از بار کامل، حداکثر بازده تئوریک یک سیستم تبرید افزایش می‌یابد. در جهت خلاف با آن، افزایش تلفات به دلایلی از جمله افزایش اصطکاک می‌تواند بازده را کاهش دهد. کمپرسورهای گریز از مرکز و پیچشی در بار کم راندمان غیر مطلوبی دارند. در بعضی موارد استفاده از محرکه‌های دور متغیر (VSD) برای افزایش بازده عملکرد، می‌تواند مفید واقع شود.

### ۳-۲-۱۰- کندانسورها

برای مصارف گوناگون سه نوع اصلی کندانسور وجود دارد:

- نوع پوسته‌ای و لوله‌ای خنک شونده با آب
- خنک شونده با هوا
- خنک شونده تبخیری

کندانسورهای پوسته‌ای و لوله‌ای که با آب خنک می‌شوند معمولاً برای تمام انواع سیستم‌های تبرید بکار می‌روند و معمولاً سیال مبرد در داخل پوسته و آب در داخل لوله‌ها قرار دارد. برج‌های خنک کننده معمولاً تامین کننده آب می‌باشند. بازده ضعیف معمولاً بدلیل وجود مواد معدنی یا رشد جلبک‌ها ایجاد می‌شود. این عوامل می‌توانند بترتیب توسط تصفیه آب و افزودن باکتری کش‌ها کنترل شوند.

در کندانسورهایی که بوسیله هوا خنک می‌شوند، سیال مبرد در داخل لوله‌های بسته بوسیله عبور هوا از روی سطح آنها، تقطیر می‌شود. کندانسورهای تبخیری مشابه نوع قبل می‌باشند اما در این مورد جدار خارجی لوله‌ها خیس شده و از روی آنها هوا دمیده می‌شود تا با تبخیر رطوبت سطح مزبور، لوله‌ها خنک شوند.

یک احتمال عمده در بدکار کردن کندانسورها حضور گازهای غیرقابل تقطیر همچون هوا در سیستم تبرید می‌باشد. در طی زمان، مقدار زیادی از این گازها ممکن است راهی را برای ورود به سیستم تبرید پیدا کنند. و این می‌تواند هزینه‌های بهره‌برداری را تا ۱۰٪ یا بیشتر افزایش دهد.

### ۴-۲-۱۰- وسائل انبساط

در اصل، شیر انبساط وسیله ساده‌ای است که فشار بالای سیال مبرد را به فشار کمتر کاهش می‌دهد و ۴ نوع اصلی از آن وجود دارد:

<sup>1</sup> Reciprocating  
<sup>2</sup> Rotating Vane  
<sup>3</sup> Twin screw  
<sup>4</sup> Single Screw  
<sup>5</sup> Centrifugal

- شیرهای شناور فشار قوی.
- شیرهای شناور فشار ضعیف.
- شیرهای انبساط ترمواستاتیک.
- شیرهای انبساط الکترونیکی.

در عمل، عملکرد شیر انبساط بسیار پیچیده است و خواننده باید به مراجع کاملتری برای توصیف کامل عملکرد آنها مراجعه کند. در سیستم‌هایی که از شیرهای شناور استفاده می‌کنند سطح سیال مبرد را باید به طور منظم بازدید نمود.

## ۱۱ - نظارت و هدف‌یابی (M&T)

اغلب ساختمان‌ها میدانی برای کاهش مصرف انرژی دارند. نظارت و هدف‌یابی یک روش سازمان یافته برای مدیریت انرژی است که می‌تواند برای تعیین صرفه‌جویی‌های ممکن در بهره‌برداری از تجهیزات و تاسیسات مفید واقع شود. نظارت و هدف‌یابی همچنین اطلاعات لازم را برای ارزیابی تغییرات برنامه‌ریزی شده در تجهیزات، فراهم می‌کند. در نهایت، سیستم فوق می‌تواند و خامت عملکرد تجهیزات را قبل از آنکه اپراتورها از خرابی چیزی اطلاع دهند، تشخیص بدهد.

نظارت کردن و هدف‌یابی کردن دو فعالیت جداگانه می‌باشند. ۵ مرحله اصلی در برنامه‌های نظارت وجود دارد:

۱- اندازه‌گیری مصرف برق تجهیزات عمده

۲- ارتباط مصرف با عوامل موثر، مانند شرایط آب و هوا برای تجهیزات حرارتی

۳- مقایسه مصرف واقعی با آنچه که باید مصرف شود (استاندارد)

۴- گزارش عملکرد انرژی به افراد مسئول

۵- انجام اعمالی برای کاهش مصرف و حفظ آن در حداقل سطح ممکن

این مراحل به این منظور طراحی شده‌اند تا به تمام افراد دست‌اندرکار استفاده از انرژی، در مورد مصرف آنها و هزینه‌های مربوطه اطلاعات دهد و آنها را ترغیب به استفاده از معلوماتشان برای کسب صرفه‌جویی نماید. در قدم اول ممکن است تعدادی اندازه‌گیری اولیه لازم باشد. بسته‌های نرم‌افزاری زیادی برای کمک به M&T وجود دارد.

بر اساس فرآیند نظارت و توسط تنظیم اهداف استاندارد برای مصرف انرژی و اضافه کردن مراحل دیگر برای رسیدن به این استانداردها، مرحله هدف‌یابی ایجاد می‌شود. این کار می‌تواند محدود به روش‌های اجرایی باشد یا ممکن است مستلزم نصب تجهیزات جدید و در نتیجه هزینه کلی قابل ملاحظه‌ای باشد. با ایجاد یک برنامه نظارت و هدف‌یابی جدی هزینه انرژی می‌تواند عموماً تا ۱۰٪ یا بیشتر کاهش داده شود.

### ۱ - ۱۲ - سیستم قطع و وصل اتوماتیک روشنایی انبار

یک سازنده عمده قطعات اتومبیل دارای یک بخش مرکزی می‌باشد که برای انبار کردن قطعات قبل از توزیع به فروشندگان محلی بکار می‌رود. این قطعات در جعبه‌هایی جاسازی شده و در سیستمی از قفسه‌های مشبک که بیش از ۳۷۶۰۰ مترمربع را می‌پوشانند، انبار می‌شوند. راهروها حدود ۹ متر ارتفاع، ۵۵ متر طول و در ۷ بلوک اصلی مرتب شده‌اند. قطعات از داخل جعبه‌ها توسط ماشین انتخابگر پیداشده و یک ماشین ارتباطی برای حرکت دادن بسته‌ها در طول راهرو بکار می‌رود. روشنایی راهروها با لامپ‌های فلورسنت لوله‌ای که بالای هر راهرو کار گذاشته است تامین می‌شود. بدلیل طبیعت تصادفی حضور افراد، سیستم روشنایی قدیمی برای کار در طول یک روز کاری کامل طراحی شده بود.

یک سیستم قطع و وصل اتوماتیک چراغ با سنسورهای میکروویو که با استفاده از اثر دوپلر، حرکت را تشخیص می‌دهند، نصب شد. سنسورها در بالای سطح قفسه‌ها و در انتهای هر راهرو نصب شدند و پوشش کامل تمام راهروها را تامین کردند. هنگامی که حرکتی در راهرو تشخیص داده شود، چراغها روشن می‌شوند و برای یک فاصله زمانی بعد از حرکت روشن مانده و سپس قطع می‌شوند. این تاخیر زمانی برای دوره‌های غیرفعال هنگامی که ماشین در داخل راهرو است لازم می‌باشد و می‌تواند بین ۳۰ ثانیه تا ۳۰ دقیقه تنظیم شود. در این مورد خاص تاخیر زمانی ۳ دقیقه و ۴۵ ثانیه بود.

نقاط کنترل برای کنترل چراغها در مجاورت تابلوی کلیدهای روشنایی قرار داده شد و کلیدی نصب شد که در صورت لزوم اجازه می‌دهد سیستم اتوماتیک حذف شود. سیستم کنترل در سال ۱۹۸۶ نصب و راه‌اندازی گردید. قبل از آن مصرف انرژی برق، سالانه ۱۵۷۱۰۰۰ کیلووات ساعت بود که این مقدار تا ۷۰٪ کاهش داده شد. همچنین کاهش زمان روشن بودن چراغها، نیاز به تعویض لامپ‌ها را کاهش می‌دهد. هزینه این سیستم در حدود ۷۵۰۰۰ پوند بود که در طول یک دوره ۱/۸ ساله برگردانده شد.

### ۲ - ۱۲ - محرکه دور متغیر روی فن دیگبخار

یک بیمارستان بزرگ با سه دیگبخار ظرفیت بالا، یک سیستم محرکه دور متغیر الکتریکی را برای کنترل سرعت موتور فن کشش هوای دیگبخاری که تقریباً بطور دائم قسمت عمده گرمایش را تامین می‌کرد، نصب نمود. مصرف موتور الکتریکی برحسب بخار تولیدی (پوند) به میزان ۷۰٪ کاهش یافت و بازده احتراق بهینه دیگبخار برای مدت طولانی بدلیل تغییر سرعت فن‌ها متناسب با میزان احتراق دیگبخار ثابت ماند. زمان برگشت سرمایه از محل صرفه‌جویی انرژی با سرمایه‌گذاری ۷۱۰۰ پوند بین ۱۰ تا ۱۱ ماه طول کشید.

### ۳ - ۱۲ - کنترل روشنایی فروشگاه

در فروشگاه بزرگ Plymco که متعلق به (Cooperative Society Plymoth & South Devon) می‌باشد، مساحت محل فروش حدود ۲۰۰۰ مترمربع است. روشنایی توسط ۲۷۴ لامپ ۶۰ واتی دابل تامین می‌شود. هر حباب ۱/۵ متر طول دارد و دارای بالاست الکترونیکی فرکانس بالا می‌باشد که درخشندگی ۱۰۰۰ لوکس را تامین می‌کند. لامپ‌های نصب شده بوسیله یک ریزپردازنده بر مبنای سیستم مدیریت انرژی کنترل می‌شوند که درخشندگی را برای فعالیت‌هایی از قبیل پرکردن قفسه‌ها در زمانیکه فروشگاه برای عموم باز نیست، کاهش می‌دهد. کل بار روشنایی نصب شده ۳۵/۹ کیلووات بود که شامل مدارهای کنترل نیز می‌شود. این طرح جزو طرح‌های برتر مدیریت انرژی در بخش روشنایی<sup>۱</sup> (EMILAS) سال ۱۹۸۹ بود.

### ۴ - ۱۲ - نورپردازی با لامپ‌های فلورسنت فرکانس بالا

در زمستان سال ۱۹۹۱، در حوزه صنایع مدیریت انرژی بخش روشنایی (EMILAS) به ۲۵٪ صرفه‌جویی در انرژی مصرفی رسید با وجودیکه میزان روشنایی بر روی ماشین‌های اصلی کارگاه که دقت مهندسی بالایی لازم دارند، دو برابر شده بود.

طرح‌های جدید روشنایی بر مبنای نصب لامپ‌های کنترل‌پذیر فرکانس بالا با قابلیت‌های زیاد و با تقسیم به ۱۰ منطقه با کنترل فتوسلی به منظور بدست آوردن حداکثر بهره از نور طبیعی انجام شده است. برگشت سرمایه‌گذاری انجام شده با طرح جدید بیشتر از ۳۶ ماه نخواهد بود.

### ۱۳ - خلاصه

استفاده موثر از الکتروسیسته در ساختمانها می‌تواند صرفه‌جویی قابل توجهی در انرژی مصرفی و هزینه‌های کلی ایجاد کند. در مورد ساختمان‌های موجود که طراحی اولیه قبلاً کامل شده است، روش‌های بهره‌وری انرژی به ارتقاء و تنظیم سیستم موجود محدود می‌شود.

تقریباً در همه موارد با استفاده از نگهداری مناسب و کافی تجهیزات موجود، امکان صرفه‌جویی فوری در انرژی وجود دارد. حوزه‌های دیگر که صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای را امکان‌پذیر می‌کنند عبارتند از:

- روشنایی: عموماً بزرگترین مصرف در ساختمان‌های تجاری مربوط به روشنایی می‌باشد و تا ۷۰٪ صرفه‌جویی در مصرف این نوع انرژی امکان‌پذیر است.
- تبرید و تهویه مطبوع: اغلب این سیستم‌ها در مقداری کمتر از بازده بهینه خود کار می‌کنند، وضعیتی که می‌تواند بدون جلب توجه برای دوره زمانی قابل ملاحظه‌ای ادامه پیدا کند. اصلاح این وضعیت نامطلوب می‌تواند موجب ۲۰ تا ۳۰ درصد صرفه‌جویی گردد.

<sup>1</sup> Energy Management In Lighting Award Shcem

- موتورهای و محرکه‌ها: موتورهای تاسیسات مجتمع اغلب بزرگتر از کاربرد واقعی‌شان انتخاب می‌شوند. محرکه‌های دور متغیر و اصلاح ظرفیت موتور می‌تواند تا ۵۰٪ صرفه‌جویی ایجاد کند. بسیاری از روش‌های کاهش مصرف برق در ساختمان‌ها، یا نیاز به سرمایه‌گذاری ندارند و یا نیاز کمی به صرف هزینه دارند. در مواردی که سرمایه‌گذاری مورد نیاز باشد، در اغلب موارد زمان برگشت سرمایه، بین یک تا دو سال می‌باشد.

## ضمیمه ۱: ساختار صنعت تولید برق

در انگلستان قسمت عمده برق توسط سه شرکت Nuclear Electric و power Gen, National power تولید می‌شود. هر سه شرکت 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 مشترکینی 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 موسساتی غیر از شرکت‌های برق منطقه‌ای محلی وارد قرارداد شوند. این معافیت تحت عنوان «حد امتیاز»<sup>۲</sup> شناخته می‌شود 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 Power و Scottish hydro 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 سنتی 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 منتشر نموده و بطور پیوسته اطلاعات قیمت را به مشترکین ابلاغ می‌کنند تا بتوانند تا حد ممکن از برق بصورت اقتصادی استفاده کنند.

<sup>1</sup> Electric Pool

<sup>2</sup> Franchise Limit



از زمان خصوصی‌سازی صنعت برق، شرکت‌های تولیدی جدید با نیروگاه‌های کوچک و بزرگ وارد بازار شده‌اند. بیشتر این نیروگاه‌های جدید از نوع سیکل ترکیبی با سوخت گاز می‌باشند که نسبت به واحدهای با سوخت زغال‌سنگ و واحدهائی که باید زودتر از زمان پیش‌بینی شده از رده خارج شوند، امکان بهره‌برداری با بازده بالاتری را فراهم می‌کنند. بنابراین جایگزینی نیروگاه‌ها برای تامین 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 می‌گردد) و برای اطمینان از تأمین اوج مصرف عمل می‌نماید. این کار با اطمینان یافتن از اینکه سطح کافی ظرفیت تولید از طریق تمام منابع انرژی وجود دارد، انجام می‌پذیرد. برحسب درجه شایستگی<sup>۱</sup> واحدها بر حسب بازده آنها، ظرفیت ضروری وارد مدار می‌شود. همچنین اوجهای کوتاه مدت مصرف توسط در مدار قرار گرفتن 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 با ظرفیت 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 تقاضاهای 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 فصل‌های سال نیز تغییر می‌کند. هر کدام از تولید کنندگان، شرکت National Grid و شرکت‌های برق منطقه‌ای بسته به میزان حداکثر مصرف هزینه‌هایی را متحمل می‌شوند و این هزینه‌ها در قراردادهای و تعرفه‌ها با پیچیدگی‌های گوناگون وارد می‌شود بطوری که:

- در شب هزینه نیروگاه‌ها نسبت به هزینه متوسط که هنگام غروب و روزهای آخر هفته حادث می‌شود و به طور 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.
- اوجهای مصرف معمولاً در اواخر بعد از ظهرهای زمستانی، رخ می‌دهد. این موضوع باعث می‌شود که نرخ تعرفه در این مواقع، بالا باشد.

درک کامل این موارد و اعمال آن در تعرفه‌های مصرف برق موجب میشود که مشترکین درصدد کاهش هزینه‌ها برآیند. با روند خصوصی‌سازی، دولت اداره قانون‌گذاری برق<sup>۲</sup> (OFFER) را به منظور بررسی کل صنعت برق و اطمینان از محفوظ ماندن حقوق مصرف کننده و دیگر گروه‌های ذینفع تأسیس کرد. به مدیر کل این مؤسسه اختیار داده شده است که بر مالیات‌های مورد منازعه بین تولیدکنندگان و دیگر گروه‌های ذینفع نظارت کند.

<sup>1</sup> Merit - Order

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

## ضمیمه ۲: واژه نامهٔ برگه‌های تعرفه

در تعرفه‌ها و قراردادهائی که منعقد می‌گردد چندین واژه خاص توسط شرکت‌های تأمین کننده برق بکار می‌رود که در این ضمیمه توضیح داده می‌شود. آنچه در ذیل می‌آید الزاماً تعریف دقیق واژه‌های تعرفه نبوده بلکه برای کلیه تأمین کنندگان برق صدق نمی‌کند. اما به عنوان یک راهنما برای لغاتی که معمولاً استفاده می‌شوند، ارائه شده است<sup>۱</sup>.

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

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

فاصله زمانی معادل با ۱۲ ماه تقویمی که از اولین روز آوریل و  
سال (Year): یا اینکه نزدیکترین تاریخ قرائت کنتور به اول ماه آوریل شروع و در  
روز ۳۱ مارس تمام شود و یا نزدیکترین روز قرائت کنتور به حدود  
روز ۳۱ مارس 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  
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 ساعت‌هائی که بین دو بار جلو و عقب  
کشیدن ساعت وجود دارد که کمتر رخ می‌دهد و در این موارد  
ساعت تابستانی انگلستان بکار می‌رود.

بار نصب شده :  
(Installed Load)  
مجموع ظرفیت اسمی تجهیزات نصب شده در محل مصرف  
کننده

بار متصل :  
(Connected load)  
بخشی از بار نصب شده مصرف کننده که ممکن است توسط  
اداره برق تأمین می‌شود.

فشار ضعیف :  
به ولتاژهای کمتر از ۱۰۰۰ ولت گفته می‌شود و در برخی موارد

<sup>۲</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.

تغذیه‌ای که اندازه‌گیری آن در سمت ولتاژ پائین ترانسفورماتور و در نزدیکی محل مصرف قرار گرفته است.

(Low voltage)

به ولتاژهای بیشتر از 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 مصرف کننده به شبکه تغذیه کننده 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 اظهار شده (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 ملاحظه کنید). در قدم اول ظرفیت تغذیه را می‌توان بشکل ظرفیت توافق شده (Agreed capacity) یا حداکثر تقاضای مجاز (Authorised maximum Demand) در نظر گرفت و مقدار این ظرفیت بصورت قطعی تعیین می‌شود و طبقاً شرکت‌های برق منطقه‌ای برای یک دوره اعلام شده (معمولاً پنج سال اول) هیچگونه تقاضای تجدید یا افزایش ظرفیت را نمی‌پذیرند. بعد از این دوره اولیه قبض‌های ظرفیت فعلی بررسی می‌شوند که هم حداکثر ظرفیت ثبت شده در ماه‌های گذشته را نشان می‌دهند (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.

قابلیت دسترسی به تغذیه :

(Availability of supply)

این واژه حداکثر توان تحویل شده به مشترک را نشان می‌دهد و بر حسب 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 تقاضا :

(Maximum Demand)



در این حالت هزینه‌های مصرف بر مبنای حداکثر مصرف ثبت شده در یک دوره ۱۲ ماهه تعیین می‌شود.

در این حالت هزینه‌های مصرف در یک تعرفه بر حسب فصل بیان می‌شوند. مثلاً بهای کم در تابستان و بهای بسیار بالاتر در زمستان.

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. در مورد این تعرفه، ممکن است هزینه‌های اندازه‌گیری بیشتری طلب شود.

این تعرفه می‌تواند تغییرات بهای انرژی و بهای مصرف را برحسب ساعات مصرف در نظر گیرد مثال تعرفه مربوط به کنتور اکونومی ۷.

پولی است که در قبال ایجاد یا تقویت خط تغذیه که مشترک را به شبکه وصل می‌کند، پرداخت می‌شود. این پول در مواردی که هزینه تأمین برق خیلی زیاد یا مشترک نیازهای خاصی دارد، دریافت می‌گردد.

این واژه روشی را بیان می‌کند که هزینه تعرفه بر اساس تعدادی از نرخهای مختلف (kWh) تعیین می‌شود که بر مجموعه‌ای از مصارف پشت سر هم که در یک دوره مشخص رخ می‌دهد، اعمال می‌گردد.

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

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

این تعرفه فقط اجازه مصرف در زمانهای معینی را می‌دهد. این

حداکثر تقاضای سالانه :

(Annual Maximum Demand)

حداکثر تقاضای فصلی :

(Seasonal Maximum Demand)

اضافه مصرف :

(Excess Demand)

تعرفه بر ساعت‌های روز :

(Time Of Day Tariff)

حق انشعاب :

(Capital Contribution)

قیمت‌گذاری مجموعه‌ای :

(Blocked Charges)

تعرفه‌های دو قسمتی :

(Two- part Tariff)

تعرفه با نرخ یکنواخت :

(Flat-Rate Tariff)

تعرفه با محدودیت ساعت :

(Restricted Hour Tariff)



PowerEn.ir

تعرفه معمولاً همراه با تعرفه‌های دیگر در نظر گرفته می‌شود تا یک روش مرکب ایجاد شود.

یک تعرفه با محدودیت ساعت می‌باشد که در جاهائی که فقط در خارج از ساعات اوج، مصرف مجاز است، قابل استفاده است.

تعرفه خارج از زمان اوج :  
(Off Peak Tariff)

شرط ضریب توان یا پرداخت هزینه توان راکتیو :  
(Power Factor Clause Or Reactive Power Charge)

این شاخص هر تغییر در قیمت سوخت‌های فسیلی مصرف شده توسط ژنراتورها در ماه مربوطه را بحساب می‌آورد و جریمه یا تخفیفی برای مصرف کنندگان منظور می‌گردد.

شرط تنظیم هزینه سوخت یا شاخص سوخت :  
(Fuel Cost Adjustment Clause/ Fuel Index)

