

شرکت انرژی پاسارگاد

آدرس: تهران، خ گیشا، بین خ ۱۵ و ۱۷، پلاک ۲۴۲، واحد ۲
وب سایت: www.EnergyInformation.ir
پست الکترونیکی: Info@EnergyInformation.ir
Muhammad.Morady@gmail.com
تلفن تماس: ۰۹۱۲۱۰۹۹۷۲۳ - ۴۴۸۷۳۶۶۹ - ۸۶۰۱۵۷۲۷ - ۸۶۰۱۵۷۲۹
تلفکس: ۴۴۸۷۳۶۶۹

مقدمه‌ای بر ممیزی انرژی

چکیده

این فصل بطور اجمالی روش های مناسب ممیزی انرژی در ساختمان های تجاری و صنعتی را مرور می کند. امروزه، ممیزی انرژی توسط شرکت های خدمات انرژی جهت بهبود بازدهی انرژی ساختمان ها به اجرا درمی آید. در واقع، ممیزی انرژی نقشی حیاتی در موفقیت اجرای پروژه های پیمانکاری انرژی دارد. روش های مختلفی برای ممیزی انرژی در ساختمان وجود دارد که توسط مهندسين خدمات انرژی با درجات پیچیدگی متفاوت اجرا می گردد. در این فصل جنبه های کلیدی ممیزی انرژی تفصیلی^۱، مختصراً^۲ تشریح می شود. همچنین، رهیافتی فراگیر و نظام مند جهت شناسایی و ارزیابی هزینه - فایده راهکارهای صرفه جویی انرژی در ساختمان ها فراهم خواهد شد.

۱-۱ مقدمه

از هنگام بحران نفتی سال ۱۹۷۳، پیشرفت های چشمگیری در بهینه سازی انرژی ساختمان های جدید ایجاد شده است. لیکن، بخش عمده ای از ساختمان های کنونی (که عمر بیشتر از یک دهه دارند) بخاطر فرسودگی و استفاده از تجهیزات انرژی بر، همچنان خارج از استاندارد شاخص های مصرف انرژی قرار می گیرند (EIA, 1991). بنابراین، بهینه سازی انرژی ساختمان های موجود جهت رسیدن به شاخص های استاندارد، شاید دهه ها طول بکشد.



سرمایه گذاری بمنظور بهبود کارایی انرژی در ساختمان ها، دارای جریان نقدینگی مثبت کوتاه مدت و نسبتاً پیشینی پذیر می باشد که از پایین آمدن صورت حساب انرژی حاصل می شود. علاوه بر گزینه های مالی مرسوم در دسترس مالکین و اپراتورهای ساختمان (همانند وام و اجاره کردن)، روش های دیگری جهت تامین منابع مالی پروژه های بهینه سازی انرژی ساختمان ها وجود دارد. یکی از روش های معمول این است که شرکت های خدمات انرژی¹ (ESCO) تمام ریسک های پروژه جایگزینی را از طریق اجرای تجزیه و تحلیل های مهندسی و محاسبه سرمایه اولیه جهت خرید و نصب تجهیزات مورد نیاز بهبود بازدهی انرژی لحاظ می کنند. ممیزی انرژی ابزاری مهم برای شرکت های خدمات انرژی جهت تضمین موفقیت پروژه های پیمانکاری محسوب می شود. بعلاوه، برخی از ساختمان های صنعتی و تجاری بزرگ بمنظور کاهش نرخ اتلاف در مصرف انرژی یا رعایت بعضی از مقررات و استانداردها، برنامه های مدیریت داخلی انرژی بر مبنای ممیزی انرژی ایجاد کرده اند. دیگر اپراتورها و مالکین ساختمانی، از مزایای مالی ایجاد شده توسط خدمات دهندگان و آژانس های محلی برای اجرای ممیزی انرژی و پیاده سازی راهکارهای صرفه جویی انرژی بهرمنند گردیده اند.

در دهه ۱۹۷۰، بهبود انرژی ساختمان شامل استفاده از راهکارهایی ساده نظیر خاموش کردن لامپهای اضافی، پایین آوردن دمای گرمایش، افزایش دمای تهویه مطبوع و کاهش دمای آب گرم بود. امروزه مدیریت انرژی ساختمان ارزیابی فراگیر تمام سیستم های انرژی ساختمان را در بر می گیرد. لذا، ممیزین انرژی باید از مسائل کلیدی انرژی، نظیر تعرفه تاسیسات برق و آخرین تکنولوژی های کارایی انرژی ساختمان و کاربرد هایش آگاهی داشته باشند.

این فصل، روش نظام مند عمومی برای ممیزی مناسب انرژی در ساختمان های تجاری و صنعتی را تبیین می کند. برخی از راهکارهای مرسوم صرفه جویی انرژی بطور اجمالی بحث شده و مطالعه موردی ساختمان اداری جهت اعمال مراحل گوناگون ممیزی انرژی ساختمان آورده شده است. در نهایت خلاصه ای از روش های موجود برای اندازه گیری و شناسایی صرفه جویی ها همراه با بکارگیری راهکارهای صرفه جویی انرژی ارائه می گردد.

۲-۱ انواع روش های ممیزی انرژی

عبارت " ممیزی انرژی " دارای کاربردهای گسترده و معانی متفاوتی است و بسته به شرکت های خدمات انرژی مورد استفاده قرار می گیرد. ممیزی انرژی ساختمان ها محدوده وسیعی از بررسی میانگذر

تاسیسات تا تجزیه و تحلیل تفصیلی با شیبه سازی پویای کامپیوتری را در برمی گیرد. چهار نوع از روشهای اصلی ممیزی انرژی بطور خلاصه در زیر بررسی می شوند:

۱-۲-۱ ممیزی میان گذر^۱

این ممیزی شامل بررسی اجمالی تجهیزات جهت شناسایی گلوگاه های مصرف انرژی و ارائه راهکارهای ساده و کم هزینه است که صرفه جویی قابل توجهی را در هزینه عملیاتی ساختمان باعث می شود. برخی از مهندسين ترجیح می دهند که این گونه ممیزی انرژی ساختمان را در قالب راهکارهای تعمیرات و نگهداری طبقه بندی کنند. بعنوان نمونه این راهکارها میتوانند شامل تنظیم نقطه دمای گرمایش، جایگزینی پنجره های شکسته، عایق بندی لوله های بیرونی آب یا بخار گرم و تنظیم نسبت سوخت به هوا در بویلر باشد.

۲-۲-۱ تجزیه و تحلیل هزینه خدمات

هدف اصلی در این نوع ممیزی تحلیل دقیق هزینه های بهره برداری از تاسیسات انرژی بر می باشد. داده های چندین سال گذشته معمولاً "بمنظور شناسایی الگوی مصرف انرژی، پیک دیماندا، تاثیرات آب و هوایی و تعیین پتانسیل روش های مختلف صرفه جویی استفاده می گردد. بمنظور انجام این گونه تحلیلها توصیه می شود که ممیزین انرژی برای کسب اطلاعات در رابطه با تاسیسات و سیستم های انرژی آنها، از بازرسی میانگذر بهره بگیرند.

همچنین باید ممیز از تعرفه تاسیسات درک درستی داشته باشد تا به دلایل مختلف زیر بتواند آنرا در تاسیسات بکار گیرد:

- بمنظور تایید هزینه خدمات و اطمینان از اینکه هیچ گونه اشتباهی در محاسبه صورت حسابهای ماهیانه رخ نداده است. در واقع، تعرفه های خدماتی در تاسیسات تجاری و صنعتی با لحاظ کردن جریمه های ضریب توان و هزینه های رچت، نسبتاً پیچیده خواهد شد.
- بمنظور تعیین عمده ترین هزینه در صورت حساب های خدماتی. بعنوان نمونه هزینه های دیماندا پیک می تواند بخش عمده ای از هزینه صورت حساب خدمات را بخود اختصاص دهد؛

مخصوصاً" وقتی که نرخ های رچت^۱ بکار می روند. پس جهت کاهش این گونه هزینه های دیماندا، راهکارهای پیک سایبی توصیه می شود.

- جهت تعیین اینکه آیا می توان بمنظور خرید سوخت ارزاتر، با استفاده از تعرفه های خدماتی دیگر هزینه های بهره برداری را کاهش داد. اینگونه تجزیه و تحلیل ها می توانند در صورت حسابهای خدماتی کاهش چشمگیری ایجاد نمایند، به ویژه با بهره گیری از تعرفه های مقررات زدایی الکتریکی و قیمت گذاری بی درنگ^۲.

بعلاوه، ممیز انرژی می تواند از طریق تجزیه و تحلیل داده های خدمات انرژی، میزان جذابیت پروژه های جایگزینی تجهیزات را تعیین نماید. در واقع مصرف انرژی تاسیسات را می توان نرمال کرده و با شاخص ها مقایسه نمود. برای نمونه، از انرژی مصرفی در واحد سطح زیر بنا - برای ساختمانهای تجاری یا در هر واحد محصول برای تجهیزات صنعتی چنان که در فصل ۴ بدان پرداخته خواهد شد، می توان یاد کرد.

۳-۲-۱ ممیزی انرژی استاندارد

ممیزی استاندارد، امکان تجزیه و تحلیل فراگیر انرژی در سیستم های انرژی تاسیسات را فراهم می کند. علاوه بر فعالیت های که برای ممیزی بازرسی میان گذر و تجزیه و تحلیل هزینه های خدماتی در بخش های قبلی تشریح شد، ممیزی انرژی استاندارد، خط مبنایی را برای مصرف انرژی تاسیسات، ارزیابی پتانسیل صرفه جویی های انرژی و امکان سنجی راهکارهای صرفه جویی توسعه می دهد. روش گام به گام ممیزی انرژی استاندارد شبیه به ممیزی تفصیلی انرژی می باشد که در بخش بعدی بطور مشروح بدان خواهیم پرداخت.

عموماً" در ممیزی انرژی استاندارد جهت توسعه مدل های خط مبنای انرژی و پیش بینی میزان صرفه جویی ناشی از راهکارهای بهینه سازی از ابزارهای ساده ای استفاده می کنند. دو نوع از این ابزارها، روشهای روز-درجه، مدل های رگرسیون خطی هستند. بعلاوه از تجزیه و تحلیل ساده هزینه-فایده نیز جهت تعیین به صرفه بودن راهکار های مصرف انرژی بهره می گیرند.

۴-۲-۱ ممیزی انرژی تفصیلی^۳

این روش ممیزی انرژی، فراگیرترین روش بوده لیکن نوع ممیزی زمان مصرف می باشد. به ویژه، در روش مذکور از تجهیزات اندازه گیری مصرف انرژی برای تمام ساختمان یا برای برخی از سیستم های داخلی ساختمان (بعنوان نمونه در بخش مصرف نهایی: سیستم های روشنایی، تجهیزات اداری، فن ها، چیلرها و غیره) استفاده می شود. علاوه بر این، برنامه های شبیه سازی بسیار پیچیده ای جهت ممیزی انرژی تفصیلی برای ارزیابی و پیشنهاد جایگزین های مناسب انرژی تاسیسات بکار می روند.

تکنیک های موجود جهت اجرای راهکارهای ممیزی انرژی بسیار متنوع هستند و دامنه آنها از بازرسی اجمالی ساختمان تا بکارگیری تجهیزاتی جهت تعیین برخی پارامترهای ساختمان نظیر دمای هوای داخلی، سطح روشنایی و مصرف انرژی الکتریکی متغیر است. در هنگام ضرورت راهکارهای بلند مدت، از حسگرهای مختلفی استفاده می شود که داده ها را در هر لحظه اندازه گرفته و مستقیماً جهت انجام پردازش به سیستم های جمع آوری کننده که قدرت نظم دادن به اطلاعات را داشته و از راه دور قابل کنترلند، ارسال میکنند. اخیراً "تکنیک های مانیتور کردن بار غیر مزاحم"¹ (NILM) ارائه شده اند. این تکنیک ها قادر هستند مصرف انرژی بلادرنگ در بارهای الکتریکی بالا را تنها با بکارگیری یک مجموعه از حسگرها در ورودی سرویس تعیین نمایند. سهولت بکارگیری این تکنیک در مقایسه با روش های سنتی قابل توجه می باشد (در این روش تنها به مجموعه ای از حسگرهای مختلف جهت نظارت بر مصرف انرژی در هر مصرف کننده نهایی نیاز است). تمامی این خصوصیات، NILM را به روشی بسیار کم هزینه و جذاب در شرکت های خدمات دهنده انرژی بمنظور نظارت بر مصرف انرژی بدل کرده است.

برنامه های شبیه سازی کامپیوتری که در ممیزی انرژی تفصیلی استفاده می شوند، امکان توزیع مصرف انرژی بر حسب نوع بار (یعنی، مصرف انرژی در روشنایی، فن ها، چیلرها، بویلرها و غیره) را فراهم می کنند. این برنامه ها غالباً بر اساس عملکرد حرارتی پویای سیستم های انرژی ساختمان بوده و نیاز به تخصص و آموزش های سطح بالای مهندسی دارند. اینگونه برنامه های شبیه سازی، محدوده وسیعی از مدل های بر اساس روش بین² (Kenbel,1983) تا برنامه های محاسبه بارهای حرارتی و الکتریکی متغیر زمانی نظیر DOE-2 را در برمی گیرند (LBL,1980). خوانندگان برای کسب اطلاعات بیشتر درباره ابزارهای تحلیل انرژی که با توجه به راهکارهای صرفه جویی انرژی در تخمین مصرف انرژی و کاهش هزینه ها به کار می روند، به فصل ۴ مراجعه کنند.

در ممیزی انرژی تفصیلی، ارزیابی دقیق اقتصادی از راهکارهای صرفه جویی انرژی انجام می گیرد. مخصوصاً به صرفه بودن جایگزینی های انرژی بر اساس تجزیه و تحلیل هزینه دوره کارکرد (LCC)³ نسبت به تحلیل دوره بازگشت سرمایه ساده انجام می گیرد. تجزیه و تحلیل هزینه دوره کارکرد، تعدادی از پارامترهای اقتصادی نظیر نرخ بهره، تورم و تعرفه های مالیاتی را وارد محاسبات می کند. فصل ۳ برخی از ابزارهای تحلیلی اصلی جهت ارزیابی پروژه های بهینه سازی انرژی را تشریح کرده است.

۳-۱ روش عمومی ممیزی انرژی تفصیلی

اجرای ممیزی انرژی بسته به نوع ممیزی، اندازه و کارکرد ساختمان چندین مرحله را در بر می گیرد. برخی از این مراحل و وظایف با توجه به هدف باید تکرار شده و یا حذف گردند و یا بر اساس یافته های مراحل دیگر محدود شوند. بنابراین اجرای ممیزی انرژی، یک فرآیند خطی نبوده و نسبتاً تکراری می باشد بهر حال روش عمومی زیر برای اغلب ساختمان ها می تواند اجرا شود.

گام ۱: تجزیه و تحلیل داده های ساختمان و تاسیسات

هدف اصلی در این مرحله ارزیابی ویژگی های سیستم های انرژی و الگوهای مصرف انرژی برای ساختمان می باشد. خصوصیات ساختمان از نقشه های معماری/مکانیکی/الکتریکی با مشورت اپراتورهای ساختمان استخراج می گردد و الگوهای مصرف انرژی از صورت حسابهای مربوط به چندین سال گذشته فراهم می شود. تحلیل تغییرات زمانی صورت حسابهای تاسیسات به میزان انرژی امکان می دهد تا وظایف مربوطه در این مرحله را انجام دهند که در زیر مرتب شده است. البته برای یک ساختمان مشخص باید مواردی اضافه یا کسر شوند که به مهارتهای ممیزین بستگی دارد.

- جمع آموری حداقل داده های تاسیساتی مربوط به سه سال گذشته [جهت شناسایی الگوی تاریخی مصرف انرژی]
- شناسایی نوع سوختهای مصرف شده (برق، گاز طبیعی، نفت و غیره) [جهت تعیین نوع سوختی که بیشترین مصرف را در راست]
- فهم ساختار تعرفه خدمات (نرخهای مصرف و دیماندر انرژی) [جهت ارزیابی در مواقعیکه ساختمان برای تقاصای پیک در تنگنا قرار گیرد و امکان خرید سوختهای ارزانتر فراهم باشد]

- تجزیه و تحلیل تاثیر آب و هوا روی مصرف سوخت [جهت نمایاندن هرگونه تغییرات مصرف انرژی مرتبط با بدترین شرایط آب و هوایی]
- انجام تجزیه و تحلیل‌های مصرف انرژی تاسیسات بر حسب نوع ساختمان و اندازه (شاخصهای ساختمان از جمله مصرف انرژی بر حسب واحد سطح قابل تعیین هستند) [جهت مقایسه با شاخصهای بهینه]

گام ۲: بازرسی میان گذر

در این مرحله باید پتانسیل راهکارهای صرفه جویی انرژی شناسایی شوند. نتایج این مرحله اهمیت ویژه ای دارند؛ چرا که تعیین می کنند که آیا ساختمان مستلزم کار ممیزی گسترده تری هست یا نه. این گام شامل موارد زیر می شود:

- شناسایی مسایل و نیازهای مصرف کنندگان
- تایید روشهای بهره برداری و نگهداری موجود
- تعیین شرایط بهره برداری موجود تجهیزات اصلی مصرف انرژی (روشنایی، سیستمهای HVAC، موتورها و غیره)
- تخمین فضای اشغال شده تجهیزات و روشنایی (چگالی مصرف انرژی و ساعات بهره برداری)

گام ۳: خط مبنا^۱ برای مصرف انرژی ساختمان

هدف اصلی در این مرحله توسعه مدل مبنایی است که مصرف انرژی موجود و شرایط بهره برداری ساختمان را تشریح کند. این مدل، مرجعی است که میزان کاهش مصرف انرژی را با اجرای راهکارهای مختلف صرفه جویی تخمین می زند. کارهای انجام گرفته در این گام عبارتند از:

- تحصیل و بازبینی نقشه های معماری / مکانیکی / الکتریکی و کنترلی
- بازبینی، تست و ارزیابی تجهیزات ساختمانی از لحاظ بازدهی، عملکرد و قابلیت اطمینان

- تحصیل زمانبندی های اشغال و بهره برداری از تجهیزات (مثل سیستمهای روشنایی و سیستم HVAC)

- توسعه یک مدل خط مبنا برای انرژی ساختمان
- کالیبره کردن مدل خط مبنا با استفاده از داده های تاسیساتی و/یا داده های اندازه گیری شده.

گام ۴: ارزیابی راهکارهای صرفه جویی انرژی

در این مرحله، لیستی از راهکارهای اقتصادی صرفه جویی انرژی با استفاده از پتانسیل کاهش مصرف انرژی و تجزیه و تحلیلهای اقتصادی مشخص می شوند. جهت نیل به این اهداف، انجام کارهای زیر توصیه می شود:

- تهیه لیستی فراگیر از راهکارهای صرفه جویی انرژی (با استفاده از اطلاعات جمع آوری شده در بازرسی میان گذر)
- تعیین صرفه جویی انرژی در نتیجه اعمال و اجرای راهکارهای صرفه جویی انرژی متفاوت در ساختمان با استفاده از مدل مبنای توسعه یافته در گام ۳
- تخمین هزینه های اولیه اجرای راهکارهای صرفه جویی انرژی
- ارزیابی به صرفه بودن هر راهکار صرفه جویی انرژی با استفاده از روش تحلیلهای اقتصادی (دوره بازگشت سرمایه ساده یا تجزیه و تحلیل هزینه دوره کار کرد)

جدول ۱-۱ و ۱-۲ خلاصه ای از روشهای ممیزی انرژی توصیه شده برای ساختمانهای تجاری و تاسیسات

صنعتی را لیست کرده اند. ممیزی های انرژی برای سیستمهای حرارتی و الکتریکی مجزا هستند؛ چرا که نوعاً با تعرفه های خدمات متفاوتی سرو کار دارند.

جدول ۱-۱: خلاصه ای از ممیزی انرژی برای ساختمانهای مسکونی و تجاری

فاز	سیستمهای حرارتی	سیستمهای الکتریکی
تجزیه و تحلیل تاسیسات	منحنی مصرف انرژی حرارتی مصرف انرژی حرارتی در واحد سطح (یا در واحد دانش آموز برای مدارس یا در واحد تختخواب برای بیمارستانها) توزیع مصرف انرژی حرارتی (گرمایش، DHW ¹ ، فرآیندها و غیره) انواع سوخت مصرفی تأثیر آب و هوا بر روی مصرف انرژی ساختار نرخ تاسیسات	منحنی مصرف انرژی الکتریکی مصرف انرژی الکتریکی در واحد سطح (یا در واحد دانش آموز برای مدارس یا در واحد تختخواب برای بیمارستانها) توزیع مصرف انرژی الکتریکی (سرمایش، روشنایی، تجهیزات، فنها و غیره) تأثیر آب و هوا بر روی مصرف انرژی الکتریکی تعرفه خدمات (هزینه های انرژی، دیماندا، جریمه ضریب توان و غیره)
بازرسی محل	جنس مواد سازه (ضخامت و مقاومت حرارتی) نوع سیستم HVAC سیستم DHW آب داغ/بخار مصرفی در گرمایش آب داغ / بخار مصرفی در سرمایش آب داغ / بخار مصرفی در DHW آب داغ / بخار آب با کاربرد مخصوص (بیمارستان ها، استخرهای شنا و غیره)	نوع سیستمهای HVAC نوع و تراکم روشنایی نوع و تراکم تجهیزات مصرف انرژی گرمایشی مصرف انرژی سرمایشی مصرف انرژی روشنایی مصرف انرژی تجهیزات مصرف انرژی برای انتقال هوا مصرف انرژی برای توزیع آب
توازن انرژی	مرور نقشه های معماری، مکانیکی، الکتریکی و کنترلی توسعه مدل مبنا (با استفاده از روش های خط مبنا با پیچیدگی های متفاوت، از ابزارهای خیلی ساده گرفته تا ابزارهای تفصیلی) کالیبره کردن مدل مبنا (با استفاده از داده های تاسیسات و اندازه گیری شده)	مرور نقشه های معماری، مکانیکی، الکتریکی و کنترلی توسعه مدل مبنا (با استفاده از روش های خط مبنا با پیچیدگی های متفاوت، از ابزارهای خیلی ساده گرفته تا ابزارهای تفصیلی) کالیبره کردن مدل مبنا (با استفاده از داده های تاسیسات و اندازه گیری شده)
راهکارهای صرفه جویی انرژی	سیستم باز یافت حرارتی (مبدلهای حرارتی) بازدهی سیستم گرمایش (بویلرها) کاهش دمای نقطه تنظیم EMCS جایگزینی سیستم HVAC کاهش مصرف DHW تولید همزمان	سیستم های روشنایی پر بازده تجهیزات پر بازده انرژی (کامپیوتر) موتورهای پر بازده جایگزینی سیستم HVAC EMCS افزایش دمای نقطه تنظیم سیستم سرمایش پر بازده (چیلرها) هموار کردن پیک دیماندا

سیستم ذخیره انرژی حرارتی
تولید همزمان
بهبود ضریب توان
کاهش هارمونیکها

جدول ۱-۲: خلاصه ممیزی انرژی در تاسیسات صنعتی

فاز	سیستمهای حرارتی	سیستمهای الکتریکی
تجزیه و تحلیل تاسیسات	<p>منحنی مصرف انرژی حرارتی (مشخصه ساختمان)</p> <p>مصرف انرژی حرارتی در واحد محصول</p> <p>توزیع مصرف انرژی حرارتی</p> <p>(گرمایش، فرآیند و غیره)</p> <p>نوع سوخت مصرفی</p>	<p>منحنی مصرف انرژی الکتریکی (مشخصه ساختمان)</p> <p>مصرف انرژی الکتریکی در واحد محصول</p> <p>توزیع مصرف انرژی الکتریکی</p> <p>(گرمایش، فرآیند و غیره)</p> <p>تجزیه و تحلیل انرژی حرارتی ورودی برای فرآیند خاص در خط تولید (همانند خشک کردن)</p> <p>ساختار نرخ تاسیسات (بارهای حرارتی، بارهای تقاضا، ضریب جریمه توان)</p>
بازرسی محل	<p>لیست تجهیزات مصرف کننده انرژی حرارتی</p> <p>انجام تراز حرارتی انرژی حرارتی</p> <p>مانیتور کردن مصرف انرژی حرارتی در تمام بخشهای تجهیزات</p> <p>تعیین محصولات فرعی مصرف انرژی حرارتی (همانند آلودگی و زباله ها)</p>	<p>لیست تجهیزات مصرف کننده انرژی الکتریکی</p> <p>انجام تراز حرارتی انرژی الکتریکی</p> <p>مانیتور کردن مصرف انرژی الکتریکی در تمام بخشهای تجهیزات</p> <p>تعیین محصولات فرعی مصرف انرژی الکتریکی (همانند آلاینده ها)</p>
خط مبنای مصرف انرژی	<p>مرور نقشه های مکانیکی و چارتهای جریان تولید</p> <p>توسعه مدل مبنا (با استفاده از هر کدام از روش ها)</p> <p>کالیبره کردن مدل مبنا (با استفاده از داده های تاسیساتی یا داده های اندازه گیری شده)</p>	<p>مرور نقشه های الکتریکی و چارتهای جریان تولید</p> <p>توسعه مدل مبنا (با استفاده از هر کدام از روش ها)</p> <p>کالیبره کردن مدل مبنا (با استفاده از داده های تاسیساتی یا داده های اندازه گیری شده)</p>
راهکارهای صرفه جویی انرژی	<p>سیستم بازیافت حرارتی</p> <p>بازدهی سیستمهای گرمایش و خشک کن</p> <p>جایگزینی سیستم HVAC</p> <p>کاهش مصرف آب داغ و بخار آب</p> <p>تولید همزمان (امکانپذیر با استفاده از طریق اتلاف خط تولید)</p> <p>EMCS</p>	<p>موتورهای پر بازده</p> <p>موتورهای سرعت متغیر</p> <p>کمپرسور هوا</p> <p>سیستم های روشنایی پر بازده</p> <p>جایگزینی سیستم HVAC</p> <p>EMCS</p> <p>تولید همزمان (احتمالا با استفاده از ضایعات خط تولید)</p> <p>هموار کردن پیک دیمانند</p> <p>بهبود ضریب توان</p>

۴-۱ راهکارهای معمول صرفه جویی انرژی

در این بخش برخی از راهکارهای صرفه جویی انرژی (ECM¹) منتخب در تاسیسات تجاری و صنعتی بطور خلاصه تشریح شده است. باید تاکید شود که لیستی از ECM ها که در زیر آمده است صرفاً "جهت نشان دادن بعضی از انتخابهای ممکن برای ممیزین انرژی می باشد که در هنگام اجرای تجزیه و تحلیل های انرژی تاسیسات تجاری و صنعتی بکار گرفته می شوند. مطالب بیشتر در مورد بهینه سازی انرژی سیستم های مختلف ساختمان در فصلهای بعدی کتاب تشریح خواهد شد. لیکن، لازم به ذکر است که میزان انرژی باید در هنگام تجزیه و تحلیل های انرژی در جریان جدیدترین تکنولوژیهای بهبود بازدهی انرژی ساختمان قرار گیرند. افزون بر این، ممیز باید پیشنهادات خود در رابطه با این راهکارها را تنها بر مبنای تجزیه و تحلیل های اقتصادی درست، ارایه دهد.

۱-۴-۱ پوشش ساختمان

پوشش هر ساختمان (یعنی جداره ها، سقفها، پنجره ها و درها) می تواند تاثیر بسزایی روی مصرف انرژی آن داشته باشد. میزان انرژی باید خصوصیات واقعی پوشش ساختمان را تعیین کنند. این کار با بازرسی بخشهای مختلف ساختمان و ثبت داده ها در فرمهای تشریحی مخصوص پوشش ساختمان انجام می گیرد که شامل اطلاعات مربوط به جنس سازه (برای نمونه سطح عایق جداره ها، سقف ها و کف ها) و سطح و تعداد اسمبلهای ساختمان (برای مثال نوع و تعداد جدارهای پنجره) می باشد. علاوه بر این، در طول ممیزی، تعمیرات مورد نیاز و آخرین جایگزینی ها باید مورد توجه قرار بگیرند. برخی از راهکارهای صرفه جویی انرژی جهت بهبود عملکرد حرارتی پوشش ساختمان عبارتند از:

الف) افزودن عایق حرارتی. برای سطوح ساختمان بدون هر گونه عایق، این راهکار به صرفه می باشد.

(ب) جایگزینی پنجره ها. واقعیکه پنجره های ساختمان بخش قابل توجهی از سطح جداره ساختمان را تشکیل می دهد، استفاده از پنجره های پر بازده (مقاومت بالا²، شیشه با گذر دهی پایین و غیره) هم موجب کاهش مصرف انرژی شده و هم موجب بهبود سطح راحتی ساکنین می گردد.

(پ) کاهش نشتی هوا. هنگامیکه بار تهویه قابل ملاحظه باشد، با تکنیکهای ساده و کم هزینه درز گیری می توان مقدار نشتی از پوشش ساختمان را شدیداً کاهش داد.

ممیزی انرژی پوشش، اهمیت ویژه ای برای ساختمانهای مسکونی و کوچک دارد. یقیناً مصرف انرژی ساختمانهای مسکونی متاثر از تغییرات آب و هوایی می باشد، چراکه بهره/اتلاف حرارتی ناشی از هدایت مستقیم حرارتی یا نفوذ/خروج از طریق سطح ساختمان بخش مهمی از مصرف انرژی (۵۰ تا ۸۰٪) را تشکیل می دهند. برای ساختمانهای تجاری، بهبود پوشش ساختمان (جایگزینی پنجره ها، عایق کاری حرارتی جداره) شدیداً هزینه بر می باشد. لیکن توصیه می شود جهت تعیین پتانسیل صرفه جویی انرژی، همچنین برای اطمینان حاصل کردن از یکپارچگی همه شرایط، ممیزی نظام مند مد نظر قرار داده شود. بعنوان نمونه، پلهای حرارتی - در صورتی که نمایانده شود - باعث افزایش انتقال حرارت و چگالش رطوبت میگرددند. مسائل مربوط به چگالش رطوبت بغرنجتر و هزینه برتر از افزایش انتقال حرارت است؛ چرا که یکپارچگی سازه ای پوشش ساختمان را تحت تاثیر قرار می دهد.

۱-۴-۲ سیستمهای الکتریکی

در ساختمانهای تجاری و بخش عمده ای از تاسیسات صنعتی، هزینه انرژی الکتریکی سهم چشمگیری از صورت حسابهای خدمات را بخود اختصاص می دهد. روشنایی، تجهیزات اداری و موتورهای الکتریکی از جمله سیستمهای انرژی بر در ساختمان های تجاری و صنعتی محسوب می شوند.

الف) روشنایی. روشنایی در ساختمان اداری بطور متوسط ۴۰ درصد مجموع مصرف انرژی الکتریکی را به خود اختصاص می دهد. راهکارهای ساده و ارزان قیمت متفاوتی جهت بهینه سازی سیستم های روشنایی وجود دارد. بهینه کردن مصرف انرژی لامپهای روشنایی، بالاست ها و افزودن وسایل انعکاسی، کم کردن لامپ ها (در صورتیکه میزان روشنایی از سطح توصیه شده استاندارد ها بالاتر باشد) و استفاده از کنترلرهای روشنایی روز، از جمله این راهکارها می باشند. بیشتر راهکارهای مربوط به روشنایی، به ویژه در ساختمانهای اداری به صرفه هستند؛ بطوریکه بازگشت سرمایه آنها زیر یکسال است.

ب) تجهیزات اداری . تجهیزات اداری بیشترین سهم را در رشد بارهای الکتریکی ساختمانهای اداری و به ویژه ساختمان های تجاری، بر عهده دارند. تجهیزات اداری عبارتند از : کامپیوترها، ماشین های فاکس، پرینترها و دستگاههای کپی. امروزه تولید کنندگان زیادی در زمینه عرضه تجهیزات اداری پر بازده (نظیر محصولات) که با مشخصات انرژی استار EPA در ایالات متحده مطابقت دارند) فعال هستند. بعنوان نمونه کامپیوترهای پر بازده در مواقعی که بلا استفاده اند، بطور اتوماتیک به یک مد با مصرف توان پایین (Sleep) سوئیچ می کنند.

پ) موتورهای الکتریکی. هزینه انرژی کارکرد موتورهای الکتریکی بخش مهمی از بودجه بهره برداری ساختمانهای تجاری و صنعتی را در بر میگیرد. راهکارهای کاهش هزینه انرژی استفاده از موتورها عبارتند از کاهش زمان کارکرد (خاموش کردن تجهیزات غیر ضروری)، بهینه سازی سیستمهای موتور، استفاده از کنترلرهایی بمنظور هماهنگ کردن خروجی موتور با میزان تقاضا، استفاده از محرکهای سرعت متغیر برای توزیع هوا و آب و نیز نصب موتورهای پر بازده. جدول ۱-۳ بازدهی های موتورهای الکتریکی مختلف را بر حسب اندازه موتور مرتب کرده است.

جدول ۱-۳: بازدهی موتورهای پر کاربرد

اندازه موتور (HP)	بازدهی استاندارد	پر بازده
۱	٪۷۲	٪۸۱
۲	٪۷۶	٪۸۴
۳	٪۷۷	٪۸۹
۵	٪۸۰	٪۸۹
۷/۵	٪۸۲	٪۸۹
۱۰	٪۸۴	٪۸۹
۱۵	٪۸۶	٪۹۰
۲۰	٪۸۷	٪۹۰
۳۰	٪۸۸	٪۹۱
۴۰	٪۸۹	٪۹۲
۵۰	٪۹۰	٪۹۳

جایگزینی سیستمهای الکتریکی، علاوه بر کاهش کل انرژی الکتریکی مصرفی تجهیزات، باعث کاهش بارهای سرمایش فضای ساختمان و لذا کاهش مصرف انرژی در ساختمان می شود. این کاهش انرژی سرمایشی بعلاوه افزایش احتمالی مصرف انرژی حرارتی (برای گرمایش فضا)، باید هنگام ارزیابی به صرفه بودن بهبود روشنایی و تجهیزات اداری مورد توجه قرار گیرد.

۱-۴-۳ سیستمهای HVAC

سیستمهای HVAC ۴۰ درصد مصرف انرژی ساختمانهای مسکونی را به خود اختصاص می دهند. ممیز انرژی باید خصوصیات اصلی تجهیزات HVAC را بشناسد تا بتواند شرایط عملکرد تجهیزات، برنامه زمانبندی کارکرد و روشهای کنترلی را تعیین نماید. راهکارهای زیادی جهت بهبود عملکرد انرژی سیستمهای اولیه و ثانویه HVAC پیشنهاد شده اند. برخی از این راهکارها عبارتند از:

(الف) کم یا زیاد کردن دماهای ترموستات: در مواقع مناسب، می توان کم کردن دماهای گرمایشی در طول دوره های اشغال فضا را پیشنهاد کرد. بطور مشابه، افزایش دماهای سرمایشی را نیز می توان در نظر گرفت.

(ب) جایگزینی سیستم حجم هوای ثابت: در ساختمانهای تجاری، وقتی که سیستمهای HVAC موجود برای کل یا بخشی از ساختمان، از نوع حجم ثابت باشند، استفاده از سیستمهای حجم هوای متغیر (VAV)¹ توصیه می شود.

(پ) نصب سیستمهای باز یافت حرارت: امکان باز یافت حرارتی از برخی تجهیزات HVAC وجود دارد. برای مثال نصب مبدلهای حرارتی جهت باز یافت حرارت از واحد کنترل هوا (AHU)² و جریانات هوای خروجی از دودکشهای بویلر گزینه های قابل بررسی می باشند.

(ت) جایگزینی پلنهای گرمایش مرکزی: بازدهی بویلر بطور موثری با تنظیم نسبت سوخت- هوا بهبود پیدا می کند. علاوه بر این نصب بویلرهای جدید پر بازده به جای بویلرهای قدیمی، به صرفه می باشد.

(ث) جایگزینی پلنهای سرمایش مرکزی: امروزه چندین مدل از چیلرهای پر بازده در بازار موجود هستند که کنترل و عملیات آنها ساده بوده و برای پروژه های جایگزینی مناسب هستند.

باید تاکید شود که بین اجزای مختلف سیستم گرمایش و سرمایش کنش بسیار قوی وجود دارد. بنابراین در هنگام جایگزینی سیستم HVAC رهیافت، باید تجزیه و تحلیل کل سیستم انجام گیرد. بهینه سازی مصرف انرژی پلنت سرمایش مرکزی (که شامل چیلرها، پمپ ها و برج های خنک کننده) نمونه ای از کاربرد روش تجزیه و تحلیل کل سیستم جهت کاهش مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی در ساختمانها می باشد.

۴-۴-۱ سیستمهای هوای فشرده

هوای فشرده ابزاری غیر قابل حذف در بسیاری از تاسیسات تولیدی می باشد. محدوده مصرف هوای فشرده، از ابزارهای دستی و عمل کننده هایی که با هوا کار می کنند تا سیستم های رباتیک نیوماتیک پیچیده را در بر می گیرد. متأسفانه، امروزه مقادیر هنگفتی هوای فشرده در تاسیسات متعددی به هدر می رود. تخمین زده می شود که ۲۰ تا ۲۵ درصد از انرژی الکتریکی ورودی به کمپرسور به انرژی هوای فشرده مفید تبدیل می شود. نشتیها ۱۰ تا ۵۰ درصد از اتلاف انرژی را بخود اختصاص می دهند در حالیکه ۵ تا ۴۰ درصد از هوای فشرده به خاطر استعمال نادرست هدر می رود (Howe&Scales,1998).

جهت بهبود کارایی سیستمهای هوای فشرده، ممیزین انرژی باید مسائل مختلفی، نظیر ضرورت وجود هوای فشرده برای انجام کار (بعنوان نمونه، موتورهای الکتریکی خیلی کاراتر از وسایل رفت و برگشتی می باشند)، چگونگی کاربری هوای فشرده، چگونگی تحویل و کنترل آن و چگونگی مدیریت سیستم هوای فشرده (برای هر ماشین یا فرآیند، ارزیابی هزینه هوای فشرده جهت تعیین فرصتهای صرفه جویی انرژی و هزینه، لازم است) را مد نظر قرار دهند.

۵-۴-۱ کنترلهای مدیریت انرژی

با کاهش هزینه های تکنولوژی کامپیوتر، کنترل اتوماتیک گستره وسیعی از سیستمهای انرژی داخل ساختمان های تجاری و صنعتی، بسیار مردم پسند و به صرفه شده است. مدیریت انرژی و سیستم کنترل (EMCS) جهت کنترل و کاهش مصرف انرژی ساختمان طراحی گردیده که این کار از طریق مانیتورینگ مداوم مصرف انرژی تجهیزات مختلف و انجام تنظیمات مناسب به ثمر می رسد. برای نمونه EMCS می تواند بطور اتوماتیک دمای محیط داخلی را مانیتور می کند؛ دمپهای واحد کنترل هوا را باز و بسته کرده و سیستمهای روشنایی را کنترل می نماید.

در صورت نصب EMCS در ساختمان، توصیه می شود که از یک سیستم تنظیم کننده جهت اطمینان از عملکرد مناسب آن استفاده شود. برای نمونه حسگرها باید بطور منظم مطابق مشخصات تولید کننده، تنظیم شوند. کالیبره کردن ناقص حسگرها احتمالاً باعث افزایش بارهای گرمایشی و سرمایشی شده و کاهش راحتی ساکنین را به دنبال خواهد داشت.

۱-۴-۶ مدیریت آب داخل ساختمان

با استفاده از لوله و اتصالات صرفه جویی آب به جای لوله و اتصالات مرسوم در دستشوییها، شیرهای آب، سر دوش ها، ظرف شویی ها و لباس شوییهای داخل ساختمان، مصرف آب و انرژی پایین خواهد آمد. همچنین رفع چکه در لوله ها و اتصالات نیز باعث صرفه جویی می شود.

جدول ۱-۴ میزان مصرف معمول آب در اتصالات مرسوم و اتصالات کارآمد آب^۱ را برای موارد مختلف نشان می دهد. علاوه بر این، جدول ۱-۴ میزان مصرف آب گرم را به عنوان در صدی از کل آب در هر نوع اتصالات مشخص می کند. با بکارگیری اتصالات پربازده آب، ۵۰ درصد در مصرف آب دستشوییها، حمام ها و شیرها صرفه جویی می گردد.

جدول ۱-۴: مشخصه مصرف تجهیزات مصرفی آب

مصرف نهایی	تجهیزات مرسوم	تجهیزات پربازده آب	الگوی مصرف	درصد آب داغ
دستشوییها	۳.۵ gal/flush	۱.۶ gal/flush	۴ flushs/pers/day	۰٪
حمام ها	۵ gal/min	۲.۵ gal/min	۵ min/shower	۶۰٪
شیرهای آب	۴.۰ gal/min	۲.۰ gal/min	۲.۵ flushs/pers/day	۵۰٪
ظرفشوییها	۱۴.۰ gal/load	۸.۵ gal/load	۰.۱۷ loads/pers/day	۱۰۰٪
لباسشوییها	۵۵ gal/load	۴۲ gal/load	۰.۳ loads/pers/day	۲۵٪

نشی‌ها	۱۰٪	۲٪	N/A	۵۰٪
	از مصرف کل	از مصرف کل		

۷-۴-۱ تکنولوژیهای جدید

ممیز انرژی ممکن است پتانسیل اجرا و تلفیق تکنولوژی های مختلف در داخل تاسیسات را در نظر بگیرد؛ که در این صورت وی باید درک درستی از تکنولوژی های جدید و چگونگی اعمال آنها داشته باشد. این تکنولوژیهای جدید که برای ساختمانهای تجاری و صنعتی در نظر گرفته می شوند به قرار زیرند:

الف) تکنولوژیهای پوشش ساختمان: اخیراً مواد و سیستم های مختلفی برای بهبود بازدهی انرژی در پوشش ساختمان و به خصوص پنجره ها پیشنهاد شده اند:

- شیشه های انتخاب^۱ طیفی که بهره گیری از انرژی خورشیدی و تاثیر سایه را بهینه می کنند.
- شیشه های رنگ زا^۲ که بطور خودکار بر مبنای درجه حرارت محیط یا میزان روشنایی، ویژگی ها را تغییر می دهند (مثل عینک هایی که در نور آفتاب تیره می شوند).
- صفحات مجتمع فوتوولتائیک ساختمانی^۳ که می توانند با جذب اشعه خورشید، برق تولید کنند و میزان بهره حرارتی در بدنه ساختمان (خصوصاً سقف ها) را کاهش دهند.

ب) تکنولوژیهای انتقال نور: در عین اینکه استفاده از روشنایی خورشید برای فضاها نزدیک به پنجره ها معمول است، عموماً برای فضاها داخلی به ویژه آنهایی که از روشنایی آسمان برخوردار نیستند، عملی نیست. تکنولوژی های جدید و البته نوپا، نور را از جمع کننده های سقف یا بالای دیوار به مکانهای داخلی که به پنجره یا نور آسمان نزدیک نیستند، انتقال می دهند.

پ) کنترل ها و سیستم های HVAC: استراتژیهای گوناگونی برای جایگزینی سیستم های انرژی در نظر گرفته می شوند که عبارتند از:

- تکنولوژی بازیافت حرارت نظیر چرخهای حرارتی گردان و لوله های حرارتی که می توانند ۵۰ تا ۸۰ درصد انرژی مصرفی برای گرم کردن یا خنک کردن هوای ساختمان را بازیافت کنند.
 - سیستم های خنک کننده دسی کنت، امروزه موجود بوده و می توانند در ساختمانهای با بار رطوبت زدایی زیاد (مثل بیمارستانها، استخرهای شنا و قسمت مواد تازه سوپرماکت ها) در دوره های بلند مدت طراحی، مورد استفاده قرار گیرند.
 - پمپ های حرارتی زمین گرمایی، فرصتی را برای استفاده از مزایای گرمای ذخیره شده زیرزمین جهت تهویه فضاها و ساختمان فراهم می آورند.
 - سیستم های ذخیره انرژی حرارتی (TES)^۱، امکان استفاده از توان ارزان قیمت در ساعات کم بار برای تولید گرما یا سرما جهت تهویه ساختمان در ساعات پربار را فراهم می آورند. اخیراً چندین استراتژی کنترل بهینه برای صرفه جویی مالی در استفاده از سیستم های TES توسعه داده شده است.
- ت) تولید همزمان برق و حرارت^۲:** در واقع این روش تکنولوژی جدیدی نیست. لیکن پیشرفتهای اخیر در افزایش بازدهی آن در هر دو بخش حرارتی و برق، این روش را از نظر اقتصادی در بسیاری از کاربردها از جمله ساختمانهای تحقیقاتی (انستیتوها)، بیمارستان ها و دانشگاه ها به صرفه کرده است.

۵-۱ مطالعه موردی

برای نشان دادن فرآیند ممیزی انرژی که قبلاً توصیف شد، یک مطالعه موردی در این بخش ارائه می شود. فعالیت های انجام شده در هر گام از ممیزی انرژی به طور خلاصه توضیح داده شده است. برای جزئیات بیشتر درباره مطالعه موردی، به Kim et al (۱۹۹۸) رجوع کنید.

ساختمانی که در این مطالعه، مورد تحلیل قرار می گیرد، یک ساختمان اداری با اندازه متوسط در سئول، کره جنوبی، است. شکل ۱-۱ نمای مقابل ساختمان را نشان می دهد.

شکل ۱-۱: نمای مقابل ساختمان اداری ممیزی شده

گام اول: تجزیه و تحلیل داده های خدماتی و ساختمانی

قدم اول در فرآیند ممیزی انرژی، جمع آوری تمام اطلاعات موجود درباره سیستم های انرژی و الگوی مصرف انرژی ساختمان است. این اطلاعات قبل از انجام ممیزی جمع آوری شده اند. خصوصاً از

نقشه‌های الکتریکی / مکانیکی / معماری و صورتحسابهای خدماتی، اطلاعات و داده‌های مهندسی زیر گردآوری شده‌اند:

شکل ۱-۲: نقشه یک طبقه از ساختمان ممیزی شده

مشخصات ساختمان: یک ساختمان اداری ۲۶ طبقه با ۲ طبقه اطاقکهای بالای بام و ۴ طبقه انباری که در قسمت مرکزی شهر سئول کره جنوبی قرار دارد. ساختمان بتونی و دارای چارچوب فولادی است. زیر بنا 6555 m^2 و مساحت زمین 3920 m^2 است. شیشه‌های مات تک جداره همه جای ساختمان نصب شده‌اند. شکل ۱-۲ نمونه طرح یک طبقه از ساختمان نشان می‌دهد. جدول ۱-۵ مواد ساختمانی مختلفی را که در این عمارت استفاده شده، نشان می‌دهد.

مصرف انرژی: شکل ۱-۳ میزان مصرف برق ماهانه ساختمان در سال ۱۹۹۳ را نشان می‌دهد. همچنین درجه حرارت متوسط ثبت شده هوای بیرون طی سال ۱۹۹۳ نیز در این شکل آورده شده است. واضح است که میزان مصرف انرژی برق طی ماههای تابستان (از ژوئن تا اکتبر) که دمای هوای بیرون بالا رفته،

افزایش یافته است. طی ماههای دیگر مصرف انرژی برق تقریباً ثابت بوده که می توان این مصرف را به روشنایی و تجهیزات اداری نسبت داد. بررسی مقدماتی مصرف انرژی اندازه گیری شده ساختمان نشان می دهد که مصرف گاز طبیعی، ماه به ماه ثابت نبوده است. مثلاً مصرف گاز در ژانویه ۶ برابر بیشتر از دسامبر است؛ در عین اینکه شرایط آب و هوایی در هر دو ماه یکسان بوده است. بنابراین دوره های ثبت شده برای گاز طبیعی غیر قابل اعتماد شناخته شد و فقط دوره های مربوط به میزان مصرف انرژی برق اندازه گیری شده، بررسی شدند.

جدول ۱-۵: مصالح ساختمانی

اجزا	مواد
دیوارهای خارجی	کاشی ۵Cm
	بتون ۱۶ Cm
	ایزولاسیون فوم ۲.۵ Cm
	مواد تکمیلی ۰.۶ Cm
سقف	بتون سبک ۵ Cm
	بتون ۱۵ Cm
	ایزولاسیون فوم ۲.۵ Cm
	سیمان تکمیلی ۲ Cm
دیوارهای داخلی	بلوک بتونی ۱۹ Cm
	سیمان تکمیلی ۲ Cm
	۱.۲ Cm شیشه تک جداره کلفت
	۲۵ Cm بتون
پنجره ها	وفال آسفالت
	فضای هوا
	آجر ۱۰ Cm
	۲ Cm سیمان تکمیلی
دیوار زیرزمینی	بتون ۱۵ Cm
	وفال آسفالت
	۱۲ Cm بتون
	۲ Cm سیمان تکمیلی
سطح زیرزمینی	بتون ۱۵ Cm
	وفال آسفالت
	۱۲ Cm بتون
	۲ Cm سیمان تکمیلی

شکل ۱-۳: مصرف ماهانه انرژی برق واقعی

گام دوم: بازرسی محل

یک رشته ممیزی یک روزه با همکاری یکی از اپراتورهای ساختمان در تابستان ۱۹۹۶ انجام شد. در طی این ممیزی، اطلاعات و داده های مهندسی سودمند و روشننگری جمع آوری شدند. برای نمونه:

- ◀ مشخص شد که ساختمان با سیستم های روشنایی پر بازده تجهیز شده است. اندازه گیری سطح روشنایی در محیط های کاری روشنایی کافی را نشان داد. برای مشخص کردن برآوردی از میزان مصرف انرژی روشنایی، تعداد و نوع تجهیزات روشنایی ثبت گردید.
- ◀ مشاهده شد که دمای نقاط تنظیم گرمایش و سرمایش به ترتیب ۲۵/۵ و ۲۴/۵ بود. در عین حال، اندازه گیری دمای هوای داخلی و رطوبت در طول این رشته ممیزی مشخص کرد که طی بعد از ظهر، شرایط حرارتی در بسیاری قسمت های ساختمان با دمای متوسط ۲۸ و رطوبت ۶۵٪ نامساعد بوده است. مشورت با اپراتور ساختمان نشان داد که در چند سال اخیر با افزایش تعداد کامپیوترها، چیلرها قادر به تحمل این بار نبوده و توانایی رسیدن به حد خنکی مطلوب را ندارد. برای حل این مسئله، یک مخزن یخ برای کم کردن بار خنک کنندگی اضافه شد.
- ◀ در طول ممیزی مشخص گردید که ساختمان با دو سیستم بطور همزمان گرم و سرد می شود، سیستم های حجم هوای ثابت (CAV)^۱ و سیستم های فن کویل (FCU)^۲. سیستم CAV در مواقع

لزوم با سیستم FCU تکمیل می شود. دو واحد کنترل هوا، کل ساختمان را سرویس می دهند و در هر طبقه ۵۸ عدد FCU نصب شده است.

دستگاه گرمایش و سرمایش از ۳ بویلر، ۶ چیلر، ۳ برج خنک کننده و یک مخزن یخ تشکیل شده است. ظرفیت بویلرها و چیلرها در زیر آمده است:

بویلرها: (۲ واحد) ۱۳ MBtuh و (۱ واحد) ۳/۵ MBtuh

چیلرها: (۵ واحد) ۲۱۵ Tons و (۱ واحد) ۲۴۰ Tons

سیستم ذخیره انرژی حرارتی (TES) از یک مخزن آب شور تشکیل شده است. مدت زمان شارژ و تخلیه به ترتیب ۱۰ و ۱۳ ساعت است. سیستم TES با استفاده از کنترلرهای ساده و کنترلرهای با اولویت ذخیره بون پیشینی کنترل می شوند. ساختمان گرمای داخلی نسبتاً بالایی دارد. در جدول ۱-۶، چند تا از منابع گرمایی داخل ساختمان لیست شده اند. مطالب بر اساس گفته های اپراتور ساختمان و مشاهدات در طول ممیزی هستند.

جدول ۱-۶: سطح جذب حرارت داخلی در ساختمان های اداری

بار طراحی	جذب گرمای داخلی
۱۷ m ² /Pers	ساکنین
۴۵W جذب حرارتی پنهان	
۷۰W جذب حرارتی محسوس	
۱۴ W/m ²	روشنایی
۱۶ W/m ²	تجهیزات
۱۴.۷ CFM/Pers	تهویه

گام سوم: مدل مبنای مصرف انرژی

برای مدل کردن ساختمان با استفاده از نرم افزار DOE-2، هر طبقه به دو قسمت پیرامونی و دو قسمت مرکزی تقسیم شد. برای مدل کردن ساختمان شکل ۱-۴ پیکره بندی نواحی مورد استفاده جهت مدل کردن طبقات ساختمان را نشان می دهد. علت اصلی برای این شکل پیکربندی، نبودن انعطاف پذیری در برنامه DOE-2 SYSTEMS است. اگر چه ساختمان واقعی با استفاده از سیستم های CAV و FCU تهویه می شود، سیستم DOE-2.1E نمی تواند نوع متفاوت از سیستم های HVAC بکار رفته در منطقه را مدل کند. لذا به منظور شبیه سازی سیستم HVAC واقعی ساختمان، از ساده سازی کمک گرفته شد. این

ساده سازی شامل موارد زیر است: در مناطق پیرامونی از FCUها و در مناطق مرکزی از VAV استفاده می شود. چون همه FCUها در قسمت های پیرامون قرار گرفته اند، این ساده سازی مطابق با کارکرد سیستم HVAC واقعی است.

شکل ۱-۴: نواحی حرارتی ساختمان جهت شبیه سازی کامپیوتری با DOE-2

شکل ۱-۵ مصرف ماهانه برق پیش بینی شده توسط مدل پایه DOE-2 و انرژی مصرفی واقعی ثبت شده در ۱۹۹۳، ساختمان را نشان می دهد. این شکل بیان می کند که DOE-2 الگوی مصرف انرژی واقعی ساختمان را به جز برای ماههای دسامبر و اکتبر نسبتاً خوب پیش بینی می کند. تفاوت بین مصرف انرژی اندازه گیری شده سالیانه ساختمان و مصرف پیش بینی شده برق سالیانه بوسیله مدل مبنای DOE-2 تقریباً ۷۶۲ مگاوات ساعت است. DOE-2 پیش بینی کرده است که ساختمان ۶ درصد برق بیشتری از میزان انرژی مصرفی اندازه گیری شده سالیانه مصرف می کند. جهت توسعه مدل مبنای DOE-2، فایل آب و هوایی نوع TRY با استفاده از داده های خام هواشناسی گردآوری شده سال ۱۹۹۳ سؤال تهیه شد. با استفاده از مدل مبنای DOE-2، تعداد ECOها را می توان تعیین نمود.

شکل ۱-۵: مقایسه مصرف انرژی الکتریکی واقعی و پیشینی DOE-2 در ساختمان

شکل ۱-۶ توزیع مصارف نهایی انرژی ساختمان را نشان می دهد. غالب مصرف انرژی برای روشنایی و تجهیزات است که حدود ۷۵ درصد کل مصرف برق ساختمان را به خود اختصاص می دهد. همانطوریکه پیش تر بیان شد، تجهیزات روشنایی جدید که از لامپ های فلورسنت با مصرف انرژی مناسب بهره می برند، در ساختمان بکار برده شده است. بنابراین تصمیم گرفته شد تا در این بررسی جایگزینی تجهیزات روشنایی به عنوان یک ECO در نظر گرفته نشود. مصرف انرژی سرمایشی ۱۳/۱ درصد است. ECO های انتخاب شده برای این ساختمان جهت کاهش بار سرمایشی برای بهبود حرارت داخلی و همچنین کاهش هزینه انرژی ساختمان را دنبال می کنند.

شکل ۱-۶: توزیع مصرف انرژی الکتریکی

گام چهارم: بررسی فرصت های صرفه جویی انرژی (ECOs)

طبق ارزیابی الگوی مصرف انرژی ساختمان، چندین فرصت صرفه جویی انرژی بررسی شد. در این میان، گزینه ۶ بطور موفقیت آمیز مصرف انرژی را کاهش می دهد.

(۱) تبدیل CAV به VAV: فن های دستگاه هواساز موجود، همه با سرعت ثابت کار می کنند. آنها از طریق یک سیستم هوارسانی با درجه ثابت، هوای مطلوب را برای فضاهای مورد نظر تامین می کنند. سیستم به گونه ای طراحی شده که هوای کافی را برای گرم یا سرد کردن ساختمان تحت شرایط مورد نظر تامین کند. در شرایط غیر طراحی، عرضه هوا از میزان نیاز بیشتر است. تعویض سیستم با یک سیستم حجم هوای متغیر (VAV) مقدار هوایی تامین شده توسط AHU را کاهش داده و در نتیجه مصرف انرژی برای تهویه هوای قسمت های مختلف کاهش می یابد. در این ECO سیستم های فن حرارتی با درجه ثابت تعبیه شده در قسمت های مرکزی ساختمان با سیستم VAV جایگزین شدند. به خصوص جعبه های VAV - که باترموستات کنترل می شوند - برای کنترل مقدار هوای مطبوعی که برای تنظیم دمای قسمت های مختلف ساختمان باید تامین می گردد، پیشنهاد می شوند. هزینه های نیروی کار و تجهیزات باید در ارزیابی دوره برگشت سرمایه این روش در نظر گرفته شوند.

(۲) کنترل بهینه مخزن یخ: سیستم TES فعلی با استفاده از یک کنترل با اولویت ذخیره بدون پیش بینی^۲ عمل می کند. جهت بهبود سودمندی سیستم TES، کنترل کننده شبه بهینه پیشنهاد می شود. این ECO بدین منظور بررسی می شود که مشخص کند آیا مصرف برق ساختمان هنگام استفاده از تکنولوژی کنترل شبه بهینه کاهش می یابد یا نه؟ برای مشخص کردن میزان صرفه جویی این گزینه از محیط شبیه سازی توسعه یافته توسط (Henze et al, 1978) استفاده شد. این محیط شبیه سازی بر مبنای تکنیک برنامه ریزی پویاست و بهترین کنترل های عملکردی برای این سیستم TES با منحنی بار سرمایش، غیر سرمایش و تعرفه برق را مشخص می کند. هیچگونه شبیه سازی با DOE-2 برای این ECO انجام نمی شود. نتیجه شبیه سازی برنامه ریزی پویا مشخص می کند که با استفاده از کنترل شبه بهینه به جای استفاده از کنترل اولویت ذخیره، انرژی مصرفی ۵ درصد کاهش می یابد. جهت به کارگیری این کنترل کننده، لازم است که بارهای سرمایشی و غیر سرمایشی آتی ساختمان مشخص گردد. نمونه ای از این پیش بینی کننده می تواند بر پایه شبکه های عصبی باشد (Kreider et al, 1995). هزینه نیروی کار و هزینه اولیه افزودن برخی حسگرها و کامپیوتر، دوره برگشت سرمایه این راهکار را مشخص می کند.

۳) جایگزینی شیشه های پنجره: برای این ساختمان، جهت کاهش جذب حرارت داخلی ناشی از تشعشعات خورشیدی باید از سیستم های پنجره ای با گذردهی پایین استفاده شود. به تبع آن بار سرمایش کاهش می یابد. علاوه بر این افزایش میزان مقاومت حرارتی شیشه ها، بار گرمایشی را کاهش می دهد. برای این ECO، پنجره های تک جداره موجود با هدایت حرارتی $0.17 (W/m^2-k)$ و ضریب سایه 0.69 با پنجره های دو جداره تعویض شدند. این پنجره های دو جداره هم هدایت شیشه و هم ضریب سایه را به ترتیب به مقدارهای $1/33 (W/m^2-k)$ و $0/15$ کاهش دادند.

۴) تنظیم دمای داخلی: در این ECO، اثر تنظیمات دمای داخلی بر روی مصرف انرژی ساختمان با استفاده از برنامه شبیه سازی DOE-2 تجزیه و تحلیل شد؛ درجه دما در شرایط گرم از $24/5^{\circ}C$ تا $25/5^{\circ}C$ و درجه دما در شرایط سرد از $25/5^{\circ}C$ تا $27/5^{\circ}C$ تنظیم گردید. در این راهکار تنها باید هزینه های نیروی کار را وارد کل هزینه ها کرد.

۵) جایگزینی موتور الکتریکی: افزایش بازدهی موتورهای پنکه ها و پمپ ها، می تواند کل مصرف برق ساختمان را کاهش دهد. در این ECO، بازدهی موتورهای موجود در حدود $0/85$ (برای موتورهای 10HP) تا $0/90$ (برای موتورهای 50HP) اندازه گیری شده است. موتورهای پر بازده دارای کارایی در حدود $0/91$ (برای موتورهای 10HP) تا $0/95$ (برای موتورهای 50HP) هستند. تنها هزینه های تفاضلی باید در این تجزیه و تحلیل اقتصادی منظور شوند.

۶) برنامه کنترل روشنایی روز: کنترل مداوم تاریکی، سطح روشنایی را تنظیم می کند، بطوریکه سطح روشنایی قسمت های داخلی ثابت باقی بماند. مصرف برق ساختمان بطور قابل توجهی کاهش می یابد، در حالیکه به خاطر کاهش گرمای ناشی از سیستم روشنایی، مصرف گاز، اندکی بالا می رود. برای این ECO روشنایی روز همراه با کنترل پیوسته میزان تاریکی در مکانهای پیرامونی اداره در نظر گرفته شد.

تاثیر ECO های انتخاب شده بر روی مصرف برق در جدول ۱-۷ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج «تبدیل CAV به VAV» و «اجرای سیستم کنترل روشنایی روز همراه با کنترل تاریکی» هر کدام به ترتیب $5/2$ و $7/3$ درصد، میزان کل مصرف برق را کاهش می دهند. با ملاحظه اینکه مصرف برق پلنت سرمایشی تنها $1/13$ کل مصرف برق ساختمان است، این میزان صرفه جویی مصرف انرژی منطقی به نظر می رسد.

جدول ۱-۷: تجزیه و تحلیل اقتصادی ECOها

دوره بازگشت سرمایه (سال)	صرفه جویی (Mwon)	صرفه جویی (درصد)	هزینه اضافی (Mwon)	هزینه کل (Mwon)	هزینه LNG (Mwon)	هزینه برق (Mwon)	گزینه پایه
-	-	-	-	۱۱۲۳.۵	۱۳۹.۱	۹۸۴.۴	ECO#۱
۳.۵	۱۳۳	۱۱.۸	۴۶۵.۵	۹۹۰.۵	۴۹.۸	۹۴۰.۸	ECO#۲
۸	۵.۳	۰.۶	۴۲.۴	۱۱۱۸.۲	۱۳۹.۱	۹۷۹.۱	ECO#۳
۱۵	۱۸.۷	۱.۷	۲۸۰.۵	۱۱۰۴.۸	۱۲۶.۹	۹۷۷.۹	ECO#۴
۰.۵	۳۳.۴	۳	۱۶.۷	۱۰۹۰.۱	۱۰۶.۴	۹۸۳.۷	ECO#۵
۵	۱.۱	۱.۱	۶۰.۵	۱۱۱۱.۴	۱۳۸.۷	۹۷۲.۶	ECO#۶
۴	۶	۶	۲۶۸.۴	۱۰۵۶.۴	۱۴۴.۸	۹۱۱.۶	

تجزیه و تحلیل اقتصادی با استفاده از تعرفه خدمات انرژی سؤال انجام گرفت. جدول ۱-۷ میزان صرفه جویی مالی را در هر کدام از ECOها به پول رایج کره (هر ۱۰۰۰ وون معادل ۱ دلار) نشان می‌دهد؛ علاوه بر هزینه برق، هزینه گاز طبیعی هم در این تجزیه و تحلیل اقتصادی به حساب آورده شده است. این تجزیه و تحلیل اقتصادی نشان می‌دهد که تبدیل CAV به VAV کل هزینه انرژی ساختمان را به میزان ۱۰ درصد کاهش می‌دهد و کنترل روشنایی روز ۶ درصد در کل هزینه انرژی صرفه جویی می‌کند.

گام پنجم: پیشنهادات

با استفاده از نتایج تجزیه و تحلیل اقتصادی، تبدیل VAV (ECO اول)، تنظیم دمای داخلی (ECO چهارم) و کنترل روشنایی روز (ECO ششم) به عنوان فرصتهای صرفه جویی انرژی پیشنهاد گردید که در ساختمان اداری ممیزی شده بکار گرفته شد.

۱-۶ روشهای تایید میزان صرفه جویی انرژی

جایگزینی تجهیزات مصرف کننده انرژی بر مبنای پیش بینی های صرفه جویی در انرژی و هزینه، اقتصادی به نظر می‌رسد. اما بررسیهای متعددی نشان داده است که تفاوت فاحشی بین مقدار پیش بینی شده و مقدار واقعی صرفه جویی در انرژی وجود دارد. به خاطر افزایش فعالیت شرکت های خدمات انرژی^۱ (ESCOs)، نیاز به استاندارد کردن روشها، برای اندازه گیری و ممیزی انرژی، مورد توجه قرار گرفت. این

موضوع، به ظهور پروتکل اندازه گیری و تایید انرژی امریکای شمالی^۲ در سال ۱۹۹۶ رهنمون شد، که بعدها تحت نظر پروتکل بین المللی اجرای اندازه گیری و تایید توسعه یافته و اصلاح گردید.

در واقع، اندازه گیری میزان صرفه جویی در مصرف انرژی تجهیزات به راحتی با مقایسه مصرف انرژی در دوره های قبل و بعد از نصب آنها حاصل می شود. متأسفانه تغییرات مصرف انرژی بعد از تعویض، نه تنها به خود تجهیزات، بلکه به عوامل دیگری، چون تغییرات شرایط آب و هوایی، مدت زمان اشغال ساختمان و زمانبندی بهره برداری HVAC بستگی دارد. مهم این است که برای تعیین دقیق میزان صرفه جویی انرژی، تمامی این تغییرات به حساب آورده شوند.

روشهای متعددی برای اندازه گیری و تایید انرژی صرفه جویی شده در ساختمانهای تجاری و صنعتی پیشنهاد شده است.

فصل ۱۶، تعدادی از روشهای مناسب اندازه گیری و تایید میزان انرژی را تشریح کرده است. برخی از این تکنیک ها عبارتند از:

۱. مدل های رگرسیون: مدلهای رگرسیون ابتدایی برای اندازه گیری میزان صرفه جویی بر اساس روش روز - درجه متغیر (VBDD)^۱ استفاده می شدند. در میان این مدلهای ابتدایی رگرسیون، روش PRISM^۲ قرار دارد که از داده های ماهانه میزان مصرف انرژی و درجه حرارت متوسط روزانه، برای قاعده مند کردن یک مدل رگرسیون خطی و تعیین بهترین مقدار برای میزان مصرف مستقل از آب و هوا استفاده می کند؛ همچنین از دمایی که مصرف انرژی در آن به خاطر گرمایش و سرمایش (نقطه تغییر یا دمای مبنا) شروع به ازدیاد می کند و نرخ افزایش مصرف انرژی بهره می گیرد. مطالعات متعددی نشان داده است که مدل رگرسیون خطی برای برآورد میزان صرفه جویی در مصرف انرژی ساختمانهای مسکونی مناسب است. اما یک بررسی نشان داده است که مدل PRISM برآورد دقیقی برای صرفه جویی انرژی در بیشتر ساختمانهای تجاری ارائه نمی دهد (Ruch & Claridge, ۱۹۹۲). مدل رگرسیون تک متغیره (دما)، مستلزم استفاده از حداقل ۴ پارامتر خطی یا رگرسیونهای با نقطه متغیر است؛ تا برای ساختمانهای تجاری مناسب باشد. (Katipamula et al, ۱۹۹۴). مدل های رگرسیون مضاعف خطی را پیشنهاد می کند که علاوه بر درجه هوای بیرونی، متغیرهای مستقلی نظیر بهره داخلی، تشعشعات خورشیدی، باد و نسبت رطوبت را در بر می گیرند. برای ساختمانی که آنها مورد بررسی قرار دادند، Katipamula et al

کشف کرد که باد و تشعشعات خورشیدی تاثیر جزئی بر روی مصرف انرژی دارند. آنها همچنین دریافتند که بهره انرژی داخلی عموماً اثر نسبتاً کمی بر روی مصرف انرژی دارد. Katipamula et al, (۱۹۹۸) با جزئیات بیشتری در مورد فواید و محدودیتهای مدلسازی رگرسیون چند گانه، بحث می کند.

۲. مدلهای متغیر با زمان: تکنیک های متعددی برای بررسی اثر تغییرات زمانی متغیرهای مستقل مختلف بر روی بر آورد صرفه جویی در انرژی بواسطه تعویض سیستم های انرژی ساختمان پیشنهاد می شوند. در این میان تکنیک هایی هستند مثل شبکه های عصبی مصنوعی^۱ (Krarti ۱۹۹۸), (et al, ۱۹۹۸)؛ سری های فوریه (Dhar et al, ۱۹۹۸) و مانیتورینگ بار غیر مزاحم^۲ (Shaw et al, ۱۹۹۸). این تکنیک ها معمولاً نیاز به سطح بالایی از آموزش و تخصص دارند.

۲-۱ خلاصه

ممیزی انرژی در ساختمانهای تجاری و صنعتی از نظر کاری بسیار متنوع بوده و نیازمند تخصصهای متعدد جهت تعیین بهترین راهکارهای صرفه جویی انرژی در تجهیزات موجود می باشد. این فصل توصیفی از راهکارهای عمومی اما نظام مند ممیزی انرژی را ارائه می دهد. اگر فصل بطور دقیق دنبال شود، به تسهیل تجزیه و تحلیل یک آرایه به ظاهری پایان از طرح ها و روابط پیچیده بین ساختمان و اجزای سیستم انرژی کمک می کند.