پایان نامه

جهت اخذ درجه‌ی کارشناسی

رشته‌ی برق- قدرت

**موضوع:**

# بهینه سازی انرژی در ساختمان ها و الکتروموتورهای صنعتی

**استاد راهنما**

**جناب دکتر سعید جلیل زاده**

نگارش:

حسین سلیمی

شهریور ۹۰

# فهرست مطالب


**ممیزی و بهینه سازی انرژی در ساختمان** ۱

پیشگفتار ۲

۱-مقدمه ۴

۲-وسعت ممیزی ۵

۲-۱-کسب صرفه جویی:تخصصهای داخلی و مشاورین ۵

۲-۲-طرح همیاری مدیریت انرژی ۶

۳-مصرف انرژی و هزینه ها ۷

۳-۱-مصارف وهزینه ها ۷

۳-۲-اولویت ها در ممیزی انرژی ۱۳

۴-سازماندهی مدیریت انرژی ۱۴

۴-۱-ماتریس مدیریت انرژی ۱۴

۴-۲-تعمیر و نگهداری ۱۶

۴-۳-نظارت و هدفیابی ۱۷

۵-تامین منابع انرژی ۲۱

۶-بهبود بافت ساختمان و خدمات مربوطه ۲۲

۶-۱-تخلیه و تهویه هوا ۲۴

۶-۲-تجهیزات رستوران ۲۶

۶-۳-روشنایی ۲۷

۶-۴-بارهای کم مصرف ۲۹

۷-سرمایه گذاری های مورد نیاز ۳۰

۷-۱-معیارهای مالی ۳۰

۷-۲-تامین بودجه ۳۱

۷-۳-اجرای پیشنهادات ۳۲

**بهینه سازی روشنایی در ساختمان ها** ۳۴

۱-مقدمه ۳۵

۲-روشنایی-زمینه کلی ۳۵

۲-۱-توصیه های استاندارد ۳۵

۲-۲-استفاده از روشنایی روز..... ۳۶
۲-۳-وضعیت ظاهری..... ۳۶
۲-۴-تاثیر سن در کارگران..... ۳۷
۳-درخشندگی..... ۳۹
۳-۱-درخشندگی مستقیم..... ۳۹
۳-۲-درخشندگی انعکاسی..... ۳۹
۴-روشنایی و انرژی..... ۴۰
۴-۱-انتخاب نوع لامپ..... ۴۱
۵-طراحی سیستم روشنایی..... ۴۳
۵-۱-روشنایی موضعی..... ۴۵
۵-۲-نورپردازهای فوقانی..... ۴۵
۵-۳-روشنایی برای پایانه های نمایشگر..... ۴۵
۵-۴-تاثیر دکوراسیون و تزئینات..... ۴۶
۵-۵-تعمیر و نگهداری..... ۴۶
۵-۶-دوره سرویس لامپها..... ۴۷
۵-۷-تعویض برنامه ریزی شده لامپها..... ۴۸
۶-کلیدزنی و کنترل..... ۴۸
۶-۱-کنترل های دستی..... ۴۹
۶-۲-کنترل های اتوماتیک..... ۵۰
۷-ممیزی تجهیزات موجود..... ۵۲
**روشهای نوین صرفه جویی و کاهش مصرف انرژی در الکتروموتورهای صنعتی**..... ۵۷
مقدمه..... ۵۸
اقدامات مورد نیاز برای بهبود عملکرد سیستمهای الکتروموتورها..... ۶۱
روش های عملی برای افزایش بازدهی موتور..... ۶۴
دسته بندی اقدامات لازم برای بهینه سازی مصرف انرژی..... ۶۸
تکنولوژی الکترونیک قدرت و درایوهای AC..... ۶۸
قوانین افینیتی در کاربردهای پمپ و فن..... ۷۶
یک مطالعه موردی در ایران..... ۸۲
قابلیت های کنترل کننده های دور موتور مدرن..... ۸۸
منابع..... ۹۷

# فصل اول:

# ممیزی و بهینه سازی انرژی در ساختمان

## پیشگفتار

در طی دهۀ آینده، هزینۀ انرژی الکتریکی چه برای گرمایش و سرمایش، چه برای روشنائی 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 عرصۀ 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 ادامۀ 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 می‌گیرد، 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 زیربنائی ملی، آنرا بدینگونه در اختیار وا می‌گذارد.

اتلاف این انرژی الکتریکی و اصولا 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، راهنمائی و حتی راهبری در جهت جلوگیری از اتلاف انرژی می‌نمایند.

انجام پاره‌ای از این اقدامات، اگر در زمان مناسب نسبت به اِعمال آنها اقدام گردد، حتی هیچگونه هزینۀ اضافی را نیز تحمیل نخواهد نمود و جهت همه‌گیر شدن جنبش جلوگیری از اتلاف انرژی، دائما جلسات توجیهی و

سمینارهائی 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 جبههٔ 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 هرجه بیشتر مستهلک شدن منابع تولید انرژی، چندان دور نخواهد بود که نه تنها افراد، بلکه جوامع نیز درموقعیتی قرار نداشته باشند که بتوانند به میزان مورد علاقهٔ خود انرژی مصرف نمایند بلکه با هرچه فشرده‌تر شدن جوامع، حتما اهرمهای ملی و جهانی و خود محدودکننده‌ای وارد عمل خواهند گردید که ابتکار عمل در زمینهٔ تولید و مصرف انرژی را بعهده 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 سمینارهائی 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 اطلاعیه‌هائی نموده و آنها را در دسترس کلیهٔ افرادی که به نوعی با مصرف و صرفه‌جوئی انرژی ارتباط دارند قرار می‌دهند.

## ۱ ـ مقدمه

در بریتانیا، انرژی مصرفی در ابنیه غیر خانگی به رقمی درحدود ۸۰۰۰ میلیون پوند (براساس ارقام سال ۱۹۹۱ میلادی) در سال می‌رسد. انرژی، یکی از هزینه‌های عمده قابل کنترل در اغلب سازمانهاست و امکان قابل توجهی در کاهش مصرف و در نتیجه هزینه مربوطه وجود دارد. بسیاری از صرفه‌جوئی‌ها را می‌توان بدون هزینه و یا با سرمایه‌گذاری اندک کسب کرد حال آنکه صرفه‌جوئی افزونتر معمولا با سرمایه‌گذاری بیشتر قابل اکتساب است که نرخ بازگشت سرمایه مناسبی را به همراه دارد. از این رو است که سرمایه‌گذاری در خصوص بهره‌وری انرژی می‌تواند به سودآوری بیشتر منجر شود.

همچنین کاهش مصرف انرژی می‌تواند به کاهش نشر دی‌اکسیدکربن، که یکی از مهمترین عوامل گرمایش زمین است و دیگر گازهای سمی حاصل از سوخت مواد فسیلی، منجر شود. با کاهش مصرف انرژی، سازمانها می‌توانند تأثیر منفی خود را بر آلودگی محیط زیست به‌طور چشمگیری کاهش دهند.

ممیزی انرژی از جمله فعالیت‌های مؤثر هر سازمانی است که مایل به کنترل هزینه‌های انرژی و خدمات خود می‌باشد. این ممیزی مشخص می‌نماید که چگونه انرژی، خریداری، مدیریت و مصرف شود. با این هدف زمینه‌هائی را که می‌توان با بهبود روش‌های عملی، صرفه‌جویی کرد مشخص می‌گردد. گاهی از واژه «ارزیابی انرژی» نیزجهت چنین مطالعاتی استفاده می‌شود اما در حقیقت این واژه نیست که مهم است بلکه نفس مطالعه

است که باید انجام شود. اهمیت مطلب آنست که مصرف انرژی مطالعه شود و روش‌های مقرون به صرفه در کاهش مصرف انرژی اجرا گردد. در این کتابچه چگونگی انجام ممیزی انرژی در طی مراحلی چند، توصیف شده است:

## ۲ ـ وسعت ممیزی

حد و وسعت ممیزی انرژی را باید از ارزیابی اولیه امکانات بالقوه صرفه‌جوئی و درنتیجه بازگشت اقتصادی سرمایه‌گذاری لازم در زمان و منابع، تعیین نمود. در یک بنای کوچک با صورتحساب نسبتا پائین مصرف انرژی، صرف وقت و تلاش قابل توجه برای ممیزی با بازگشت سرمایه اندک مقرون به صرفه نخواهد بود. در مقابل، در ساختمانهای بزرگ ممکن است ممیزی انرژی جزء به جزء در کلیه زمینه‌های مصرف انرژی، کاملا ارزشمند باشد.

اطلاعات و مدارک موجود (آنچنانکه در بخش سوم شرح داده می‌شود) را بایستی به منظور ارزیابی مصرف انرژی و عملکرد انرژی ساختمان در مقایسه با معیارهای شناخته شده، مورد استفاده قرار داد. اغلب مؤسسات قادرند خود ارزیابی اولیه را تا این مرحله انجام دهند اما افزون بر این مرحله ممکن است نیازمند به مشاورین بیرون از مؤسسه باشند.

### ۱ ـ ۲ ـ کسب صرفه‌جوئی: تخصصهای داخلی ومشاورین

با بکارگیری مناسب کارکنان، صرف زمان و تخصصهای داخلی می‌توان حداکثر صرفه‌جوئی را بدست آورد. اگر نیروی کار داخلی وجود نداشته باشد در اینصورت می‌توان از مشاورین استفاده کرد. به منظور کاهش هزینه، می‌توان از دو شیوه پرداخت به اینگونه مشاورین استفاده نمود:

- براساس پرداخت مستقیم.
- براساس عملکرد و مطابق با صرفه‌جوئی حاصل از اعمال ممیزی انرژی.

بهرحال باید بررسی‌های ساده‌ای انجام پذیرد تا از بازدهی مالی روش انتخاب شده اطمینان حاصل شود. این موضوع باید شامل نکات زیر باشد:

- بررسی کارهای انجام شدهٔ مشاور.
- ملاقات با مهندسین مربوطه یا حداقل درخواست سابقه آنها.
- گرفتن پیشنهاد از بیش از یک مشاور.
- استفاده از عضوی از یک مؤسسه شناخته شده.

## ۱ ـ ۱ ـ ۲ ـ پرداخت مستقیم

این‌گونه قرارداد، روش سنتی در عقد قرارداد با مشاورین انرژی است که معمولاً براساس یک نرخ ثابت کل و یا گاهی براساس نرخ روزانه اجرا می‌گردد[۱]. محدودهٔ این نرخها از رقمی در حدود ۱۵۰ پوند (در هر روز) جهت یک مشاوره شخصی مستقل تا ۲۰۰ الی ۵۰۰ پوند جهت یک مشاور با صلاحیت از یک شرکت بزرگ (ارقام ۱۹۹۲ میلادی) می‌تواند تغییر نماید. نکته قابل توجه حصول اطمینان از سابقهٔ کار است. علاوه بر تعیین دقیق نرخ روزانه قرار داد، زمان اجرا و کار انجام شده بایستی دقیقاً کنترل شود. هر چند که افراد ماهر و توانا ممکن است دستمزدی حتی تا دو برابر افرادی با مهارتهای پائین‌تر داشته باشند، اما می‌توانند کار را در زمانی بسیار کوتاهتر انجام دهند.

## ۲ ـ ۱ ـ ۲ ـ پرداخت براساس عملکرد

امروزه بعضی مشاورین دریافت‌های مالی خود را براساس صرفه‌جوئی‌های بدست آمده تنظیم نموده و عقد قرارداد می‌نمایند. اینگونه دریافت‌ها معمولاً براساس درصدی از صرفه‌جوئی بدست آمده، به عنوان مثال ۵۰ درصد برای یک مدت زمان مورد توافق طرفین، به‌طور نمونه یک تا پنج سال است. اینگونه قراردادها نیز مطابق با قراردادهای پرداخت مستقیم باید دقیقاً کنترل شوند.

## ۲ ـ ۲ ـ طرح همیاری مدیریت انرژی

جهت شرکت‌هائی که در سرتاسر جهان، کمتر از ۵۰۰ نفر کارمند دارند طرح همیاری مدیریت انرژی، مشاورهٔ لازم را ارائه می‌دهد.

مراجعه کنید). بدون شک سرمایه‌گذاری در پروژه‌های مهندسی به صلاح نیست مگر اینکه بتوان انرژی و خدمات را با قیمت مـناسبی خریداری نمود.

در هر برنامه کاهش هزینه، کنترل مدیریت یک رکن اساسی است. جدا از اینکه باید صرفه‌جوئی‌های حاصل از بهبود وضعیت خریدها و پروژه‌های مـهندسی را حفظ و نظارت نمود، نظارت و پیگیری انجام امور این امکان را فراهـم می‌سازد که تلفات و زیانها را به مجرد بروز، شناسائی نمود.

## ۱ ـ ۳ ـ مصارف و هزینه‌ها

ضروریست تصویری دقیق از مصرف جاری انرژی بدست آید، بدین معنا که چه مقدار انرژی به صورت گوناگون اسـتفاده می‌شود، میزان هزینه‌های واحد هر یک و نیز مورد استفاده آن مشخص گردد. این اطلاعات را می‌توان از مـناب زیر بدست آورد:

- صورتحساب‌های سوخت، برق و آب برای حداقل یک سال.
- اطلاعات ضبط شده و یا اندازه‌گیری شده از مصرف انرژی.

### ۱ ـ ۱ ـ ۳ ـ صورتحساب‌ها

به منظور اطمـینان از وجود اطلاعات کامل باید صورتحساب‌ها رادقیقاً کنترل کرد. صورتحساب‌ها را بایستی جهت حداقل یکسـال و بهمراه ساختار و شـارژ تعرفه‌ها بدست آورد. بایستی به ارقام تخمینی توجه کرد. در صورتی که بیش از یک یا دو مورد تخمین در طول دوره ممیزی وجود داشته باشد باید از صورتحساب‌های اضافی قبلی استفاده نمود. تخمین در میانه سال ممیزی، تاثیر چندانی بر مطالعات ندارد اما در صورتی که تخمین موجود مربوطه ابتدا یا انتهای دوره باشد باید به صورت معقولی تفسیر گردد. در مورد ارقام ماهانه می‌توان از درونیابی به نحو مطلوبی‌استفاده نمود اما درخصوص ارقام فصلی، این روش غیرقابل اعـتماد است و به نتایج مطلوبی منجر نمی‌شود.

اگر اطلاعات مربوط به مصرف انرژی به عنوان بخشی از برنامه «نظارت و هدف‌یابی»(M & T) ثبت و ضبط می‌شود، صورتحساب‌ها را باید با اطلاعات نظارت شده مقایسـه نمود تا هر گونه عدم تطبیق مشخص گردد. نسبت به اطلاعات صورتحسابها، اطلاعات نظارت شده امکان مطالعه و بررسی دقیقتری را فراهم می‌سازند.

آنگاه می‌توان جدول خلاصه‌ای از مصرف و هزینه سالانه هر نوع سوخت را تهیه کرد. مصرف هر نوع انرژی را باید با استفاده از ضرایب تبدیل در پیوست یک، به واحدی مشترک( مثلا کیلووات ساعت یا گیگاژول) تبدیل کرد.

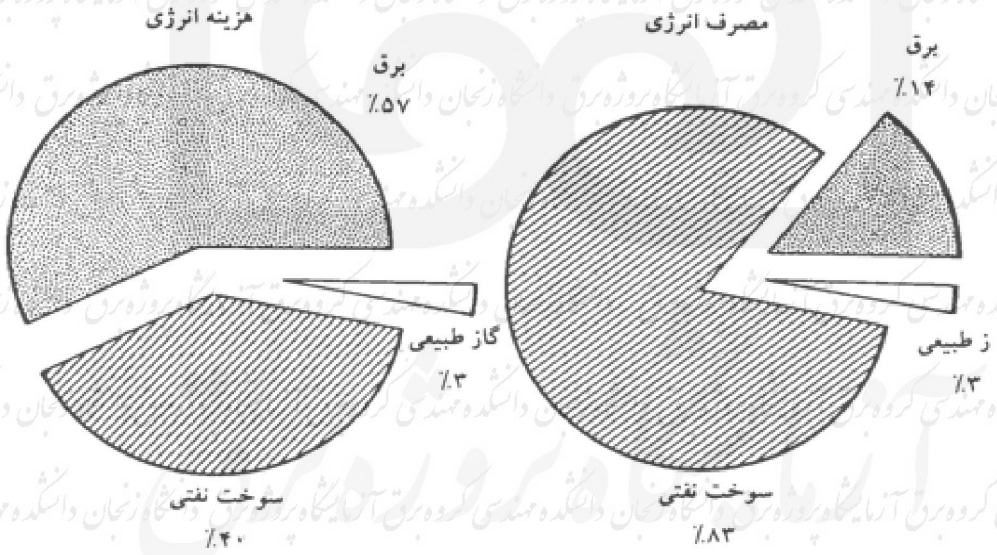
همچنین تعیین سهم نسبی هر نوع سوخت در هزینه و انرژی مصرفی‌کل می‌تواند مفید باشد.

نمونه‌ای از این کاربرد در جدول۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: جدول انرژی سالانه جهت ممیزی سال ۱۹۸۸/۹

| نوع انرژی | مقدار خریداری‌شده | مصرف | | | هزینه | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | گیگاژول | درصد | پوند | درصد | پوند بر گیگاژول |
| الکتریسیته | ۹۰۲۵۰۰ kw | ۳۳۴۹ | ۱۴ | ۳۷۴۰۰ | ۵۷ | ۱۱/۵۱ |
| گاز طبیعی | ۵۵۰۰ therms | ۵۸۰ | ۳ | ۱۸۸۰ | ۳ | ۳/۲۴ |
| مواد نفتی-کلاس G | ۴۲۰۰۰۰ lit | ۱۸۴۸۰ | ۸۳ | ۲۶۲۰۰ | ۴۰ | ۱/۴۲ |
| جمع | — | ۲۳۳۰۹ | ۱۰۰ | ۶۵۴۸۰ | ۱۰۰ | ۲/۹۴* |

نمودارهای شبیه آنچه که در شکل ۱ نشان داده شده است نیز می‌تواند جهت نمایش سهم مصرف و هزینه هر نوع سوخت بکار رود. توجه کنید که هزینه‌های متفاوت سوختهای مصرفی بدان معناست که دو نمودار نشان داده شده کاملا با هم متفاوت هستند یعنی پرمصرف‌ترین سوخت لزوما پرهزینه‌ترین آنها نیست. این موضوع را جهت تعیین حق تقدم‌ها باید در ممیزی مورد توجه قرار داد.




شکل ۱ : نمودار مصرف و هزینه سالانه انرژی

در شرایطی که اطلاعات مربوط به سالهای گذشته وجود داشته باشد، باید مقایسه‌ای را با اطلاعات سال ممیزی انجام داد تا هرگونه تغییر در مصرف را تعیین نماید. اگر این تغییر مشاهده شد، بایستی توجیه کافی را پیدا کرد. تغییرات از یکسال تا سال دیگر ممکن است به علت شرایط مختلف آب و هوایی باشد. در صورتی که این وضعیت وجود داشته باشد، بایستی مصرف سالانه انرژی جهت گرمایش فضا را با استفاده از روز - درجه (بخش ششم) تصحیح کرد. دیگر تغییرات ممکن است به علت نحوه سکونت و استفاده از ساختمانها، به علت بازده پائین تأسیسات و یا مثلا عدم تنظیم دقیق کنترل‌کننده‌ها باشد.

اگر ارقام ماهانه مصارف وجود داشته باشد، می‌توان نمودارهائی شبیه شکل ۲ جهت مصرف گاز و برق رسم کرد. اطلاعات براساس ماه تقویمی ترجیح دارد چرا که اطلاعات براساس دوره‌های چهار یا پنج هفته ممکن است گمراه کننده باشد. تفاوتهای یک یا دو روزه بین ماهها را می‌توان چشم‌پوشی کرد حال آنکه اختلاف‌های بیشتر را می‌توان با استفاده از درونیابی ساده و یا درجه‌بندی مورد توجه قرار داد.

شکل ۲ : نمودار ستونی مصرف ماهانه انرژی

اکنون نمودارهای رسم شده را باید جهت بررسی الگوهای مختلف مصرف به صورت زیر بررسی کرد:

- یک الگوی دوره‌ای یا فصلی می‌تواند نشـانگر بارهای عمده فصلی نظیر بار مورد نیاز برای گرمایش فضا باشد.
- اگر الگو بطورکلی افزایشی یا کاهشی باشد، نشانگر تغییرات در مصرف یا بازده است. اینگونه الگوها می‌تواند نمایشگر تغییرات در روش بـهره‌برداری باشد.
- عدم وجود یک الگوی واضح و مشخص ممکن است عدم وجود کنترل را نشان دهد.

---

[1] Boiler ____

## ۲ ـ ۱ ـ ۳ ـ انرژی ورودی سالانه و شاخص‌های عملکرد

کل مصرف سالانه انرژی در یک ساختمان را می‌توان جهت محاسبه شاخص نرمال شده عملکرد مورد استفاده قرار داد. این شاخص در حقیقت یک رقم است که نشان می‌دهد مصرف سالانه انرژی چه مقدار است به‌گونه‌ای که بتوان آن را با معیارهای استاندارد و مصارف در سایر ساختمانها مقایسه نمود و امکان بالقوه در بهبود و صرفه‌جوئی را تعیین کرد. باید ابتدا مصرف سالانه انـرژی را بـا توجه به عواملی از قبیل آب و هوا، ساعت و زمان مورد استفاده تصحیح کرد و سپس آن را بر یک عامل نرمالیزاسیون نظیر سطح زیرینا تقسیم نمود.

گام بعد در ممیزی انرژی، کسب اطلاعاتی است که نشان می‌دهد انرژی چگونه در ساختمان مصرف می‌شود. در این مرحله ممکن است اطلاعات مورد نیاز جهت ارزیابی کافی نباشد. باید جدولی را شبیه جدول ۲ از مصرف کننده‌های نهائی تشکیل داد.

جدول ۲: تعیین مصرف‌کنندگان نهایی

| مصرف انرژی | منبع انرژی | | |
|---|---|---|---|
| | برق | گاز | مواد نفتی |
| گرمایش فضا | خیر | بله | بله |
| آب گرم‌مصرفی | فقط تابستان | فقط زمستان | خیر |
| تهویه هوا | بله | خیر | خیر |
| روشنایی | بله | خیر | خیر |
| توان کم | بله | خیر | خیر |

تخمین اولیه درخصوص انرژی مصرفی مورد نیاز جهت گرمایش فضا و آب گرم را می‌توان با توجه به بررسی بار مصرفی پایه (بخش ششم) بدست آورد. تجزیه و تحلیل ریز مصارف دیگر مشکل‌تر بوده و ممکن است در این مرحله مورد نیاز نباشد. جهت هر نوع مصرف‌کننده نهائی، براساس ظرفیت بار نصب شده، ساعات بهره‌برداری و ضریب بکارگیری ، می‌توان تخمینی را بدست آورد.

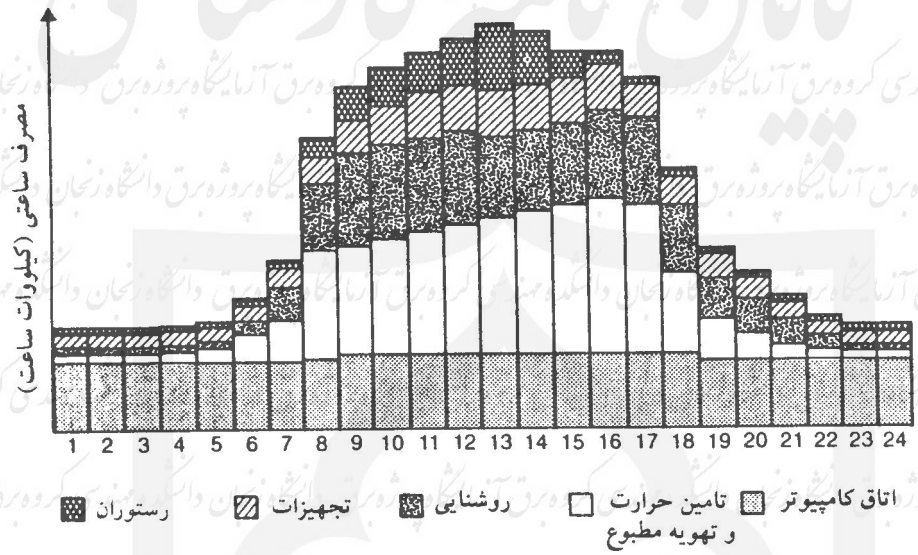
برای هر مصرف‌کننده، مقدار مصرف را بایستی با ضرب در قیمـت هـر واحـد سوخت به رقم هزینه تبدیل کرد. این موضوع، امـکان ارزیابی مصرف کل ساختمان را فراهـم می‌سازد.

## ۳ ـ ۱ ـ ۳ ـ اندازه‌گیری و بررسی دقیقتر

اطلاعات جزئی‌تر از مصرف را می‌توان به چند روش بدست آورد:

- ثبت نمودار مصرف.
- اندازه‌گیری موارد تعیین شده.

معمولاً از نمودار مصرف انرژی می‌توان مطالب بسیاری را آموخت. درخصوص روش دوم، می‌توان ابتدا اندازه‌گیرها را به طور دستی خواند اما استفاده از ابزار دقیق، جمع‌آوری اطلاعات را آسانتر می‌سازد. تقاضای مصرف الکتریکی را می‌توان با استفاده از اندازه‌گیرها نصب‌شده، تعیین کرد که این به خوبی می‌تواند حد صرفه‌جوئی را از طریق کنترل حداکثر تقاضا روشن نماید. نتایج اندازه‌گیریهای آب و گازی که بدون خروجی‌های پالس‌دار هستند را می‌توان به طور اتوماتیک با استفاده از واسطه‌های نوری[1] خواند. انتقال اطلاعات به یک کامپیوتر شخصی و استفاده از نرم‌افزارهای مخصوص، مطالعات و بررسی‌ها را تسهیل می‌بخشد.




شکل ۳: مثالی از مصرف انرژی الکتریکی در یک اداره با تهویه مطبوع و اتاق کامپیوتر

## ۲ ـ ۳ ـ اولویتها در ممیزی انرژی

با توجه به ارزیابی عملکرد جاری، اولویتها در ممیزی انرژی را می‌توان تعیین کرد. معمولاً انرژی با حداکثر هزینه را باید اولویت داد. با توجه به معیارهای استاندارد نیز بایستی امکانات بالقوه صرفه‌جوئی را مشخص کرد. ممکن است اولویت را به زمینه‌هائی داد که صرفه‌جوئی با حداقل هزینه و تلاش عملی شود.

در حالیکه ممیزی بایستی هدف خود را بر تعیین روش‌های صرفه‌جوئی که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است، استوار نماید، نباید بیش از آنچه با توجه به صرفه‌جوئی احتمالی توجیه‌پذیر است، وارد جزئیات شود. همیشه بایستی هزینه ممیزی را در ارتباط با صورتحساب‌های انرژی و حدود بالقوه کاهش هزینه‌های انرژی، مورد توجه قرار داد.

## ٤ ـ سازماندهی مدیریت انرژی

ممیزی انرژی معمولاً شامل بررسی راههائی است که توسط آن، مصرف انرژی مدیریت می‌شود. درحالی‌که مصرف انرژی را می‌توان با تمهیدات فنی کاهش داد، جهت اجتناب از تلفات غیرضروری، بایستی اطمینان حاصل کرد که انرژی به عنوان یک منبع ارزشمند، مدیریت کافی می‌شود. از این رو، ممیزی بایستی مروری بر روشهای مدیریتی که در خصوص کنترل خرید و مصرف انرژی اعمال می‌شود، داشته باشد.

لازمه مدیریت مؤثر انرژی، تعهد مدیریت در تمام سطوح، منجمله مدیریت سطح بالای سازمان است. به منظور نشان دادن این تعهد، سازمانها باید الحاق به مؤسسه بهره‌وری انرژی (EEO) را جهت سازماندهی یک برنامه گروهی مشترک مدنظر قرار دهند. هدف این برنامه آن است تا مدیران شرکتها را ترغیب نماید تا موضوع بهره‌وری انرژی را به صورتی منظم در دستور کار جلسات خود قرار دهند. این برنامه از مدیران می‌خواهد که پنج سؤال اساسی را مورد توجه قرار دهند:

- چگونه هزینه‌های انرژی بر سودآوری شما تأثیر می‌گذارد؟
- سازمان شما تا چه اندازه، پویا و شکوفا است؟
- خط‌مشی شما درخصوص مسئله انرژی، تا چه اندازه جامع است؟
- ساختار مدیریت انرژی شما چیست؟
- شما چه منابعی را تخصیص داده‌اید؟

اگر سازمانی حتی پیوستن به برنامه مؤسسه را مورد توجه قرار ندهد، این سؤالات برای آنها مفید است. به عنوان بخشی از مرور بر روشهای مدیریت انرژی، پاسخ به سؤالات فوق را بایستی مورد ارزیابی قرارداد.

### ١ ـ ٤ ـ ماتریس مدیریت انرژی

ابزاری را که می‌توان جهت ارزیابی مدیریت انرژی به‌کاربرد به ماتریس مدیریت انرژی موسوم است که در شکل ٤ نشان داده شده است.

این ماتریس دارای شش ستون است که هر یک اشاره به شاخه‌ای از قسمتهای مربوط به مدیریت انرژی می‌نماید. ردیفهای ماتریس، سطوح مختلف عملکرد را در مورد هر یک از ستونها بیان می‌نماید. به عنوان بخشی

از ممیزی انرژی، عملکرد سازمان بایستی ارزیابی گردد و نشانه‌ای بـر هـر یک از ستونهای ماتریس زده شود. سپس، نقاط بدست آمده را مـی‌توان بهم متصل‌کرد تا یک الگوی کلی بدست آید. این الگو نـمایش مـی‌دهد که چه زمینه‌هائی از مدیریت انرژی را باید بهبود بخشید. هـدف باید ایـن باشد کـه در هر یک از ستونها به سمت عملکرد بالاتری حرکت کرد به گونه‌ای که مدیریت کلی بهبود یابد.

| رده | خط‌مشی انرژی | سازماندهی | انگیزه | سیستم‌های اطلاعاتی | آگاه‌سازی | سرمایه‌گذاری |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۴ | خط مشی انرژی، برنامه اجرائی و مرور منظم، تعهد مدیران سطح بالا را به عنوان بخشی از استراتژی زیست محیطی بهمراه دارد. | مدیریت انرژی به طور کامل در ساختار مدیریتی ادغام شده است. اختـیارات لازم در خصوص مصرف انرژی وجود دارد. | کانالهای رسمی و غیررسمی منظم ارتباطی توسط مدیر انرژی و کارمندان بخش انرژی در تمام سطوح استفاده می‌شود. | یک سیستم جامع اهداف را تنظیم می‌کند، بر مصرف نظارت مـی‌کند، خطاها را مشخص مـی‌کند، صـرفه‌جوئی‌ها را مشخص می‌کند و بر مسائل بودجه نظارت می‌کند. | ارزش بـهره‌وری انـرژی و عملکرد مدیریت انرژی درون و بیرون سازمان تبلیغ می‌شود. | تبعیض و تفاوت مثبت به نفع طرحهای کارساز با ارزیابی مفصل سرمایه‌گذاری جهت تمام پروژه‌های ساختمانی جدید و مدرن‌سازی ابنیه قدیم وجود دارد. |
| ۳ | خط مشی رسمی انرژی وجود دارد اما تعهد محکمی از طرف مدیران سطح بالا وجود ندارد. | مدیر انرژی مسئول کمیته انرژی است که مشکل از نمایندگان تمام مصرف‌کننده‌ها است و توسط یکی از اعضاء هیئت مدیره، ریاست می‌شود. | کـمیته انرژی به عنوان کانال اصلی و به صورت ارتباط مستقیم با مصرف‌کننده‌های عمده عمل می‌کند. | براساس اندازه‌گیریها، گزارشهای MAT جـهت کـلیه مصرف‌کننده‌ها وجود دارد، اما صرفه‌جوئی‌ها به آنها گزارش نمی‌شود. | بـرنامه آگـاهی کـارمندان و تبلیغات عمومی وجود دارد. | از معیار بازگشت پول و سرمایه شبه سایر سرمایه‌گذاریها استفاده می‌شود. |
| ۲ | خط مشی انرژی توسط مدیر انرژی و یا مدیر سطح بالای بخش تعیین می‌شود. | مدیر انرژی به کمیته موردی گزارش می‌دهد، اما مدیریت مسئله مراتبی و اختیارات واضح نیست. | از طریق کمیته موردی که توسط یکی از مدیران سطح بالای بخشها ریاست می‌شود، ارتباط بـا مـصرف‌کننده‌های اصلی برقرار است. | نظارت و هدف‌یابی براساس اطلاعات کنتورها تنظیم می‌شود. انرژی به صورت موردی در تنظیم بودجه موثر است. | آموزش موردی جهت بعضی کارمندان وجود دارد. | سرمایه‌گذاری فقط با معیار بازگشت کوتاه مدت سرمایه و پول، سنجیده می‌شود. |
| ۱ | مجموعه‌ای از معیارهای نوشته نشده وجود دارد. | مدیر انرژی مسئولیت پاره‌وقت دارد و اختیارات و قدرت نفوذ او محدود است. | تـماس‌های غـیررسمی بین مهندسین و چند مصرف‌کننده وجود دارد. | گزارش هزینه براساس اطلاعات صورتحساب‌ها است. مهندس بخش فنی، اطلاعات را جهت مـصرف داخـلی، ارزیـابی می‌نماید. | تماسهای غیررسمی به منظور ایـجاد انگـیزه در خـصوص بـهره‌وری انـرژی اسـتفاده می‌شود. | تنها معیار هزینه پائین اسـتفاده می‌شود. |
| ۰ | هیچ خط مشی مشخصی وجود ندارد. | مدیر انرژی یا هیچ مقام مسئولی درخـصوص مـصرف انـرژی وجود ندارد | هیچ تماسی با مصرف‌کننده‌ها برقرار نیست. | هـیچ سـیستم اطـلاعاتی و حسابرسی درخصوص مصرف انرژی وجود ندارد. | هیچ برنامه تبلیغی در خصوص بهره‌وری انرژی وجود ندارد. | هیچ سرمایه‌گذاری جهت افزایش بهره‌وری انرژی انجام نمی‌شود. |

شکل ٤: ماتریس مدیریت انرژی

### ۱ ـ ۱ ـ ٤ ـ فهرست بررسی‌های لازم

- مروری بر خط‌مشی و برنامه اجرائی انرژی سازمان (در صورت وجود داشتن) و پیشنهاد به ایجاد (در صورت عدم وجود).
- ارزیابی تعداد کارمندان تمام وقت کـه قـابل اخـتصاص به مـسئله مدیریت انرژی هستند و مقایسه آنها بـا سـطوح پیشنهادی از طـرف مـؤسسه بهره‌وری انرژی:

ـ یک عضو به ازاء یک تا سه میلیون پوند هزینه (جهت هزینه کمتر از یک میلیون پوند، یک عضو را می‌توان مسئولیت نیمه وقت بخشید).

- یک عضو به ازاء هر دو میلیون پوند اضافی (تا یازده میلیون پوند).
- یک عضو به ازاء هر چهار میلیون پوند اضافی (بالاتر از یازده میلیون پوند).

- بررسی اینکه آیا افراد مسئول در موضوع بهره‌وری انرژی اختیارات لازم اجرائی را مستقیما یا از طریق سلسله مراتب دارند یا خیر.
- تعیین نقاط عمده هزینه که هزینه‌های بهره‌برداری و مصرف انرژی در آنها اتفاق می‌افتد.
- بررسی اینکه چگونه مصرف انرژی، نظارت و پیگیری شده و به مدیریت گزارش می‌شود.
- مرور بر معیارهایی‌که بر سرمایه‌گذاری مربوط بهره‌وری انرژی اعمال می‌شود.
- بررسی اینکه آیا اطلاعات مربوط به صرفه‌جویی‌های کسب شده به مدیریت منتقل می‌شود یا خیر.

## ۲ ـ ٤ ـ تعمیر و نگهداری

تعمیر و نگهداری امکانات و سرویسهای خدماتی ساختمان زمینه مهمی در مدیریت خوب انرژی است. به منظور اجتناب از تأثیر منفی بر عملکرد، تأسیسات را بایستی براساس طرح مشخصی نگهداری کرد. اینکار باید توسط مهندسین با تجزیه صورت پذیرد و نتایج کار بایستی به صورت مناسبی ثبت و نگهداری شود.

### ۱ ـ ۲ ـ ٤ ـ فهرست بررسی‌های لازم

- مرور منظم بر برنامه تعمیرات و بررسی کفایت آنها.
- اطمینان از اینکه برنامه تعمیرات شامل تشخیص و رفع عیوب در قسمت‌های مختلف است.
- بررسی نتایج کار مهندسین تعمیرات و اطمینان از اینکه برنامه‌ها به‌طورکامل اجرا شده است.
- بررسی اینکه کارمندان بخش تعمیرات تجربه کافی داشته باشند.

## ۳ ـ ٤ ـ نظارت و هدف‌یابی[1] (M & T)

یکی از بخشهای ضروری سیستم مدیریت انرژی، نظارت، پیگیری و تعیین هدف درخصوص مصرف انرژی است که به M & T مرسوم است. M & T یک روش منظم مدیریت انرژی است که توسط آن استفاده بهینه از

منابع انرژی مورد اطمینان قرارمی‌گیرد و بر صرفه‌جوئی‌های حاصله از اعمال روش‌های بهبود یافته خرید و سرمایه‌گذاریهائی که جهت کسب صرفه‌جوئی انجام شده است، نظارت می‌نماید. در ساده‌ترین صورت ممکنه، نظارت شامل اندازه‌گیری و ثبت پیوسته و منظم مصرف انرژی در کل سازمان است. اصول M & T در شکل ۵نشان داده شده است.

این اطلاعات را می‌توان به صورت مختلف بدست آورد. به عنوان مثال از صورتحساب‌های سوخت که ممکن است به تعدیلهایی با توجه به متفاوت بودن تاریخهای قرائت نیاز داشته باشد و یا از اندازه‌گیری می‌توان استفاده کرد.

شکل ۵: اصول نظارت و هدف‌یابی(M & T)

باید به این نکته مهم توجه کرد که فرآیند نظارت بر مصرف انرژی با سایر فرآیندهای نظارتی شرکت از قبیل عملکرد مالی یا تولید مرتبط بوده و باید بتوان آن را با سایر عملکردها، به‌طور معقولی ارتباط داد.

## ۱ ـ ۳ ـ ٤ ـ ارتباط با عوامل داخلی و خارجی

زمانی که مصرف انرژی یک ماه با ماه دیگری مقایسه می‌شود، بایستی تأثیر فصل را به حساب آورد به عنوان مثال در زمستان، گرمایش فضا سهم عمده‌ای از مصرف شامل می‌گردد حال آنکه در فصل تابستان، تعطیلی باعث کاهش مصرف می‌گردد. به منظور ارزیابی صحیح، این عوامل خارجی را باید در نظر گرفت.

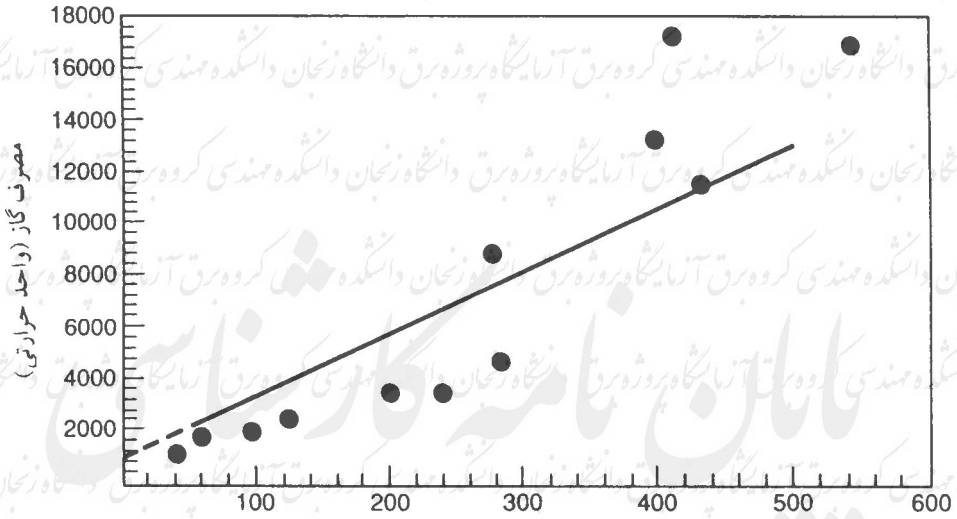
## ۲ ـ ۳ ـ ٤ ـ روز ـ درجه[1]

روز – درجه معیاری است که جهت مقایسه و ارتباط انرژی مصرفی با دمـای بیرون استفاده می‌شود.

روز – درجه عـبارت از مـقدار درجـه‌ای است که دمـای متوسط بیرونی در طول ٢٤ ساعت هر روز، از دمای پایه ۱۵/۵ درجه سـانتیگراد کمتر است. بدنبال، در هر ماه، نموداری از انرژی مصرفی برحسب روز – درجه رسم می‌شود که نشان دهنده ارتباط انرژی مصرفی با دمای بیرون است و عموماً نزدیک به یک خط مستقیم است.

با استفاده از روش‌های استاندارد آماری و یا تقریبی با بهترین برازش ممکن، خط مـستقیمی از نقاط موجود گذرانده می‌شود. مصرف انرژی یک ساختمان در یک کارخانه نمونه در شکل ٦ نشان داده شده است. نقطه تقاطع خط با محور عمودی نشان‌دهنده انرژی مصرفی مورد نیاز جهت تلفات یا اهداف‌گرمایشی غیر مربوط به فضا است. پراکندگی نقاط نسبت به خط مستقیم، نشان‌دهنده وضـعیت کنترل ساختمان است. پراکندگی زیاد، نشان‌دهنده کنترل ضعیف یا انرژی مصرفی بسیار متغیر موردنیاز سایر اهداف است.

[1] Degree Days




شکل٦: مصرف سوخت براساس روز - درجه (نمونه‌ای از ارتباط ضعیف بین مصرف روز ـ درجه )

## ۳ ـ ۳ ـ ٤ ـ تثبیت اهداف

زمانی که یک سیستم نظارتی قابل اعتماد بوجود آمد، کلید اساسی آن است که اهدافی تحقق‌پذیر جهت کاهش مصرف در طی زمان و دوره مشخصی انتخاب شوند. زمینه‌های اصلاح هدف را می‌توان از طریق اجرای اندازه‌گیری در ممیزی انرژی و تبدیل آنها به کمیت، تعیین و هدف را مشخص نمود. اجتناب از اهداف غیرممکن یا اهدافی که بسیار ساده بدست می‌آیند حائز اهمیت می‌باشد زیرا می‌تواند نتایج غیرمطلوبی به همراه داشته باشد. هدف باید عالی اما قابل کسب باشد.

## ٤ ـ ۳ ـ ٤ ـ سیستم‌های کامپیوتری نظارت و هدف‌یابی

شرکت‌های بسیاری احساس می‌کنند که نیروی انسانی کافی و هزینه لازم برای راه‌اندازی یک سیستم مدیریت انرژی را نمی‌توانند مصرف دارند. با وجود این، تلاش در این راه نتایج مفیدی را ببار می‌آورد. این نتایج شامل مدیریت بهتر بعلاوه کنترل و نظارت بر تغییرات دیگر است. از نقطه‌نظر صرفه‌جوئی در مصرف انرژی، ممکن است حدود ۵ درصد با کاهش هزینه مواجه شویم هر چند که صرفه‌جوئی تا حدود ۲۵ درصد هم در بعضی شرایط کسب شده است. نظارت بر مصرف انرژی، کلید کاهش اینگونه هزینه‌هاست و در بسیاری از سازمانها، جزء اصلی هزینه‌های قابل کنترل است. صرفه‌جوئی در این حوزه تأثیر مستقیم بر سودآوری شرکت دارد.

مناسب‌ترین نوع سیستم نظارتی بستگی به اندازه و پیچیدگی سازمان دارد. با توجه به وجود نرم‌افزارهای کامپیوتری که امروزه بسیار رایج است، پیشنهاد می‌شود که حتی ساده‌ترین اطلاعات نظارتی و اندازه‌گیری شده را وارد کامپیوتر کرد به نحوی که بتوان اطلاعات راسریعًا مورد بررسی قرار داد و نمودارهای خروجی را رسم کرد. این خروجی‌ها می‌تواند براساس صورتحساب‌های ماهانه یا هر سه مـاه باشد. ثبت مصرف و همچنین هزینه‌ها حائز اهمیت می‌باشد.

برای سازمانهائی که شعبات گوناگون و یا فرآیندهای مختلف تولید دارند، پیشنهاد می‌شود که از یک نرم‌افزار تجارتی M & T اسـتفاده شـود. امـروزه این نرم‌افزارها به صورت مدلهای استاندارد وجود دارند. در سازمانهائی که شعبات، ساختمانها و فرآیندهای متعددی دارند باید از نرم‌افزارهائی که صرفا جـهت آنها تهیه می‌شود، استفاده نمود.

زمانی‌که اطلاعات نظارتی تکمیل گردید، بایستی اهداف را جهت مصرف آینده انرژی تعیین نمود. اهداف، بستگی به الگوی مصرف انرژی و بهره‌برداری سازمان دارد. اگر مصرف انرژی بدون افزایش قابل مقایسه‌ای در خروجی یا تأمین امکانات، در حال افزایش است، هدف سال اول و برنامه‌ریزی می‌تواند محدود به صفرکردن افزایش مصرف انرژی باشد.

## ۵ ـ تأمین منابع انرژی

به منظور تعیین بهترین خط مشی در تأمین منابع انرژی مورد نیاز، بایستی ترتیبات لازم در خصوص تأمین منابع انرژی به صورت انفرادی و یا گروهی را مورد بررسی و مطالعه قرار داد.

### برق

بازار مربوط به انرژی الکتریکی با توجه به امکان انتخاب محدوده‌ای از تعرفه‌های ثابتی که جهت مصرف‌کنندگان زیر یک مگاوات وجود دارد، پیچیده‌تر شده است، مصرف‌کنندگان قراردادی (بزرگتر از یک مگاوات) قادرند شرایط را با شرکت برق منطقه‌ای یا عرضه‌کنندگان دیگر مورد مذاکره قرار دهند. قراردادها می‌تواند بر اساس نرخ ثابت به ازاء هر کیلووات ساعت باشد یا بر این اساس باشد که نرخ در طول روز و برحسب عرضه و تقاضا تغییر نماید. در این شرایط، مهارت در مذاکره و هوشمندی دو رکن اساسی است و شرکت‌ها باید پیوسته مراقب وضعیت باشند.

شرایط پیچیده‌تر خواهد شد اگر به منظور محدود کردن شارژ مربوط به حداکثر تقاضا[1]، هزینه مربوط به ضریب توان[2] و جریمه‌های دیگری که ممکن است با توجه به تعرفه اعمال شوند، نیاز به انتخاب مناسبترین تعرفه پیش آید.

باید تذکر داد که سقف امتیاز در تأمین انرژی الکتریکی در آوریل سال ۱۹۹٤ میلادی به ۱۰۰ کیلووات کاهش پیدا کرده است. به این صورت، کارخانجات با اندازه متوسط که حداکثر تقاضای آنها بین ۱۰۰ کیلووات و یک مگاوات است قادرند که درخصوص تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز خود، علاوه بر شرکت‌های منطقه‌ای برق با عرضه‌کنندگان دیگر وارد مذاکره شوند. در آوریل سال ۱۹۹۸ میلادی، سقف امتیاز به کلی برچیده می‌شود که در این صورت، مصرف‌کنندگان برق حق انتخاب مناسب‌ترین تعرفه را از میان عرضه‌کنندگان خواهند داشت.

- ارزیابی تعرفه برق

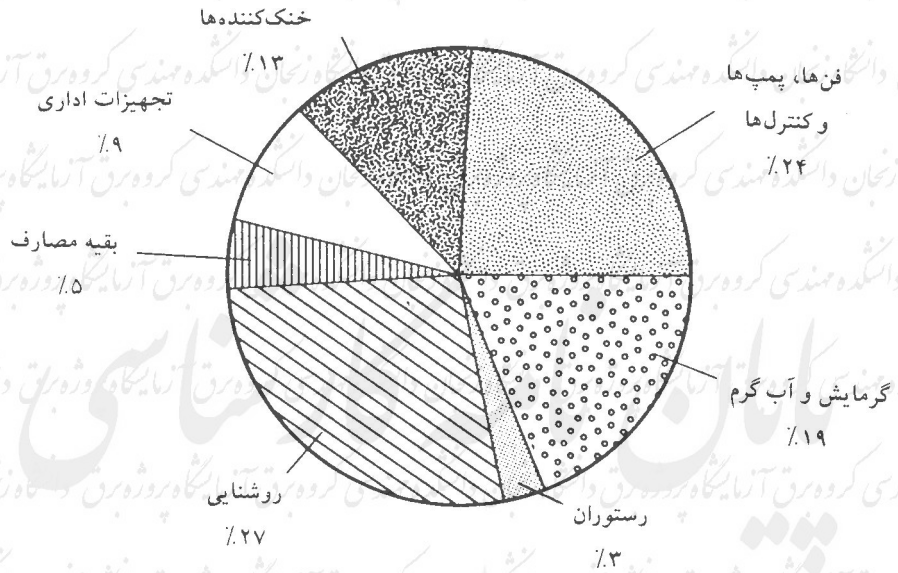
جهت حصول اطمینان از کمینه بودن هزینه‌ها، ظرفیت منبع تأمین، حداکثر تقاضا و در صورت نیاز ضریب

توان را باید مورد بررسی قرار داد. بایستی مناسب‌ترین ساختار تعرفه با توجه به الگوی بهره‌برداری برگزیده شود. انتخاب، می‌تواند براساس نوخ یکنواخت و نرخهای شب یا روز یا براساس تعرفه فصل وقت روز[۳] (STOD)باشد، که در این صورت شارژی به حداکثر تقاضا تعلق نمی‌گیرد اما هزینه بر واحد(مثلاً کیلووات ساعت) به‌طور فصلی و براساس وقت روز تغییر می‌نماید. به عنوان مثال روش تعرفه با نرخ متفاوت شب و روز می‌تواند برای کارخانه‌ای که۲٤ ساعت کار می‌کند، مناسبترین باشد حال آنکه روش STOD جهت محلهائی که تنها یک شیفت کاری دارند و می‌توان در ساعات هزینه بالای زمستان (ساعت ١٦ الی ١٩ بعد از ظهر) کار را محدود کرد، بهترین انتخاب است. باید الگوی مصرف را بررسی کرد و روش‌های گوناگون تعرفه را مورد ارزیابی قرار داد تا انتخاب بهینه، ممکن شود. اطلاعات اضافی درخصوص ارزیابی تعرفه برق را می‌توان در کتابچه‌ای تحت عنوان «استفاده اقتصادی از الکتریسیته در ساختمانها» یافت.

## ٦ ـ بهبود بافت ساختمان و خدمات مربوطه

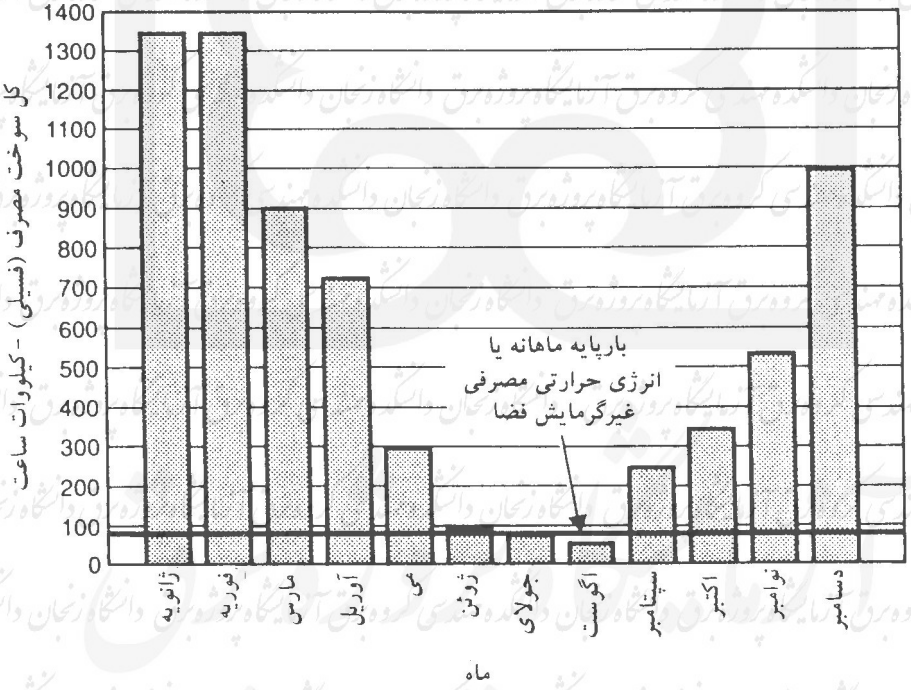
بخش اصلی در یک ممیزی انرژی، تشخیص زمینه‌هائی است که با بهبود بافت و سرویسهای یک ساختمان، مصرف انرژی آنها کاهش می‌یابد. این بخش مروری بر زمینه‌های ممکن می‌افکند. با وجود این، از آنجائی‌که ساختمانها با هم متفاوت هستند، زمینه‌ها نیز ممکن است متفاوت باشند و بسته به شرایط ممکن است موقعیتهای دیگری علاوه بر موارد ذکر شده در اینجا نیز وجود داشته باشند.

تجزیه و تحلیل مصرف انرژی، آنطوو که در بخش سوم ذکر شد، پرهزینه‌ترین سوختها را تعیین می‌نماید. لیکن بدون انجام بررسی دقیقتر، مقدار انرژی مصرف شده توسط هر یک از مصرف کننده‌ها مشخص نخواهد شد. اگر بتوان تخمینی از هزینه انرژی برای انواع مصارف را داشت، تعیین اولویتها در ارزیابی انرژی ساختمان آسانتر خواهد بود. نمونه‌ای از هزینه مقایسه‌ای مصرف انرژی در یک ساختمان اداری با تهویه مطبوع در شکل ۷ نشان داده شده است.




شکل ۷: هزینه مقایسه‌ای مصرف انرژی در یک ساختمان نمونه اداری با تهویه مطبوع

مصرف انرژی جهت گرمایش فضا را به روشهای مختلف می‌توان ارزیابی کرد. در بسیاری از حالات، می‌توان سوخت مصرفی جهت گرمایش را طی ۱۲ ماه گذشته تعیین و نموداری ستونی شبیه شکل ۸ رسم کرد. مصرف طی ماههای تابستان که سیستم گرمایش معمولاً خاموش است، مصرف بار پایه را که به آب و هوا بستگی ندارد، تعیین می‌نماید. این بار، مصرف جهت آب گرم را تعیین می‌نماید حال آنکه باقیمانده، مربوط به بار ناشی از گرمایش فضا است.




شکل ۸: نمودار جهت تعیین بار پایه

## ۱ ـ ٦ ـ تخلیه و تهویه هوا

سیستم‌های تهویه هوا، انرژی قابل توجهی را مصرف می‌نمایند. این سیستم‌ها در ساختمان‌هایی که دارای تجهیزات پیشرفته، بهرهٔ بزرگ انرژی خورشیدی و بهرهٔ گرمائی ناشی از ساکنین، تجهیزات انفورماتیکی و دیگر وسائل الکتریکی می‌باشند، رایج شده است. با طراحی دقیق ساختمان و سرویسهای آن، تهویه کامل ساختمان ضرورت نخواهد داشت و فقط تهویه جزئی فضاهائی‌که دارای بهرهٔ حرارتی بالائی هستند، آلترناتیو موثری محسوب می‌گردد.

باید توجه کرد که در اغلب ساختمانهائی که تهویه مطبوع دارند، انرژی بیشتر توسط فن‌ها استفاده مـی‌شود تا در سیستم سـرمایشی. در عین اینکه سیستم سرمایشی باید با بهترین بازده ممکن کار کند، با کاهش انرژی مصرفی فن‌ها می‌توان بیشترین صرفه‌جوئی را کسب کرد. از این رو توجه خاص را بایستی به ساعات استفاده از سیستم معطوف کرد.

اعمال کـنترل بر سیستم‌های تهویه هوا عموماً پیچیده‌تر از اعمال آن بر سیستم‌های گرمایش فضا است. از این رو بایستی عملکرد سیستم را دقیقاً مـورد بررسی قرار داد تا اطمینان حاصل شود که ساختمان، تنها زمانی خنک می‌شود که نیاز است و ضمناً حجم هوای در گردش، بیشتر از حد نیاز نیست.

نقاط تنظیم کنترل‌کننده‌ها را می‌توان با ثبت دما در طی ٢٤ ساعت بررسی کرد. این کار را می‌توان توسط ثبّات‌ها یا یک سیستم مدیریت انرژی ساختمان (BEMS) انجام داد. البته باید مطمئن شـد که این سیستم خود به‌طور صحیح کالیبره شده باشد.

گاهی به علت خطای سیستم‌های کنترلی، گرمایش و سرمایش تواماً انجام می‌پذیرد که در این صورت، صوتحساب سوخت به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد. افرادی که در ساختمان مستفرند ممکن است اصلاً متوجه موضوع نشوند. از این رو بابد سیستم را به گونه‌ای تعمیر ونگهداری کرد تا از عدم وقوع چنین خطاهائی

اطمینان حاصل شود.

## ۱ ـ ۱ ـ ٦ ـ فهرست بررسی‌های لازم

- نصب کنترل‌کننده‌های بهینه‌ساز
- کاهش حتی‌المقدور هوای مورد نیاز با اطمینان از حفظ حداقل هوای تازه ضروری.
- تنظیم ترموستات هوای اتاق به ٢٤ درجه سانتیگراد یا بیشتر.
- اطمینان از عدم کارکرد سیستم در ساعاتی بیشتر از حد مورد نیاز.
- بررسی اینکه آیا قسمتهائی از ساختمان را می‌توان بدون تهویه یا تخلیه مکانیکی هوا در تمام یا بخشی از سال استفاده نمود.
- اطمینان از اینکه سیستم گرمایشی و سرمایشی بطور همزمان کار نکنند.
- اطمینان از اینکه زمانی که سرمایش مورد نیاز است و هوای بیرون سردتر از هوای داخل است، سیستم تمامی هوای مورد نیاز را از بیرون می‌گیرد.
- اطمینان از اینکه در زمانیکه گرمایش مورد نیاز باشد، سهم هوای در گردش، با توجه به حفظ حداقل هوای تازه مورد نیاز، حتی‌المقدور بالا باشد.
- نصب محرکه‌های دور متغیر برروی سیستم‌های مبرد، پمپها و فن‌ها.
- نصب مجرای فرعی مدار آب سرد در اطراف تاسیسات تبرید به منظور استفاده از سرمایش آزاد، در مواقعی که دمای بیرون پائین باشد.
- اطمینان از تعمیر و نگهداری منظم و تنظیف فیلترهای مربوط به برجهای خنک کننده[1] و کانالها به عنوان بخشی از سرویس و نگهداری ادواری.
- بررسی منظم نقاط تنظیم کنترل‌کننده‌ها و بهره‌برداری از سیستم با توجه به نیاز ساکنین.

---

[1] Cooling Tower

## ۲ ـ ٦ ـ تجهیزات رستوران

با توجه به اینکه در بوفه یا رستوران مصرف قابل توجه انرژی صورت می‌پذیرد، اغلب مقرون به صرفه است که کنتور مستقل برای آنها نصب شود. معمولاً به این دلیل انرژی در آشپزخانه‌ها هدر می‌رود که هیچ کس احساس مسئولیت در خاموش کردن وسیله بعد از استفاده از آن نمی‌کند. باید افراد را تشویق کرد که امور رستوران را به نحوی برنامه‌ریزی نمایند که در صورت امکان وسایل را با بار کامل و به طور مؤثر، استفاده نمایند.

با استفاده از کنترل زمانی و به منظور استفاده حداقل از سیستم تهویه هوا، باید ازکنترلهای موضعی در سیستم مزبور استفاده کرد. اطمینان حاصل نمائید کـه گرمایش، کافی است و اینکه سیستم کنترلی مستقل از سیستم اصلی گرمایش وجود دارد. در صورتی که افراد جهت گرم کردن خود هنگام صبح یکی از شعله‌های اجاق‌ها را روشن نمایند، محتمل است که آن را در تمام روز، روشن رها نمایند.

انتخاب نوع وسیله و تجهیزات نیز مهم است زیرا که مصرف انرژی وسائل مشابه از نقطه‌نظر کاری، بسیار متفارت است. انتخاب یخچالها و فریزرها باید با توجه به این نکته صورت پذیرد.

### ۱ ـ ۲ ـ ٦ ـ فهرست بررسی‌های لازم

- نصب کنتورهای مستقل برای سرویسهای آشپزخانه
- انتخاب تجهیزات با بازده انرژی مناسب برای رستوران، با در نظرگرفتن هزینه سوختهای مختلف
- تأمین‌گرمایش و تهویه هوای محلی در آشپزخانه
- اطمینان از تأمین کنترل محلی جهت تجهیزات تهویه هوای آشپزخانه و اطمینان از استفاده پرسنل از آنها
- بررسی تأمین گرمایش محلی جهت آب گرم مصرفی

## ۳ـ۶ـ روشنائی

شاید روشنائی مهمترین منبع تلفات انرژی در بسیاری از مؤسسات باشد. در حقیقت با اعتمال روش‌های ساده از قبیل کلیدزنی دستی تا روش‌های پیچیده‌تر از قبیل تعویض وسائل روشنائی با تجهیزاتی که بازدهی بیشتر دارند، می‌توان فرصت‌های خوبی را جهت کاهش هزینه مربوط به روشنائی به دست آورد. به علاوه سیستم‌های تمام اتوماتیک کنترل روشنائی نیز وجود دارد.

کارکنان می‌توانند نقش قابل توجهی را در کاهش و کنترل مصرف انرژی مربوط به روشنائی ایفا نمایند. این موضوع باید به انحاء مختلف توسط موسسه مورد تشویق قرار گیرد.

لامپ‌ها انواع گوناگون دارند که از نقطه نظر بازده روشنائی (یعنی روشنایی خروجی بر حسب هر واحد مصرف انرژی) تفاوت قابل توجهی بین آنها وجود دارد. به طور کلی باید لامپی را برگزید که بازده آن بالاترین باشد، در عین اینکه کیفیت روشنائی تامین شده (مهمتر از همه، رنگ روشنائی) باید مدنظر قرار گیرد. جدول ۳ مثالهائی را از انوع و اندازه‌های لامپ‌های رایج نشان می‌دهد.

مصرف روشنائی را می‌توان با حاصلضرب مصرف برحسب کیلووات در ساعات مورد استفاده، برحسب کیلووات ساعت بدست آورد. مصرف برحسب کیلووات را می‌توان با شمارش تعداد لامپها و مصرف آنها، محاسبه نمود. زمانی که لامپ جهت روشنائی سطح زمین استفاده می‌شود، معیار مناسبی جهت روشنائی با استفاده از لامپهای فلوئورسنت، مساوی ۱۰ تا ۲۰ وات بر مترمربع است. این نکته مهم است که باید سطح روشنائی و نوع لامپ مورد استفاده را با نیازهای هر محل تطبیق داد.

جدول ۳: مصرف و خروجی لامپهای گوناگون

| نوع لامپ | اندازه | مصرف (وات) | خروجی (لومن) | راندمان (لومن‌بروات) |
|---|---|---|---|---|
| تنگستن GLS | ۱۰۰ وات | ۱۰۰ | ۱۲۰۰ | ۱۲ |
| فلوئورسنت کامل | ۱۶ وات | ۲۰ | ۷۰۰ | ۳۵ |
| بخار جیوه | ۸۰ وات | ۹۳ | ۳۸۰۰ | ۴۱ |
| فلوئورسنت ۳۸ میلیمتری | ۱۵۰۰ میلیمتر | ۷۸ | ۴۹۰۰ | ۶۳ |
| فلوئورسنت ۲۶ میلیمتری | ۱۵۰۰ میلیمتر | ۷۱ | ۴۹۰۰ | ۶۹ |
| فلوئورسنت ۲۶ میلیمتری با بالاست الکترونیکی | ۱۵۰۰ میلیمتر | ۵۵ | ۵۰۰۰ | ۹۰ |
| سدیم فشار پائین SOX | ۷۰ وات | ۸۱ | ۵۵۰۰ | ۶۸ |
| سدیم فشار بالا SON | ۵۵ وات | ۶۸ | ۷۳۰۰ | ۱۰۷ |

## ۱ ـ ۳ ـ ٦ ـ فهرست بررسی‌های لازم

- کنترل‌کننده‌های اتوماتیک روشنائی، ساعتی، نور روز، عمل براساس تشخیص حضور و کلیدهای فشاری را نصب کنید.
- از لامپ‌های فلوئورسنت باریک کم مصرف با بالاست الکترونیک استفاده نمائید.
- لامپ‌های فلوئورسنت دوگانه را با نوع رفلکتوردار یک لامپی جایگزین‌سعی کنید لامپ‌های‌تنگستنی را حتی‌المقدور تعویض نمائید.
- تأمین امکان کلیدزنی محلی
- از عدم وجود روشنائی بیش از حد در نواحی مختلف اطمینان حاصل نمائید و سعی کنید روشنائی را به صورت موضعی تأمین کنید.
- از نظافت مرتب لامپها و تعویض لامپهای فلوئورسنت در پایان عمر مفید خود اطمینان حاصل نمائید.

## ٤ ـ ٦ ـ بارهای کم مصرف

بارهای کم مصرف، بخش کوچک اما فزاینده‌ای را از کل مـصرف انرژی در ساختمانها به عهده دارند. با وجود این، در مورد تأثیر این نوع بارها در مصرف کلی اغلب اغراق می‌شود. به عنوان مثال، توان مصرفی تجهیزات اداری اغلب کمـتر از مقدار ذکر شده روی خود آن دستگاهها است. مصرف تـجهیزات اداری و دیگـر ادوات را می‌توان توسط چند روش سنجید. اولین مورد اینکه، در زمان خریداری دستگاه جدید، مصرف انرژی آن باید مورد توجه قرار گیرد، زیرا مصرف تجهیزات مشابه از یک مدل به مدلی دیگر تغییر قابل توجهی می‌نماید. به جـای آنکه از اطلاعات ذکر شده روی صفحهٔ مشخصهٔ دستگاه استفاده گردد خریداران تجهیزات جدید می‌بایست اطلاعات واقعی مصرف انرژی اینگونه تجهیزات را از سازندگان آنها سؤال نمایند زیرا، اینگونه اطلاعات نشان‌دهنده غیرقابل اعتمادی از مصرف انرژی می‌باشند. بسیاری از تجهیزات از قبیل کامپیوترهای شخصی و دستگاههای فتوکپی دارای وضعیت «آماده به کار» می‌باشند تا در زمانی که برای مدت مشخصی مورد استفاده واقع نشوند دستگاه در حالتی قرار گیرد که مصرف انرژی آنها کم باشد. ذخیره آب سرد و آب گرم دستگاهایی از قبیل آب سردکن، سماورهای برقی و دستگاههای فروش چای و غیره را بایستی در حداقل ممکن قرار داد.

دومین مورد این است که عدم استفاده از تجهیزاتی از قبیل کتریهای برقی، بخاریهای برقی، پنکه‌های رومیزی باید تشویق گردد زیرا اینگونه وسائل، انرژی قابل توجهی را مصرف می‌نماید. تأمین سماورهای آب جوش، گرمایش کافی و باز نمودن پنجره‌ها به کاهش استفاده از چنین تجهیزاتی کمک می‌نماید.

در نهایت باید اطمینان حاصل کرد که از هیچ وسیله‌ای بیش از زمان مورد نیاز، استفاده نشود. باید کارکنان را تشویق کرد زمانی که به وسیله‌ای نیاز نیست آن را خاموش نمایند. باید روشی را برگزید که در ساعات خارج از وقت اداری، تجهیزات خاموش شوند. تفاوت عمده‌ای بین مصرف انرژی زمانی که دستگاه همیشه روشن باشد نسبت به زمانی که دستگاه فقط در ساعات اداری و کاری روشن باشد، وجود دارد.

### ١ ـ ٤ ـ ٦ ـ فهرست بررسی‌های لازم

- از خاموش نمودن دستگاهها در موارد عدم استفاده توسط کارکنان اطمینان حاصل شود.
- باید اطمینان حاصل نمود که نگهبانی ساختمان از روشن ماندن غیرضروری دستگاهها و تجهیزات در ساعات خارج از وقت کاری جلوگیری می‌نماید.

- بررسی استفاده از سماورهای آب جوش با کنترل‌کننده‌های زمانی به منظور اطمینان از اینکه در ساعات خارج از وقت کاری، خاموش شوند.
- تنظیم خط‌مشی برای خرید تجهیزات جدید با انرژی مصرفی‌کم، در صورت عدم وجود چنین خط‌مشی از قبل.
- باید اطمینان حاصل نمود که وضعیت آماده به کار در تجهیزاتی که دارای چنین ویژگی می‌باشند، فعال باشد.

## ۷ ـ سرمایه‌گذاریهای مورد نیاز

در طی انجام ممیزی انرژی، هزینه‌های مورد نیاز پروژه‌های صرفه‌جوئی انرژی باید ارزیابی و مشخص گردد. این نکته مهم است که باید تجزیه و تحلیل دقیقی از عملی بودن طرحها از نقطه نظر مالی به عمل آید به گونه‌ای که:

- منافع واقعی پروژه را بتوان تشخیص داد. این موضوع تصمیم‌گیری‌ها در مورد شروع و زمان انجام پروژه را امکان‌پذیر می‌نماید.
- نسبت به تخصیص بودجه پروژه بتوان اقدام کرد زیرا همیشه نیازهای متعدد مالی دیگری در سازمان وجود دارد.

## ۱ ـ ۷ ـ معیارهای مالی

در خصوص عملی بودن پروژه‌های عمده، سازمانها معیارهای مختلفی را از نقطه‌نظر مالی اعمال می‌نمایند. نکته مهم این است که انجام هر نوع سرمایه‌گذاری با سیستم‌های موجود در مؤسسه مربوطه، مطابقت داشته باشد.

روشهای اساسی مشترک مورد استفاده در قسمت‌های بعد توضیح داده خواهد شد.

- بازگشت سرمایه[1]

بازگشت سرمایه ساده‌ترین و رایج‌ترین روش و معیار مورد استفاده است و می‌تواند جهت ارزیابی اولیه استفاده گردد. این معیار عبارت از زمانی است که طی آن مجموع صرفه‌جوئیهای حاصل، سرمایه‌گذاری اولیه انجام شده را جبران نماید. در ساده‌ترین شکل، بازگشت سرمایه عبارتست ازهزینهٔ اولیه تقسیم بر صرفه‌جوئی خالص

- تنزیل پول[1]

در این روش، نرخ صرفه‌جوئی حاصل از پروژه در هر سال و به صورت سالانه و در طول عمر تجهیزات با نرخ تنزیل نسبت به زمان حاضر محاسبه می‌گردد. این روش اطلاعات بیشتری را به خصوص از نقطه‌نظر مقدار و زمان‌بندی سرمایه‌گذاری، نسبت به روش بازگشت سرمایه ارائه می‌دهد. مشاورین مالی شرکت شما می‌توانند در خصوص نحوهٔ تجزیه و تحلیل این روش مشورت لازم را ارائه دهند.

- برگشت خالص دارائی

برگشت خالص دارائی، سود بالقوه یک پروژه را قبل از اعمال مالیات، برحسب سرمایه مستهلک شده اولیه نشان می‌دهد. بقیه هزینه‌های اولیه و جاری نیز معمولاً در نظر گرفته می‌شود.

## ۲ ـ ۷ ـ تأمین بودجه

به چند روش می‌توان بودجه لازم جهت پروژه‌ها را تأمین نمود:

- به صورت داخلی

در این روش، سرمایه‌گذاری مورد نیاز از طریق بودجه معمولی شرکت تأمین می‌گردد. از آنجا که سرمایه‌گذاریهای مورد نیاز در خصوص صرفه‌جوئی در مصرف انرژی را معمولاً به عنوان فعالیت‌های تجاری در نظر نمی‌گیرند، توجیه اقتصادی پروژه‌ها باید به‌گونه‌ای باشد تا در تأمین بودجه آنها در مقابل نیازهای متعدد مالی دیگر، اشکالی ایجاد نگردد. بعضی از سازمانها بودجه سالانه بخصوصی را جهت پروژه‌های مربوط به بهره‌وری انرژی تخصیص می‌دهند.

حق تقدم در این‌گونه موارد با توجه به اعتبار تخصیص یافته و صرفه‌جوئی قابل حصول، ارزیابی و تعیین می‌گردد. با وجود این، در صورت وجود وقت، ممکن است که با استفاده از بخشی از صرفه‌جوئی قابل حصول از پروژه‌های کم هزینه یا بدون هزینه جهت تأمین بودجه مورد نیاز پروژه‌های بعدی، یک برنامه بهره‌وری انرژی را کاملا خودکفا نمود.

- به صورت خارجی

در این روش، سرمایه‌گذاری مورد نیاز به صورت وام مستقیم و یا به صورت‌های پیچیده‌تر که در آن وام از طریق صرفه‌جوئی حاصل باز پرداخت می‌شود، تأمین می‌گردد. بعضی شرکتها اکنون قراردادهایی را پیشنهاد

می‌نمایند که در آن پروژه به صورت کامل توسط یک مشاور خارج از شرکت مدیریت شده و ضمناً سهمی از صرفه‌جوئی حاصل را دریافت می‌نماید. عموماً در این نوع قراردادها، سود خالصی برای شرکت اصلی باقی می‌ماند.

- مدیریت قراردادی انرژی[2]

در این روش، یک شرکت بیرونی تأمین نیازهای مؤسسه را بعهده می‌گیرد. به عنوان مثال چنین شرکتی ممکن است پروژه‌ای را بعهده بگیرد که در محل، دیگ بخار جدید و یا یک واحد ترکیبی تولید گرمایش و توان را نصب و راه‌اندازی نماید. این شرکت بودجه لازم را جهت خرید تجهیزات تأمین نموده و به صورت کامل و راه‌اندازی و بهره‌برداوی از آنها را به عهده می‌گیرد. در پی این امر شرکت مزبور، صورتحسابی را جهت استفاده و نیز هزینه سوخت به مؤسسه اصلی ارسال می‌نماید. منافع حاصل جهت مؤسسه اصلی این است که بدون نیاز به تأمین بودجه سنگین لازم و نیز بهره‌برداری از موتورخانه و دیگ بخار، هزینه انرژی کمتری را پرداخت می‌نماید.

## ۳ ـ ۷ ـ اجرای پیشنهادات

هدف از یک برنامه ممیزی انرژی آن است که امکانات بالقوه جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی تعیین شود. بعد از ارزیابی اقتصادی از این امکانات بالقوه در طی برنامه و نیز بودجه مورد نیاز در دسترس، باید تصمیم‌گیری شود که کدام یک از پیشنهادات ارزش پیاده شدن و اعمال را دارد. این پیشنهادات باید به صورت برنامه‌ریزی شده‌ای اجرا گردند.

زمانی‌که روشها و پیشنهادات اعمال‌گردید، باید اهداف جدیدی را در مصرف انرژی تنظیم نمود و عملکرد را در مقایسه با این اهداف مورد ارزیابی و نظارت قرارداد تا از چگونگی تأمین اهداف اطمینان حاصل‌گردد.

---

[1] Discounted Cash Flow (DCF)
[2] Contract Energy Management (CEM)

# پیوست ۱: ضرایب تبدیل انرژی

۱ ـ ۱ ـ واحدهای SI

واحد انرژی در SI ، ژول است. مقادیر بزرگ را با ضریب زیر نشان می‌دهند.

۲ ـ ۱ ـ ضرایب تبدیل واحدهای انرژی

| ضریب | نام | سمبل |
|---|---|---|
| $10^{3}$ | Kilo | K |
| $10^{6}$ | Mega | M |
| $10^{9}$ | Giga | G |
| $10^{12}$ | Tera | T |
| $10^{15}$ | Peta | P |
| $10^{18}$ | Exa | E |

| از / به | بی تی یو | ژول | کیلووات ساعت | واحد حرارتی |
|---|---|---|---|---|
| بی‌تی‌یو | ۱ | ۱/۰۵۵×۱۰۳ | ۰/۲۹۳۱×۱۰-۳ | ۱۰×۱۰-۶ |
| ژول | ۰/۹۴۸×۱۰-۳ | ۱ | ۰/۲۷۷۸×۱۰-۶ | ۹/۴۸×۱۰-۹ |
| کیلووات‌ساعت | ۳/۴۱۲×۱۰۳ | ۳/۶×۱۰۶ | ۱ | ۳۴/۱۲×۱۰-۳ |
| واحد حرارتی | ۱۰۰×۱۰۳ | ۱۰۵/۵×۱۰۶ | ۲۹/۳۱ | ۱ |

# فصل دوم:

# بهینه سازی روشنایی در ساختمان ها

# و روشهای نوین آن

# ۱ ـ مقدمه

هدف اصلی این بحث ارائه راهنمایی‌های لازم به مدیران انرژی درخصوص تجارب عملی مفید در روشنایی و استفاده مؤثر از انرژی می‌باشد.

وضع استانداردهای مناسب روشنایی به منظور ایمنی، آسایش را بهره‌وری امری اساسی است و امید است که خواننده از این کتابچه به عنوان ابزاری برای شناخت روشهای کاهشی هزینه استفاده نماید.

توصیه می‌شود که قبل از هرگونه اقدام برای جایگزینی و یا بهبود روشنایی، نظر کارشناسان صنعت برق، سازندگان وسایل روشنایی و یا مشاوران مورد توجه قرار گیرد.

به خوانندگان نیز توصیه می‌گردد با توجه به سرعت زیاد توسعه و پیشرفت صنایع روشنایی، در مورد جدیدترین اطلاعات روز راجع به عملکرد تولیدات، قابلیت جایگزینی لامپها و اجزای شبکه‌ها با سازندگان مربوطه مشورت نمایند.

# ۲ ـ روشنایی ـ زمینهٔ کلی

## ۱ ـ ۲ ـ توصیه‌های استاندارد

میزان روشنایی توصیه شده در این مجموعه، دربردارندهٔ تجارب علمی مفید جاری است. این مقادیر به تنهایی معیاری برای تأمین روشنایی مطلوب نیستند، عوامل دیگری از قبیل راحتی دید، رنگ نور و شرایط محیطی تأسیسات روشنایی نیز باید در نظر گرفته شوند. بهرحال بکارگیری این توصیه‌ها، یک زیربنای اصولی در طراحی روشنایی است. نمونه‌هایی از این موارد و روشنایی مربوطه، ایده‌ای را در مورد میزان روشنایی لازم برای کاربردهای مختلف با درجه پیچیدگی متفاوت خواهد داد ( جدول ۱ را ملاحظه نمائید).

## ۲ ـ ۲ ـ استفاده از روشنایی روز

در برخی مکانها به ویژه در فروشگاهها، موزه‌ها و نواحی‌که کیفیت مستقیم نور و شدت آن باید به دقت کنترل شود، ممکن است جلوگیری از ورود نور مربوط به روشنایی روز ضروری باشد هرچند که بیشتر مردم به نور طبیعی و چشم‌اندازی بیرونی علاقه‌مندند. میزان کافی روشنایی روز فقط در فاصلهٔ محدودی از پنجره‌ها و یا سقف و فقط در بخشی از ساعت کاری فراهم است. بدین سبب، همواره باید روشنایی مصنوعی به‌طور صحیح کنترل شده‌ای را فراهم نمود.

با اینحال از فواید نور طبیعی نباید صرفنظر شود و در صورت امکان از این مزیت باید استفاده گردد. میزان روشنایی طبیعی با دگرگونی وضعیت آب و هوا، فصول و ساعات روز دستخوش تغییر می‌شود. لذا استفاده از نور مصنوعی اضافی برای حفظ شدت روشنایی کافی معمولاً لازم است. به منظور حفظ سطح روشنائی در محل کار، باید این روشنائی‌ها را کنترل نمود.

در مورد سطوح بزرگ شیشه‌ای بدون پوشش (پرده) ممکن است چند مشکل بروز کند:

در هنگام شب این سطوح مانند دیواره‌های سیاه شفاف به نظر می‌رسند که موجب سلب آرامش است و در هنگام روز ممکن است به دلیل بهره خورشیدی[۱] زیاد یا تلفات حرارتی غیر اقتصادی باشند. استفاده از تکنولوژی مدرن لعاب‌دهی و یا سایه‌پردازی خارجی به میزان قابل ملاحظه‌ای این مشکلات و مشکلات دید را کاهش میدهد.

## ۳ ـ ۲ ـ وضعیت ظاهری

دراتاقی‌که تمام نور برروی یک سطح کار افقی متمرکز می‌شود وتنها نور اندکی به دیوارها و یا سقف می‌رسد جو کسالت‌آوری ایجاد می‌گردد. در اتاقهایی با مساحت تا ۲۵ مترمربع می‌توان با استفاده از رنگ‌های روشن برای دیوارها بر این مشکل فائق آمد اما در مکانهای خیلی بزرگ با مساحت ۱۰۰ مترمربع و یا بیشتر که میدان دید وسیع است نوررسانی کافی به سقف موثرتر خواهد بود. غالب رفلکتورهای روشنائی‌های صنعتی به صورت شیاردار ساخته می‌شوند تا بدین طریق بخش اندکی از نور به سمت بالا تابیده شود و این مشکل نورپردازی را که اثر تونلی[۳] نامیده می‌شود بهبود بخشد.

نه تنها بایستی بر حصول شرایط لازم به منظور عملکرد مطلوب دید تأکید نمود بلکه بایستی به جاذب بودن

محیط مورد دید نیز توجه کرد.

## ٤ ـ ٢ ـ تأثیر سن در کارگران

با افزایش سن، مشکل عمده به وجود آمده در دید مطلوب جزئیات را تا حدودی می‌توان با استفاده از عینک تصحیح کرد. افزایش روشنایی به این امر کمک می‌کند اما بندرت ممکن است تناسب افراد گروههای سنی مختلف در یک محیط کاری را پیش‌بینی نمود. این مسأله در میزان شدت روشنایی توصیه شده در جدول ١ که سن متوسط را بین ٥٠ ـ ٤٠ سال درنظرمی‌گیرد، به حساب نیامده است. اطلاعات مربوط به احتساب سن در مجموعهٔ استانداردهای CIBSE داده شده است.

---

1 Solar Gain
2 Appearance
3 Tunnel Effect

| جدول ۱: مثالهایی از فعالیتها/تمهیدات داخلی متناسب با هر میزان شدت روشنایی | | |
|---|---|---|
| نمونه<br>فعالیتها/تمهیدات داخلی | مشخصات<br>فعالیتها/تمهیدات داخلی | شدت روشنایی<br>(لوکس) |
| تونلهای کابل، انبارهای داخلی ذخیره، پیاده‌روها | مکانهایی که بندرت بازدید می‌شوند و نیاز روشنائی محدود به عبور موردی و بدون نیاز به دقت در جزئیات می‌باشد | ۵۰ |
| راهروها، اتاقهای تعویض، انبارهای بزرگ و تالارها | مکانهایی که گاهی به منظور خاصی مورد بازدید قرار می‌گیرند و درک جزئیات داخل آنها تنها در موارد محدودی مورد نظر می‌باشد. | ۱۰۰ |
| مکانهای بارگیری، انبارهای لوازم پزشکی، اتاقهای پرورش گیاهان. | مکانهایی که گاهی به منظور خاصی مورد بازدید قرار می‌گیرند یا در مواردی بررسی جزئیات آنها ضروری است یا در مواردی که خطری متوجه افراد، محصول و یا کارخانه باشد. | ۱۵۰ |
| نظارت اتوماتیک فرآیندهای تولیدی، بتون‌ریزی، سالنهای توربین، اتاقهای غذاخوری، راهروها و سالنهای ورودی. | مکانهایی که به طور پیوسته اشغال بوده و مورد بازدید قرار می‌گیرند ولی لزومی به درک کامل جزئیات آنها نیست. | ۲۰۰ |
| بسته‌بندی کالاها، قالب‌ریزی در صنایع ریخته‌گری، اره‌بری، کتابخانه‌ها، سالنهای ورزشی و اجتماعات. | مکانهایی که بطور پیوسته اشغال بوده و امکان دیدن به سهولت وجود دارد به عبارت دیگر اندازهٔ اجسام بزرگتر از کمان ده دقیقه بوده و میزان کنتراست[1] زیاد است. | ۳۰۰ |
| دفاتر عمومی، مونتاژ موتورها، رنگ‌آمیزی، آزمایشگاهها و فروشگاههای کوچک. | امکان دید نسبتاً مشکل است. یعنی اندازهٔ اجسام در حد متوسط (زاویه رویت بین ۵ تا ۱۰ دقیقه) بوده و میزان کنتراست کم است. همچنین ممکن است تشخیص رنگها مورد نیاز باشد. | ۵۰۰ |
| دفاتر نقشه‌کشی، دکوراسیون، کنترل کیفیت گوشت | امکان دید مشکل است. یعنی اندازهٔ اجسام کوچک (زاویه رویت بین ۳ تا ۵ دقیقه) و میزان کنتراست کم است. همچنین ممکن است تشخیص رنگها به نحو مطلوب مورد نیاز باشد. | ۷۵۰ |
| مونتاژ تجهیزات الکترونیکی، اتاقهای ابزار و اندازه‌گیری و بهبود سطوح رنگ‌آمیزی شده. | امکان دید بسیار مشکل است. یعنی اندازهٔ اجسام بسیار کوچک (زاویه رویت بین ۲ تا ۳ دقیقه) بوده و میزان کنتراست بسیار کم است. همچنین ممکن است تشخیص رنگها به طور دقیق مورد نیاز باشد. | ۱۰۰۰ |
| بازرسی وکنترل محصولات گرافیکی، خیاطی با دست، قطعه‌سازی ظریف | امکان دید به شدت مشکل است. یعنی اندازهٔ اجسام فوق‌العاده کوچک (زاویه رویت بین ۱ تا ۲ دقیقه) و میزان کنتراست کم است. همچنین ممکن است تشخیص دقیق رنگها مفید باشد. | ۱۵۰۰ |
| مونتاژ اجزاء بسیار ظریف، بازرسی و کنترل نهایی پارچه | امکان دید بینهایت مشکل است. یعنی جزئیات مورد مشاهده بینهایت کوچک (زاویه رویت کمتر از ۱ دقیقه) و با کنتراست خیلی کم می‌باشند. استفاده از وسایل کمکی به منظور بهبود دید، مفید خواهد بود. | ۲۰۰۰ |

## ۶ ـ ۲ ـ سلامتی و ایمنی



[1] Contrast
[2] The Health and Safety Executive

عنوان کرده است. این راهنما اساساً در مورد روشنایی مصنوعی چگونگی تأثیر آن بر ایمنی، سلامتی و رفاه کارکنان می‌باشد. در این راهنما هدف بهینه‌سازی عملکرد یا آسایش نیست.

این راهنما توصیه‌های مربوط به روشنایی را برای وظائف مشخصی در محیط کاری دربر نمی‌گیرد و آنها را به نشریات CIBSE ارجاع می‌دهد.

## ۳ ـ درخشندگی[۱]

### ۱ ـ ۳ ـ درخشندگی مستقیم

درخشندگی مستقیم ناشی از منابع نوری و درخشندگی انعکاسی از سایر سطوح، اغلب در میدان دید مطلوب خلل وارد می‌سازند و یا اینکه میزان دید را کاهش می‌دهند ( در بعضی مواقع این کاهش به حد خطرناکی می‌رسد)، البته ممکن است هر دو اثر بطور همزمان نیز بروز کنند. درخشندگی به شرایط روشنایی الکتریکی (مصنوعی) محدود نمی‌شود. درخشندگی شدید ممکن است به علت محل نامناسب پنجره‌ها نیز ایجاد شود. بیشتر مردم هردو مورد درخشندگی مستقیم و انعکاسی را هنگام رانندگی در مقابل خورشید و یا نگاه به آب تجربه کرده‌اند.

خوشبختانه معمولاً می‌توان از درخشندگی مستقیم حاصل از روشنایی الکتریکی جلوگیری نمود. کنتراست[۲] بین یک منبع روشنائی و محیط اطراف آن را می‌توان با روشهای مختلف کاهش داد. مثلاً با کم کردن میزان شفافیت سطوح روشنائی از طریق واسطه‌های کنترل‌کننده از جمله تیغه‌های مخصوص و نیز با امکان تابش بیشتر نور بر روی دیوارها و سقف، این موضوع امکان‌پذیر است.

### ۲ ـ ۳ ـ درخشندگی انعکاسی

غلبه بر درخشندگی ناشی از انعکاس مشکل‌تر است و در دفاتر و مکانهایی‌که اشیاء صیقلی و اشیاء با رنگ روشن در معرض دید قرار دارند مشکلی معمول می‌باشد. مثالهای نمونه درخشندگی ناشی از انعکاسی عبارتند از:

- در دفاتر نقشه‌کشی که خطوط مدادی به دلیل آنکه نور انعکاسی شدت وضوح آنها را نسبت به کاغذ افزایش می‌دهد، قابل رؤیت نمی‌باشند.
- تصاویر منعکس‌شده چراغها در صفحهٔ نمایش وسایل تصویری (مانند تلویزیون، مونیتور کامپیوتر و غیره).

در اینگونه موارد و یا موقعیتهای مشابه آن، با نصب صحیح چراغها در محلهای مناسب و در بعضی موارد، با استفاده از چراغهائی که توزیع نور مناسبتری دارند می‌توان بر مسأله درخشندگی انعکاسی فائق آمد.

درخشندگی انعکاسی تا حد زیادی توانایی قدرت دید و درنتیجه بهره‌وری را کاهش می‌دهد. حل چنین مشکلاتی همیشه آسان نیست و معمولاً بهترین کار، جستجوی توصیه‌های حرفه‌ای است.

درخشندگی مستقیم ناشی از تجهیزات روشنایی الکتریکی ممکن است بسته به نوع کاری که انجام می‌شود ناراحتی قابل توجهی ایجاد نماید. استانداردهای CIBSE سطوح درخشندگی نامطلوب را توصیه می‌نماید. شاخص‌های محدودکنندهٔ درخشندگی برای موارد متفاوت در این استانداردها بیان شده است و نباید از این حدود تجاوز شود.

## ٤ـ روشنایی و انرژی

در کشور انگلستان روشنایی حدود ۱۵٪ مصرف برق را به خود اختصاص می‌دهد. در شرکت‌ها و دفاتر تجاری، روشنایی اغلب قسمت اعظم هزینهٔ برق را در برمی‌گیرد.

در این کشور مبلغی بیش از ۲۰۰۰ میلیون پوند بابت تأمین روشنایی پرداخت می‌شود و به کمک روش‌های بهره‌وری انرژی این مبلغ را می‌توان حدود ٤۰۰ میلیون پوند کاهش داد.

موفقیت هر برنامهٔ کاهش مصرف انرژی و هزینه تمام‌شده بستگی به شناسایی عواملی دارد که هر یک به تنهایی هزینه‌ای تحمیل می‌سازند.

یک لامپ معمولی با رشته تنگستن (۲٤۰ ولت، ۱۰۰ وات) قیمتی حدود ۵۰ پنس دارد. هزینهٔ برق مصرفی این لامپ در طول عمر متوسط آن (۱۰۰۰ ساعت) معادل ۵/۵۰ پوند خواهد بود (به ازای هزینهٔ ۵/۵ پنس بر کیلووات

ساعت).

معمولا محاسبهٔ عوامل هزینه در روشنایی با توجه به کلیهٔ اجزاء زیرصورت می‌گیرد:

در نظر گرفتن مزایا و معایب هزینه‌های تمام شده و دوره زمانی بازگشت سرمایه مربوط به روشهای مختلف، مناسب است.

برای سهولت رسیدن به این هدف، نمونهٔ صفحه‌ای از بررسی و تحلیل هزینه‌ها در ضمیمهٔ یک ارائه شده است که در آن با ثبت اطلاعات می‌توان مقایسهٔ معقولی بین سیستمهای پیشنهادی انجام داد.

عوامل اصلی مؤثر بر مصرف انرژی در یک تأسیسات برای یک استاندارد روشنایی مشخصی عبارتند از:

۱ ـ بازده لامپ (بهرهٔ نوری به ازای هر وات توان الکتریکی مصرفی برای نوع لامپ بکار رفته).

۲ ـ عملکرد چراغها.

۳ ـ طراحی سیستم روشنایی.

٤ ـ دکوراسیون و تزئینات.

٥ ـ استانداردهای نگهداری.

٦ ـ استفاده مناسب از ابزار کلیدزنی و کنترل.

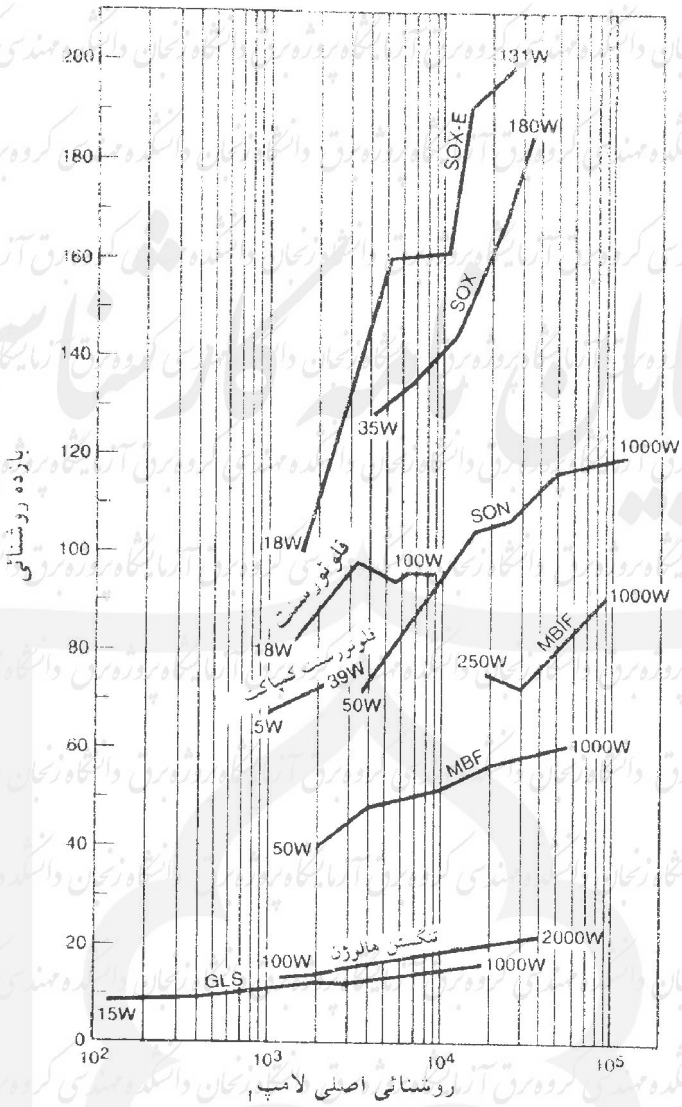
ردیفهای۱ تا ٥ مربوط به بازده اصلی سیستم هستند درحالی‌که ردیف ٦ مربوط به مدیریت و استفاده از سیستم باتوجه به نیازمندیهای کاربر و الگوهای اشغال در نواحی موردنظر می‌باشد.

## ۱ ـ ٤ ـ انتخاب نوع لامپ

دو نوع اصلی لامپ شامل لامپهای رشته‌ای تنگستن و لامپهای تخلیه‌ای (شامل لامپهای فلورسنت) وجود دارند. بازده روشنایی برحسب لومن[1] بر وات تعریف می‌شود و به منظور مقایسه باید تلفات مدار کنترل لامپهای فلورسنت و لامپهای تخلیه‌ای مد نظر قرارگیرد. محدوده بازده در شکل۱ نشان داده شده است.

هنگام طراحی یک تأسیسات جدید، نوع لامپ انتخاب شده تا حد امکان باید از بازده بالا برخوردار بوده و با مشخصه‌های مورد نیاز تأسیسات از جمله خواص رنگها (وضعیت ظاهری)،طول عمر و غیره مطابقت داشته باشد.

در مورد یک سیستم موجود، تغییر نوع لامپها با لامپهای با بازده بیشتر، مصرف انرژی و درنتیجه هزینه را کاهش خواهد داد.




GLS: رشته‌ای تنگستن

MBF: تخلیه‌ای فشار زیاد جیوه (فلوئورسنت)

MBIF: تخلیه‌ای فشار زیاد جیوه (متال هلاید)

SON: تخلیه‌ای فشار زیاد سدیم

SOX: تخلیه‌ای فشار کم سدیم

شکل ۱: بازده روشنایی و خروجی آن

ابزار کنترل (راه‌اندازها و بالاست‌ها) به صورتهای مختلفی وجود دارند . ساده‌ترین نوع آن از یک راه‌انداز و چوک[1] (القاگر با هستهٔ آهنی) تشکیل می‌شود. کلید راه‌اندازی ممکن است به صورت راه‌انداز دو شاخه‌ای[2] که باید پسی از دو یا سه بار تعویض لامپ، عوض شود) و یا یک راه‌انداز الکترونیکی باشد. چوکهای خاص با تلفات کم ممکن است شامل مقدار مس بیشتری باشند تا بدین ترتیب بازده

کلید و راه‌اندازها بهبود یابد. این نوع، نسبت به چوکهای استاندارد به مراتب سنگین‌تر، پرحجم‌تر و گران‌تر می‌باشند.

بالاستهای تمام الکترونیک و یا بالاستهایی که بخشی از آنها الکترونیکی است مشابه بالاستهای بکاررفته در تجهیزات روشنایی اضطراری می‌باشند. آنها بسیار کارآتر از نمونه‌های متداول بوده و لامپهای مناسب را با بازده بهتری مورد بهره‌برداری قرار می‌دهند اما این بازده با هزینه بالاتری بدست می‌آید که ممکن است مقرون به صرفه نباشد.[1]

وسایل فرکانس بالا (HF) و تنظیم‌کننده‌های HF (HFR) از بالاست استفاده می‌کنند تا فرکانس ۵۰ هرتز را به ۲۸۰۰۰ هرتز تبدیل کنند. این کار دارای مزایای خاصی نسبت به فرکانس کاری ۵۰ هرتز است که از آن جمله می‌توان از افزایش بازده، کاهش تلفات در مقایسه با راه‌انداز کلیدی و درنتیجه کاهش هزینه‌های بهره‌برداری نام برد. مزایای دیگر عبارتند از حذف چشمک زدن برق اصلی، صدا و اثر استروبوسکپی (که باعث احساس اشتباه چرخیدن یک موتور می‌شود). بالاستهای HFR همچنین امکان تغییر خروجی بین ۱۰ تا ۱۰۰ درصد را فراهم می‌نمایند.

لامپهای فلورسنت کمپاکت به شکلهای متنوعی وجود دارند. بعضی از آنها دارای وسایل کنترل مجتمع[2] هستند در حالی که انواع دیگر نیاز بالاست مجزایی دارند. اندازه کوچک آن با خم کردن لوله تخلیه بدست می‌آید و مصرف آنها در مقایسه با لامپهای رشته‌ای تنگستن و با قدرت خروجی مشابه، حدود یک چهارم می‌باشد. طول عمر این نوع لامپها حدود پنج برابر لامپهای رشته‌ای تنگستن است. لامپهای کمپاکت در محدودهٔ وسیعی ازکاربردها به عنوان جایگزینی برای لامپهای رشته‌ای تنگستن مطرح می‌باشند.

میزان پیشرفت تکنولوژی لامپها سریع است. لذا این امر که، به اطلاعات به روز سازندگان لامپها در مورد نوع، اندازه و عملکرد محصولات موجود آنها مراجعه شود، از درجه اهمیت بالایی برخوردار است.

## ۵ ـ طراحی سیستم روشنائی

وظیفهٔ اصلی سیستم روشنائی کنترل میزان تشعشع نور از لامپ (لامپها)، حفاظت از آنها، فراهم ساختن اتصالات الکتریکی به منبع تغذیه و هدایت نور آنها می‌باشد.

یک وسیله روشنائی باید با شرایط لازم الکتریکی، حرارتی و مکانیکی استانداردهای انگلستان و استانداردهای مربوطه جهانی IEC و CEE [۳] و نیز با استاندارد SI به شماره ۶۳۵ مربوط به سال ۱۹۸۹ میلادی (قوانین روشنائی در محل کار) مطابقت داشته باشد. نصب و نگهداری وسایل روشنایی باید به سادگی امکان‌پذیر باشد و پخش‌کننده‌ها و رفلکتورها باید در برابر فعالیت‌های معمول همچون تعویض لامپ، حمل و تمیز کردن آنها از استحکام لازم برخوردار باشند.

استاندارد روشنائی کشور انگلستان، BS 4533 (EN 60598) ، مطابق با آخرین ویژگی‌های IEC 597 مورد بازبینی قرار گرفته است. برچسب ایمنی BS مشخص‌کننده تطبیق با استاندارد ایمنی BS (IEC 598) 4533 می‌باشد. این استاندارد ملاحظات و آزمایشهای لازم برای بررسی ایمنی مکانیکی، حرارتی و الکتریکی وسائل روشنائی را بطور دقیق بیان می‌کند. وسائل روشنائی با ردهٔ صفر، یعنی آنهایی که امکان لازم برای زمین کردن و عایق‌بندی کمکی را ندارند از BS حذف شده‌اند.

حفاظت در برابر شوک اکتریکی را می‌توان با استفاده از زمین کردن ( وسائل روشنائی ردهٔ یک ) و یا توسط عایق‌بندی دولایه (وسائل روشنائی رده ۱۱ ) تأمین نمود.

وسائل روشنائی را ممکن است براساس حفاظت آنها در برابر رطوبت اجسام صلب و گرد و غبار و حفاظت در برابر اتصالی با قسمت‌های متحرک، گروه‌بندی نمود. این روش بر مبنای سیستم شماره‌گذاری IP (حفاظت بین‌المللی) که در BS 4533 ، بخش ۱۰۱ (۱۹۸۱ میلادی) تعریف شده است، می‌باشد. چاپ شانزدهم قوانین سیم‌کشی IEE تقاضای مطابقت تجهیزات با BS مناسب ( در این حالت BS 4533 ) را می‌نماید.

بازده ترکیب لامپ / وسیله روشنائی هنگامی که برای تأمین روشنایی داخلی بکار رود به کمک ضریب استفاده که به صورت زیر تعریف می‌شود، بیان می‌گردد:

شار نور در صفحه‌ی کار

شار نور لامپ

در این خصوص، سایر معیارهای طراحی به ویژه درخشندگی باید در نظر گرفته شود.

## ۵ ـ ۱ ـ روشنایی موضعی

مصارف روشنایی موضعی معمولاً کمتر از میزان مصرف انرژی در سیستمهای روشنایی عمومی است مگر اینکه سطوح کاری که باید روشن شوند بخش وسیعی را به خود اختصاص داده باشند.

به منظور هماهنگی و تنظیم میزان روشنایی در موضع مورد نظر باید دقت لازم را به عمل آورد. ایجاد تغییرات در ساختار مکانهای کاری می‌تواند به طور جدی یک سیستم روشنایی موضعی را تحت تأثیر قرار دهد اما با قرار دادن مناسب نورپردازهای فوقانی می‌توان بر این مساله غلبه کرد. ذکر این نکته حائز اهمیت است که شدت روشنایی نواحی دیگر نباید کمتر از یک سوم شدت روشنایی نواحی کاری موردنظر باشد.

## ۵ ـ ۲ ـ نورپردازهای فوقانی

نوپردازهای فوقانی عبارتند ازنورپردازهایی‌که قسمت اعظم نورخروجی را به طرف سقف و دیوارها هدایت می‌کنند تا بدین ترتیب صفحهٔ کاری از طریق انعکاسی نور روشن شود. بازده این سیستم در مقایسه با «نورپردازی بطرف پایین) و بسته به ضرایب انعکاسی سقف کمتر است اما این نورپردازها دارای انعطاف‌پذیری زیادی بوده و محیط دلپذیری را فراهم می‌سازند.

## ۵ ـ ۳ ـ روشنایی برای پایانه‌های نمایشگر

روشنایی در محیطهایی که پایانه‌های نمایشگر(VDTs) نصب می‌شوند باید دارای ویژگیهای خاصی از نظر اجتناب از درخشندگی و انعکاسهای نامطلوب باشند.

مقررات جدید برای روشنایی نواحی که در آنها پایانه‌های نمایشگر استفاده می‌شوند حائز رعایت نکات با اهمیت است. مقررات ایمنی و تندرستی سال ۱۹۹۲ میلادی در مورد اینگونه تجهیزات باید رعایت شوند. این مقررات قانون EC به شماره 90/270/EEC را ایجاد نمود که رعایت آنها از ابتدای سال۱۹۹۳ برای کلیهٔ تجهیزات مربوطه اجباری است. کارفرمایان باید اطمینان حاصل کنند که ایستگاههای کاری کامپیوتری (جدید یا قدیمی) که پس از این تاریخ مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند با این مقررات تطبیق داشته باشند.

ایستگاههائی که قبل از تاریخ مزبور مورد بهره‌برداری قرار داشته‌اند باید تا دسامبر ۱۹۹۶ نسبت به این موضوع اقدام نمایند.

## ٤ ـ ٥ ـ تأثیر دکوراسیون و تزئینات

قبلا به مسئله جذب نور به هنگام شب توسط پنجره‌های بزرگ بدون پرده اشاره شد کلیهٔ این سطوح، تا حدی نور را جذب می‌کنند و هرچقدر انعکاس از آنها کمتر باشد میزان جذب نور در آنها بیشتر است. بنابراین نتیجه می‌شود که سطوح با رنگ روشن رفلکتورهای بهتری هستند و لذا بایدمرتبا رنگ‌آمیزی و شستشو شوند تا استفاده اقتصادی از نور فراهم گردد. انعکاس داخلی از سطوح رنگی یک اتاق بر روی کمیت و رنگ نور سطوح کاری تأثیر می‌گذارد.

## ٥ ـ ٥ ـ تعمیر و نگهداری

در گذشته گرایشی به مطلب «نصب کن و فراموش کن» وجود داشت و تنها در صورت سوختن لامپ‌ها آنها را عوض می‌کردند. یکی از نتایج چنین کاری کاهش شدت روشنایی به سطحی است که ایمنی، بهره‌وری و سوددهی را به طور جدی تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین از اهمیت تعمیر و نگهداری منظم تمامی تجهیزات روشنایی نمی‌توان چشم‌پوشی کرد.

تلفات نور خورشید به هنگام عبور از پنجره‌های کثیف جایز نیست، اما نباید فراموش کرد که تجهیزات روشنایی نیز گرد و غبار و جرم را جمع می‌کنند که این خود باعث کاهش و افت نور خروجی می‌شود. با گذشت زمان، شدت نور بیشتر لامپ‌های الکتریکی بتدریج کم می‌شود اما با اینحال بیشترین تلفات نور می‌تواند ناشی از تجمع و انباشته شدن گرد و غبار و جرم بر روی خود لامپ و یا رفلکتورها و یا سایر سطوح کنترل‌کنندهٔ نور چراغها و نیز سقف، دیواره‌ها و دیگر رفلکتورهای داخل اتاق باشد. حتی در یک محیط تمیز مانند یک دفتر این مسأله ممکن است حداقل ۲۰٪ شدت نور خروجی را کاهش دهد و در بعضی از صنایع ریخته‌گری و مکانهای کاری خشن مهندسی این کاهش می‌تواند ٤۰٪ یا بیشتر باشد. علاوه بر این، انباشتگی گرد و غبار در سطح فوقانی

چراغها ممکن است باعث افزایش حرارت شده و در نتیجه تخریب و آسیب سیم‌بندی‌ها و سیستم‌های کنترل را سبب گردد.

بنابراین یک برنامهٔ منظم نظافت باید تدوین شود و اگرچه چنین برنامه‌ای باید مکررا انجام شود لیکن می‌توان آن را به صورتی برنامه‌ریزی کرد که با برنامهٔ تعویض گروهی لامپ‌ها تطبیق داشته باشد. سیکل‌های نظافت که با برنامهٔ تعویض گروهی لامپ‌ها منطبق نباشد فرصت مناسبی برای تعویض لامپ‌های سوختهٔ تکی می‌باشد. تعویض و جایگزینی لامپ‌ها همگامی (که به صورت انفرادی انجام شود یا دسته‌ای) ممکن است پرهزینه باشد و وقت برقکاران و انبارداران را تلف نماید و حتی کار گروه‌های کاری مجاور را نیز تحت‌الشعاع قرار دهد.

- ضریب بقاء لامپ (کاهش طول عمر لامپ نسبت به مدت زمان پیش‌بینی شده)
- ضریب نگهداری وسیله روشنایی (درجهٔ کثیف شدن آن)

۲

## ٦ ـ ٥ ـ دوره سرویس (عمر) لامپ‌ها

هنگامی که کلمهٔ «طول عمر» در مورد لامپها بکار می‌رود، دو معنی مجزا از آن استنباط می‌شود:

- زمانی که لامپ از کار می‌افتد (می‌سوزد)
- زمانی که پس از آن، نور خروجی لامپ در اثر فرآیندهای فرسودگی طبیعی چنان کاهش می‌یابد که تعویض لامپ اقتصادی‌تر خواهد بود، حتی اگر از نظر الکتریکی قابل بهره‌برداری باشد. این مدت «دورهٔ سرویس اقتصادی» نام دارد.

لامپهای رشته‌ای در تعریف نخست «طول عمر» قرار دارند. طول عمر متوسط انواع متداول لامپ‌ها تحت شرایط مشخص تحت استانداردهای بین‌المللی تعریف می‌شود و به عنوان یک سازش عملی بین طول عمر و کارآیی پذیرفته شده است.

لامپهای تخلیه‌ای و فلورسنت در تعریف دوم جای می‌گیرند، طول عمر لامپهای تخلیه‌ای موضوع پیچیده‌ای است و هیچ استاندارد بین‌المللی برای تعریف طول عمر آنها وجود ندارد. امروزه لامپهای تخلیه‌ای و فلورسنت ممکن است هزاران ساعت کار کنند اما در طول این زمان نور خروجی به طور مداوم تنزل پیدا می‌کند چنانچه از این لامپها تا زمانی که از نظر الکتریکی خراب شوند استفاده گردد، شدت نور خروجی می‌تواند نصف میزان اولیه و یا کمتر از آن باشد. در عمل، لامپهای تخلیه‌ای و فلورسنت را باید در مناسبترین زمان از نظر اقتصادی برای هر مورد بخصوص تعویض نمود.

## ۷ ـ ۵ ـ تعویض برنامه‌ریزی‌شدهٔ لامپ‌ها

در تمام تأسیسات، به جز تأسیسات بسیار کوچک، منطقی است که تعویض لامپها به صورت گروهی و در فواصل برنامه‌ریزی شده انجام شود. بطور مشابه، در صورتی که نگهداری لامپهای فلوئورسنت با راه‌انداز دو شاخه مد نظر باشد، معمولاً تعویض کلیدهای راه‌انداز به صورت گروهی و پس از هر دوبار تعویض لامپ از نظر اقتصادی مقرون بصرفه خواهد بود. ممکن است که تعویض راه‌اندازهای معمولی با راه‌اندازهای الکترونیکی که نیاز به تعویض مکرر ندارند نیز از نظر اقتصادی مقرون بصرفه باشد.

دوره بهینه برای تعویض لامپها برای یک تأسیسات بخصوص بستگی به هزینه انرژی و نیروی کاری آن دارد. قاعده مرسوم آن است که هنگامی که هزینهٔ انرژی تلف‌شده به اندازه هزینهٔ جایگزینی و تعویض لامپها گردد، بایستی تعویض لامپها به صورت گروهی صورت پذیرد. محدودیت دیگر آن است که لامپها باید قبل از آنکه خروجی‌شان تا مقدار ۳۰٪ کمتر از مقدار اولیه کاهش یابد، تعویض شوند. باید با سازندگان به منظور بدست آوردن منحنی استهلاک و کاهش نور لامپهای مورد استفاده مشورت گردد.

## ٦ ـ کلیدزنی و کنترل

هدف از کنترل، تأمین روشنایی با ویژگی‌های زیر می‌باشد:

ـ به میزان مناسب و صحیح

ـ در مکان صحیح

ـ برای زمان لازم

حتی در لامپها و وسائل روشنائی کاراً و نظایر آن، انرژی استفاده شده برای روشنایی ممکن است به طرق مختلفی تلف شود.

بررسی‌های نظارتی دقیق نشان می‌دهد که در حالت کلی، مردم تنها زمانی لامپ را روشن می‌کنند که به آن نیاز داشته باشند اما نمی‌توان مطمئن شد که در صورت کافی بودن نور در هنگام روز و یا زمانی که اتاقها خالی از

سکنه است آنها را خاموش نمایند. توصیه و نصیحت در کوتاه مدت ممکن است مفید باشد اما راه حل ایده‌آل تعبیهٔ کلید دستی برای روشن کردن و نوعی مدارهای کنترل به منظور خاموش کردن است. علت دیگر مربوط به کنترل روشنائی نواحی بزرگ با تعداد کمی کلید و طراحی کلیدها بطریقی است که نیازهای موضعی را فقط

جدول ۲: مطالعه نمونه با استفاده از نگهداری برنامه‌ریزی شده و بدون آن

| بار الکتریکی طراحی شده | ۱<br>٪۱۰۰ | ۲<br>٪۹۰ | ۳<br>٪۸۵ |
|---|---|---|---|
| نگهداری | خیلی کم. تعویض لامپها بعد از خرابی، نظافت نامنظم (و شاید اصلاً صورت نمی‌گیرد) | برنامه‌ریزی شده به عنوان مثال بعد از ۳۰۰۰ ساعت، نظافت و تعویض لامپها بعد از ۶۰۰۰ ساعت | برنامه‌ریزی شده به عنوان مثال نظافت بعد از ۲۰۰۰ ساعت، نظافت و تعویض لامپها بعد از ۴۰۰۰ ساعت. |
| میزان و سطح شدت روشنایی واقعی: | | | |
| اولیه | ۱۰۰ | ۹۰ | ۸۵ |
| در ۲۰۰۰ ساعت | ۸۲ | ۷۳ | ۶۹←۸۰<br>بعد از نظافت |
| در ۳۰۰۰ ساعت | | نظافت | |
| در ۴۰۰۰ ساعت | ۶۷ | ۷۴ | ۶۵←۸۵<br>بعداز نظافت وتعویض لامپها |
| در ۶۰۰۰ ساعت | ۵۳ | ۶۲←۹۰<br>بعداز نظافت وتعویض لامپها | ۶۹←۸۰<br>بعد از نظافت |
| در ۸۰۰۰ ساعت | ۴۴ | ۷۳ | ۶۵←۸۵<br>بعداز نظافت وتعویض لامپها |
| میانگین | ۷۲ | ۷۶ | ۷۵ |
| تعداد تغییرات در لامپها | ۱+ | ۲ | ۳ |
| مقایسهٔ هزینه‌های جاری (برق، نظافت و لامپها) | ٪۱۰۰ | ٪۹۴ | ٪۹۳/۵ |
| صرفه‌جویی (شامل هزینه‌های نگهداری) | — | ٪۶ | ٪۶/۵ |

می‌توان با روشن کردن تعداد زیادی از تجهیزات روشنائی برآورده ساخت. استفاده از مدارهای کنترل روش بسیار مؤثری در کاهش هزینه‌های روشنایی است اما قبل از متحمل شدن هزینه‌ها، پیشنهاد می‌شود که الگوی اشغال هر محل و اعمال مربوطه مورد مطالعه قرار گیرد. این کار امکان استفاده از مؤثرترین سیستم کنترل را فراهم می‌سازد.

## ۱ ـ ۶ ـ کنترل‌های دستی

ترتیب کلیدزنی باید حداقل به گونه‌ای باشد که امکان کنترل مجزای وسائل روشنائی که در ردیفهای منفرد و موازی دیوارهای دارای پنجره قرار گرفته‌اند را فراهم سازد. امروزه کنترلهائی وجود دارد (مکانیکی و الکترونیکی) که ساکنین یک تأسیسات بزرگ می‌توانند با استفاده از آنها، وسائل روشنائی را به صورت منفرد کنترل نمایند. کلیدها باید تا حد امکان نزدیک به لامپهائی باشند که توسط کلیدهای مزبور کنترل

می‌شوند. یک روش ساده که بطور مؤثری بکار گرفته شده است استفاده از سیم کش است که کلیدهای سقفی مجاور وسیله روشنائی را به کار می‌اندازد. کنترلهای الکترونیکی (مافوق صوت و یا مادون قرمز) ممکن است نزدیک میز کار ساکنین قرار داده شود تا بدین‌طریق کنترل یک و یا چند وسیله را در اختیار آنان بگذارد. استفاده از یک کنترل اصلی از این نوع، ضرورت سیم‌کشی به کلیدها در روی دیوارها را برخلاف می‌سازد، ما نیازمند به واحدهای کنترل ویژه‌ای است که باید در کنار وسائل روشنائی نصب شوند. استفاده از سنسورها در حالت کلی برای کارخانه‌ها مناسب نیست و بهترین کاربردهای این وسایل در سالنهای ورزشی، انبارهای کالا نظافت دفاتر و سایر مکانهایی است که به صورت متناوب مورد استفاده قرارمی‌گیرند.

## ۲ ـ ٦ ـ کنترلهای اتوماتیک

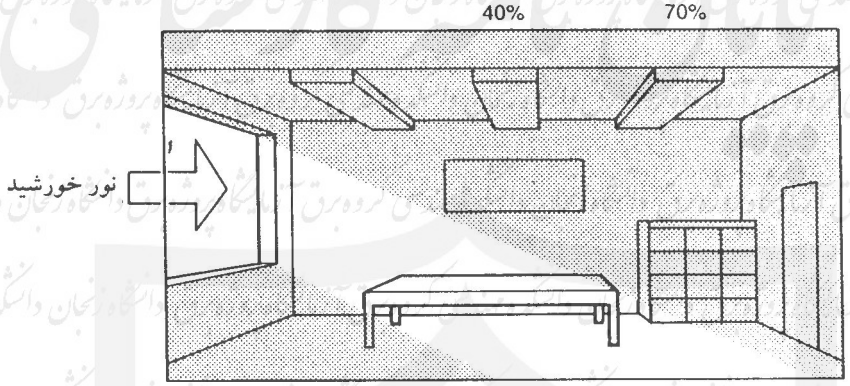
### ۱ ـ ۲ ـ ٦ ـ کنترل‌های فتوالکتریک

کنترل روشنایی به طریق فتوالکتریک این اطمینان را می‌دهد که روشنائی در هنگام روز که شدت نور طبیعی به میزان کافی و مورد نیاز است خاموش شود.مثلاً، یک سنسور فتوالکتریک قادر است براساس شدت نور خارجی‌طوری تنظیم شود که در شدتی از نور خارج که درنتیجه آن شدت نور مورد نظر در محیط کاری فراهم می‌گردد، عمل نماید.

کنترل تدریجی شدت نور (افزایش و یا کاهش.) نسبت به شکل ساده کلیدزنی روشن - خاموش ترجیح داده می‌شود. افراد از این نوع کنترل ناراضی نیستند و این روش نسبت به قطع و وصل ساده کلید، صرفه‌جویی انرژی بیشتری را به دنبال دارد. می‌توان با کنترل نور خروجی لامپهای فلورسنت، هنگامی‌که نور طبیعی روز به تنهایی بمقدار نور طراحی مصنوعی نرسد، شدت روشنایی کافی را تأمین کرد. چنین سیستمی نسبت به سیستمهایی‌که لامپها را در تمام مدتی که شدت نور طبیعی پایین‌تر از میزان مطلوب قرار دارد به طورکامل روشن نگاه می‌دارند، انرژی کمتری مصرف خواهد نمود.

در مکانهایی با عمق نسبتاً زیاد که از دو یا تعداد بیشتری ردیف روشنائی موازی تا دیوارهای دارای پنجره استفاده می‌شود، ممکن است استفاده از یک کنترل‌کننده‌ها مجزا برای هر ردیف مناسب باشد (شکل ۲ را ملاحظه

کنید). اگر کنترل از نوع روشن - خاموش باشد، تنها کنترل‌کننده ردیفی که به پنجره نزدیکتر است باید بدین طریق عمل کند تا مقبولیت لازم را داشته باشد، اگرچه طراحی دقیق با استفاده از وسائل روشنائی چند لامپی نیز ممکن است مناسب باشد. امکان صرفه‌جویی انرژی زیاد است (تا ۵۰٪ حالتی که کنترلی در کار نیست ادعا شده است)، اما به منظور محاسبه صرفه‌جوئی بالقوه، هر مورد خاص بایستی مورد ارزیابی قرارگیرد. به طور کلی، کنترل تدریجی شدت نور گرانتر از کلیدزنی ساده روشن خاموش است، اما مطمئن‌تر و میزان صرفه‌جویی انرژی بیشتر است.




شکل ۲: کنترل بیش از یک ردیف وسائل روشنائی

## ۲ ـ ۲ ـ ٦ ـ کنترل زمانی

اگر ساکنان یک ساختمان در هر روز کاری و در ساعت مشخصی خارج شوند، نصب یک کلید زمانی بطوری که عمده وسائل روشنائی بلافاصله بعد از این زمان خاموش شوند بسیار با ارزش خواهد بود. با اینحال، در چنین شرایطی باید ترتیبی اتخاذ گردد تا بخاطر مسائل امنیتی و نیز برای افرادی که در پایان زمان کاری معمول نیز مشغول کار می‌باشند، تعدادی از چراغها روشن باقی بمانند. نظافت ساختمان نیز ممکن است برنامه‌ریزی خاصی نیاز داشته باشد. کنترل ترتیبی روشنایی وقتی که گروه نظافتچی از یک طبقه به طبقه دیگر حرکت می‌کنند، می‌تواند مناسب باشد. در هر حال، باید ترتیبی مقرر کرد که هیچکس وارد یک فضای تاریک نشود و یا در فضایی که کلید روشنایی آن خارج از کنترل اوست وارد نگردد.

## ۳ ـ ۲ ـ ٦ ـ سیستمهای کنترلی ترکیبی

کنترل به طریق کلیدزنی قادر است به میزان قابل توجهی در انرژی صرفه‌جویی ایجاد کند. به عنوان مثال یک سیستم کنترل زمانی که لامپهای مشخصی را در یک دوره زمانی مشخص روز خاموش می‌کند (اما دارای کنترل

موضعی شخصی برای روشن کردن است) می‌تواند بازگشت سرمایه‌ای را در مدت یک و نیم تا دو سال بدنبال داشته باشد. این موضوع در پروژه‌هایی که در آنها از روش کلیدزنی زمانی، کنترلهای موضعی و فتوالکتریک استفاده شده است و در قالب طرح نمایش بهره‌وری انرژی زیر نظر بخش سابق انرژی نشان داده شده است. اگر یک سیستم کنترل زمانی در زمان ترمیم و بازسازی نصب شود، بازگشت سرمایه، یکسال و یا کمتر از آن خواهد بود. این اصل کلی برای فضاهای چند منظوره همچون دفاتر گروهی مناسب است، اما با اعمال دقت لازم می‌تواند برای مدارس، کارخانه‌ها، انبارهای کالا و نظایر آن نیز صادق باشد. سیستمهای تجارتی وجود دارند که امکان عملی کردن این اصل را فراهم نموده و در بعضی از این سیستمها توانایی اضافی کلیدزنی فتوالکتریک (با امکان اعمال کنترل موضعی) در نظرگرفته می‌شود تا صرفه‌جویی بیشتری ممکن گردد. استفاده از کلیدزنی راه دور (از طریق فرستنده‌های مادون قرمز و یا مافوق صوت) به منظورتأمین امکان کنترل موضعی نیز ممکن است.

## ۷ ـ ممیزی تجهیزات موجود

- تاریخ نصب

هر نوع تجهیزاتی که عمر آن بیش از ۲۰ سال باشد در هر حالت لازم است که دوباره سیم‌کشی شود. وسائل روشنائی با عمر بیش از ده سال احتمالاً ضعیف شده‌اند و در بسیاری حالات انواع با بازده بالاتر در دسترس خواهد بود که جایگزینی آنها با نوع مرغوب یک سرمایه‌گذاری با ارزش خواهد بود.

- بررسی شدت نور

خواندن مقادیر باید بوسیلهٔ یک نورسنج با دقت مشخص درهرنقطهٔ کاری یا در مراکز یک الگوی منظم شیک (که یا شبکهٔ فضای وسائل روشنائی منطبق نباشد) برای تمام محیط در صفحهٔ کار افقی انجام شود. شدت متوسط روشنایی افقی برابر میانگین مقادیر خوانده شده است. تغییر در شدت نور یک موضع نباید به مقدار زیاد باشد. نسبت حداقل شدت روشنایی به شدت متوسط روشنایی در ناحیهٔ مورد نظر باید بیش از ۰/۸ باشد، کمترین شدت روشنایی درفضاها نباید کمتر از ۳۰٪ مقدار میانگین باشد.

شدت روشنایی متوسط و مقادیر مربوط به مکانهای کاری انفرادی باید با مقادیر توصیه شده برای آنها در

استانداردهای CIBSI مقایسه شود و سپس تصمیمی اتخاذ گردد که مقبولیت لازم را از نظر بهره‌وری، سلامتی، ایمنی و مسائل روحی دارا باشد.

- نوع منبع نور و وسیله روشنائی

رفلکتورها با افزایش عمر مستهلک شده و درصد زیادی از نور را جذب می‌کنند. در واحدهایی مانند انبار کالا و واحدهای صنعتی، نکاتی را باید به منظور جایگزینی لامپها و رفلکتورها در نظرگرفت که از آن جمله استفاده ازسدیم با فشار زیاد، متال هلاید و یا سدیم با فشار زیاد تزئینی است. در دفاتری که روشنایی آنها توسط لامپهای فلورسنت لوله‌ای شکل تأمین می‌شود، ممکن است رنگ‌رفتگی رفلکتورها و پراکندگی سطوح وسائل روشنائی رخ دهد.

جایگزینی وسائل روشنائی با لامپهای با بازده بالاتر منجر به صرفه‌جویی در میزان انرژی و روشنایی بهتر خواهد شد. به طور کلی، استفاده از رفلکتورها و یا کنترل منشوری[1] باعث می‌شود که روشنایی مورد نیاز با انرژی کمتری نسبت به استفاده از پخش‌کننده‌ها و یا لامپ تنها تأمین گردد. در یک کارخانه کم ارتفاع، لامپ‌های فشار زیاد جیوه‌ای و لامپهای فلورسنت هر دو انتخابهای خوبی هستند. در کارخانه‌هایی که در آنها از ماشینهای چرخان همچون ماشین‌تراش و مته استفاده می‌شود، استفاده از روشنایی لامپهای فلورسنت با فرکانس بالا باید بطور جدی مورد توجه قرارگیرد.

- وضعیت دکوراسیون

وضعیت دیوارها، سقفها و سایر سطوح داخل ساختمان نیز باید در این مرحله در نظرگرفته شود. آراستن مجدد با استفاده از سایه‌های نور، انعکاس از سطوح را بهبود می‌بخشد و نقش مهمی در بهبود بهره‌وری و بازده تجهیزات دارد، اما حفظ آن ضروری است.

- بررسی تأسیسات و سیم‌کشی

در صورتی که از لامپهای تخلیه و یا فلورسنت قدیمی استفاده شده باشد، جدای از استهلاک ناشی از گرد و غبار و آلودگی، خازنهای ضریب توان ممکن است مدار باز شده باشند که این موضوع باعث افزایش جریان راکتیو شده و درنتیجه در بسیاری از تعرفه‌ها منجر به افزایش جریمه ضریب توان می‌گردد.

- بررسی صورت‌های خرید

در بسیاری حالات، بررسی صورت‌های خرید به منظور شناسایی محصولات غیرکارآ، سودمند خواهد بود. خرید منظم سالانهٔ لامپهای رشته‌ای تنگستن شاید امکان تبدیل آنها به لامپهای فلورسنت کمپاکت را نشان دهد. همچنین بررسی خرید لامپهای فلورسنت لوله‌ای و با لامپهای تخلیه جیوه‌ای ممکن است ارزشمند باشد.

- بررسی کارآیی تجهیزات

به عنوان بررسی مدیریتی بر روی کارآیی کلی روشنایی تجاری و صنعتی اعمال زیر را انجام دهید:

الف - مساحت را برحسب مترمربع اندازه‌گیری کنید.

ب - بار روشنایی نصب‌شده وا برحسب وات برآورد کنید (مصرف لامپ × تعداد لامپ؛ا مقدار ۱۲ ٪ برای مصرف در تجهیزات کنترل لامپهای تخلیه‌ای و فلورسنت اضافه کنید).

ب - با تقسیم «ب» بر«الف» بار نصب‌شده را برحسب وات بر متر مربع محاسبه کنید.

ت - شدت روشنایی متوسط را اندازه‌گیری کنید (لوکس)

تأسیساتی با تجهیزات مدرن و کارآ بار نصب‌شده‌ای در حدود مقادیر زیر نیاز خواهد داشت:

برای هر ۱۰۰ لوکس شدت روشنایی: $۲-۳ W/m^۲$ = روشنایی صنعتی

برای هر ۱۰۰ لوکس شدت روشنایی: $۲/۵-۳/۵ W/m^۲$ = روشنایی تجاری

اگر بررسی شما باری بیشتر از این مقادیر را نشان دهد، بررسی جزئی‌تری توصیه می‌شود.

نکته: این روش برای روشنایی تجاری و صنعتی مناسب است و برای تجهیزات تزئینی و صفحات نمایشی مناسب نیست.

- بررسی انعطاف‌پذیری کنترل‌کلیدزنی

به الگوی سکونت در نواحی مورد مطالعه توجه کنید. آیا انعطاف‌پذیری کلیدزنی و سیستمهای کنترل برای اطمینان از اینکه هیچ تلفاتی درصورت عدم سکونت اتفاق نمی‌افتد کافی است؟ آیا روشنایی در صورت کافی بودن نور طبیعی (نور روز) خاموش می‌شود.

## ضمیمه ۱

بررسی مقایسه‌ای هزینهٔ روشنایی

پروژه:

جهت ارائه به:

شماره گزارش:

| نوع وسیله روشنائی | سیستم «الف» | | سیستم «ب» | |
|---|---|---|---|---|
| | واحد | کل | واحد | کل |
| هزینه‌های سرمایه‌گذاری: | | | | |
| ۱- تعداد وسائل روشنائی | | | | |
| ۲- هزینه هر وسیله روشنائی (پوند) | | | | |
| ۳- تعداد نقاط سیم‌کشی | | | | |
| ۴- هزینه هر نقطه (پوند) | | | | |
| ۵- هزینه اولیه‌سیستم با درنظرگرفتن‌مدارهای کنترل(پوند) | | | | |
| ۶- تعداد و نوع لامپها | | | | |
| ۷- هزینه لامپ (پوند) | | | | |
| ۸- هزینه اولیه سیستم با احتساب لامپها (پوند) | | | | |
| ۹- شدت روشنایی متوسط در محیط کار | | | | |
| ۱۰- هزینهٔ تمام شده بر لوکس (پوند) | | | | |
| هزینه مالکیت و هزینه‌های بهره‌برداری: | واحد | کل | واحد | کل |
| ۱۱- تعداد وسائل روشنائی | | | | |
| ۱۲- وات بر هروسیله‌روشنائی (شامل تلفات‌مدارهای‌کنترل) | | | | |
| ۱۳- بار (kw) | | | | |
| ۱۴- ساعات استفاده در سال | | | | |
| ۱۵- kwh برسال | | | | |
| ۱۶- هزینه سالانهٔ انرژی (پوند) | | | | |
| (الف) هزینهٔ حداکثر تقاضا | | | | |
| (ب) هزینهٔ واحدها | | | | |
| ۱۷- طول عمر نامی لامپ (ساعت) | | | | |
| ۱۸- تعداد وسائل روشنائی/لامپها | | | | |
| ۱۹- تعداد لامپهای تعویض‌شده در سال | | | | |

# فصل سوم:

# روش های نوین صرفه جویی و کاهش مصرف انرژی در الکتروموتورهای صنعتی

# کاربرد کنترل کننده های دور موتور در صرفه جویی

## مقدمه

بحث انرژی از دو دیدگاه اقتصادی و زیست محیطی حائز اهمیت است . بهینه سازی مصرف انرژی به این معنی است که بتوان با استفاده از تجهیزات و یا مدیریت بهتر همان کار را ولی با مصرف انرژی کمتر انجام بدهیم .

صرفه جوئی انرژی می تواند با استفاده از تجهیزات بهتر نظیر : عایق بندی مطلوب ، افزایش راندمان سیستمهای حرارتی، و بازیابی تلفات حرارتی بدست آید از طرف دیگر اعمال مدیریت انرژی، بمنظور درک سیستمهای موجود و طریقه استفاده از آنها، میتواند در کاهش مصرف انرژی نقش مهمی داشته باشد. در سیاست گذاری انرژی باید سازمانها رویکرد سیستمی داشته باشند. برای مثال در بهینه سازی مصرف انرژی الکتریکی هدف تنها کاهش هزینه های انرژی یک یا چند الکتروموتور مشخص نیست، بلکه باید آثار اقدامات مورد نظر روی سایر سیستمها نیز بدقت مورد توجه قرار گیرد. در یک بنگاه اقتصادی صرفه جوئی انرژی میتواند موجب برتری رقابتی بنگاه گردد.

در اغلب بخشهای صنعتی انرژی الکتریکی مهمترین منبع انرژی صنعت بشمار می رود . از آنجا که موتورهای الکتریکی، مصرف کننده اصلی انرژی الکتریکی در کارخانجات صنعتی میباشند. لذا بهینه سازی مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی که موضوع مقاله است از اهمیت ویژه ای برخوردار خواهد بود . برای درک اهمیت بهینه سازی مصرف انرژی به این مورد اشاره می کنیم که اگر راندمان موتورهای الکتریکی القائی موجود در اروپا تنها به میزان ۱٪ افزایش یابد، هزینه مصرف انرژی الکتریکی به میزان ۱/۶ میلیارد دلار در سال کاهش خواهد یافت .

. اهداف بهینه سازی مصرف انرژی را میتوان بصورت زیر بیان نمود:

ذ استفاده منطقی از انرژی

- حفظ منابع انرژی
- اصلاح میزان مصرف انرژی در بخشهای مصرف کننده انرژی
- کاهش گازهای گلخانه ای و آلودگی هوا
- اصلاح وضعیت موجود
- کسب برتری رقابتی در بنگاههای اقتصادی

می توان اقدامات مختلفی برای صرفه جوئی انرژی الکتریکی در الکتروموتورهای صنعتی بعمل آورد. در حالت کلی این اقدامات به دو دسته تقسیم میشود:

۱- اقدامات مربوط به طراحی موتور

۲- اقدامات مربوط به بهره برداری از موتورها

اقدامات مربوط به بهره برداری از موتورها را نیز میتوان به دو دسته تقسیم نمود:

۱- اقدامات روی موتور، نظیر تهویه، روغنکاری، و بارگذاری

۲- استفاده از درایو یا کنترل کننده دور موتور

در این مقاله نخست روشهای بهینه سازی مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی را مورد بحث قرار می دهیم سپس کاربرد درایوها در کنترل موتورهای الکتریکی و تاثیری که آنها می تواند در صرفه جوئی مصرف انرژی بگذارند مورد بررسی قرار خواهد گرفت .

## - انتخاب موتور مناسب

موتورهای القائی سه فاز و یک فاز به دلیل تنوع مصرف در کاربردهای زیادی مورد استفاده قرار می گیرند. مشخصه های بارمکانیکی ناشی از کاربرد و مورد مصرف می باشد. بدیهی است موتور در صورتی می تواند بار مکانیکی متصل به آن را تامین کند که مشخصه عملکردی موتور منطبق بر مشخصه بار مکانیکی باشد .

## تطابق موتور و بار

همانطور که در بالا اشاره شد موتور و بار دارای مشخصه های خاص خود می باشند . منظور از تطابق بین موتور و بار انطباق بین مشخصه های موتور و مشخصه های بار متصل به محور موتور میباشد .

مشکل اصلی در صنایع کشور آن است که در اغلب موارد تطابق مطلوبی بین مشخصه های بار و موتور وجود ندارد. توان اغلب موتورها بیش از بار متصل به محور شان می باشد و با توجه به اینکه قیمت تمام شده موتور متناسب با توان آن می‌باشد، لذا بدیهی است انتخاب موتور با توان بیش از نیاز بار، علاوه بر افزایش هزینه اولیه موتور موجب افزایش سایر هزینه ها از قبیل کابل کشی و نصب و راه اندازی و تعمیر خواهد شد .

از طرف دیگر در صورتیکه موتور انتخاب شده بزرگتر از حد لازم باشد در این صورت موتور در حالت بار کامل و یا نزدیک به بار کامل کار نکرده و لذا بازدهی آن پایین تر از مقدار حداکثر آن خواهد بود . و خود این امر اشکالات جدی در بهینه سازی مصرف انرژی ایجاد خواهد کرد .

در موتورهای القائی سه فاز در صورت کاهش میزان بازدهی موتور ، به ویژه به میزان کمتر از ۸۰٪ بار کامل ، شاهد کاهش قابل توجه در بازدهی موتور خواهیم بود . متاسفانه در اکثر موارد به این نکته توجه نشده و تنها تاثیر نامطلوب انتخاب موتور بزرگتر از حد لازم بر هزینه اولیه مورد توجه قرار می گیرد . در صورتیکه محاسبات انجام شده حاکی از آن است که تاثیر انتخاب نامناسب موتور بر هزینه های متغیر (هزینه اتلاف انرژی اضافی) قابل توجه و بمراتب بیش از افزایش هزینه ثابت اولیه می باشد .

یک مثال این موضوع را روشن خواهد کرد :

مثال : فرض می کنیم برای انجام یک کار مکانیکی ، موتور القائی سه فاز با توان خروجی ۱۱۰ کیلو وات مناسب باشد و بجای آن موتور با توان ۱۳۲ کیلو وات انتخاب شود . اطلاعات زیر را مورد توجه قرار می دهیم :

- بازدهی موتور در بار کامل = ۹۴/۲٪
- بازدهی موتور در ۸۳/۳٪ بار کامل = ۹۲/۵٪

- طول عمر مفید موتور = ۱۵ سال

- ضریب کارکرد = ۰/۸

با انجام کمی محاسبات می توان نتیجه گرفت که مصرف انرژی در طول ۱۵ سال بمقدار ۹۳۷/۶۰۰ کیلو وات ساعت افزایش پیدا خواهد کرد. مطالب فوق این واقعیت را بیان می کند که انتخاب موتور مناسب به لحاظ اقتصادی حائز اهیمت فراوان بوده و لذا تطابق بین بار و موتور از اهمیت ویژه ای برخوردار است . انتخاب موتور بزرگتر از حداقل مورد نیاز به دلایل زیر غیر اقتصادی می باشد :

۱- با افزایش توان موتور قیمت آن یعنی هزینه اولیه افزایش می یابد .

۲- با افزایش توان موتور هزینه های نگهداری و تعمیرات آن افزایش می یابد .

۳- با افزایش توان موتور بدلیل پایین آمدن ضریب بار ، بازدهی موتور کاهش یافته و بدین ترتیب انرژی تلف شده افزایش می یابد .

## - اقدامات مورد نیاز برای بهبود عملکرد سیستمهای مرتبط با الکتروموتورها

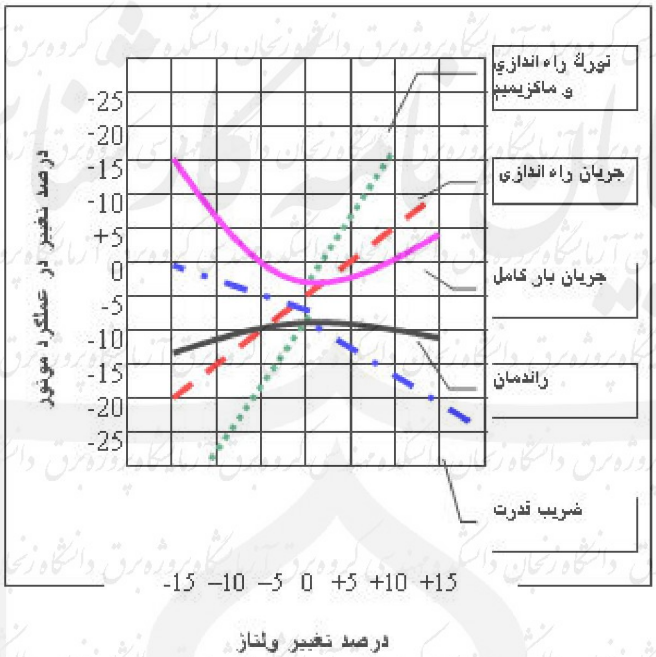
یک موتور معمولا با اجزا و سیستمهای دیگر در ارتباط است. برای بهبود عملکرد الکتروموتورها لازم است سیستمهای مرتبط با موتور نیز در نظر گرفته شود. این سیستمها شامل شبکه برق، کنترل کننده های موتور، الکتروموتور و سیستم انتقال نیرو میگردد.

## - کیفیت توان Power Quality

مسائل کیفیت توان شبکه شامل کلیه اختلالات شبکه برق مثل عدم تقارن در ولتاژ، افت ولتاژ، چشمک زدن، اسپایک، سیستم ارت بد ، هارمونیکها و نظایر آن میشود [۵]. از آنجا که کیفیت توان تاثیر زیادی در اتلاف انرژی دارد، لازم است یک مهندس مجرب وضعیت شبکه برق تاسیسات را زیر نظر داشته باشد.

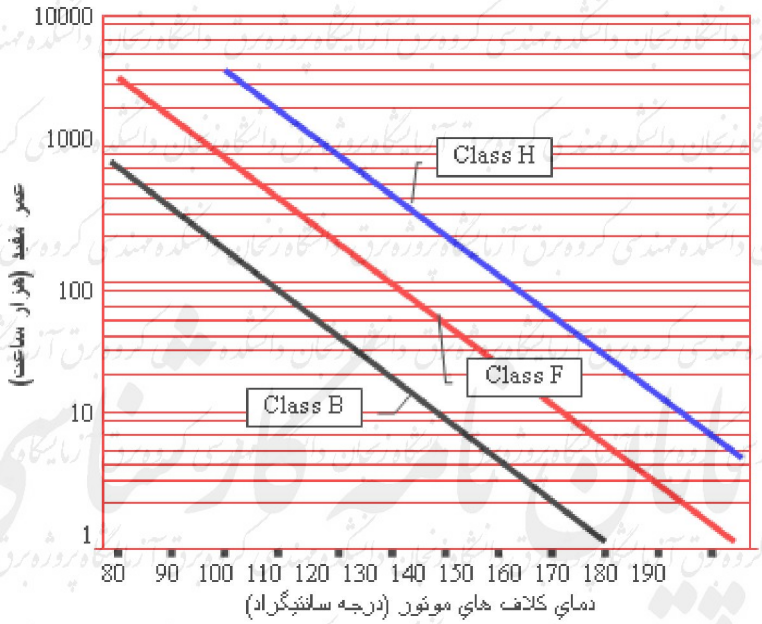
## - تثبیت ولتاژ شبکه

تا آنجا که ممکن است باید ولتاژ اعمالی به موتور نزدیک به ولتاژ کار موتور باشد. گرچه تغییرات ۱۰٪ در ولتاژ موتور مجاز است اما از نقطه نظر اتلاف انرژی میزان انحراف از ولتاژ نامی موتور باید کمتر از ۵٪ باشد. تغییر ولتاژ موتور موجب افت ضریب قدرت، عمر مفید موتور و راندمان میگردد [۶]. شکل(۱)




شکل(۱): بررسی تاثیر تغییرات ولتاژ اعمالی به موتور روی تورک، جریان راه اندازی، جریان بار کامل، راندمان و ضریب قدرت

اگر ولتاژ موتور بیش از ۵٪ کاهش پیدا کند، راندمان بین ۲ تا ۴ درصد افت پیدا کرده و دمای موتور حدود ۱۵ درجه افزایش می یابد و این افزایش دما عمر عایق موتور را کاهش خواهد داد. در شکل(۲) عمر موتور در دماهای کار مختلف و با کلاسهای عایقی مختلف نشان داده شده است.




شکل (۲): بررسی تاثیر دمای کلافهای موتور روی عمر مفید آن برای موتورهای با کلاس عایقی مختلف

## عدم تقارن فاز

عدم تقارن فاز باید کمتر از ۱٪ باشد. عدم تقارن فاز بصورت زیر توسط NEMA تعریف شده است:

$$100\% \times \left( \frac{\text{متوسط ولتاژ سه فاز} - \text{حداکثر انحراف ولتاژ از مقدار ولتاژ}}{\text{متوسط متوسط ولتاژ سه فاز}} \right)$$

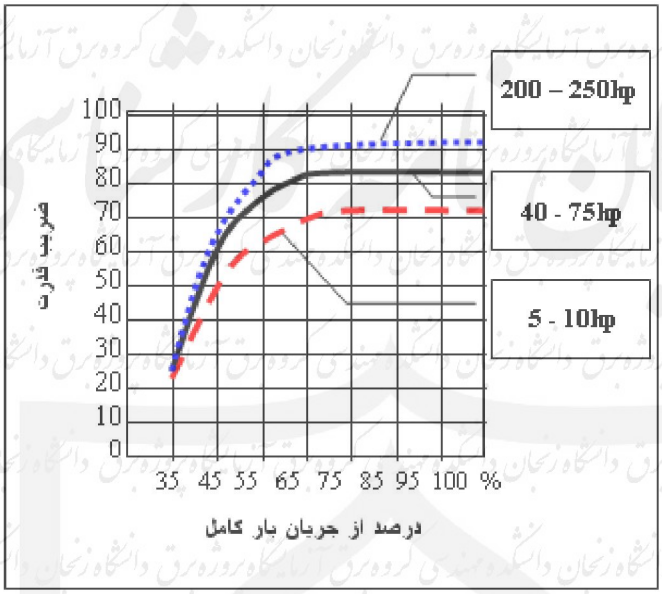
برای مثال اگر ولتاژهای فاز بترتیب ۴۶۲ و ۴۶۳ و ۴۵۵ ولت باشد. متوسط ولتاژ سه فاز برابر با ۴۶۰ ولت میشود و در صد عدم تقارن بصورت زیر محاسبه خواهد شد:

$$\frac{460-455}{460} \times 100\% = 1.1\%$$

## ضریب قدرت

ضریب قدرت پائین موجب افزایش جریان کابلها و ترانسفورماتورها و افت ولتاژ شده و بدین ترتیب باعث کاهش

ظرفیت سیستم تغذیه میشود[7] . ضریب قدرت پائین ناشی از بار کم در شفت موتور است. در شکل (۳) منحنیهای ضریب قدرت برای بارهای مختلف و رنجهای توانی متفاوت موتورها آمده است[8] . بوضوح مشاهده میشود با کاهش بار موتور ضریب قدرت تغییرات قابل توجهی میکند.




شکل (۳): تغییرات ضریب قدرت متناسب با بار موتور

## - روشهای عملی برای افزایش بازدهی موتور

اشاره شد که بالا بردن بازدهی متوسط موتورهای القائی به لحاظ اقتصادی از اهمیت ویژه ای برخوردار است . بدیهی است نحوه عمل و دستیابی به نتایج مطلوب وابسته به نوع و اندازه موتور ، شرایط بارگذاری ، نحوه نگهداری و غیره بوده و لذا نمی توان دستور العمل کلی برای ارتقاء بازدهی کلیه موتورهای القائی ارائه داد. بطور کلی اقدامات لازم برای بالا بردن بازدهی موتورهای القائی را می توان به دو دسته تقسیم نمود . دسته اول تمهیداتی است که در زمان طراحی و ساخت موتور باید بکار گرفت . دسته دوم شامل مجموعه اقدامات عملی جهت بالا بردن بازدهی موتورهای القائی در حال کار در صنایع می شود .

اقدامات عملی ساده ای منجر به افزایش راندمان کار می گردد به عنوان مثال مقدار معمول جریان بی باری در موتورهای القائی سه فاز در محدوده ۳ تا ۵ درصد جریان نامی موتور است . ولی در بررسی های بعمل آمده مشاهده شده است که در اکثر موراد جریان بی باری موتور بیشتر از این مقدار بوده و در برخی موارد تا ۱۲٪ جریان نامی افزایش یافته است . این افزایش در جریان بی باری موتور بعلت عدم نگهداری صحیح از موتور است . در اکثر موارد این شرائط نامطلوب در حالات بارگذاری نیز

مشاهده می شود. به این معنی که با اعمال بار مکانیکی غیر مفید به محور موتور ، بصورت اصطکاکهای مکانیکی ناشی از عدم نگهداری صحیح، موجب میشود که موتور بار اعمال شده را در جریان الکتریکی بیشتری تامین می کند . و در واقع بخشی از توان الکتریکی ورودی صرف تامین بار و قسمت دیگر آن برای غلبه بر اصطکاک مکانیکی مصرف می شود .

بدین ترتیب موارد زیر را در ارتباط با تلفات اهمی موتور میتوان بیان کرد :

۱- تلفات اهمی موتور متغیر بوده و تابعی از میزان و نحوه بارگذاری موتور می باشد .

۲- در بسیاری از موارد عدم نگهداری صحیح از قسمتهای چرخان موتور به ویژه بلبرینگ محور موتور ، موجب ایجاد بار مجازی ناشی از افزایش اصطکاک مکانیکی شده و لذا جریان ورودی موتور در حالت بی باری و بار از حد مطلوب و اعلام شده توسط سازنده بیشتر خواهد شود

۳- افزایش جریان ورودی موتور موجب بالا رفتن تلفات اهمی و حرارت ایجاد شده در سیم پیچ شده و لذا درجه حرارت اطراف سیم پیچ افزایش خواهد یافت .

از مشخصات بارز تلفات مکانیکی موتور دشواری محاسبه میزان و تعیین منابع آن است . بخش عمده تلفات مکانیکی در قسمت های چرخان موتور بوده و ناشی از اصطکاک و بار می باشد و لذا میزان تلفات مکانیکی تا حد زیادی وابسته به شرایط نگهداری موتور دارد . با روغن کاری مناسب و بموقع بلبرینگ و نظافت قسمتهای چرخان موتور و همچنین اطمینان از بالانس بودن محور ، میتوان تلفات مکانیکی موتور را به حداقل رساند بدین ترتیب در ارتباط با تلفات مکانیکی موتور میتوان موارد زیر را اظهار داشت :

۱- میزان تلفات مکانیکی تابعی از شرایط نگهداری موتور می باشد .

۲- با انجام اقدامات مناسب در نگهداری موتور می توان تلفات مکانیکی را بسادگی در مقدار حداقل خود نگه داشت.

۳- تلفات مکانیکی نیز منجر به افزایش درجه حرارت بویژه در قسمتهای چرخان موتور می شود .

انواع تلفات موتور بدون توجه به نوع آن منجر به ایجاد حرارت می شود بدین ترتیب خنک کاری موتور بویژه در شرائطی که موتور زیر بار است از اهمیت ویژه ای برخوردار است . بالا رفتن درجه حرارت موتور باعث کاهش عمر مفید آن می‌شود .

در موارد زیادی مشاهده شده است که بدلیل عدم رعایت نکات ساده و مهم در نگهداری موتور باعث کاهش بازدهی سیستم خنک کن شده و درجه حرارت موتور در حالت بار نامی افزایش پیدا کند . در این گونه موارد گاهی اوقات بجای رفع اشکال نگهداری، اقدام به جایگزین کردن موتور با توان بیشتر می شود که این امر خود منجر به کاهش بازدهی سیستم و اتلاف انرژی خواهد شد .

بر اساس تجارب شرکت پرتو صنعت نوع دیگری از اشکالات مربوط به سیم پیچی موتورهای معیوب توسط افراد غیر متخصص می شود. مشاهدات ما نشان می دهد که در برخی از موارد موتور بدفعات مورد سیم پیچی قرار می گیرد . عدم رعایت نکات فنی در عایق بندی موتور سیم پیچی شده و همچنین استفاده از ابزار و آلات غیر اصولی در درآوردن سیم پیچی سوخته شده موتور نتایج بدی بدنبال دارد .

بعنوان یک اصل تجربی موتورهائی که به این شیوه سیم پیچی مجدد می شوند برای کار با اینورتر یا کنترل کننده دور موتور مناسب نیستند. اغلب این موتورها بدلیل آسیب هائی که به مدار مغناطیسی آنها در حین سیم پیچی وارد می شود از جریان بی باری بالاتر از حد معمول برخوردار بوده و عایق بندی آنها برای کار با اینورتر مناسب نمی باشد . این نوع موتورها حرارت بیشتری نسبت به موتورهای سالم دارند و تلفات انرژی زیادی ایجاد می کنند . ضمناً این موتورها بمراتب آسیب پذیرتر از موتورهای فابریک می باشند . توصیه می شود در سیم پیچی موتورهای آسیب دیده از تکنیسین های مجرب و ابزارآلات مناسب استفاده شود . ضمناً تا زمانیکه اطمینان از فرآیند کار حاصل نشده باشد از استفاده از این نوع موتورها همراه با کنترل کننده دور موتور اجتناب گردد .

توصیه می شوداگر قصد تعویض این نوع موتورها را دارید و یا میخواهید موتورهای جدیدی تهیه کنید، موتورهائی تهیه کنید که راندمان بالاتری داشته باشند.

**- دستور العملهای لازم برای بهبود عملکرد موتورهای الکتریکی**

اشاره شد که عوامل موثر در بازدهی موتورهای الکتریکی را می توان بصورت زیر بیان نمود :

- عوامل موثر در مراحل طراحی و ساخت
- عوامل موثر در بهره برداری

بررسی عوامل موثر فوق خارج از حوصله این مقاله است. یک مطالعه خوب از عوامل فوق توسط آقای دکتر اوروعی در سال ۱۳۷۳ انجام گرفته است[F1]. در اینجا بطور خلاصه به عوامل موثر در بهره برداری از موتور که به افزایش بازدهی آنها منجر خواهد شد اشاره میشود.در جدول(1) خلاصه ای از عوامل موثر در بازدهی موتورهای الکتریکی آمده است .

| عامل | | توضیحات |
|---|---|---|
| وابسته به شرایط بارگذاری موتور | بار کامل | بازدهی موتور عموماً در صورتی حداکثر خواهد بود که بار موتور در حدود ۸۰ تا ۱۰۰ درصد بار نامی شود. |
| | سرعت | تغییر سرعت باید توسط کنترل کننده دور موتور انجام گیرد. |
| | بار ثابت | برای جلوگیری از هر گونه تغییر سرعت در موتور |
| | ولتاژ ثابت | برای جلوگیری از کاهش گشتاور موتور |
| وابسته به شرایط نگهداری موتور | تهویه | برای اطمینان یافتن از عدم افزایش دمای موتور از حد مجاز و برخورداری از عمر مفید مورد نظر |
| | روغن کاری | برای جلوگیری از اعمال بار مجازی بر محور موتور ناشی از افزایش اصطکاک |

جدول (۱) عوامل موثر در بازدهی موتورهای الکتریکی

همان طور که مشاهده می شود مجموعه اقدامات ساده فوق خصوصاً اقداماتی که به عوامل وابسته به شرایط نگهداری موتور می شود می تواند منجر به صرفه جوئی اقتصادی قابل توجهی شود .

برای اطمینان یافتن از اینکه بازدهی موتورهای مستقر در صنایع و سایر کاربردها در حد مطلوب قرار دارد می توان نسبت به تدوین شناسنامه صنعتی برای هر موتور ( و بویژه موتورهای بزرگ) اقدام نموده و با ثبت اطلاعات مورد نظر از جمله موارد زیر بازدهی این موتور ها را مورد بررسی قرار داد :

- میزان بار (درصد از بار کامل)

- میزان تغییرات بار ( درصد از بار کامل)
- میزان تغییرات سرعت (درصد از سرعت سنکرون)
- میزان تغییرات ولتاژ شبکه (درصد از ولتاژ نامی)

توصیه میشود کارخانجاتی که در آنها تعداد موتور مورد استفاده زیاد می باشد نسبت به جمع آوری اطلاعات فوق و اقدامات اصلاحی اقدام نمایند.

## - دسته بندی اقدامات لازم برای بهینه سازی مصرف انرژی

برای روشن شدن تاثیر اقدامات مختلف برای افزایش بازدهی موتورهای الکتریکی در جدول(۲) نتایج قابل انتظار این اقدامات برای دسته ای از موتورهای القائی با توان خروجی ۲/۲ تا ۳۰ کیلو وات نمایش داده شده است[F1].

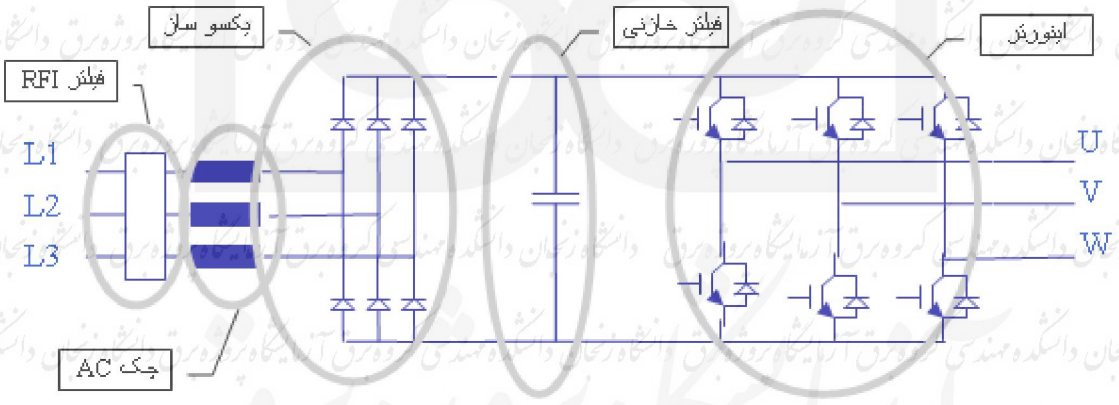
| مرحله | نوع اقدام | پیش بینی میزان افزایش بازدهی % |
|---|---|---|
| طراحی | بهینه سازی طرح | ۵-۱۵ |
| تولید | بکارگیری تکنولوژی مدرن | ۰-۵ |
| بهره برداری | بار کامل و ثابت | ۱۰-۱۵ |
| بهره برداری | ولتاژ ثابت | ۰-۵ |
| بهره برداری | تهویه مطلوب | ۴-۶ |
| بهره برداری | اصطکاک کم | ۵-۸ |

جدول (۲) : اقدامات مختلف برای افزایش بازدهی موتورهای الکتریکی با توان ۲/۲ تا ۳۰ کیلو وات .

## - تکنولوژی الکترونیک قدرت و درایوهای AC

تکنولوژی الکترونیک قدرت(Power Electronics)، بهره وری و کیفیت فرایندهای صنعتی مدرن را بی وقفه بهبود میبخشد. امروزه با کمک همین تکنولوژی امکان استفاده از منابع انرژی غیرآلاینده بازیافتی(Renewable Energy)، نظیر باد و فتو ولتائیک فراهم شده است. تخمین زده میشود که با استفاده از الکترونیک قدرت، حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد امکان صرفه جوئی انرژی الکتریکی وجود دارد[17]. در واقع با کاهش بیوقفه قیمت ها در عرصه الکترونیک قدرت زمینه برای حضور آنها در کاربردهای صنعتی، حمل ونقل و حتی خانگی فراهم میگردد.

نیروی محرک بیشتر پمپها و فن ها موتورهای القائی هستند که در دور ثابت کار میکنند. لیکن در سالهای اخیر با پیشرفتهای انجام گرفته در زمینه تکنولوژی الکترونیک قدرت ، استفاده از موتورهای القائی قفس سنجابی همراه با کنترل کننده دور موتور (AC DRIVE یا اینورتر یا بطور ساده درایو) رو به گسترش است . درایوها دستگاههائی هستند که توان ورودی با ولتاژ و فرکانس ثابت را به توان خروجی با ولتاژ و فرکانس متغیر تبدیل میکنند. باید توجه کرد که دور یک موتور تابعی از فرکانس منبع تغذیه آن است. برای این منظور یک درایو نخست برق شبکه را به ولتاژ DC تبدیل کرده و سپس آنرا با استفاده از یک اینورتر مجددا به ولتاژ AC با فرکانس و ولتاژ متغیر تبدیل میکند. در شکل(۴) قسمتهای اصلی یک درایو ولتاژ پائین نشان داده شده است. همانطور که مشاهده میکنید قسمت اینورتر متشکل از سوئیچهای قدرتی است که در سالهای اخیر تغییرات تکنولوژیک زیادی پیدا کرده اند. در واقع با معرفی سوئیچهای قدرتی چون IGBT با قیمتهای رو به کاهش، زمینه برای عرضه درایوهای با قیمت مناسب فراهم شد. در هر حال خاطر نشان میکنیم که شکل موج خروجی درایو ترکیبی از پالسهای DC با دامنه ثابت است. این موضوع موجب میشود که خود درایو منشا اختلالاتی در کار موتور شود. برای مثال کیفیت شکل موج خروجی درایو میتواند سبب اتلاف حرارتی اضافی ناشی از مولفه های هارمونیکی فرکانس بالا در موتور شده و یا موجب نوسانات گشتاور Torque Pulsation در موتور گردد. با این حال درایوهای امروزی بدلیل استفاده از سوئیچهای قدرت سریع این نوع مشکلات را عملا حذف کرده اند.




شکل(۴): ساختمان یک کنترل کننده دور موتور ( فقط قسمتهای قدرت نشان داده شده است).

کنترل کننده های دور موتورهای الکتریکی هر چند که ادوات پیچیده ای هستند ولی چون در ساختمان آنها از مدارات الکترونیک قدرت استاتیک استفاده می شود و فاقد قطعات متحرک می باشند، از عمر مفید بالائی برخوردار هستند . مزیت

دیگر کنترل کننده های دور موتور توانائی آنها در عودت دادن انرژی مصرفی در ترمزهای مکانیکی و یا مقاومت های الکتریکی به شبکه می باشد . در چنین شرائطی با استفاده از کنترل کننده های دور مدرن می توان از اتلاف این نوع انرژی جلوگیری نمود . بطوریکه در برخی کاربردها قیمت انرژی بازیافت شده از این طریق ، در کمتر از یکسال معادل هزینه سرمایه گذاری سیستم بازیافت انرژی می شود .

## - کنترل کننده های دور موتور

تا اینجا درمورد مجموعه اقداماتی که برای بهینه سازی مصرف انرژی میتوانستیم روی موتورهای الکتریکی اعمال کنیم بحث شد. اشاره شد که در کشور ایران در سال ۷۳ بیش از ۳۵ درصد مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی بخش صنعت بوده است . البته این مقدار در کشورهای صنعتی تا ۶۵ در صد نیز میرسد. این امر اهمیت بهینه سازی مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی را نشان میدهد. در این قسمت از مقاله در مورد تاثیر استفاده از کنترل کننده های دور موتور در کاهش مصرف انرژی صحبت خواهیم کرد. سعی میکنیم با استفاده از تعدادی مثال اهمیت

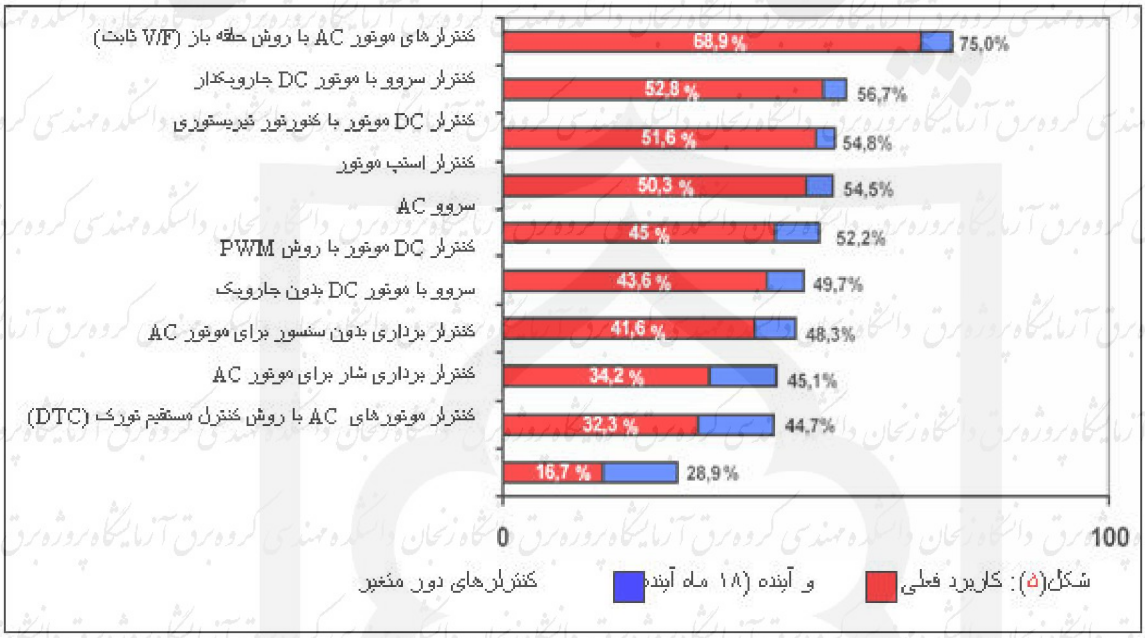
موضوع را نشان دهیم . بطور خلاصه در کاربردهای صنعتی زیادی، صرفه جوئی که با استفاده از کنترل کننده دور موتور در مصرف انرژی حاصل میشود بمراتب بیشتر از اقدامات برشمرده در قسمتهای قبلی مقاله است.

استفاده از موتورهای مجهز به کنترل کننده دور موتور ، امکان اعمال تغییرات لازم در سرعت موتور فن و یا پمپ را بطور دائم فراهم آورده و بدین ترتیب می توان با توجه به فرآیند مورد نظر از اتلاف انرژی ایجاد شده در تنظیم کننده های مکانیکی جلوگیری نمود . با استفاده از درایو موتور به بار تطبیق داده شده ، و هر گونه نیاز به خاموش و روشن کردن موتور و یا ادوات تنظیم کننده نظیر شیر یا دمپر حذف می گردد . همچنین کنترل سرعت دقیق و متعاقب آن توان خروجی قابل دسترسی بوده و با توجه به استفاده از مدارات الکترونیکی ، استهلاک قسمتهای کنترل کننده در حد بسیار پایین خواهد بود . تصمیم گیری در مورد استفاده از موتور با کنترل کننده دور متغییر بستگی به نوع کاربرد مورد نظر دارد . از آنجا که هزینه اولیه این سیستمها (کنترل کننده دور موتور) بیش از سایر روشها می باشد و با توجه به اینکه صرفه جوئی ناشی از بالا بودن بازدهی تنها بصورت کاهش هزینه راهبری نمایان می شود، لذا استفاده از موتورهای مجهز به کنترل کننده دور در طول زمان منجر به صرفه جوئی

اقتصادی می شود . معمولاً بسته به نوع کاربرد زمان بازگشت سرمایه گذاری بین یک تا سه سال متغیر خواهد بود .

متاسفانه در اکثر موارد مهمترین عامل در انتخاب محرک قیمت اولیه است. بدین معنی که سیستم بر مبنای کمینه سازی هزینه اولیه انتخاب می شود. در حالیکه در طول عمر مفید آن هزینه قابل توجهی صرف انرژی تلف شده و یا تعمیر و نگهداری می شود .

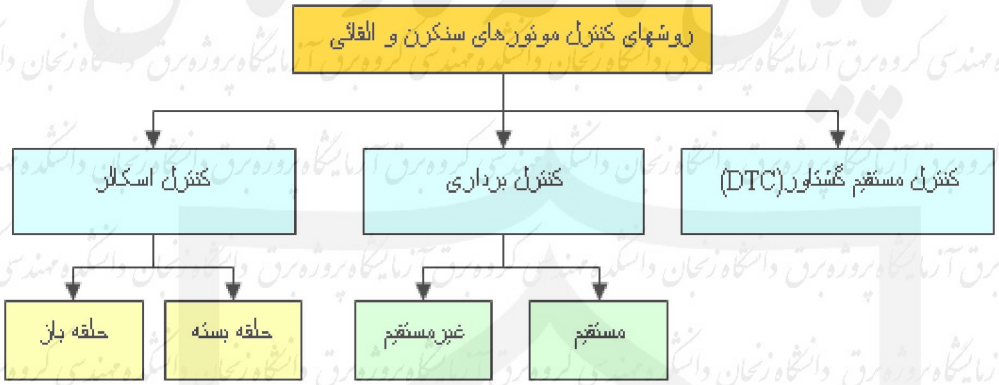
در شکل(۵) میزان استفاده از کنترلرهای دور متغیر نشان داده شده است.




کنترل کننده های دور موتور انواع مختلفی دارند. آنها قادرند انواع موتورهای AC و DC را کنترل کنند. قیمت کنترلرها وابسته به نوع تکنولوژی بکار رفته در ساختمان آنها میباشد. ساده ترین روش کنترل موتورهای AC روش تثبیت نسبت ولتاژ به فرکانس(یا کنترل V/F ثابت) میباشد. اینک این روش، بطور گسترده در کاربردهای صنعتی مورد استفاده قرار میگیرد. این نوع کنترلرها از نوع اسکالر بوده و بصورت حلقه باز با پایداری خوب عمل میکنند. مزیت این روش سادگی سیستمهای کنترلی آن است. در مقابل این نوع کنترلرها برای کاربردهای با پاسخ سریع مناسب نمیباشند.

روبوتها و ماشینهای ابزار نمونه هائی از کاربردهای با دینامیک بالا هستند. در این کاربردها روشهای کنترلی برداری استفاده میشود. در روشهای کنترلی برداری با تفکیک مولفه های جریان استاتور به دو مولفه تورک ساز و فلو ساز، و کنترل آنها با استفاده از رگولاتورهای PI ترتیبی داده میشود که موتور AC نظیر موتور DC کنترل شود. و بدین ترتیب تمام مزایای موتور

DC از جمله پاسخ گشتاور سریع آنها در موتورهای AC نیز در دسترس خواهد بود. برای مثال پاسخ گشتاور در روشهای برداری حدود 10 – 20ms و در روشهای کنترل مستقیم گشتاور(Direct Torque Control) این زمان حدود 5ms است. اینک روشهای کنترل برداری متعددی پیاده سازی شده است که بررسی آنها خارج از حوصله این مقاله است. در هر حال نوع کنترلر مطلوب، متناسب با کاربرد انتخاب میگردد. در شکل(۶) خلاصه ای از انواع روشهای کنترل موتورهای AC نمایش داده شده است.




شکل(۶): خلاصه ای از انواع روشهای کنترل موتورهای AC

## - مزایای استفاده از کنترل کننده های دور موتور

مزایای استفاده از کنترل کننده های دور موتور هم در بهبود بهره وری تولید و هم در صرفه جوئی مصرف انرژی در کاربردهائی نظیر فنها ، پمپها، کمپروسورها و دیگر محرکه های کارخانجات ، در سالهای اخیر کاملا مستند سازی شده است. کنترل کننده های دور موتور قادرند مشخصه های بار را به مشخصه های موتور تطبیق دهند. این اسباب توان راکتیو ناچیزی از شبکه میکشند و لذا نیازی به تابلوهای اصلاح ضریب بار ندارند. در زیر به مزایای استفاده از کنترل دور موتور اشاره میشود:

۱- در صورت استفاده از کنترل کننده های دور موتور بجای کنترلرهای مکانیکی، در کنترل جریان سیالات، بطور مؤثری در مصرف انرژی صرفه جوئی حاصل میشود. این صرفه جوئی علاوه بر پیامدهای اقتصادی آن موجب کاهش آلاینده های محیطی نیز میشود.

۲- ویژگی اینکه کنترل کننده های دور موتور قادرند موتور را نرم راه اندازی کنند موجب میشود علاوه بر کاهش تنشهای الکتریکی روی شبکه ، از شوکهای مکانیکی به بار نیز جلو گیری شود. این شوکهای مکانیکی میتوانند

باعث استهلاک سریع قسمتهای مکانیکی ، بیرینگها و کوپلینگها، گیربکس و نهایتا قسمتهائی از بار شوند. راه اندازی نرم هزینه های نگهداری را کاهش داده و به افزایش عمر مفید محرکه ها و قسمتهای دوار منجر خواهد شد.

۳- جریان کشیده شده از شبکه در هنگام راه اندازی موتور با استفاده از درایو کمتر از ۱۰٪ جریان اسمی موتور است.

۴- کنترل کننده های دور موتور نیاز به تابلوهای اصلاح ضریب قدرت ندارند.

۵- در صورتی که نیاز بار ایجاب کند با استفاده از کنترل کننده دور ، موتور میتواند در سرعتهای پائین کار کند . کار در سرعتهای کم منجر به کاهش هزینه های تعمیر و نگهداشت ادواتی نظیر بیرینگها، شیرهای تنظیم کننده و دمپرها خواهد شد.

۶- یک کنترل کننده دور قادر است رنج تغییرات دور را ، نسبت به سایر روشهای مکانیکی تغییر دور، بمیزان قابل توجهی افزایش دهد. علاوه بر آن از مسائلی چون لرزش و تنشهای مکانیکی نیز جلو گیری خواهد شد.

۷- کنترل کننده های دور مدرن امروزی با مقدورات نرم افزاری قوی خود قادرند راه حلهای متناسبی برای کاربردهای مختلف صنعتی ارائه دهند.

## - مدیریت بهینه سازی مصرف انرژی و نقش کنترل کننده های دور موتور

امروزه در کشورهای صنعتی الزامات زیست محیطی از یکسو و رقابت بنگاههای اقتصادی از سوی دیگر ، مدیریت بهینه سازی انرژی را در بصورت یک امر غیر قابل اجتناب در آورده است. مجموعه اقداماتی که برای صرفه جوئی انرژی در کارخانجات صورت میگیرد شامل مواردی چون جایگزینی موتورهای الکتریکی با انواع موتورهای با بازدهی بالا، استفاده از کنترل کننده های دور موتور در کاربردهائی که اتلاف انرژی در آنها زیاد است، بازیافت انرژی از پروسه های حرارتی و نظایر انها میشود. نتایج اعمال چنین اقداماتی نشان میدهد در موارد زیادی ، و بخصوص در جاهائی که از فنها ، پمپها، و کمپروسورها در فرایند تولید استفاده میشود، بکارگیری کنترل کننده های دور موتور علاوه بر انعطاف پذیر نمودن کنترل فرایند، تاثیر قابل توجهی در کاهش مصرف انرژی داشته است. در بسیاری از موارد زمان بازگشت سرمایه بین یک تا سه سال میباشد.

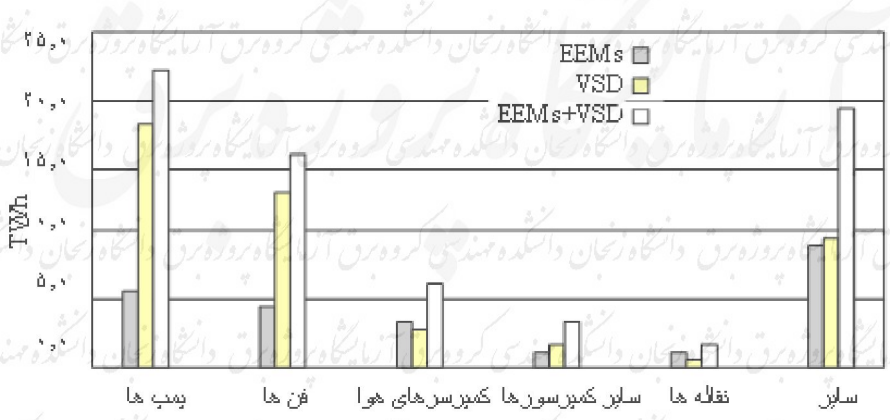
کمتر از ۱۰٪ موتورها مجهز به درایو هستند. در حالیکه در بیش از ۲۵٪ آنها استفاده از درایو توجیه اقتصادی دارد[16].

بر اساس مطالعات انجام گرفته توسط اتحادیه اروپا [10] تا سال ۲۰۰۵ میلادی پتانسیل صرفه جوئی انرژی بالغ بر 63.5 TWh در صنایع کشورهای عضو اتحادیه اروپا وجود دارد. که از این میزان بیش از 44.7 TWh آن توجیه اقتصادی دارد. این میزان صرفه جوئی انرژی تنها در سایه استفاده از موتورهای با راندمان بالا و درایو بدست میاید. که سهم درایو در صرفه جوئی دارای توجیه اقتصادی حدود 63% است. نتایج چنین مطالعاتی را بطور خلاصه در جدول(۳) مشاهده میکنید.

| | | موتور راندمان بالا IEEM | کنترل کننده دور موتور VSD | VSD+EEM |
|---|---|---|---|---|
| پتانسیل فنی | بخش صنعت | ۱۲,۰ | ۲۵,۵ | ۴۶,۲ |
| | سایر | ۵,۷ | ۱۲,۴ | ۱۷,۴ |
| | جمع (TWh) | ۱۷,۸ | ۴۷,۸ | ۶۴,۵ |
| پتانسیل اقتصادی | بخش صنعت | ۱۲,۰ | ۲۲,۴ | ۴۲,۶ |
| | سایر | ۵,۷ | ۵,۷ | ۱۱,۱ |
| | جمع (TWh) | ۱۷,۸ | ۲۸,۱ | ۴۴,۷ |

جدول(۳): پتانسیل فنی و اقتصادی صرفه جوئی انرژی با استفاده از موتورهای با راندمان بالا(EEM) و کنترل دور(VSD) در کشورهای عضو اتحادیه اروپا تا سال ۲۰۰۵.

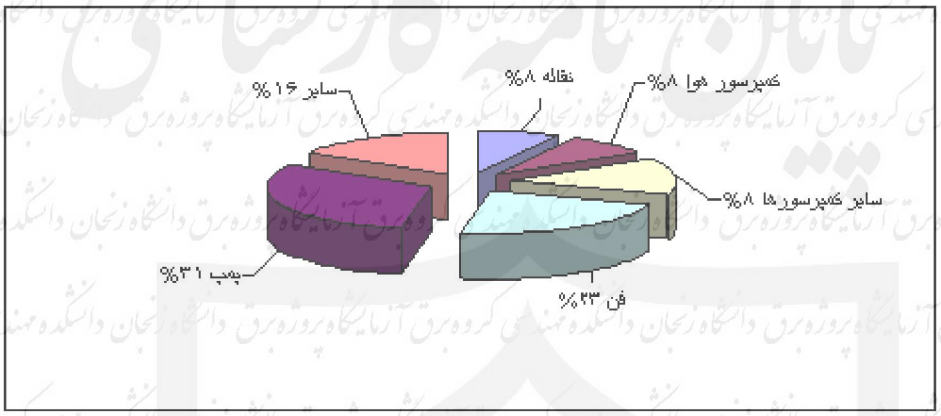
مطالعه فوق با تفکیک بار پتانسیل اقتصادی صرفه جوئی انرژی را نیز در اتحادیه اروپا مشخص نموده است. که نتایج آنرا در شکل(۷) مشاهده میکنید.



شکل(۷): پتانسیل صرفه جوئی اقتصادی درکشورهای عضو اتحادیه اروپا به تفکیک نوع بار

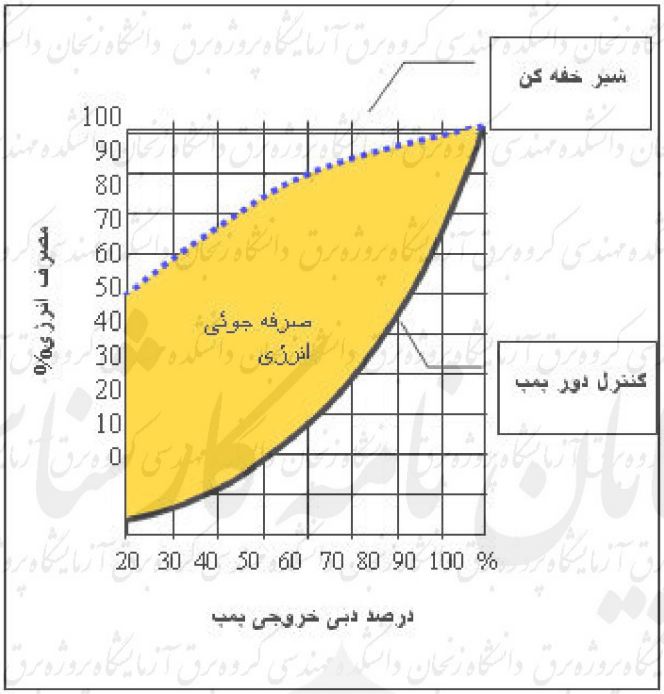
## - پمپها و فنها

چیزی حدود ۴۰ درصد انرژی مصرفی در بخش صنعت در پمپها و فنها مصرف میشود. برای مثال در انگلستان ترکیب مصرف کنندگان انرژی در موتورها و در کاربردهای صنعتی بصورت زیر است[15].




شکل(۸): میزان انرژی مصرفی توسط بارهای مختلف در انگلستان

اغلب این سیستمها از موتورهای القائی با روتور قفس سنجابی استفاده میکنند. و خروجی توسط ادواتی چون شیرهای تنظیم کننده و دمپرها کنترل میشوند. متاسفانه مقادیر قابل توجهی انرژی توسط این فنها و پمپها تلف میشوند. موتورهای بکار رفته در اغلب این ادوات از مقدار مورد نیاز بزرگتر بوده و سیستمهای مکانیکی تنظیم کننده جریان سیالات در آنها بسیار تلفاتی میباشند. به این عوامل باید هزینه های قابل توجه تعمیر و نگهداشت نیز اضافه شود. با توجه به اینکه هزینه های خرید پمپ معمولا کمتر از ۵ درصد هزینه های بهره برداری آن در طول عمر سیستم پمپ است، کیفیت بهره برداری عامل مهمتری در تصمیم گیری برای انتخاب سیستمهای پمپ بشمار میرود.




شکل(۹): مقایسه انرژی مصرفی کنترل فلو با شیر و درایو

انتخاب پمپ ها معمولا بر اساس حداکثر دبی مورد انتظار صورت میگیرد. در حالیکه اغلب اوقات هرگز فلوی ماکزیمم مورد استفاده قرار نمیگیرد. این امر منجر به بزرگ شدن پمپ ها شده و بدین ترتیب مقدمات کار برای اتلاف انرژی و استهلاک هر چه سریعتر سیستم های پمپ فراهم میشود. اگر یک پمپ در دور نامی خود کار کند و دبی خروجی پمپ به مصرف برسد سیستم در راندمان مطلوب خود کار خواهد کرد. اما اگر تنها ۵۰ درصد دبی حداکثر مورد نیاز باشد چه اتفاقی خواهد افتاد؟ بدیهی است که در این حالت نیز موتور در دور نامی خود کار خواهد کرد و توان مصرفی اضافی توسط موتور تلف خواهد شد. از سوی دیگر برای کنترل دبی خروجی لازم خواهد بود از ادوات مقاومتی نظیر شیر خفه کن استفاده گردد. با استفاده از کنترل کننده های دور موتور میتوان جریان سیالات در پمپ ها را با اعمال تغییر دور موتور ، کنترل نمود. امروزه این روش بدلیل انعطاف پذیری و صرفه جوئی اقتصادی قابل توجه جایگزین روشهای سنتی متکی بر تنظیم جریان سیال با استفاده از شیرهای تنظیم کننده مکانیکی و دمپرها میشود. در شکل(۹) تفاوت دو روش در میزان مصرف انرژی نشان داده شده است.

## - قوانین افینیتی در کاربردهای پمپ و فن

قوانین افینیتی در کاربردهای پمپ و فن های سانتریفوژ پایه نظری صرفه جوئی انرژی با استفاده از درایو هستند. بر طبق این

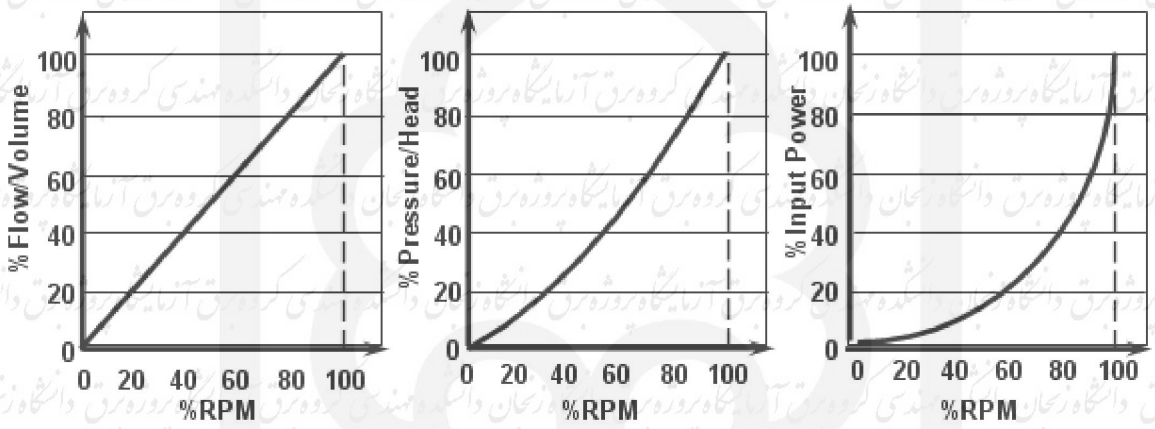
قوانین و در یک پمپ یا فن سانتریفوژ، روابط زیر حاکم است:

N : سرعت ، Q : فلو یا حجم $Q \sim N$

H : هد یا فشار $H \sim N^2$

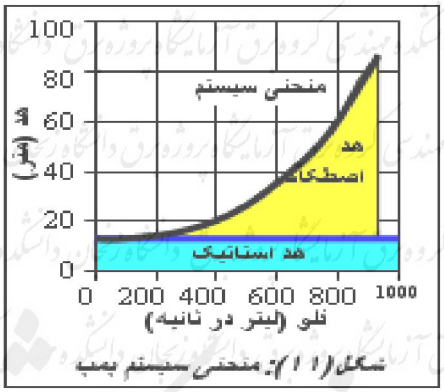
P : توان ورودی $P \sim N^3$

با توجه به شکل(۱۰) فلو/ ولوم بصورت خطی با دور پمپ/فن تغییر میکند. برای مثال اگر دور موتور نصف شود فلو نیز نصف خواهد شد. از طرف دیگر با توجه به منحنی وسط فشار یا هد متناسب با مربع دور تغییر میکند. در این حالت اگر دور موتور نصف شود، فشار یا هد چهار برابر کاهش پیدا کرده و به ۲۵٪ خواهد رسید. منحنی سمت راست نشان میدهد که اگر دور موتور نصف شود مصرف توان ۸ برابر کاهش پیدا کرده و به ۱۲.۵٪ خواهد رسید



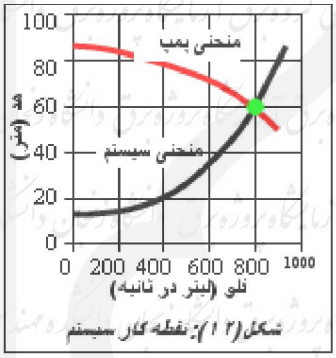

شکل(۱۰): نمایش تصویری قوانین افینیتی در کاربردهای پمپ و فن سانتریفوژ

به خاطر میسپاریم با استفاده از کنترل کننده های دور موتور و کاهش تنها ۱۵ درصد دور میتوان به میزان ۴۰ درصد در مصرف انرژی صرفه جوئی کرد. حال اجازه بدهید کمی دقیقتر به رفتار یک پمپ توجه کنیم. شکل(۱۱) مشخصات یک سیستم پمپ را نشان میدهد. هد استاتیک عبارتست از اختلاف ارتفاع پمپ و تانک مقصد. بدیهی است که اگر یک پمپ نتواند به این ارتفاع غلبه کند دبی خروجی صفر خواهد بود. مولفه دوم هد اصطکاکی است . که در واقع بیانگر توان مورد نیاز جهت غلبه بر تلفات ناشی از عبور سیال از لوله ها، شیرها، زانوها و دیگر اجزای سیستم لوله کشی میباشد. این تلفات کلا وابسته به سرعت عبور سیال بوده و غیر خطی است. با اضافه کردن دو منحنی، منحنی سیستم بدست میاید.

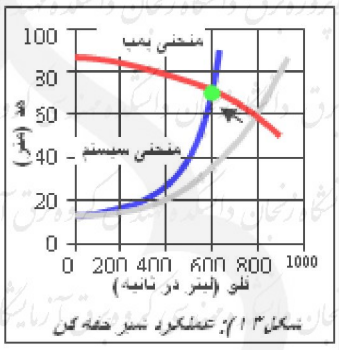


شکل(۱۱): منحنی سیستم پمپ

در شکل(۱۲) منحنی های سیستم و منحنی پمپ باهم نشان داده شده است. نقطه کار یک پمپ محل تلاقی منحنی پمپ و منحنی سیستم می باشد. با توجه به این منحنی ها روشن میشود که میزان فلو در این سیستم ۸۰۰ لیتر در ثانیه و هد ۶۰ متر میباشد. اگر بخواهیم نقطه کار را تغییر بدهیم لازم خواهد بود چیزی به سیستم اضافه نمائیم.



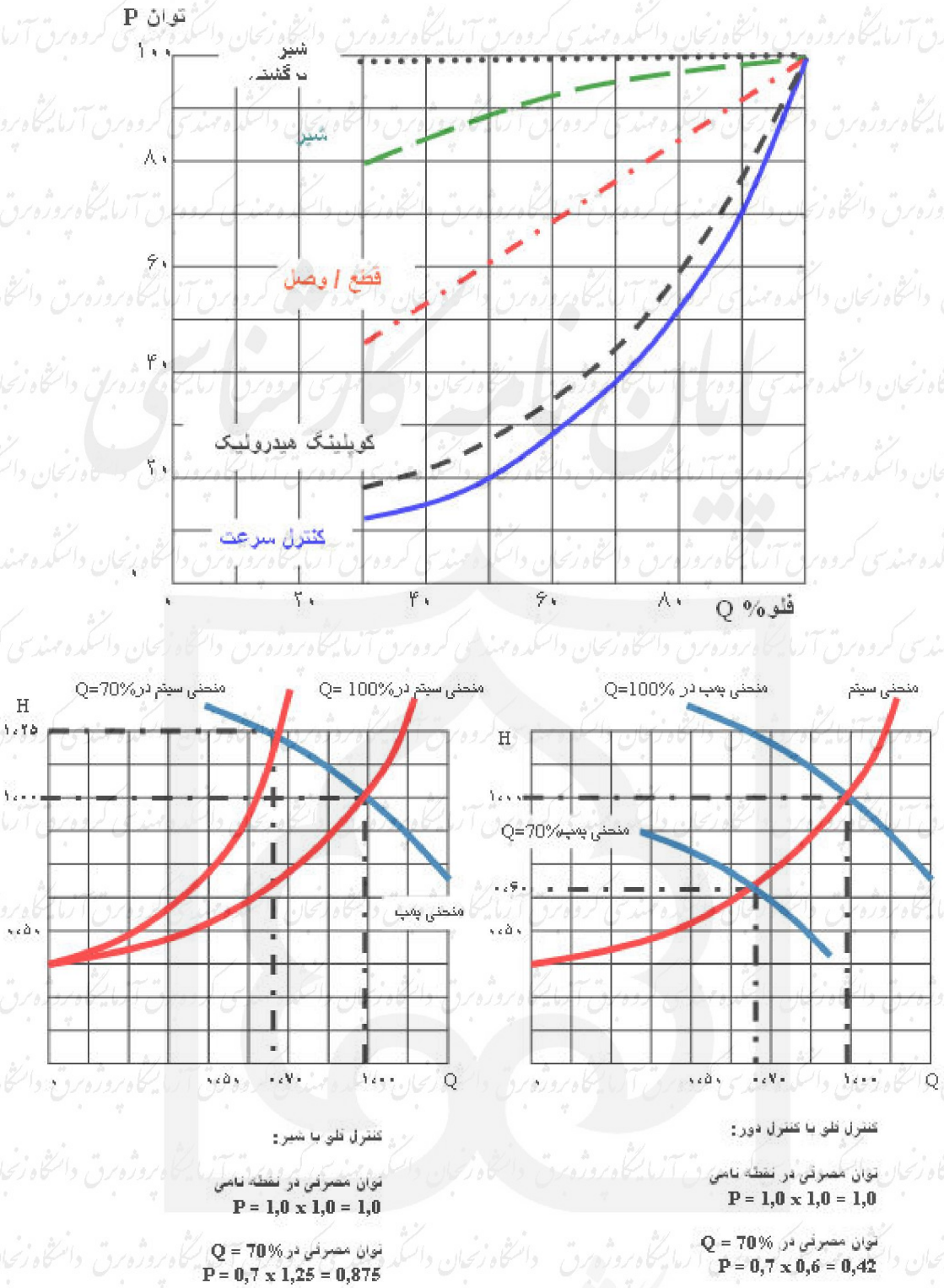
شکل(۱۲): نقطه کار سیستم



شکل۱۳: عملکرد شیر خفه کن

یک روش متداول در اینجا استفاده از شیر خفه کن است. در شکل(۱۳) تاثیر عملکرد شیر خفه کن در نقطه کار پمپ را مشاهده میکنید. در واقع شیر اصطکاک مسیر سیال را افزایش داده و باعث افت فلو میگردد. با وجود اینکه با حضور شیر فلو به ۶۰۰ لیتر در ثانیه کاهش پیدا کرده ولی در توان مصرفی سیستم تغییر محسوسی ایجاد نشده است. حال نگاهی دقیقتر به موضوع خواهیم داشت. همانطور که در شکل(۱۴) مشاهده میکنید، برای دستیابی به فلوی مورد نظر از دو روش کنترل فلو با استفاده اشیر و کنترل با استفاده از درایو استفاده شده است . در روش کنترل فلو با شیر میزان توان مصرفی 0.875 درصد و در کنترل فلو با درایو توان مصرفی 0.42 درصد توان نامی میباشد. برای مثال اگر توان نامی پمپ 100KW باشد. تفاوت توان مصرفی دو روش برابر خواهد بود با:

$$(100KW \times 0.875) - (100KW \times 0.42) = 45.5KW$$




شکل(۱۴) مقایسه توان مصرفی یک سیستم پمپ در دو حالت: الف) کنترل فلو با استفاده از شیر خفه کن (شکل سمت چپ) .

ب) کنترل فلو با استفاده از درایو (شکل سمت راست).

شکل (۱۵) – میزان مصرف انرژی در یک پمپ در پنج حالت : با استفاده از شیر برگشتی، با استفاده از شیر خفه کن، با قطع و وصل پمپ، با استفاده از کوپلینگ هیدرولیک، با استفاده از کنترل کننده دور موتور

هر چند که در سیستمهائی که هد استاتیک بالا ئی دارند با تغییر دور، راندمان پمپ هم به میزان زیادی تغییر میکند، ولی مزایای دیگر درایو استفاده از آن را بخوبی توجیه میکند. برای مثال میزان فشار هیدرولیک وارد شده به پره های پمپ سانتریفوژ با مجذور سرعت افزایش میابد. این نیروها به بیرینگهای پمپ اعمال شده و عمر مفید آنها را کاهش خواهد داد. خاطر نشان میشود که عمر بیرینگها بطور معکوس با توان هفتم سرعت متناسب است. از سوی دیگر با کاهش دور نویز و نوسانات سیستم نیز کاهش پیدا میکند.

درشکل (۱۵) میزان مصرف انرژی در یک پمپ در پنج حالت : با استفاده از شیر برگشتی، با استفاده از شیر خفه کن، با قطع و وصل پمپ، با استفاده از کوپلینگ هیدرولیک، و با استفاده از کنترل کننده دور موتور نمایش داده شده است. با توجه به این شکل تاثیر قابل توجه کنترل کننده دور موتور در کاهش انرژی مصرفی ، نسبت به روشها، مشاهده میشود. در روش شیر برگشتی متناسب با نیاز مقداری از دبی خروجی پمپ به وروی آن عودت داده میشود. بدیهی است که در این حالت توان مصرفی برای هر دبی خروجی ثابت خواهد بود.

امروزه در کشورهای پیشرفته بعنوان یک برخورد اولیه در کاهش سریع مصرف انرژی، مجهز نمودن این نوع فنها و پمپها به درایو میباشد.

نکاتی که باید در طراحی سیستمهای پمپ مورد توجه قرار گیرند عبارتند از:

– سیستم را بزرگ انتخاب نکنید. حتی اگر بعدها نیاز به توسعه پیدا کردید. باز مطلوب آن است که بعدا کنار سیستم موجود پمپ بیشتری اضافه کنید

– توجه کنید که هزینه های خرید پمپ در مقایسه با هزینه های انرژی آن در طول عمر پمپ ناچیز است. پس پمپهای با راندمان بالا را استفاده کنید.

– از درایو برای کنترل فلو استفاده کنید

– بجای استفاده از یک پمپ بزرگ از تعدادی پمپ کوچک بطوریکه مجموع آنها ظرفیت مورد نیاز را تامین نماید، استفاده کید. بدین ترتیب میتوانید در صورت عدم نیاز به ظرفیت اضافی آن را از مدار خارج کنید.

## - مثال از محاسبات صرفه جوئی انرژی در فن

برای روشن شدن تاثیر استفاده از درایو در کاربرد فن به مثال زیر توجه میکنیم. نخست اشاره میکنیم به قوانین حاکم بر فن که موسوم به قوانین افینیتی (Affinity Laws) میباشد:

$$\text{Eq. 1:} \quad (N1 / N2) = Q_1 / Q_2$$

$$\text{Eq. 2:} \quad (N1 / N2)^2 = P_1 / P_2$$

$$\text{Eq. 3:} \quad (N1 / N2)^2 = T_1 / T_2$$

$$\text{Eq. 4:} \quad (N1 / N2)^3 = HP_1 / HP_2$$

در معادلات فوق N معرف سرعت، Q معرف میزان جریان سیال، T معرف گشتاور، HP معرف توان مصرفی و P معرف فشار است.

حال فرض میکنیم یک فن با موتور 250hp با راندمان ۹۵٪ موجود است. و سیکل کار آن را در هر هفته بصورت زیر در نظر میگیریم:

| سرعت | بار | ساعات کار |
|---|---|---|
| ۱۰۰٪ | ۱۰۰٪ | ۴۰ |
| ۷۵٪ | ۴۴٪ | ۸۰ |
| ۵۰٪ | ۱۲٪ | ۴۰ |

بدون استفاده از درایومیزان انرژی مصرفی در هر هفته برابر است با:

KWh/هفته = (hp x 0.746 x ساعات کار) / □

= (250 x 0.746 x 160 ) / 0.95 = 31,411 Kwh/هفته

با استفاده از درایومیزان انرژی مصرفی در هر هفته برابر است با:

KWh/هفته = (((250 x .746 x 40hrs)/.95) + ((105 x .746 x 80hrs)/.95) +

((31 x .746 x 40hrs) / .95)) = 15,422 KWh/ هفته

میزان صرفه جوئی انرژی در سال برابر است با:

صرفه جوئي انرژي = (31,411-15,422) * 50 = 800,000 KWh/سال

و اگر ارزش هر کیلووات ساعت انرژی را ۴ سنت در نظر بگیریم ارزش انرژی صرفه جوئی شده برابر خواهد بود

با: 800,000KWh * .04 = 32,000 $

## - یک مطالعه موردی در ایران:

## گزارشی از وضعیت فعلی فنهای پیش گرمکن خط ۲ سیمان آبیک و بررسی امکان صرفه جوئی انرژی در آنها

گزارش زیر توسط مرکز تحقیقات سیمان آبیک آماده شده است:

فنها در صنعت سیمان کاربرد گسترده ای دارند. و برای انتقال گازهای ناشی از فرایند تولید سیمان و یا انتقال مواد از آنها استفاده میشود. از آنجائی که شرائط فرایندی با توجه به تغییرات پارامترهای آن ثابت نمی باشد. در نتیجه میزان تولید گازهای فرایندی با توجه به تغییرات پارامترهای آن ثابت نمی باشد. در نتیجه میزان تولید گازهای فرایندی نیز متغیر بوده و لازم ست این امر با تغییر هوادهی فنها تحت کنترل باشد. از متداول ترین روشهای کنترلی که برای فلوی گاز در فن ها تا بحال مورد استفاده قرار گرفته است، کنترل فلو توسط دریچه در ورودی فن میباشد. اگر چه این روش، طریقه ای موثر در کنترل فلو بوده اما در مصرف انرژی تاثیر قابل ملاحظه ای نداشته است. در صورتی که کنترل فلوی گاز با استفاده از کنترل دور فن، علاوه بر کارائی بهتر بمیزان زیادی در مصرف انرژی الکتریکی فن صرفه جوئی انرژی ایجاد خواهد کرد.

بعنوان مطالعه موردی فن های پیش گرمکن واحد ۲ سیمان آبیک مورد بررسی قرار میگیرد. بمنظور آنکه بتوان میزان بالقوه انرژی قابل صرفه جوئی در این فن ها بدست اید از دو روش:

۱- محاسبه توان با استفاده از پارامترهای بدست آمده از فرایند

۲- اندازه گیری توان موتور درایو

استفاده کرده و یک بررسی مقایسه ای بین ایندو بعمل می آ وریم. برای محاسبه توان از رابطه معمول آن:

$$P(KW) = \frac{Q \times \Delta P}{3600 \times 102 \times \eta}$$

استفاده کرده ایم. پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه نیز در فرایند و در شرائط نرمال بهره وری اندازه گیری شد.

فلوی گاز $Q = 327{,}000\ m^3/h$

فشار هوا قبل از دریچه(شرائط فرایند) $P_1 = -560$ mm WG

فشار هوا بعد از دریچه و قبل از فن $P_{11} = -1100$ mm WG

فشار هوا بعد از دریچه(شرائط فرایند) $P_2 = -10$ mm WG

وضعیت دریچه 22% و دور موتور برابر با دور نامی 990RPM ، و توان نامی موتور فن 1300KW با راندمان 0.8 بود. در این شرائط میزان توان مصرفی فن با استفاده از پارامترهای بهره برداری و با توجه به $P\Delta$ فرایند :

$$P(KW) = \frac{327{,}000 \times (\overbrace{560 - 10}^{\Delta P \text{ فرایند}})}{3600 \times 102 \times 0.8} = 612\ KW$$

و با استفاده از $P\Delta$ فن، یعنی تفاوت فشار ورودی و خروجی فن، توان مصرفی عبارت است از :

$$P(KW) = \frac{327{,}000 \times (\overbrace{1100 - 10}^{\Delta P \text{ فن}})}{3600 \times 102 \times 0.8} = 1213\ KW$$

و مقدار خوانده شده توسط دستگاه واتمتر برای هر دو فن شماره ۳۵ و ۳۶ (فن های پیش گرمکن ) بصورت زیر بود:

$P_{35} = 1260$ KW

$P_{36} = 1210$ KW

مقایسه دو مقدار توان فن( محاسبه شده و اندازه گیری شده) حداقل دو مسئله را روشن میکند:

۱- صحت محاسبات انجام شده( عدد 1213 در مقابل 1260 و یا 1210 ).

۲- استفاده از دریچه باعث افزایش PΔ فن شده و این امر باعث افزایش توان مصرفی فن شده است.

مورد فوق بخوبی نشان میدهد که حذف دریچه ورودی و استفاده از کنترل دور میتواند شرائط کار فن را به شرائط فرایند نزدیکتر کرده و در آنصورت در مصرف انرژی فن کاهش قابل ملاحظه ای مشاهده خواهد شد. نهایتا بر روی فن شماره 36 کنترل دور نصب شد و در حالیکه دور فن روی 680RPM تنظیم شده بود شرائط فرایندی مشابه با حالت بدون کنترل دور فراهم شده و تولید نیز به حالت نرمال رسید.

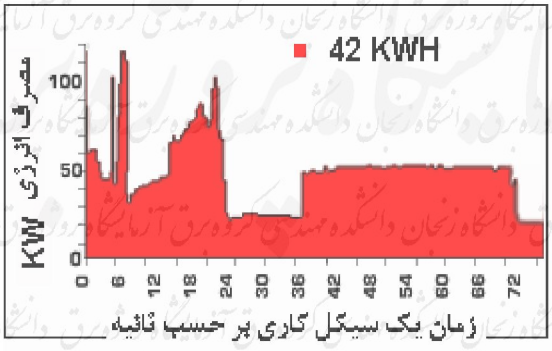
در این حالت شرائط دریچه 100% باز و مقدار توان مصرفی موتور 560KW قرائت گردید. همانگونه که انتظار داشتیم با استفاده از کنترل دور توانستیم توان فن را به شرائط بهره برداری قبل رسانده و توان مصرفی را بمیزان زیاد کاهش دهیم. انتظار میرود با توجه به میزان سرمایه گذاری انجام شده جهت تهیه کنترل دور مورد نیاز، زمان بازگشت سرمایه ۳ سال باشد.

## - سیتمهای تهویه مطبوع

موضوع صرفه جوئی انرژی در دنیای رقابتی امروز حتی آثار خود را در سیستمهای تهویه مطبوع هتلها نیز خود را مطرح کرده است. در این مکانها امکان صرفه جوئی انرژی تا مرز ۵۰ درصد روی سیستمهای HVAC یا سیستمهای حرارتی و هواسازی و تهویه مطبوع ، وجود دارد. و سرمایه گذاری اولیه در مدت دو سال از محل صرفه جوئی انرژی قابل بازیابی میباشد.

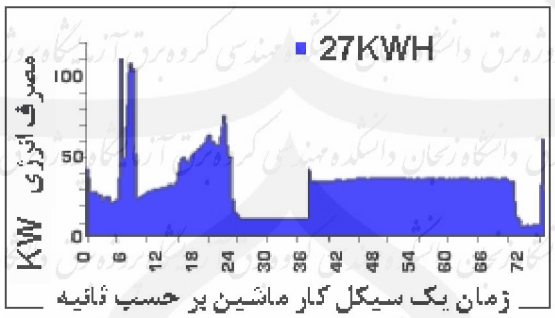
## - ماشین تزریق پلاستیک

در یک ماشین تزریق پلاستیک استفاده از کنترل کننده دور موتور میتواند تا ۵۰ در صد صرفه جوئی در مصرف انرژی بدنبال داشته باشد[2]. برای روشن شدن این مطلب به دیاگرام زیر توجه میکنیم:



مصرف انرژی در یک سیکل کاری ماشین تزریق پلاستیک- بدون استفاده از درایو (16) شکل

در دیاگرام فوق مصرف انرژی در یک سیکل کاری نشان داده شده است. این حالت نرمال کار ماشین بوده و در این وضعیت از درایو استفاده نشده است. با استفاده از کنترل کننده دور موتور میتوان توان تلفاتی ماشین را بمیزان قابل توجهی کاهش داد. مضافا اینکه در این صورت ماشین خیلی نرمتر کار کرده و از شوکهای مکانیکی اجتناب خواهد شد. خود این امر منجر به کاهش هزینه های تعمیر و نگهداشت ماشین میشود . در دیاگرام زیر توان مصرفی ماشین در حالت کار با کنترل کننده دور موتور نمایش داده شده است:




شکل (۱۷) مصرف انرژی در یک سیکل کاری ماشین تزریق پلاستیک- با استفاده از درایو

با مقایسه دو دیاگرام مشاهده میشود که مصرف انرژی از ۴۲ کیلوات ساعت به ۲۷ کیلووات ساعت تقلیل پیدا کرده است.

### - صرفه جوئی انرژی در تاسیسات آب و فاضلاب

شرکت Vacon سازنده درایوهای AC گزارش کرده است [12] که درسیستم تصفیه فاضلاب شهر گرومز سوئد با استفاده از درایو 40.5% صرفه جوئی انرژی بدست آوده است. این درحالی است که در سیستم فوق و با استفاده از درایو مصرف مواد شیمیائی نیز 53% کاهش پیدا کرده است. اینک شرکت Vacon را ه حلهای جامعی در تاسیسات آب و فاضلاب ارائه میدهد. این راه حلها شامل طراحی این تاسیسات، انتخاب درایو، و محاسبات صرفه جوئی انرژی میشود [13].

### - کمپرسورها

شرکت اطلس کوپکو موفق شده است با استفاده از درایو مصرف انرژی کمپروسورهای تولیدی خود را بمیزان ۳۵٪ کاهش

دهد. در کنار این دستاورد مهم اطلس کوپکو توانسته است با استفاده از درایو فشار کمپروسور را با دقت و پایداری بیشتری کنترل کند، جریان راه اندازی را محدود نماید و ضریب قدرت را به بیش از ۹۵٪ برساند. و بدین ترتیب این کمپروسورها نیازی با خازنهای اصلاح ضریب قدرت ندارند. از سال ۱۹۹۴ ببعد که اطلس کوپکو این کمپروسورها را معرفی کرده است توانسته است بازار کمپروسورهای دنیا را تسخیر کند. این رویکرد سیستمی در طراحی و ارائه محصول با کیفیت، نمونه خوبی از افزایش مزیت رقابتی یک بنگاه اقتصادی میباشد.

### - نیروگاهها

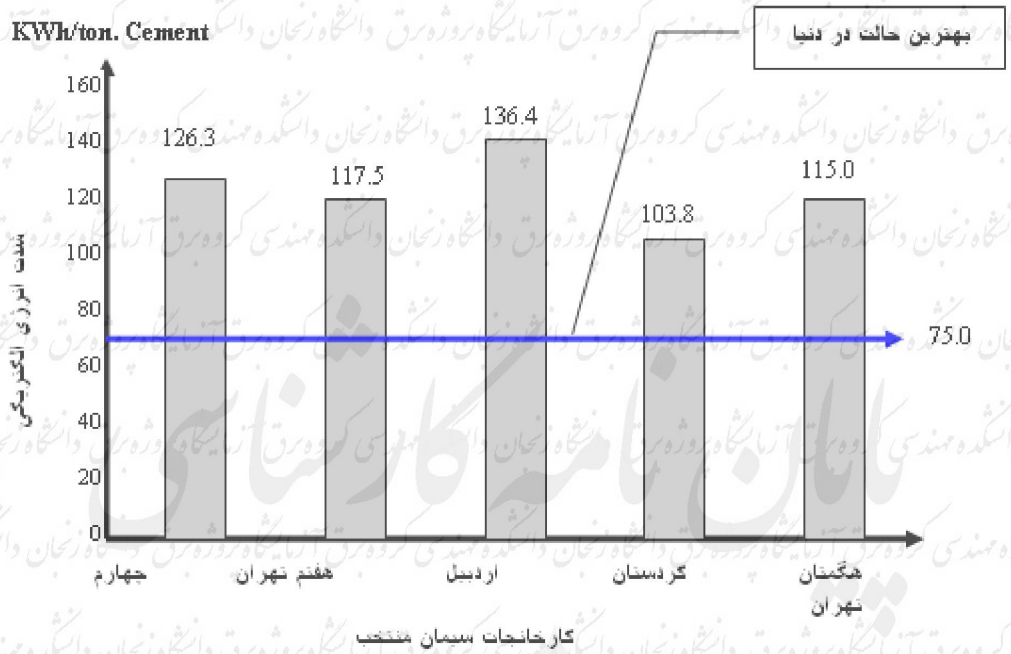
در نیروگاهها پتانسیل قابل توجهی برای صرفه جوئی انرژی وجود دارد. مصرف داخلی نیروگاههای بخاری میتواند بین ۵ تا ۱۴ درصد انرژی تولید شده توسط نیروگاه باشد. این میزان انرژی عمدتا در ID فن، FD فن، فید پمپ، فنهای کولینگ تاورف پمپهای سیرکولاسیون و خنک کن مصرف میشود. یک مطالعه موردی از نیروگاههای هند نشان میدهد[14] که از مجموع ۲۲ واحد نیروگاهی ۲۱۰ مگاواتی، با بکارگیری درایو در فنهای ID و یا پمپهای BFP ، سالانه بالغ بر ۱۵۸ میلیون کیلووات ساعت انرژی، به ارزش 11.3 میلیون دلار صرفه جوئی انرژی حاصل میگردد. این در حالی است که ارزش سرمایه گذاری ولیه ۲۵/۷ میلیون دلار بوده است. و بدین ترتیب میتوان انتظار داشت که در کمتر از ۲/۳ سال سرمایه گذاری اولیه مستهلک شده و عواید سرشاری نصیب نیروگاهها گردد. در جدول(۴) خلاصه ای از این بررسی را مشاهده میکنید.

| نیروگاه | کاربرد درایو | سرمایه گذاری به میلیون دلار | صرفه جوئی انرژی به میلیون کیلووات ساعت | صرفه جوئی سالانه به میلیون دلار | زمان بازگشت سرمایه به سال |
|---|---|---|---|---|---|
| NTPS | درایو برای فن ID | 2.571 | 15.7 | 1.118 | 2.3 |
| PTPS | درایو برای فن ID | 2.571 | 9.7 | 0.69 | 3.7 |
| KSTPS | درایو برای فن ID | 2.571 | 13.715 | 0.98 | 2.6 |
| PNTPS | درایو برای فن ID | 0.857 | 3.254 | 0.232 | 3.7 |
| NTPS | درایو برای پمپ BFP | 5.143 | 41.3 | 2.949 | 1.7 |
| PTPS | درایو برای پمپ BFP | 5.143 | 25.5 | 1.823 | 2.8 |
| KSTPS | درایو برای پمپ BFP | 5.143 | 39.731 | 2.838 | 1.8 |
| PNTPS | درایو برای پمپ BFP | 1.714 | 9.283 | 0.663 | 2.6 |
| جمع | | 25.713 | 158.183 | 11.293 | |

جدول(۴): بررسی نتایج استفاده از درایو در برخی از کاربردهای با مصرف انرژی بالا بمنظور کاهش مصرف داخلی نیروگاهها در کشور هند

### - سیمان

در ایران حدود ۹٪ انرژی الکتریکی صنعتی در صنایع سیمان مصرف میشود. مطالعاتی که در سال ۲۰۰۲ توسط آقای علیرضا شیرازی در صنایع سیمان انجام گرفت نشان داد[12] که میزان مصرف انرژی در این صنایع نسبت به استانداردهای جهانی آن خیلی بالا است. در شکل(۱۸) شدت انرژی الکتریکی مورد نیاز در صنایع سیمان ایران برای تولید هر تن سیمان با بهترین حالت جهانی آن نشان داده شده است. و در جدول ( ۵ ) خلاصه ای از این مطالعه نشان داده شده است.




شکل(۱۸): پتانسیل صرفه جوئی در مصرف انرژی الکتریکی در صنایع سیمان ایران در مقایسه با بهترین حالت جهانی آن (Kwh/Ton)

| کارخانه | مقدار انرژی الکتریکی Kwh/Ton | پتانسیل صرفه‌جوئی انرژی Kwh/Ton | پتانسیل صرفه جوئی انرژی Kwh |
|---|---|---|---|
| چهارم تهران | ۱۲۶,۳ | ۵۱,۳ | ۲۰،۲۲۱،۲۷۵ |
| هفتم تهران | ۱۱۷,۵ | ۴۲,۵ | ۲۵،۹۶۹،۲۷۰ |
| اردبیل | ۱۳۶,۴ | ۶۱,۴ | ۴۲،۲۵۱،۱۱۴ |
| کردستان | ۱۰۳,۸ | ۲۸,۸ | ۱۶،۸۰۰،۴۸۰ |
| هگمتان | ۱۱۵,۰ | ۴۰ | ۲۲،۵۹۲،۴۰۰ |
| | | جمع : | ۱۲۸،۰۲۵،۶۲۹ |

جدول (۵ب) پتانسیل صرفه جوئی سالانه انرژی الکتریکی در صنایع منتخب سیمان ایران در مقایسه با استاندارد جهانی

اطلاعات فوق نشان می‌دهد که در هر کارخانه سیمان می توان حدود 1.5 میلیون دلار در هر سال در مصرف انرژی الکتریکی صرفه‌جوئی نمود و اگر تعداد خطوط تولید سیمان را در حال حاضر ۶۰ خط تولید در نظر بگیریم میزان مصرف انرژی الکتریکی در صنایع سیمان سالانه بالغ بر ۹۰ میلیون دلار خواهد بود . برای بدست آوردن این نتایج ارزش هر کیلووات ساعت انرژی الکتریکی ۶ سنت در نظر گرفته شده است. هر چند که این مقدار صرفه جوئی انرژی تنها با استفاده از درایو بدست نمی آید ولی استفاده از درایو سهم عمده ای در این صرفه جوئی خواهد داشت.

### - قابلیتهای کنترل کننده های دور موتور مدرن

درایوهای مدرن امروزی بر اساس تکنولوژی مدولار ساخته میشوند. این امر هم در قسمتهای سخت افزاری و هم در قسمتهای نرم افزاری درایو رعایت میشود. ساختار مدولار قابلیت بر آورده سازی بسیاری از نیازهای مشتری را دارد. اغلب این درایوها از تکنولوژی کنترل برداری بهره میگیرند. این روش کنترل امکان کنترل موتور را با دقت و دینامیک زیاد فراهم میاورد. بطوریکه این درایوها اینک قادرند درست نظیر درایوهایDC رفتار نمایند. آنها را میتوان در کاربردهای کنترل سرعت و یا کنترل گشتاور بسهولت مورد استفاده قرارداد. بطوریکه سادگی و استحکام موتورهای القائی درکنار این درایوها مجموعه ای مطمئن و کارا از آنها میسازد . هر چند که این درایوها از تکنولوژی الکترونیک قدرت پیچیده استفاده میکنند اما بدلیل استاتیک بودنشان هزینه های نگهداشت زیادی به صنعت تحمیل نمی کنند.

درایوهای مدرن قادرند بطور اتوماتیک فلو ی مغناطیسی در موتور را در سطح بهینه ان نگهدارند. این ویژگی در جاهائی که بار موتور کم است منجر به صرفه جوئی انرژی خواهد شد.

درایوهای مدرن امروزه در کاربردهای فیدبک و سرو نیز بسهولت بکار گرفته میشوند. ساختار مدولار آنها بگونه ای است که میتوان متناسب با کاربرد از کارتهای اختیاری استفاده نمود. این کارتها امکان تطبیق درایو با کاربرد مشتری را فراهم می آورند. در کنار این مقدورات سخت افزاری باید به برنامه های نرم افزاری متعددی نیز اشاره نمود، که معمولات توسط سازندگان درایو برای نیازهای مختلف صنعتی ارائه میشود. استفاده از این برنامه های کاربردی بسیار ساده بوده و کاربر میتواند برنامه دلخواه خود را انتخاب و در داخل درایو قراردهد. درایوهای امروزی میتوانند بسیاری از فیلد باسهای موجود را پشتیبانی کنند. امروزه پروفی باس به عنوان یک فیلدباس باز( Open ) ، در بسیاری از کاربردهای صنعتی متداول شده است. سازندگان درایو با استفاده از پروفایل Profi Drive بسهولت سازگاری خود را با پروفی باس برقرار میسازند.

درایوها علاوه بر ماموریتهای اصلی خود قابلیتهای بیشمار دیگری نیز دارند که از جمله میتوان به موارد زیر اشاره نمود:

- حفاظت کامل الکتروموتور در مقابل اضافه جریان و نوسانات ولتاژ
- انعطاف پذیری در کنترل پروسه
- سازگاری با نیازهای کاربردی موتور

سیستم نرم افزاری درایوهای ساخت شرکت Vacon از دو لایه تشکیل شده است. لایه اول نرم افزار سیستم و لایه دوم جهت توسعه نرم افزارهای کاربردی کاربر اختصاص یافته است. با کمک این لایه کاربر میتواند با کمک ابزار گرافیکی و با استفاده از زبانهای رایج برنامه نویسی برنامه های کاربردی خود را توسعه دهد. وکن تنها به همین اکتفا نکرده و با آماده نمودن صدها برنامه کاربردی به کاربر کمک میکند بسهولت برنامه کاربردی مورد نظر را در درایو نصب نموده و از آنها استفاده نماید.

بعنوان نمونه میتوان به نرم افزارهای کاربردی زیر اشاره نمود:

## نرم افزار کاربردی کنترل پمپ و فن

همانطور که از نام آن پیداست، این برنامه کاربردی جهت کنترل یک یا چند فن یا پمپ بکار میرود. این نرم افزار بطور اتوماتیک متناسب با فلوی مورد نظر یک یا چند پمپ را روشن کرده و فلو را کنترل میکند. برنامه بطور اتوماتیک تمام پمپ ها را در پریود زمانی مشخص بکار میگیرد.

## نرم افزار کاربردی کنترل سطح پیشرفته

این نرم افزار کاربردی جهت کنترل دقیق سطح سیال در مخازن بکار میرود. این نرم افزار نیز بطور اتوماتیک تعدادی پمپ را مدیریت میکند.

## - نرم افزار کنترلی Master Follower

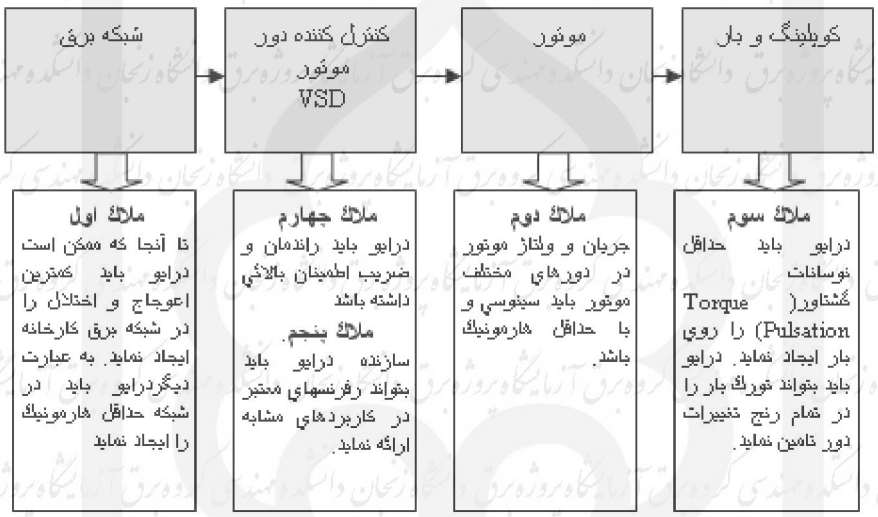
این برنامه قادر است تورک مورد نیاز بار را در تعدادی موتور تسهیم نماید. این موتورها متفقا یک بار را درایو میکنند. و این برنامه ناظر به هماهنگی دقیق آنها در تامین گشتاور مورد نیاز بار است

## - مسائلی که درایوهای دور متغیر بوجود میاورند.

هر چند که درایوها مزایای زیادی دراند ولی در انتخاب و بکارگیری آنها باید دقت کافی به عمل آید. خصوصا اگر درایوهای مورد بحث توانهای بالائی داشته و تولید کارخانه به عملکرد آنها کاملا مرتبط باشد. در واقع تحقیقات نشان داده است که

نگرانی از ضریب اطمینان درایو بعنوان یکی از موانع اصلی در عدم رغبت صنایع به استفاده از آنها در صرفه جوئی انرژی میباشد[10].

درایوهای ولتاژ متوسط (Medium Voltage Drives) از تکنولوژی ساخت پیچیده ای برخوردارند. اینها معمولا ترکیبی از الکترونیک قدرت، کنترل، میکروکامپیوترها، ترانسفورماتورها و فیلترها میباشند. پر واضح است که ارزیابی این اجزا و انتخاب درایو نهائی امری دشوار و نیازمند زمان و بسیج کارشناسان متخصص خواهد بود. با این حال چهارچوب ساده زیر میتواند خریداران درایو را در ارزیابی و انتخاب درایو مورد نظرشان یاری دهد. در این چهارچوب پیچیدگیهای داخلی درایو مورد توجه قرار نمیگیرد. بلکه سعی میشود از آثار جانبی درایو عملکرد آن مورد ارزیابی قرارگیرد. بر این اساس مطابق شکل(۱۹) مسائل جانبی درایو را طبقه بندی نموده و ملاکهائی برای ارزیابی آنها تعیین میکنیم.




شکل(۱۹): چهارچوب پیشنهادی برای ارزیابی درایوهای ولتاژ متوسط با توجه به آثار جانبی آنها

ملاک اول تضمین میکند که شبکه برق کارخانه تحت تاثیر عملکرد درایو قرار نگیرد. این موضوع وقتی اهمیت بیشتر پیدا میکند که توان درایوهای مورد بحث زیاد بالا باشد. اعوجاجهای ناشی از عملکرد درایو روی شبکه میتواند عملکرد سایر دستگاههای حساس کنترلی را مختل سازد، تداخل در خطوط مخابراتی کارخانه ایجاد نماید، و یا توان راکتیو از شبکه کشیده شود. و واکنش سازمانهای برق منطقه ای را بدنبال داشته باشد. خلاصه ای از روشهای مختلف جهت کاهش هارمونیکهای ناشی از عملکرد بارهای غیر خطی و از جمله درایو در جدول(۶) آمده است.

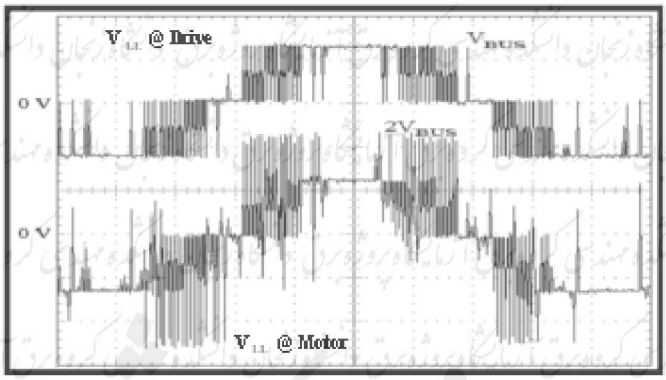
| | | میزان تاثیر روی THID | تاثیر روی هارمونیکها | ملاحظات | سازگاری با IEEE519 |
|---|---|---|---|---|---|
| راکتور AC یا DC | | 29%-45% | مرتبه پائین | - کمترین قیمت<br>- راکتورهای AC حالات گذرای ورودی را محدود میکنند<br>- مسئله افت ولتاژ روی چک | خیر |
| ترانسفورماتور ایزوله | | 45% | | - کم قیمت | خیر |
| فیلترهای غیر فعال | Trap Tuned | 20% | مورد نظر | - قیمت متوسط<br>- کاستن از آستانه تحریک سیستم | |
| | Broadband Low pass | 5% | مورد نظر | - خیلی گران<br>- کاستن از آستانه تحریک سیستم<br>- کاهش پایداری سیستم | بله بصورت محدود |
| دیوایس اکتیو | VFDبا ورودی اکتیو | | مرتبه پائین | - گران<br>- ضرب قدرت را بهبود میدهد<br>- از IGBT استاندارد استفاده می کند | بله |
| | فیلتر اکتیو | | مرتبه پائین | - گران | بله |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | - MTBF کم<br>- افزایش هارمونیکهای مرتبه بالا<br>- ضرب قدرت را بهبود میدهد | |
| | | | | | |
| **سیستمهای چند پالسه: 12,18,24** | **12پالسه** | 24% | | - قیمت متوسط<br>- حساس به عدم تقارن جریان | خیر |
| | **18پالسه** | 5%> | | - بالاترین MTBF<br>- مقاوم در برابر شرائط گذرا<br>- حساس به عدم تقارن جریان | بله |

جدول(۶): روشهای کاهش هارمونیکهای ناشی از عملکرد کنترل کننده های دور موتور

توصیه میشود استانداردهای IEEE519 در درایوهای ولتاژ متوسط یا Medium Voltage Drives رعایت شود. بطور خلاصه این استاندارد ملزم میکند که توتال هارمونیک ولتاژ در شبکه کمتر از ۵٪ و توتال هارمونیک جریان کمتر از ۳٪ باشد. همچنین لازم است ضریب قدرت درایو در تمام رنج تغییرات دور بالای ۹۵٪ باشد.

ملاک دوم تضمین میکند که برق خروجی از درایو تنشهای ولتاژ و جریان اضافی به موتور تحمیل نخواهد کرد. تنشهای ولتاژ میتواند عایق موتور را تحت فشار قراردهد. از سوی دیگر جریانهای هارمونیکی میتوانند باعث نوسانات گشتاور در موتور و بار بشوند. اعوجاج در ولتاژ و جریان موتور میتواند باعث القای جریانهای مخرب در بیرینگهای موتور شده و فرسایش سریع آن را بدنبال داشته باشد. مضافا اینکه جریانهای هارمونیکی در موتور منجر به ایجاد حرارت اضافی در موتور خواهد شد. در شکل(۲۰) شکل موجهای ولتاژ خروجی یک درایو نمونه را میتوانید مشاهده کنید. در شکل موج بالا ولتاژ خروجی در ترمینالهای درایو، و شکل موج پائین ولتاژ ورودی در ترمینالهای موتور را مشاهده میکنید. دامنه اسپایکهای ولتاژ حدود ۱۵۰۰ ولت است. این اسپایکها میتوانند عایق موتور را تحت فشار قرار دهند.




شکل(۲۰): شکل موج خروجی از یک درایو و اسپایکهای ناشی از عملکرد سوئیچهای قدرت و خازنهای پراکندگی سیستم:

شکل موج بالا شکل موج خروجی درایو. شکل موج پائین شکل موج ورودی موتور

یک معیار خوب برای کیفیت توان خروجی درایو را میتوان محدودیت طول کابل موتور به درایو قرار داد. اغلب سازندگان درایو محدودیت های زیادی در طول کابل درایو به موتور اعمال میکنند. آنها میگویند اگر طول کابل مثلا از ۱۰۰ متر بیشتر باشد لازم است از فیلتر برای سازگاری درایو به موتور استفاده گردد. از این رو برای حصول اطمینان از کیفیت توان خروجی درایو به سه معیار زیر توجه میکنیم:

- طول کابل خروجی از درایو به موتور نباید از سوی سازنده درایو محدود گردد.
- حتی الامکان در خروجی درایو ضرورتی برای استفاده از فیلتر نباشد.
- درایو باید سازگار با هر نوع موتور استاندارد موجود بوده و نیازی به کار مهندسی جهت تطبیق درایو به موتور نباشد.

ملاک سوم تضمین میکند که درایو حداقل تاثیر را روی بار و کوپلینگها داشته باشد. نوسانات گشتاور باعث استهلاک سریعتر بار و کوپلینگها میشود. اینها آستانه تحریک سیستم را نیز پائین میاورند. ضمنا درایو باید بتواند گشتاور مورد نیاز بار را در تمام سرعتها تامین نماید. توصیه میشود میزان نوسانات گشتاور یا Torque Pulsation در خروجی درایو کمتر از 0.5% در رنج تغییرات دور باشد.

ملاک چهارم تضمین میکند که درایو با هزینه کمتر کار خود را انجام بدهد و خود عاملی برای وقفه در تولید نگردد. همچنین

درایو فانکشنهای ساده ای داشته و بسهولت قابل سرویس باشد. و از پشتیبانی فنی مطمئن و سریع برخوردار باشد.

ملاک پنجم میتواند از این لحاظ مورد توجه قرار گیرد که احتمال آن را بدهیم که مشتریان دیگری که از درایو مشابه استفاده میکنند، در انتخاب و بکار گیری درایوهایشان بررسی های کافی کرده اند.

### - درایوهای ولتاژ متوسط Perfect Harmony

در سال ۱۹۹۴ شرکت ASIRobicon با معرفی درایوهای ولتاژ متوسط Perfect Harmony مشکلات بر شمرده در بالا را حل نمود. با معرفی درایوهای Perfect Harmony نگرانیهای صنایع از مسائل این نوع درایوها، نظیر هارمونیکها، ضریب اطمینان و کیفیت توان بتدریج بر طرف شد. بطوریکه اینک بیش از ۳۰۰۰ دستگاه از این نوع درایوها در صنایع و کاربردهای کلیدی بکار گرفته شده است. در جدول (۷) خلاصه ای از ویژگیهای منحصر بفرد این درایوها آمده است.

| ویژگی | مقدار | ملاحظات |
|---|---|---|
| توتال هارمونیک ولتاژ ورودی | 1.2% | الزامات IEEE519 در این مورد 5% است |
| توتال هارمونیک جریان ورودی | 0.8% | الزامات IEEE519 در این مورد 3% است |
| نوسانات گشتاور( Torque Pulsation) | 0.1% | |
| محدودیت در طول کابل خروجی | خیر | موردهای عملی با طول کابل ۲۵ کیلومتر وجود دارد |
| ضریب قدرت در تمام رنج سرعت | بیش از 95% | |
| راندمان درایو | بیش از 98% | |
| متوسط زمان قبل از بروز خطا(MTBF) | 70,000 ساعت | با استفاده Power Cell Bypass Option |

جدول(۷): برخی از مشخصات پیشرفته درایوهای Perfect Harmony

برای اطلاعات بیشتر در زمینه درایوهای با هارمونیک پائین(Perfect Harmony AC Drives) با شرکت پرتوصنعت تماس بگیرید.

### - توصیه ها

۱- در بهینه سازی مصرف انرژی بجای یک یا چند موتور کل سیستم را در نظر بگیرید. در این نوع بررسی ها لازم

است تاثیر اقدامات مورد نظر روی سایر سیستمها از جمله بهره برداری و تعمیر ونگهداشت بدقت مورد توجه قرار گیرد.

۲- در هنگام تصمیم گیری در خرید موتور کل هزینه های چرخه عمر سیستم مورد نظر را مورد توجه قرار دهید. بیاد داشته باشید که معمولا هزینه اولیه خرید یک موتور، نسبت به هزینه های انرژی و تعمیر و نگهداشت آن در طول عمر مفید سیستم ناچیز است.

۳- موتور را متناسب با بار انتخاب کنید. بعبارت دیگر از انتخاب موتور بزرگتر از نیاز بار اجتناب کنید.

۴- هنگام خرید موتور، موتورهای با راندمان بالا(Energy Efficient Motors) را انتخاب کنید. و اگر سفارش ساخت ماشینی را به ماشین ساز میدهید از او بخواهید از موتورهای با راندمان بالا استفاده کند.

۵- در جاهائی که نیاز به تغییر دور است از کنترل کننده دور موتور(Frequency Converter) استفاده کنید.

۶- در کنترل فلو/حجم در پمپ/فن از کنترل کننده دور موتور استفاده کنید.

۷- معمولا جایگزینی یک موتور با راندمان بالا بجای یک موتور سوخته با توجه به هزینه های چرخه عمر آن اقتصادی است. بنابراین توصیه میشود با بررسیهای سیستماتیک حتی المقدور بجای سیم پیچی مجدد موتور سوخته آنرا با موتور با راندمان بالا جایگزین کنید.

۸- شبکه توزیع برق کارخانه را همواره چک کنید.

۹- ولتاژ اعمالی به موتور باید ثابت و برابر با ولتاژ نامی موتور باشد.

۱۰- موتورها را بموقع روغنکاری کنید.

۱۱- سیستم تهویه موتور را همواره کارآمد نگهدارید. و دمای موتور را کنترل کنید.

۱۲- از عدم تقارن ولتاژ برق کارخانه جلوگیری کنید.

۱۳- از ترانسفورماتور متناسب با بار استفاده کنید.

۱۳- در انتخاب درایو های ولتاژ متوسط (Medium Voltage AC Drive) دقت بیشتری بعمل آورید

**منابع:**


F1- دکتر هاشم اورعی،"بهینه سازی مصرف انرژی در الکتروموتورهای صنعتی" مرکز تحقیقات نیرو، ۱۳۷۳.

F2- کاظم دولت آبادی، "ارزیابی و انتخاب درایو Medium Voltage"، شرکت پرتوصنعت، ۱۳۸۲.

1- http://www.greenbusiness.com

2- http://www.magnumllc.com/results.asp

3- http://www.vacon.com

4- Howard W. Penrose, ”A novel approach to industrial assessments for improved energy, waste stream, process and reliability”, Kennedy-Western University, 1999.

5- Shawn McNulty, Bill Howe, “Power Quality Problems and Renewable Energy Solutions”, 2002.

6- “Optimizing your motor-driven systems”,motor.doe.org.

7- “Reducing power factor cost”,motor.doe.org.

8- Determining Electric Motor Load and Efficiency”, motor.doe.org.

9- Dipl.Ing.(FH) Hugo Stadler ,“Energy Savings by means of Electrical Drives”, Loher GmbH.

10-Anibal T. De Almeida, Paula Fonseca, & others,“Improving the penetration of Energy-Efficient Motors and Drives”, University of Coimbra, Department of Electrical Engineering.

11-A.Shirazi, “ Potential Fro Implementation Of Energy Saving Measures In Selected Cement Factories In Iran “, Flensbusg University , Germany , March , 2002.

12-"Lower energy and chemicals costs at swedish sewage treatment plant", http://www.vacon.com/what/swtplen.html.

13-http://www.water.vacon.com/

14-"Environmentally sound energy efficient strategies: a case study of the power sector in India ", http://www.uccee.org/Workpapers/execsum6.htm.

15-"Variable Speed Driven Pumps: Best Guide Practice", http://www.bpma.org.uk/Latest.asp

16-Kevin Wright,"Energy Solutions,"Rockwell Automation, July 2002.

Bimal K. Bose,"Energy, Environment, and Advances in Power Electronics," IEEE Trans. Power Electronics, VOL. 15, No. 4, July 2000