ممیزی انرژی در ساختمان

مؤلفان:
احمد فضلی، امین امینی‌فر، امین ذوالفقاری

فهرست

وضعیت انرژی در ایران و جهان، راهکارها، سیاست ها و قوانین ۱
مفاهیم انرژی ۱
ارزیابی سیاست‌های کارایی انرژی ایران و جهان ۱۰
مروری بر سیاست‌های کارایی انرژی در بخش ساختمان ۱۲
موسسات و برنامه‌ها ۱۳
شرکت‌های خدمات انرژی (ESCO) ۱۷
قیمت انرژی ۱۸
جمع‌بندی ۱۸
آشنایی با ممیزی انرژی ساختمان ۲۰
ممیزی انرژی ۲۱
انواع روش‌های ممیزی انرژی ۲۳
اقدامات لازم در ممیزی انرژی ۲۶
ابزارهای تجزیه و تحلیل انرژی ۳۰
روش نسبت ۳۲
روش مصرف انرژی سالانه ۳۴
تجزیه و تحلیل وابسته به زمان ۳۷
تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی ۳۹
تعیین ضریب بار ساختمان (BLC) به روش معکوس ۴۳
تکنیک CUSUM ۴۶
مروری بر تجهیزات اندازه گیری ۵۲
تجهیزات اندازه گیری رطوبت ۵۸
تجهیزات اندازه گیری سرعت و فشار ۵۹
سرعت سنج و اختلاف فشارسنج ۶۰
تجهیزات اندازه گیری آنالیز جریان گاز ۶۵

تجهیزات اندازه گیری برقی..... ۶۷
روش عمومی ممیزی انرژی تفصیلی..... ۷۲
راهکارهای معمول صرفه جویی انرژی..... ۷۵
آشنایی با مباحث اقتصادی..... ۸۵
زمان بازگشت سرمایه‌گذاری..... ۸۶
نرخ برگشت داخلی..... ۸۹

آشنایی با ممیزی انرژی ساختمان

مقدمه

در این فصل بطور اجمالی روش های مناسب ممیزی انرژی در ساختمان بررسی شده است. امروزه، ممیزی انرژی توسط شرکت‌های خدمات انرژی جهت بهبود بازدهی انرژی ساختمان ها به اجرا در می‌آید. در واقع، ممیزی انرژی نقشی حیاتی در موفقیت اجرای پروژه های پیمانکاری انرژی دارد. روش‌های مختلفی برای ممیزی انرژی در ساختمان وجود دارد که توسط مهندسین خدمات انرژی با درجات پیچیدگی متفاوت اجرا می‌گردد.

سرمایه‌گذاری بمنظور بهبود کارایی انرژی در ساختمان‌ها، دارای جریان نقدینگی مثبت کوتاه‌مدت و نسبتا پیش‌بینی پذیر می‌باشد که از پایین آمدن صورت‌حساب انرژی حاصل می‌شود. علاوه برگزینه‌های مالی مرسوم در دسترس مالکین و اپراتورهای ساختمان (همانند وام و اجاره کردن)، روش‌های دیگری جهت تامین منابع مالی پروژه‌های بهینه‌سازی انرژی ساختمان‌ها وجود دارد. یکی از روش‌های معمول این است که شرکت‌های خدمات انرژی (ESCO) تمام ریسک‌های پروژه جایگزینی را از طریق اجرای تجزیه و تحلیل‌های مهندسی و محاسبه سرمایه اولیه جهت خرید و نصب تجهیزات موردنیاز بهبود بازدهی انرژی لحاظ می‌کنند. ممیزی انرژی ابزاری مهم برای شرکت‌های خدمات انرژی جهت تضمین موفقیت پروژه-های پیمانکاری محسوب می‌شود. بعلاوه، ممیزی انرژی این امکان را برای ساختمانها ایجاد می‌کند که بمنظور کاهش نرخ اتلاف در مصرف انرژی یا رعایت مقررات و استانداردها، برنامه‌های مدیریت داخلی انرژی را برمبنای نتایج ممیزی انرژی ایجاد نمایند.

ممیزی انرژی

عبارت ممیزی انرژی دارای کاربردهای گسترده و معانی متفاوتی است و بسته به شرکت‌های خدمات انرژی و درخواست مشتری به روشهای مختلفی اجرا می‌گردد. ممیزی انرژی ساختمان، محدوده وسیعی از بررسی میانگذر تاسیسات تا تجزیه و تحلیل تفصیلی با شبیه‌سازی کامپیوتری را در برمی‌گیرد. ممیزی انرژی را می‌توان به چهار دسته تقسیم‌بندی نمود و در حالت کلی چنین تعریف کرد.

ممیزی انرژی در ساختمان مجموعه‌ای از اقدامات برای تعیین میزان انرژی مصرفی ساختمان و همچنین شناسایی امکانات موجود و ارزیابی میزان صرفه‌جویی انرژی ممکن در یک ساختمان می‌باشد.

هدف از ممیزی انرژی بدست آوردن یک تصویر جامع از وضعیت جریان کل انرژی در واحد مورد بررسی، تعیین وضعیت مصرف انرژی ساختمان، شناسایی امکانات موجود ساختمان، تعیین گلوگاه‌های مصرف انرژی، تعیین روش‌های ممکن جهت کاهش مصرف انرژی، تحلیل اقتصادی روش‌های کاهش مصرف انرژی، تعیین تاثیرپذیری هریک از روش‌ها بر دیگری و در نهایت تهیه طرح توجیهی جهت تصمیم‌گیری و سرمایه‌گذاری است.

ممیزی انرژی، هر چند چندان دقیق و تفضیلی هم نباشد، ولی از مراحل ابتدایی می‌بایست مشخص شود که انرژی در کجا مصرف می‌شود. پس از آن می‌توان اقدامات کارآیی انرژی را به سمت پرمصرف‌ترین بخش‌ها هدایت کرد. در ممیزی انرژی، معایب و مشکلات شناخته نشده (از قبیل صورت‌حسابهای غلط) و یا مصارف غیرضروری انرژی را مشخص می‌شود.

در ممیزی انرژی باید آیتم‌های اصلی تاثیرگذار بر مصرف انرژی، که شامل موارد زیر می‌باشند در نظر گرفته شوند:

- پوشش ساختمان: سطوح عایق، تهویه، نفوذ هوا و غیره
- الگوی مصرف: دوره‌های بهره‌برداری، سیستم‌های کنترلی، دما و رطوبت، روشنایی الکتریکی و ...
- عرضه انرژی: بررسی عرضه انرژی و تنظیمات توزیع
- تعیین مصارف عمده ساختمان: گرمایش ، سرمایش و تهویه مطبوع
- وضعیت روشنایی الکتریکی: کیفیت، شدت روشنایی، کارآیی شدت روشنایی، محدوده‌ای که تا آن اندازه روشنایی روز بتواند مصرف انرژی را کاهش دهد، قابلیت تغییرپذیری کنترل و غیره.
- وضعیت انتقال انرژی در ساختمان و بررسی وضعیت نشتی در فن‌ها و پمپ‌ها، عایقکاری لوله‌های بخار، آبگرم و کانال هوا
- وضعیت موتورخانه: وضعیت بویلرها، چیلرها، مخازن، لوله‌کشی و برگشت کندانس و ...
- بررسی وضعیت مصرف انرژی در بخش‌های مختلف
- تعیین وضعیت مدیریت انرژی ساختمان و بررسی تحلیل‌های صورت گرفته بر مصارف انرژی
- مقایسه عملکرد ساختمان با شاخص‌های استاندارد
- شناسایی فرصت‌های مناسب صرفه‌جویی

ممیزی انرژی می‌بایست به طور معمول هر ۳-۵ سال یکبار، بسته به موارد زیر صورت پذیرد:

- تغییر در مصرف ساختمان، تغییر مستاجر
- توسعه یا نوسازی اساسی (گاهی اوقات انجام ممیزی و مطالعه قبل از نوسازی برای به روز کردن اطلاعات مناسب است)
- عدم بهره‌برداری از قسمت‌های وسیعی از ساختمان
- تغییر ساعات کاری ساختمان
- تغییرات مهم در قیمت‌های سوخت
- تغییر قابل توجه و رو به افزایش مصرف انرژی یا هزینه‌ها

اندازه‌گیری‌ها در فرآیند ممیزی باید به صورت سیستماتیک و با استفاده از ابزارهای کالیبره شده صحیح صورت گیرد. در صورت عدم وجود تجهیزات و ابزار، می‌توان میزان مصرف انرژی را از روی پلاک مشخصات و اطلاعات سازنده بدست آورد. با این وجود، این قبیل تخمین‌ها در مقایسه با اندازه‌گیری عملی در درجه دوم اهمیت قرار دارند.

انواع روش‌های ممیزی انرژی

ممیزی انرژی روشهای مختلفی به شرح ذیل دارد. ولی بطور کلی مشتمل بر جمع‌آوری اطلاعات از قبوض انرژی و کنتورها و بررسی ساختمان، تاسیسات و دستگاهها و هچنین جمع‌آوری اطلاعات از ساکنان و بهره‌برداران ساختمان می‌باشد.

- ممیزی انرژی عبوری
- تجزیه و تحلیل هزینه‌های بهره‌برداری ساختمان
- ممیزی انرژی استاندارد
- ممیزی انرژی تفصیلی

ممیزی عبوری را می‌توان با دانش نسبتا کمی در مورد انرژی انجام داد. این امر در ابتدا با قبوض انرژی سر و کار دارد، بنابراین شامل بررسی دقیق و جزئی محل نمی‌باشد. ممیزی تفصیلی، اغلب در صورتی امکان‌پذیر است که موارد ثبت شده از قرائت کنتورها موجود باشد. برای اطمینان از صحت داده‌ها، برخوردار بودن از دانش مهندسی، کمک مفیدی است. ممیزی تفصیلی نیازمند تخصصی است که در آن بتوان مصارف نهایی انرژی را تفکیک نمود. این فرآیند شامل اندازه‌گیری، تحلیل و ارزیابی مصرف انرژی است تا سهم مصارف مربوط به گرمایش، روشنایی، تهویه مطبوع یا سایر مصارف عمده را نشان داده شود. این قبیل اطلاعات را فقط می‌توان با انجام ممیزی در محل بدست آورد.

در فرایند ممیزی باید راهکارهای افزایش بازدهی ساختمان و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری به همراه برطرف کردن مشکلات رفاهی ساکنان ساختمان ارائه گردد. در ممیزی انرژی می‌بایست مصرف انرژی هدف‌گذاری گردد و قبل از هدف‌گذاری می‌بایست موارد زیر مشخص گردد.

- مصرف انرژی پایه
- الگوهای بهره‌برداری و ساعات کاری ساختمان
- وضعیت تاسیسات و تجهیزات ساختمان
- فرصتهای صرفه‌جویی انرژی که منجر به کاهش هزینه‌های انرژی گردد.

ممیزی انرژی عبوری

این ممیزی شامل بررسی اجمالی تجهیزات جهت شناسایی گلوگاه‌های مصرف انرژی و ارائه راهکارهای ساده و کم‌هزینه است که صرفه‌جویی قابل توجهی را در هزینه بهره‌برداری ساختمان باعث می‌شود. این گونه ممیزی انرژی ساختمان، معمولا در قالب راهکارهای تعمیرات و نگهداری ارائه می‌گردد. بعنوان نمونه، این راهکارها می‌تواند شامل موارد زیر باشد.

- درزبندی بازشوها
- تعمیر شیشه‌های شکسته
- اضافه کردن سیستم‌های کنترل دما یا ترموستات (در صورت نبود آن)
- اضافه کردن سیستم کنترل هوشمند مرکزی موتورخانه (در صورت نبود آن)
- تنظیم دمای ترموستاتها

- عایقکاری حرارتی لوله‌های آب‌گرم یا بخار
- تنظیم نسبت سوخت به هوا در بویلر
- ارائه پیشنهادات و دستورالعملها جهت انجام اقدامات فرهنگی و اعمال مدیریت انرژی

تجزیه و تحلیل هزینه‌های بهره‌برداری ساختمان

هدف اصلی در این نوع ممیزی تحلیل دقیق هزینه های بهره برداری از تاسیسات انرژی بر ساختمان می‌باشد. برای این منظور از داده‌های چندین سال گذشته و قبوض انرژی جهت شناسایی الگوی مصرف انرژی، بار اوج مصرف، تاثیرات آب و هوایی و تعیین پتانسیلهای صرفه جویی انرژی استفاده می‌گردد. بمنظور انجام این گونه تحلیلها، توصیه می شود که ممیزین انرژی برای کسب اطلاعات در رابطه با تاسیسات و سیستم های مصرف‌کننده انرژی، همزمان از ممیزی عبوری نیز بهره بگیرند.

بمنظور انجام صحیح ممیزی، باید ممیز جهت انجام موارد زیر با تعرفه‌های انرژی آشنایی کامل داشته باشد.

- اطمینان از هزینه‌های خدمات و محاسبات صورت حسابهای ماهیانه و تفکیک هزینه‌های اصلی تعرفه‌های خدمات از هزینه‌های دیماند، جریمه های ضریب توان و تعرفه‌های تصاعدی
- تعیین عمده ترین هزینه در صورت حساب های خدماتی جهت ارائه راهکارهای پیک‌سایی
- تعیین تغییر در نوع سوخت و انرژی مصرفی در صورت امکان

ممیزی انرژی استاندارد

در ممیزی انرژی استاندارد، تجزیه و تحلیل انرژی بر روی ساختمان و سیستم‌های تاسیسات انجام می‌شود. علاوه بر فعالیت‌های ممیزی عبوری و تجزیه و تحلیل هزینه‌های بهره‌برداری ساختمان، در ممیزی انرژی استاندارد، مدل ساده‌ای برای مصرف انرژی ساختمان، ارزیابی پتانسیل صرفه‌جویی انرژی و امکان‌سنجی راهکارهای صرفه‌جویی تهیه می‌گردد. روش گام به گام ممیزی انرژی استاندارد شبیه به ممیزی انرژی تفصیلی می‌باشد. در ممیزی انرژی استاندارد از ابزارهای ساده‌ای نظیر روش روز-درجه برای تعیین میزان صرفه‌جویی و روش ساده اقتصادی هزینه-فایده برای تعیین دوره بازگشت سرمایه استفاده می‌شود. در یک ممیزی استاندارد، می‌بایست تحلیل‌های لازم جهت تعیین موارد زیر انجام شود.

- چه مقدار انرژی مصرف شده است.
- چه نوع انرژیی مصرف شده است.
- شاخص مصرف انرژی ساختمان چیست.
- پتانسیل‌های صرفه‌جویی در مصرف انرژی ساختمان کدامند.

ممیزی انرژی تفصیلی (جامع)

ممیزی انرژی تفصیلی کامل‌ترین و پیچیده‌ترین نوع ممیزی است. در این نوع ممیزی علاوه برفعالیت‌های مربوط به سایر روش‌های ممیزی، دستگاه‌های مختلفی برای اندازه‌گیری مصرف انرژی تمامی و یا برخی از تجهیزات ساختمان (بعنوان نمونه

در بخش مصرف نهایی: سیستم‌های روشنایی، تجهیزات اداری، فن ها، چیلرها و غیره) بکار گرفته می‌شود. همچنین مدل انرژی ساختمان بصورت کامل و با استفاده از نرم‌افزارهای دینامیک تهیه می‌شود و فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی با استفاده از نرم‌افزار تجزیه و تحلیل می‌گردد. تحلیل اقتصادی فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی نیز از مدلهای پیشرفته نظیر Life-Cycle cost (تحلیل هزینه‌ها در طول عمر دستگاه) و با لحاظ کردن پارامترهای اقتصادی مشتمل بر نرخ بهره و تعرفه های مالیاتی انجام می‌شود.

فعالیت های ممیزی انرژی تفصیلی ساختمان را می‌توان در سه مرحله به شرح زیر دسته‌بندی کرد.

الف- شناسایی وضعیت موجود ساختمان

- بازدید و بررسی ساختمانها و تشریح وضعیت عمومی ساختمان
- جمع‌آوری اطلاعات کلی ساختمان (جزییات اجرایی، نقشه‌ها، قبوض انرژی مصرفی و...)
- جمع‌آوری اطلاعات مربوط به مشخصات فیزیکی ساختمان، نوع مصالح، تاسیسات مکانیکی و تهویه مطبوع
- بررسی تاسیسات مکانیکی و سیستم تهویه مطبوع در ساختمان
- بررسی طرح عمومی ساختمان از نقطه‌نظر نحوه احداث آن و شناخت نواقص عمده در ماهیت کیفی طراحی و نحوه نگهداری ساختمان‌های مذکور
- تهیه لیست تجهیزات پرمصرف و عمده مصرف کننده انرژی
- تعیین مقادیر مصرف سالیانه انرژی ساختمان

ب- تعیین نقاط ضعف ساختمان و مقایسه مصرف انرژی ساختمان با استاندارد

- محاسبه مقادیر تلفات و مصرف انرژی ساختمان از روش تئوری و مدلسازی
- برآورد ضریب انتقال حرارت کلی ساختمان از روش‌های مستقیم و معکوس
- محاسبه بار حرارتی و برودتی مورد نیاز ساختمان
- بررسی ظرفیت‌های سیستم‌های حرارتی و برودتی موجود در ساختمان
- برآورد میزان انرژی مصرفی ساختمان مطابق با مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان
- مقایسه شاخص‌های مصرف انرژی ساختمان با مبحث ۱۹ و استانداردهای جهانی
- تعیین رتبه مصرف انرژی ساختمان براساس دستوالعمل برچسب انرژی

ج- تعیین پتانسیل صرفه‌جویی انرژی و ارزیابی فرصتهای صرفه‌جویی انرژی

- برآورد کلی پتانسیل صرفه‌جویی انرژی در ساختمان و مشخص کردن فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی بدون درنظر گرفتن موارد اقتصادی
- محاسبه و تخمین مقادیر صرفه‌جویی انرژی مربوط به اجرای هریک از اقدامات
- تعیین دوره بازگشت سرمایه به تفکیک هر یک از اقدامات
- پیشنهاد راهکارهای مناسب جهت بهینه‌سازی و کاهش مصرف انرژی از لحاظ اقتصادی و عمر مفید ساختمان
- اولویت‌بندی اجرای اقدامات بهینه‌سازی در ساختمان با توجه به نحوه اجرا و موارد اقتصادی (کم هزینه و پرهزینه)

در فصل چهارم این کتاب ممیزی انرژی تفصیلی به صورت کامل مورد بررسی قرار گرفته است.

اقدامات لازم در ممیزی انرژی

در توسعه یک برنامه صرفه‌جویی انرژی ایجاد همکاری و تعهد با مدیریت ارشد ساختمان مورد ممیزی و همچنین طرحریزی کامل در خصوص پروسه ممیزی اموری ضروری می‌باشند.

همکاری و تعهد

برنامه کارآیی انرژی، نیازمند تعهد مدیریت ارشد ساختمان مورد ممیزی است. عضو ارشد گروه ممیزی می بایست فعالیت‌ها را هدایت کرده و نسبت به تضمین تعهد و همکاری مستمر مدیریت و پرسنل ساختمان مورد ممیزی مسئول باشد. مدیر گروه ممیزی انرژی، جهت کسب ضمانت تعهد می‌بایست اقدامات زیر را اجرا نماید:

- شناسایی راهکارهایی که بتواند صرفه‌جویی‌های انرژی را با حداقل سرمایه محقق سازد.
- تهیه تحلیل مربوط به هزینه و مزایای رهکارهایی که شامل سرمایه‌گذاری‌های بزرگی بوده و یا تغییر در الزامات عملکردی را به دنبال دارد.
- کسب موافقت برای تعیین اولویت‌ها، سطوح سرمایه‌گذاری و محدوده‌های اقتصادی.
- شرح تاثیر اقدامات کارآیی انرژی پیش‌بینی شده بر کاربران و تعیین وظایف آنان.
- شناسایی جنبه‌هایی از برنامه که در ارتباط با شرایط اجاره بوده و تهیه فهرستی از آنها برای مالک و مستاجر.
- برجسته کردن نتایج حاصل شده در اجرای راهکارهای صرفه‌جویی انرژی توسط سایرین.

طرح‌ریزی

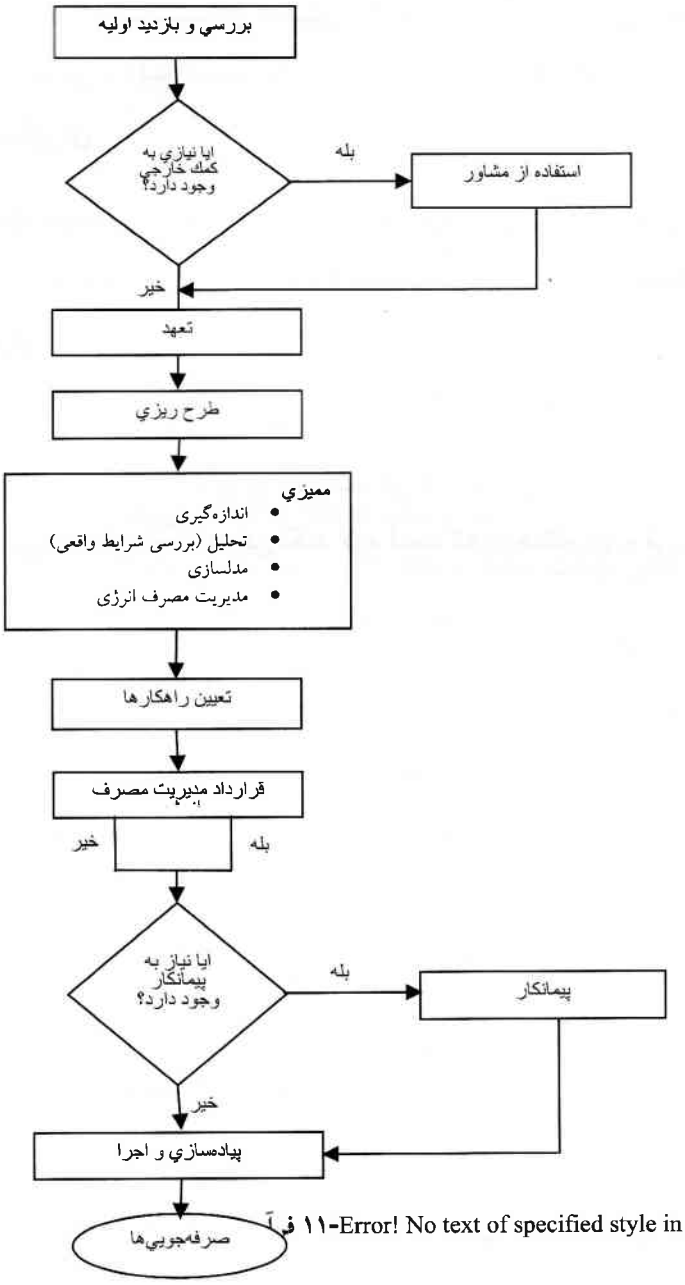
از آنجا که طرح‌ریزی امری ضروری است، اولین اقدام باید ایجاد طرح کامل اقدامات و کسب رضایت برای پیش بردن برنامه چه به صورت کلی و چه به صورت مرحله به مرحله باشد.

کلیه اطلاعات طراحی اولیه ساختمان، نقشه‌ها و چک‌لیست‌های تعمیر و نگهداری باید جمع‌آوری شده و به منظور درک مناسبی از هدف اولیه طراحی ساختمان مورد بررسی قرار گیرند. در این مرحله میزان مصرف انرژی ساختمان مشخص شده و باتوجه به اطلاعات بدست آمده هدف گفتگو با پرسنل اجرایی و تعمیر و نگهداری مشخص می‌شود. طراحی اقدامات در این مرحله باید شامل موارد زیر باشد:

- ممیزی انرژی و بررسی ساختمان.
- شناسایی قسمت‌هایی که صرفه‌جویی انرژی باید در آنجا صورت گیرد.
- تاثیر راهکارهای صرفه‌جویی انرژی بر محیط داخلی و فعالیت‌های ساختمان.
- ارزیابی اقتصادی راهکارهای پیشنهاد شده.
- تهیه فهرست جهت اولویت‌بندی پیشنهادات.
- به کارگیری پرسنل تعمیر و نگهداری و کاربران ساختمان در فعالیت‌ها.
- پیاده‌سازی برنامه با در نظر داشتن فرصت زمانی و مشکلاتی که ممکن است در عملکرد ایجاد گردد.

- شناسایی منابع خارجی اطلاعاتی که ممکن است در ارزیابی برنامه سودمند باشد، از قبیل اطلاعات آب و هوایی و مطالعات موردی کاربرد انرژی در ساختمان‌های مشابه
- برنامه‌ریزی جهت نظارت بر سیستم و ارزیابی تاثیر برنامه

در شکل **۱۱-Error! No text of specified style in document.** مراحل اصلی فرآیند میزی نشان داده شده است و مکانهایی که در آن به کمک‌های تخصصی نیاز است مشخص شده است.



شکل ۱۱-Error! No text of specified style in document. فرآ

برای اجرای فرآیند ممیزی داشتن یک برنامه‌ریزی مناسب با در نظر گرفتن مسائل زیر مورد نیاز می‌باشد.

تعیین سطح دقیق اطلاعات مورد نیاز برای ممیزی

سطح و وسعت ممیزی انرژی می‌بایست از طریق پتانسیل صرفه‌جویی و متناسب با سرمایه‌گذاری انجام شده صورت گیرد. در ساختمان‌های کوچک با مصارف انرژی کم، ممکن است سرمایه‌گذاری بزرگ بر روی ممیزی چندان ارزشمند نباشد. ساختمان‌ها و سایت‌های بزرگ معمولا به میزان بیشتری از ممیزی تفضیلی نقاط مصرف انرژی منتفع می‌شوند.

اغلب، یک ممیزی عبوری برای شناسایی برخی راهکارهای کم هزینه/ بدون هزینه و قسمت‌هایی که نیازمند بررسی بیشتر هستند، کفایت می‌کند. ممیزی تفصیلی نیازمند شناسایی و ارزیابی راهکارهای پرهزینه و پیچیده‌تر است. در این نوع ممیزی به صورت عمیق و دقیق قسمت‌های مشخص شده یا موارد خاص مورد بررسی قرار می‌گیرند.

بهره‌گیری از مشاوران

زمانی که یک متخصص از خارج سازمان به کار گرفته می‌شود می‌بایست درک صحیحی از اهداف به آن منتقل شده باشد. با همکاری صحیح می‌توان به طور موثر از مهارت‌ها و منابع مشترک استفاده کرد.

هزینه‌های ممیزی

به هنگام پذیرش امور ممیزی در نظر گرفتن هزینه اجرای فرآیند و همچنین در نظر گرفتن سود ناشی از آن برای شرکت‌های ممیزی‌کننده امری ضروری می‌باشد. در هر سازمانی هزینه امور داخلی آن به روش‌های محاسباتی خاص آن سازمان مربوط می‌باشد ولی توجه به این نکته لازم است که به هنگام تهیه قرارداد سود ناشی از بستن قرارداد از هزینه سربار سازمان بالاتر باشد.

قراردادهای ممیزی انرژی به دو دسته تقسیم می‌گردد. اولین مدل قراردادی می‌باشد که هزینه قرارداد با تعیین عدد ثابتی در ابتدای کار با تفاهم فی‌مابین شرکت ممیزی کننده و ساختمان مورد ممیزی بسته می‌شود. در نوع دوم که مربوط به شرکت‌های خدمات انرژی می‌باشد هزینه قرارداد به صورت تابعی از طرح‌های صرفه‌جویی اجرا شده تعیین می‌گردد.

در هر صورت هر روشی که در تنظیم قرارداد به کار برده شود نباید هزینه بررسی و اجرای ممیزی نسبت به هزینه سالیانه انرژی بیشتر شود.

زمان‌بندی ممیزی

زمان‌بندی دقیق ممیزی، بهترین نتایج را حاصل می‌کند. برنامه‌ریزی باید به گونه‌ای باشد که از فاکتورهای فصلی و سایر فعالیت‌های طرح‌ریزی شده، حداکثر استفاده شود.

- سیستم‌ها باید تحت شرایط بهره‌برداری مورد ارزیابی قرار گیرند. به عنوان مثال سیستم‌های گرمایش در زمستان و سرمایش در تابستان، یعنی زمانی که عملکرد آنها را بتوان اندازه‌گیری کرد.
- ممیزی اولیه می‌تواند به خوبی مشخص سازد که کدام یک از بارهای سرمایش و گرمایش، پتانسیل بیشتری برای صرفه-جویی دارند. در صورت نیاز می‌توان ممیزی زمستان و یا تابستان را انتخاب کرد.
- ارزیابی واحد بعد از تعمیر و نگهداری عمده معمولا صحیح‌تر از زمان قبل از خاموش کردن است. به طور کلی چه ارزیابی قبل از خاموش کردن و چه بعد از آن باشد، در هر صورت، نیاز تجهیزات به تعمیر و نگهداری را نشان خواهد داد.

- مشاهده محصولاتی که در حالت بهره‌برداری قرار ندارند نیز می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای ممیزی فراهم آورد. به عنوان مثال، وضعیت واحد و تنظیمات کنترل می‌تواند ثبت شود.
- مرتبط بودن طرح با سایر امور پیشنهاد شده، مثل نوسازی یا توسعه مجدد
- انتخاب زمانی که پرسنل در آن هنگام فارغ از کار باشند و برای مشورت در دسترس باشند
- می‌بایست تا حد امکان سعی شود در روال معمول کار اختلال ایجاد نگردد، ولی نباید زمان ممیزی به زمانی موکول گردد که الگوهای عملکردی نرمال قابل مشاهده نباشند.
- برای دوره‌های خاموشی طول شب، آخر هفته، یا آخر سال طرح‌ریزی شود. این زمان‌ها ممکن است موقعی باشند که هیچ یک از قسمت‌ها عملکرد خاصی نداشته باشد ولی ممکن است بالعکس امکان مشاهده یا دسترسی به قسمت‌هایی را فراهم آورد که در طی ساعات نرمال، غیرممکن است. بارهای پایه و اتلاف‌های ثابت طی این ساعات به بهترین نحو قابل مشاهده هستند.
- مدت زمان لازم برای بررسی محل مورد ارزیابی قرار گیرد. به خصوص مکان‌هایی که اندازه‌گیری طی دوره‌های ثابت، لازم است از قبیل نمودارهای دما در طول یک هفته

زمان دقیق ممیزی، متاثر از در دسترس بودن منابع از قبیل پرسنل، بودجه و داده‌ها می‌باشد. اگر اطلاعات ساختمان مورد بررسی، درخصوص میزان مصرف انرژی کافی نیست، شاید به دلیل آن باشد که قبض‌های انرژی به درستی نگهداری نشده‌اند، در این حالت بهتر است ممیزی را تا زمان بدست آمدن اطلاعات به تعویق انداخت.

یکپارچه کردن اقدامات

در ممیزی می بایست هر راهکار به دقت در رابطه با وضعیت ساختمان و هدف طراحی اولیه آن در نظر گرفته شود. معمولا، برخی مشکلات می‌توانند منجر به ایجاد برخی دیگر از مشکلات شوند. به عنوان مثال، خاموش کردن رطوبت‌زاها در واحدهای تهویه مطبوع برای کاهش مصرف برق، ممکن است منجر به مشکلات کنترلی و خشکی هوا شود.

لازم است اقدامات به گونه‌ای هماهنگ شوند که مجموعه یکپارچه‌ای را شکل دهند و از تناقض بین یک اقدام و سایر راهکارها جلوگیری کنند. به عنوان مثال، به کاربردن کنترل‌های روشنایی، همزمان با لامپ‌های تخلیه پرفشار زمان‌دار منجر به مشکلات قابل توجه می‌شود. به همین ترتیب، عایق‌کاری خوب ساختمان بدون کنترل گرمایش مناسب، به راحتی می‌تواند منجر به گرمایش اضافی شود.

در یکپارچگی و ترکیب سیستم‌ها باید از محاسبه مجدد صرفه‌جویی‌ها جلوگیری کند. به عنوان مثال، اگر بویلر بهبود داده شده و سپس کنترل‌های پیشرفته بویلر به کار گرفته شود در آن صورت صرفه‌جویی‌های کنترل‌ها باید برمبنای مصرف مورد انتظار، پس از تعویض بویلر باشد.

راهکارهای ارائه شده باید متناسب با شرایط ساختمان طراحی شوند در غیر این صورت ممکن است از تحقق صرفه‌جویی‌ها جلوگیری کنند.

ابزارهای تجزیه و تحلیل انرژی

روشهای متعدد تجزیه و تحلیل عددی و آماری انرژی وجود دارد که می‌توان از آنها جهت درک مصرف انرژی ساختمان استفاده کرد. برخی از این روشها بسیار ساده می‌باشند، در حالیکه دیگر تکنیکها پیچیده‌تر بوده و جهت استفاده از آنها می‌بایست از نرم‌افزارهای کامپیوتری بهره گرفت. ابزارهای تجزیه و تحلیل انرژی از نظر داده‌های ورودی و روند محاسبات به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند.

- روشهای پیشرو
- روشهای معکوس
- روشهای نسبت (روشی سریع برای تجزیه و تحلیل قبل از ممیزی انرژی است)

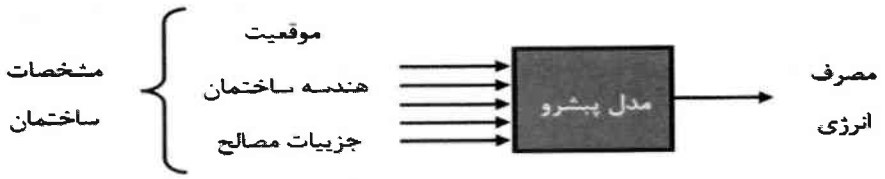
ابزارهای تجزیه و تحلیل انرژی برای بررسی و تحلیل وضعیت مصرف انرژی ساختمان در دو حالت قبل و بعد از بهینه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند و با توجه به اینکه تحلیل‌های انرژی مستقل و یا تابعی از زمان باشد، مدل‌سازی وضعیت مصرف انرژی ساختمان به دو دسته تقسیم می‌شود.

- مدل پایدار (مستقل از زمان)
- مدل پویا (وابسته به زمان)

مدلهای حالت پایدار برای تجزیه و تحلیل فصلی یا سالیانه کارآیی انرژی ساختمان مناسب هستند. مدلهای پویا برای تشخیص اثر زودگذر سیستم‌های انرژی ساختمان و یا تحلیل دقیق وضعیت مصرف انرژی ساختمان در ساعات و شرایط مختلف بکار می‌رود.

روش پیشرو

در این روش همانطور که در شکل نشان داده شده است با بررسی هندسه ساختمان، موقعیت قرارگیری و اقلیم آن، جزییات مصالح، نوع سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی و موارد دیگر، مصرف انرژی ساختمان تعیین می‌گردد.

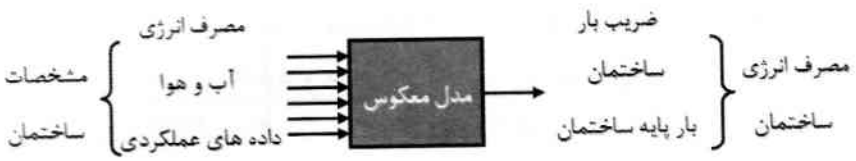


شکل .Error! No text of specified style in document-۱۲ روش مستقیم تحلیل انرژی

روش معکوس

استفاده از روش‌های مستقیم در برخی موارد و به دلایل مختلف نظیر دقیق نبودن مشخصات حرارتی مصالح، مشخص نبودن جزییات اجرایی، تغییر نمودن برخی خصوصیات مصالح بر اثر گذر زمان، نبود نقشه و ... امکان‌پذیر نمی‌باشد و یا نتایج آن از دقت مناسبی برخوردار نمی‌گردد.

در روش معکوس با استفاده از قبوض مصرفی ساختمان و شرایط آب و هوایی منطقه، ضریب بار ساختمان و بار پایه و در نتیجه مصرف انرژی ساختمان، بدست می‌آیند.



شکل .Error! No text of specified style in document-۱۳ روش معکوس تحلیل انرژی

روش نسبت

روش‌های نسبت، بیش از آنکه ابزارهای تجزیه و تحلیل انرژی باشند، در واقع، روش‌های تجزیه و تحلیل قبل از ممیزی هستند که برای تعیین یک شاخص مشخص انرژی (و یا هزینه) ساختمان بکار می‌روند. سپس این شاخص‌های انرژی (و یا هزینه) ساختمان با شاخص‌های بازدهی استاندارد و یا مرجع که از ساختمان‌های مختلفی با همین خواص بدست آمده‌اند، مقایسه می‌گردند. توجه به این نکته لازم است که در هنگام استفاده از نسبت هزینه‌ها باید تعرفه‌های انرژی و انواع یارانه‌ها و مالیات‌ها لحاظ گردد. به طور کلی روش نسبت در موارد زیر کاربرد دارد.

- برای تشخیص اینکه آیا ساختمان مصرف انرژی بالایی دارد و ممیزی انرژی ساختمان مفید خواهد بود
- به منظور تشخیص اینکه آیا هدف از پیش تعیین شده عملکرد انرژی ساختمان، حاصل شده است.
- برای تخمین مصرف‌های مورد انتظار برای سوخت، برق و آب، جهت استفاده در ساختمان‌های جدید.
- جهت نمایاندن ارزیابی مصرف انرژی ساختمانها و برآورد تأثیرگذاری و سودمندی هر کدام از برنامه‌های مدیریت انرژی انجام شده در ساختمان

نسبت های انرژی (و یا هزینه) معمولا به صورت کسری محاسبه می‌شوند، برای نسبتهای انرژی در صورت کسر پارامترهای زیر قرار می گیرد.

- کل مصرف انرژی ساختمان (شامل همه مصارف نهایی). برحسب kWh و ...
- انرژی مصرف شده ساختمان بوسیله هر یک از مصرف‌کننده‌های نهایی (مثل گرمایش، سرمایش، روشنایی و ...)
- دیماند انرژی برحسب kW

بسته به نوع ساختمان و هدف اصلی که برای نسبت‌های محاسبه شده مورد نظر است، از متغیرهای مختلفی به شرح زیر می‌توان در مخرج کسر استفاده کرد.

- مساحت سطح یا حجم فضا (مثل سطح گرمایی یا حجم فضای مورد تهویه در ادارات).
- کاربران و یا تجهیزات ساختمان در ساختمانهای عمومی مثل هتل‌ها و مدرسه‌ها و بیمارستانها.
- تعداد واحدهای تولید شده (به ویژه برای کاربردهای تولیدی و رستوران‌ها).

برای نسبت های هزینه معمولا در صورت کسراز یک مبلغ مشخص که برای هزینه انرژی یا هزینه‌های بهره‌برداری کل ساختمان پرداخت شده، استفاده می گردد. عموماً، برای بدست آوردن نسبت های انرژی یا هزینه، از مقادیر فصلی یا سالانه استفاده

می گردد. در عین حال می‌توان نسبت های روزانه یا ماهانه را نیز در نظر گرفت. تغییرات ماهانه نسبت های انرژی، بیانگر مشخصات ساختمان می‌باشد.

مثال: آپارتمانی مسکونی دارای ۳ طبقه تک واحدی در شهر تهران با مشخصات ذیل در نظر بگیرید، نسبتهای برق، گاز و انرژی مصرفی سالانه به ترتیب برحسب kWh، m^3 و kWh به زیربنای مفید ساختمان را بدست آورید. میزان مصرف برق ساختمان در سال ۱۳۸۸ معادل ۱۱۲۱۷ kWh می‌باشد و زیربنای مفید ساختمان ۴۲۰ مترمربع است.

جدول .Error! No text of specified style in document-۱ میزان مصرف گاز آپارتمان مسکونی ۳ طبقه در سال ۱۳۸۸

ماه	مصرف گاز (m^3)	ماه	مصرف گاز (m^3)
فروردین	۱,۱٤٤	مهر	٦٤٥
اردیبهشت	۸۷۰	آبان	۹۹٤
خرداد	۳۲٥	آذر	۱,۸٦۳
تیر	۳۲۳	دی	۱,۸۲٦
مرداد	۳۱۹	بهمن	۱,۸۰۱
شهریور	۳٥۲	اسفند	۱,۱۰۰

با توجه به جدول فوق میزان مصرف گاز ساختمان در سال ۱۳۸۸ معادل m^3 ۱۱۵۶۲ می‌باشد و از آنجا که هر مترمکعب گاز طبیعی معادل ۱۰ کیلووات ساعت انرژی می‌باشد، بنابراین می‌توان نوشت.

نسبت گاز مصرفی ساختمان = ۲۷/۵ مترمکعب بر مترمربع زیربنای ساختمان درسال

نسبت برق مصرفی ساختمان = ۲۶/۷ کیلووات ساعت بر مترمربع زیربنای ساختمان درسال

نسبت انرژی مصرفی ساختمان = ۳۰۲ کیلووات ساعت بر مترمربع زیربنای ساختمان درسال

روش مصرف انرژی سالانه

یکی از ساده‌ترین تحلیلهای انرژی، تعیین مصرف انرژی سالیانه می‌باشد و برای این منظور آمار مصرف انرژی سالیانه و هزینه‌های مربوطه را تفکیک نموده و درصد آنها را مشخص می‌نماییم. با این روش می‌توان مصرف انرژی یک ساختمان را به راحتی مشخص نمود.

مراحل تحلیل مصرف انرژی سالیانه به شرح زیر می‌باشد.

۱- تبدیل کلیه اطلاعات مصرف انرژی به واحدهای استاندارد (معمولا kwh)

مهمترین حاملهای انرژی در ساختمان و ضرایب تبدیل آن به شرح زیر می‌باشد.

۱ تن گاز مایع = ۱۲۳۷۳/۴۶ کیلو وات ساعت

۱ مترمکعب نفت سفید = ۹۹۹۳/۷۲ (تقریبا ۱۰۰۰۰) کیلو وات ساعت

۱ مترمکعب نفت گاز = ۱۰۴۹/۸۱ (تقریبا ۱۰۰۰) کیلو وات ساعت

۱ متر مکعب گاز طبیعی = ۱۰/۳۴۹ (تقریبا ۱۰) کیلو وات ساعت

۲- برای کل مصرف و هزینه هر یک از حاملهای انرژی می‌بایست مصارف و هزینه‌ها به تفکیک تهیه و درصد آنها در کل مصرف مشخص گردد و نتایج آن در یک جدول ارائه گردد.

جدول ۲-Error! No text of specified style in document. مصرف انرژی ساختمان

حامل انرژی	واحد	میزان مصرف برحسب واحد	میزان مصرف (kWh)	میزان مصرف (٪)	ارزش مصرف (ریال)	ارزش مصرف (٪)
برق	kWh					
گاز	m3					
نفت سفید	lit					
کل حاملها	-	-		۱۰۰		۱۰۰

۳- نمودارهای pie-chart که بیانگر تفکیک درصد مصرف انرژی و درصد هزینه‌های انرژی هر یک از حاملهای انرژی تهیه گردد.

۴- جدول تغییرات سالانه از میزان مصرف جهت مقایسه مصرف انرژی ساختمان در هر سال تهیه گردد.

جدول ۳-Error! No text of specified style in document. تغییرات سالانه میزان مصرف انرژی ساختمان

سال	مصرف (kwh)	درصد تغییر (٪)
سال اول (سال پایه)		
سال دوم		
سال سوم		
سال چهارم		
سال پنجم		

۱۰۰*سال پایه/(سال پایه-سال ...ام)=درصد تغییر

روش مصرف انرژی سالانه برای تجزیه قیمت انرژی و شناخت روندهای مصرف انرژی ساختمان مناسب می‌باشد ولی یک روش تحلیلی نسبتا ساده می‌باشد و با توجه به اینکه تغییرات آب و هوایی در آن لحاظ نگردیده است نمی‌توان از آن برای مقایسه مصرف انرژی یک ساختمان با ساختمان دیگر استفاده نمود.

مثال: برای یک آپارتمانی مسکونی ۵ طبقه تک واحدی با زیربنای مفید $950\ m^2$ در شهر تهران، مصارف انرژی سالانه زیر ثبت شده است، با استفاده از روش مصرف انرژی سالانه، مصرف انرژی ساختمان را تحلیل کنید. بهای گاز مصرفی و برق را به ترتیب ۷۰۰ ریال به ازای هر مترمکعب و ۴۵۰ ریال به ازای هر کیلووات ساعت در نظر بگیرید.

جدول Error! No text of specified style in document.-۴ مصرف انرژی آپارتمان مسکونی ۵ طبقه

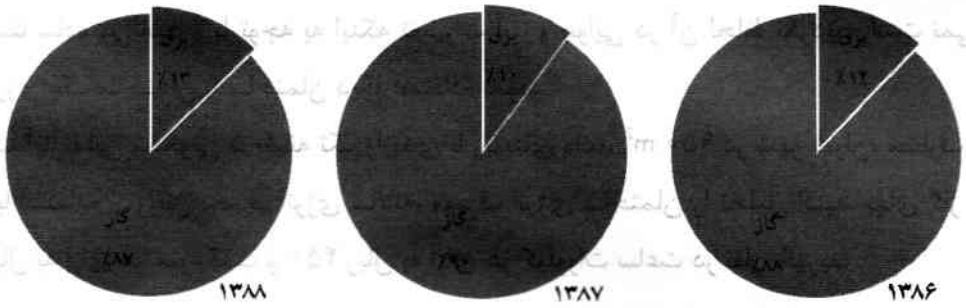
سال	مصرف گاز (m^3)	مصرف برق (kWh)
۱۳۸٦	۲٥٦۷۱	۳٥،۱٤۲
۱۳۸۷	۲۸۹۰٤	۳۲،۱٤۷
۱۳۸۸	۲۳۰٤۲	۳۳،۰۸۲

جهت بررسی مصرف انرژی سالیانه ساختمان، مراحل محاسبات را انجام می‌دهیم، در این صورت می‌توان نوشت.

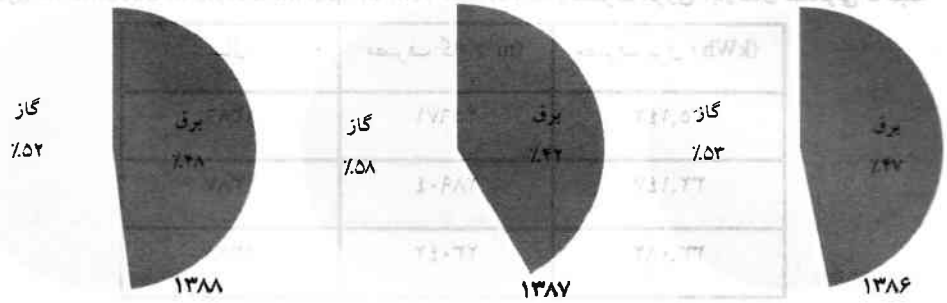
جدول Error! No text of specified style in document.-۵ مصرف انرژی سالانه آپارتمان مسکونی ۵ طبقه

سال	حامل انرژی	واحد	میزان مصرف (برحسب واحد)	میزان مصرف (kWh)	میزان مصرف (٪)	ارزش مصرف (ریال)	ارزش مصرف (٪)
۱۳۸٦	برق	kWh	۳٥،۱٤۲	۳٥،۱٤۲	٪۱۲	۱٥،۸۱۳،۹۰۰	٪٤۷
	گاز	m^3	۲٥،٦۷۱	۲٥٦،۷۱۰	٪۸۸	۱۷،۹٦۹،۷۰۰	٪٥۳
	کل حاملها	-	-	۲۹۱،۸٥۲	٪۱۰۰	۳۳،۷۸۳،٦۰۰	٪۱۰۰
۱۳۸۷	برق	kWh	۳۲،۱٤۷	۳۲،۱٤۷	٪۱۰	۱٤،٤٦٦،۱٥۰	٪٤۲
	گاز	m^3	۲۸،۹۰٤	۲۸۹،۰٤۰	٪۹۰	۲۰،۲۳۲،۸۰۰	٪٥۸
	کل حاملها	-	-	۳۲۱،۱۸۷	٪۱۰۰	۳٤،٦۹۸،۹٥۰	٪۱۰۰
۱۳۸۸	برق	kWh	۳۳،۰۸۲	۳۳،۰۸۲	٪۱۳	۱٤،۸۸٦،۹۰۰	٪٤۸
	گاز	m^3	۲۳،۰٤۲	۲۳۰،٤۲۰	٪۸۷	۱٦،۱۲۹،٤۰۰	٪٥۲
	کل حاملها	-	-	۲٦۳،٥۰۲	٪۱۰۰	۳۱،۰۱٦،۳۰۰	٪۱۰۰

با توجه به محاسبات، نمودارهای مصرف انرژی ساختمان و هزینه‌های آن در هر سال مطابق شکل **Error! No text of specified style in document.**-۱۴ و شکل **Error! No text of specified style in document.**-۱۵ است.



شکل .Error! No text of specified style in document-۱۴ سهم مصرف هر یک از حاملهای انرژی در سالهای مختلف



شکل .Error! No text of specified style in document-۱۵ سهم بهای هر یک از حاملهای انرژی در سالهای مختلف

همانگونه که در شکل مشخص است، عمده مصرف انرژی ساختمان گاز می‌باشد و از نظر صرفه‌جویی در مصرف انرژی تمرکز برکاهش مصرف گاز در این ساختمان اهمیت بیشتری دارد، ولی از بعد هزینه‌ای هر دو حامل انرژی، تقریبا از اهمیت یکسانی برخوردار هستند و می‌بایست بر صرفه‌جویی در مصرف برق نیز علاوه برگاز توجه شود. در جدول **Error! No text of specified style in document.-۶** روند تغییرات سالانه مصرف انرژی ساختمان ارائه شده است.

جدول .Error! No text of specified style in document-۶ تغییرات سالانه میزان مصرف انرژی ساختمان

سال	مصرف (kwh)	درصد تغییر (٪)
۱۳۸٦ (سال پایه)	۲۹۱,۸۵۲	-
۱۳۸۷	۳۲۱,۱۸۷	٪۱۰.۱
۱۳۸۷	۲٦۳,۵۰۲	-٪۹.۷

نتایج نشان می‌دهد که مصرف انرژی ساختمان دارای تغییراتی در حدود ٪۲۰ (٪۱۰±) می‌باشد که چنانچه تغییرات خاصی از نظر بهره‌برداری و سکونت در آن ایجاد نشده باشد، در نگاه اول می‌توان نتیجه گرفت که:

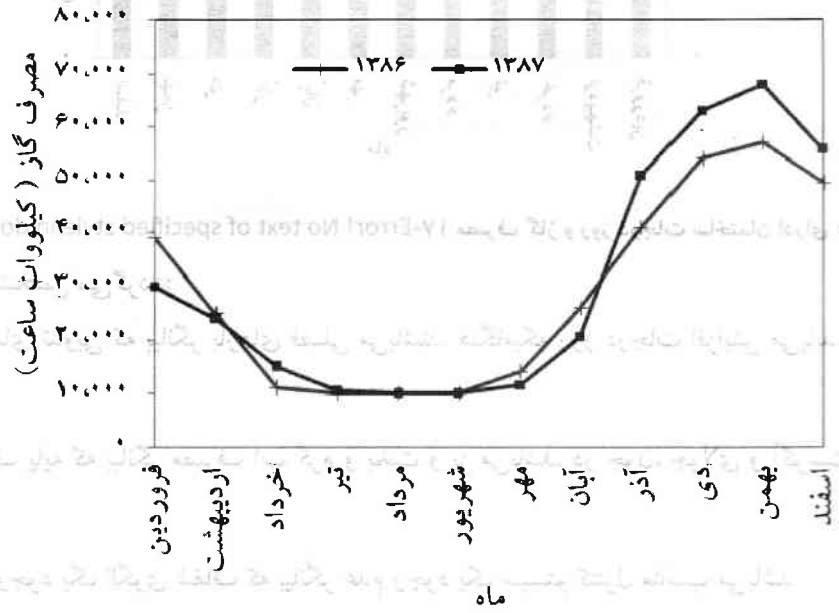
۱- تغییرات مصرف انرژی ساختمان بسیار متاثر از تغییرات دمای هوای بیرون می‌باشد.

۲- سیستم کنترل مناسب برای مدیریت مصرف انرژی ساختمان وجود ندارد.

تجزیه و تحلیل وابسته به زمان

تجزیه و تحلیل وابسته به زمان بمنظور شناسایی روندهای عمومی، الگوهای فصلی مصرف انرژی و تعیین استثنائات در مصرف انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد، برای این منظور لازم است اطلاعات ماهانه مصرف انرژی الکتریکی، گاز و کل مصرف انرژی ساختمان در سالهای مختلف تهیه گردد و نمودار خطی مصرف برحسب ماه در سالهای مختلف ترسیم شود.

در شکل **۱۶-Error! No text of specified style in document.** مصرف گاز یک ساختمان اداری در شهر خوی برای دو سال متوالی ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ ارائه شده است.

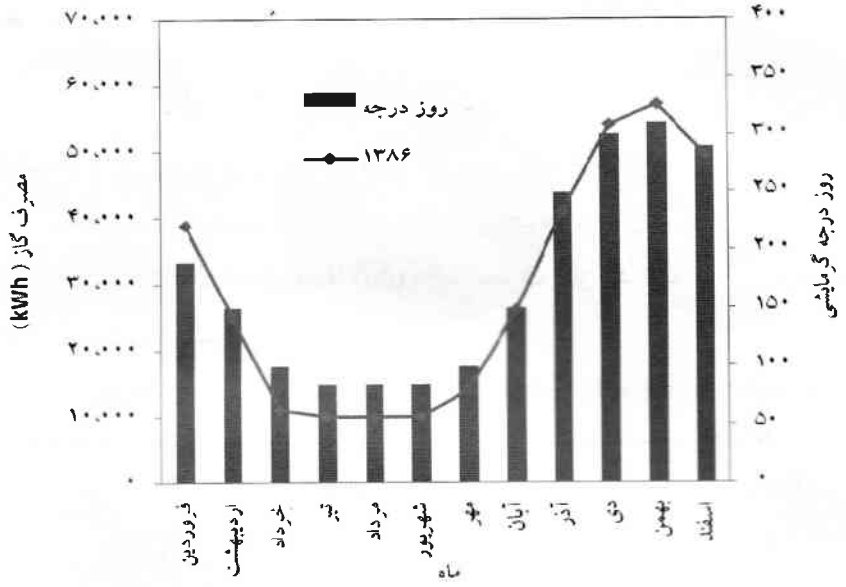


شکل .۱۶-Error! No text of specified style in document. مصرف گاز یک ساختمان ادرای در شهر خوی

- مصرف پایه انرژی حدود kwh ۱۰۰۰۰ است که مرتبط با تامین آب گرم مصرفی و پخت و پز می‌باشد.
- مصرف انرژی در ماههای آذر، دی، بهمن و اسفند ۱۳۸۷ بیشتر از زمان مشابه در سال ۱۳۸٦ بوده است و افزایش چشمگیری داشته است که می‌تواند بیانگر عدم کارایی مناسب سیستم‌های تاسیساتی و یا سیستم‌های کنترل باشد و یا در اثر افزایش سرما در آن سال باشد.

در هر صورت از نمودار مذکور نمی‌توان متوجه شد که دلایل افزایش مصرف دقیقا چیست و لازم است که تحلیل‌های دقیقتری در این زمینه انجام داد.

برای این منظور ترسیم میانگین ماهانه دمای هوای محیط در طول سالهای مختلف و یا روز درجه حرارت ماهانه‌ای که ساختمان در سالهای مختلف تجربه کرده است، اطلاعات مفیدی را در این زمینه ارائه می‌کند.



شکل .Error! No text of specified style in document-۱۷ مصرف گاز و روز درجات ساختمان ادرای در شهر خوی

از نمودار موارد زیر مشخص می‌گردد:

- شناسایی الگوهای تناوبی که بیانگر بارهای فصلی می‌باشند. هنگامیکه روز درجات افزایش می‌یابد، میزان گاز مصرفی نیز افزایش می‌یابد.
- شناسایی مصرف پایه که بیانگر مصرف آب گرم و پخت و پز می‌باشد. در جون، جولای و آگوست هیچ گرمایش فضایی لازم نیست.
- شناسایی عدم وجود یک الگوی شفاف که بیانگر عدم وجود یک سیستم کنترل مناسب می‌باشد.
- شناسایی مقاطع زمانی که مصرف انرژی یا خیلی پایین و یا خیلی بالاست، که ممکن است به سبب تغییرات غیر معمول در بهره‌برداری از تاسیسات در ماه خاصی باشد. باید به این نکته توجه شود که غیر معمولها ممکن است به علت ثبت غلط اطلاعات باشد.

تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی

تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی تکنیکی آماری است که رابطه بین متغیرها را معین کرده و به کمیت در می‌آورد. تجزیه و تحلیل رگرسیون با حذف عامل زمان از فرایند تحلیل و تمرکز بر پارامترهایی که بر انرژی مصرفی تاثیر دارند، نتایج مناسبی ارائه می‌دهد. در این تحلیل متغیرهای زیر معمولا مورد مقایسه قرار می‌گیرند.

- گاز مصرفی در مقابل تعداد روز درجات گرمایشی تجربه شده
- گاز مصرفی در مقابل تعداد واحدهای تولیدی
- الکتریسیته مصرفی در مقابل تعداد واحدهای تولیدی
- آب مصرفی در مقابل تعداد واحدهای تولیدی
- الکتریسیته مصرفی برای روشنایی در مقابل ساعات اشغال

ترسیم گاز مصرفی در مقابل تعداد روز درجات گرمایشی تجربه شده، بیشتر از بقیه حالتها مورد استفاده قرار می‌گیرد، در استفاده از تجزیه و تحلیل رگرسیون، باید توجه شود که دقت محاسبات، بستگی زیادی به کیفیت اطلاعات مورد استفاده دارد.

تجزیه و تحلیل رگرسیون ارتباط بین مصرف انرژی و متغیرهایی مانند روز-درجات گرمایشی برای یک مقطع زمانی معین را ایجاد می‌کند و از آن می‌توان برای ایجاد خط پایه برای معادله استاندارد اجرایی، که در مقابل آن مصرف انرژی بعدی را می‌توان اندازه‌گیری کرد، استفاده نمود. با استفاده از این روش می‌توان مصرف انرژی ساختمان را برای اجرای راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی هدف‌گذاری نمود و بعد از اجرا نسبت به ارزیابی میزان اثربخشی راهکارها اقدام نمود..

همواره یک رابطه خطی میان مصرف گاز ساختمان و تعداد روز درجات گرمایشی تجربه شده وجود دارد، اتلاف حرارتی ساختمان با افزایش سرما و کاهش دمای هوای بیرون افزایش می‌یابد و می‌توان گفت مصرف گاز ساختمان تابعی از روز درجه گرمایشی تجربه شده می‌باشد و یا به عبارت دیگر مصرف گاز ساختمان یک متغیر وابسته و روز درجات گرمایش یک متغیر مستقل است. براین اساس می‌توان معادله خط زیر را ترسیم نمود.

$$Y=mx+c$$

که در آن Y متغیر وابسته است (مثل مصرف انرژی)، x متغیر مستقل است (مانند تعداد روز درجات)، c عرض از مبدا و محل تلاقی خط با محور Y و m ضریب زاویه خط است.

با فرض اینکه خط $Y=mx+c$ بهترین منحنی عبوری از یک مجموعه نقاط آماری باشد.

$$(x_1,y_1).\ (x_2,y_2).\ (x_3,y_3)\dots\ (x_n,y_n)$$

می‌توان نشان داد که

$$c.n+m\sum x_n=\sum y_n$$
$$c\sum x_n+m\sum x_n^2=\sum x_n y_n$$

که در آن n تعداد نقاط آماری است و c عرض از مبدا که چنانچه نمودار گاز مصرفی برحسب روز درجات ترسیم گردد بیانگر مصرف پایه ساختمان می‌باشد.

مثال: ساختمان یک بیمارستان را در نظر بگیرید که با انجام ممیزی انرژی و اندازه‌گیری میزان گاز مصرفی و روز درجات گرمایشی، نتایج جدول **Y-Error! No text of specified style in document.** حاصل شده است. براین اساس خط پایه مصرف انرژی ساختمان را ترسیم کنید.

جدول Error! No text of specified style in document.-۷ مصرف گاز و روزدرجات گرمایشی تجربه شده ساختمان بیمارستان

روز درجه ماهانه	۷۲	۸۸	۹۵	۱۰۶	۱۶۹	۲۰۴	۲۴۴	۲۶۵	۲۹۰	۲۹۸	۳۳۲	۳۴۵
گازمصرفی ماهانه (Gj)	۴۸۲	۵۲۰	۶۳۴	۵۷۰	۶۷۱	۸۶۰	۹۰۳	۹۴۰	۱۰۰۷	۱۲۱۰	۱۰۲۰	۱۱۳۱

توجه داشته باشید که روزدرجات گرمایشی از نزولی به صعودی مرتب شده است. با درنظر گرفتن روز درجات گرمایشی تجربه شده در هرماه به عنوان محور x و میزان گاز مصرفی به عنوان محور y می‌توان مقادیر زیر را محاسبه نمود.

جدول Error! No text of specified style in document.-۸ محاسبات پارامترهای نمودار رگرسیون خطی

No	x	y	x^2	xy
۱	۷۲	۴۸۲	۵۱۸۴	۳۴۷۰۴
۲	۸۸	۵۲۰	۷۷۴۴	۴۵۷۶۰
۳	۹۵	۶۳۴	۹۰۲۵	۶۰۲۳۰
۴	۱۰۶	۵۷۰	۱۱۲۳۶	۶۰۴۲۰
۵	۱۶۹	۶۷۱	۲۸۵۶۱	۱۱۳۳۹۹
۶	۲۰۴	۸۶۰	۴۱۶۱۶	۱۷۵۴۴۰
۷	۲۴۴	۹۰۳	۵۹۵۳۶	۲۲۰۳۳۲
۸	۲۶۵	۹۴۰	۷۰۲۲۵	۲۴۹۱۰۰
۹	۲۹۰	۱۰۰۷	۸۴۱۰۰	۲۹۲۰۳۰
۱۰	۲۹۸	۱۲۱۰	۸۸۸۰۴	۳۶۰۵۸۰
۱۱	۳۳۲	۱۰۲۰	۱۱۰۲۲۴	۳۳۸۶۴۰
۱۲	۳۴۵	۱۱۳۱	۱۱۹۰۲۵	۳۹۰۱۹۵
Σ	۲۵۰۸	۹۹۴۸	۶۳۵۲۸۰	۲۳۴۰۸۳۰

با توجه به محاسبات فوق، معادلات نرمال شده به شرح زیر به دست می‌آید.

12c+2508m=9948

2508c+635280m=2340830

بنابراین

c=(9448-2508m)/12

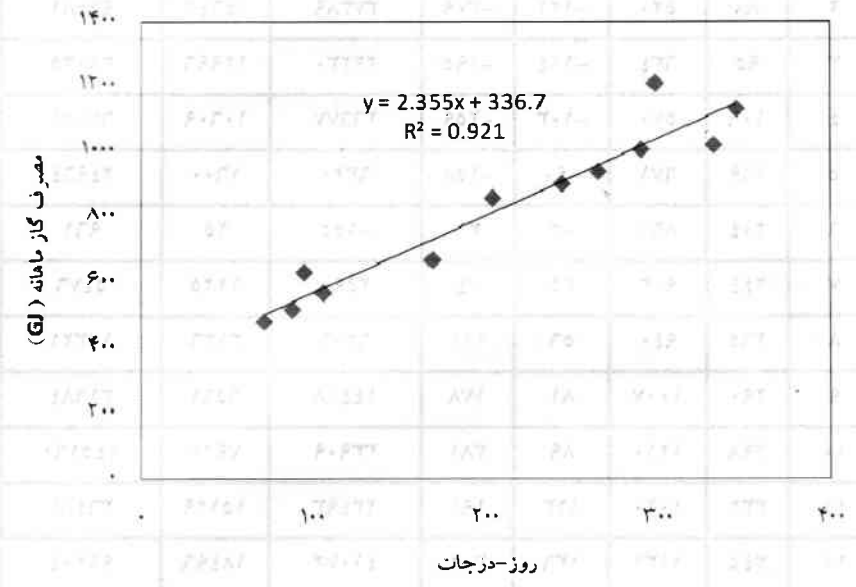
در نتیجه:

m=2.355

C=336.73

y=2.355x+336.73

با استفاده از معادله فوق می‌توان متوجه شد که بار پایه بصورت تئوری برای ساختمان Gj ۳۳۶/۷۳ است. نمودار خط به شرح زیر می‌باشد.



شکل .۱۸-Error! No text of specified style in document نمودار رگرسیون خطی ساختمان یک بیمارستان

از نمودار مشخص است که چنانچه در یک ماه خاص روز درجاتی برابر صفر تجربه کنیم. ساختمان هنوز مصرف گازی معادل Gj ۳۳۶/۷ دارد و یا به عبارت دیگر میزان آب گرم مصرفی ساختمان برای مصارف پخت و پز و استحمام و ... مقدار فوق می‌باشد.

ضرایب همبستگی

در بعضی موارد ممکن است نقاط نمونه آماری بسیار پراکنده باشند و در نتیجه این امکان وجود دارد که معادله بدست آمده مفهومی نداشته باشد. بنابراین تعیین دقت خط ترسیمی بسیار مهم است که برای این منظور از ضریب همبستگی استفاده می‌کنیم. ضریب همبستگی بیانگر معتبر بودن خط ترسیم شده می‌باشد. مقدار ضریب همبستگی بین صفر و یک می‌باشد که عدد یک بیانگر همبستگی کامل است و از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$r = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}}$$

که در آن x و y مقدارهای متناظر هر یک از داده‌های آماری هستند و و متوسط مقادیر x و y می‌باشند.

برای مثال قبل، ضریب همبستگی به شرح زیر محاسبه می‌شود.

مقدار متوسط برای داده‌ها برابر است با

=209

=829

جدول Error! No text of specified style in document.-۹ محاسبات ضریب همبستگی

No.	x	y	$(x-\bar{x})$	$(y-\bar{y})$	$(x-\bar{x})(y-\bar{y})$	$(x-\bar{x})^2$	$(y-\bar{y})^2$
۱	۷۲	٤۸۲	-۱۳۷	-۳٤۷	٤۷٥۳۹	۱۸۷٦۹	۱۲۰٤۰۹
۲	۸۸	٥۲۰	-۱۲۱	-۳۰۹	۳۷۳۸۹	۱٤٦٤۱	۹٥٤۸۱
۳	۹٥	٦۳٤	-۱۱٤	-۱۹٥	۲۲۲۳۰	۱۲۹۹٦	۳۸۰۲٥
٤	۱۰٦	٥۷۰	-۱۰۳	-۲٥۹	۲٦٦۷۷	۱۰٦۰۹	٦۷۰۸۱
٥	۱٦۹	٦۷۱	-٤۰	-۱٥۸	٦۳۲۰	۱٦۰۰	۲٤۹٦٤
٦	۲۰٤	۸٦۰	-٥	۳۱	-۱٥٥	۲٥	۹٦۱
۷	۲٤٤	۹۰۳	۳٥	۷٤	۲٥۹۰	۱۲۲٥	٥٤۷٦
۸	۲٦٥	۹٤۰	٥٦	۱۱۱	٦۲۱٦	۳۱۳٦	۱۲۳۲۱
۹	۲۹۰	۱۰۰۷	۸۱	۱۷۸	۱٤٤۱۸	٦٥٦۱	۳۱٦۸٤
۱۰	۲۹۸	۱۲۱۰	۸۹	۳۸۱	۳۳۹۰۹	۷۹۲۱	۱٤٥۱٦۱
۱۱	۳۳۲	۱۰۲۰	۱۲۳	۱۹۱	۲۳٤۹۳	۱٥۱۲۹	۳٦٤۸۱
۱۲	۳٤٥	۱۱۳۱	۱۳٦	۳۰۲	٤۱۰۷۲	۱۸٤۹٦	۹۱۲۰٤
∑	۲٥۰۸	۹۹٤۸	۰	۰	۲٦۱٦۹۸	۱۱۱۱۰۸	٦٦۹۲٤۸

در نتیجه مقدار ضریب همبستگی برابر است:

$$r=0.96$$

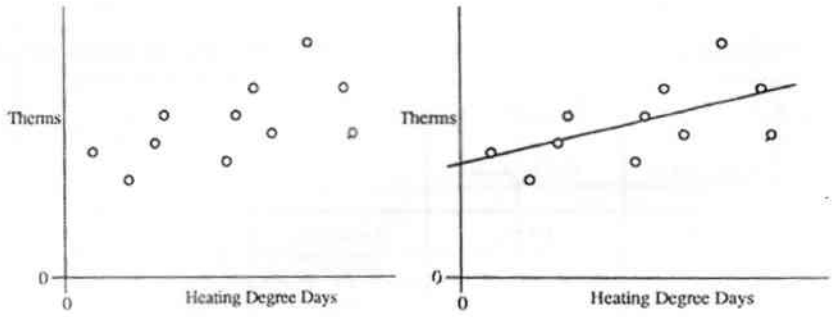
در جدول Error! No text of specified style in document.-۱۰ حداقل ضریب همبستگی قابل قبول با توجه به تعداد داده‌های آماری آورده شده است.

جدول Error! No text of specified style in document.-۱۰ حداقل ضریب همبستگی در محاسبات

تعداد نمونه‌های آماری	حداقل ضریب همبستگی
۱۰	۰.۷٦۷
۱٥	۰.٦٤۱
۲۰	۰.٥٦۱
۲٥	۰.٥۰٦
۳۰	۰.٤٦٤
۳٥	۰.٤۲٥
٤۰	۰.٤۰۲
٤٥	۰.۳۸
٥۰	۰.۳٦۲

تعیین ضریب بار ساختمان (BLC) به روش معکوس

در این روش با استفاده از اطلاعات مصرف انرژی سالانه ساختمان و وابستگی آن با دمای هوای بیرون می‌توان مقدار BLC را تعیین کرد. بر این اساس BLC برابر با شیب خط رگرسیون مربوط به نمودار مصرف انرژی ساختمان برحسب دمای هوای خارجی است و محل برخورد خط با محور عمودی معادل مصرف پایه ساختمان و یا میزان مصرف انرژی جهت تامین آبگرم می‌باشد، در این روش برای تعیین BLC مقدار توان انرژی گرمایشی برحسب W نمایش داده شود.



شکل .Error! No text of specified style in document-۱۹ نمودار رگرسیون خطی در تعیین BLC ساختمان

فرآیند تعیین میزان BLC همان روش رگرسیون خطی برای ترسیم گاز مصرفی بصورت تابعی از روز درجات گرمایشی است با این تفاوت که با اعمال برخی اصلاحات در روش قبلی، مقدار ضریب بار ساختمان بدست می‌آید، جهت تعیین BLC ساختمان مراحل زیر را انجام می‌دهیم.

۱. ابتدا تعداد روزهای دوره قرائت کنتور و میزان مصرف گاز را برای قبوض گاز مصرفی بدست می‌آوریم. (قبوض یک دوره یک‌ساله مناسب است)
۲. میزان ساعات کارکرد سیستم گرمایش در طول شبانه‌روز را تعیین می‌کنیم.
۳. به منظور تعیین روز درجات گرمایش در طول دوره قبض گاز، با استفاده از روز درجات گرمایشی ماهانه تجربه شده، میزان متوسط روز درجات گرمایش برای هر روز را بدست آورده و سپس مجموع روز درجات گرمایش در طول دوره روزهای مورد نظر در قبض گاز را بدست می‌آوریم.
۴. یا تقسیم مجموع روزدرجات گرمایشی در طول دوره به روزهای دوره، میزان اختلاف درجه حرارت با ۱۸ درجه سانتیگراد بدست می‌آید.
۵. میزان کارکرد سیستم گرمایش برحسب ثانیه را در طول دوره قبض گاز با توجه به متوسط ساعات کارکرد سیستم در شبانه روز بدست می‌آوریم.
۶. توان مصرفی دستگاه برحسب W را برای هر دوره از قبوض گاز باتوجه به ارزش حرارتی گاز و میزان کارکرد سیستم گرمایش در طول دوره به شرح زیر محاسبه می‌کنیم. (1 m3NGas=3.73*107 J)

$$\text{توان مصرفی دستگاه} = \frac{\text{ارزش حرارتی سوخت برحسب ژول} \times \text{میزان سوخت مصرفی در طی دوره}}{\text{مدت زمان دوره برحسب ثانیه}}$$

۷. در نهایت توان مصرفی دستگاه را برحسب اختلاف روز درجات گرمایشی ترسیم می‌کنیم و ضریب زاویه خط، میزان BLC مطابق نمودار می‌باشد.

۸. با حاصل‌ضرب BLC بدست آمده از طریق نمودار در راندمان سیستم گرمایش، مقدار BLC واقعی بدست می‌آید.

مثال: میزان گاز مصرفی یک ساختمان ادری در شهر قوچان در یک دوره یک ساله مطابق جدول زیر می‌باشد. قابل ذکر است که ساعات بهره‌برداری از سیستم تاسیسات در شبانه‌روز معادل ۱۴ ساعت می‌باشد و براساس اندازه‌گیری‌ها و نتایج ممیزی انرژی، راندمان بویلر مرکزی معادل ۶۵٪ می‌باشد. براین اساس مصرف پایه ساختمان و مقدار ضریب بار ساختمان را بدست آورید.

جدول ۱۱-Error! No text of specified style in document. حداقل ضریب همبستگی در محاسبات

شروع دوره	پایان دوره	میزان مصرف گاز طبیعی (m^3)	تعداد روزهای دوره
۸۴/۱۲/۱۹	۸۵/۰۲/۲۴	۷۱۲۹	۶۷
۸۵/۰۲/۲۴	۸۵/۰۵/۰۲	۱۶۵۰	۶۷
۸۵/۰۵/۰۲	۸۵/۰۶/۲۱	۱۲۲۵	۵۰
۸۵/۰۶/۲۱	۸۵/۰۸/۲۱	۲۸۰۷	۶۱
۸۵/۰۸/۲۱	۸۵/۱۰/۲۰	۱۶۳۳۹	۶۰
۸۵/۱۰/۲۰	۸۵/۱۲/۲۰	۱۴۶۴۴	۶۱

براساس روزدرجات گرمایش ماهانه از اداره هواشناسی می‌توان روز درجات را برای دوره‌های قبض گاز بدست آورد. مقادیر در جدول **۱۲-Error! No text of specified style in document.** آورده شده است.

جدول ۱۲-Error! No text of specified style in document. مقادیر روز درجات گرمایش در شهرقوچان

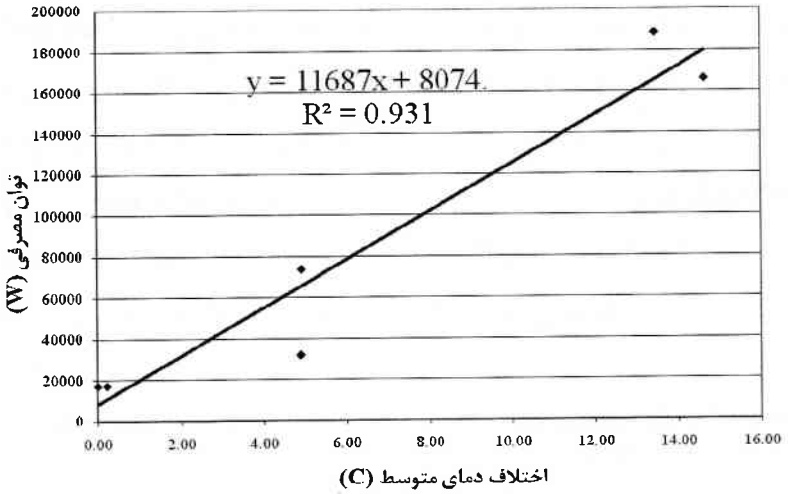
ماه میلادی	ماه شمسی	روز درجات گرمایش ماهانه (^oC)	روز درجات گرمایش روزانه (^oC)	ماه میلادی	ماه شمسی	روز درجات گرمایش ماهانه (^oC)	روز درجات گرمایش روزانه (^oC)
ژانویه	۸۵/۱۰/۱۱	۵۰۹/۸	۱۳/۴	جولای	۸۵/۰۴/۱۰	۰	۰
فوریه	۸۵/۱۱/۱۱	۴۹۸/۵	۱۶/۶۲	آگوست	۸۵/۰۵/۱۰	۰	۰
مارچ	۸۵/۱۲/۱۰	۳۴۱/۶	۱۱/۳۹	سپتامبر	۸۵/۰۶/۱۰	۲	۰/۰۷
آوریل	۸۵/۰۱/۱۲	۶۲/۲	۲/۰۷	اکتبر	۸۵/۰۷/۰۹	۱۴۶/۷	۴/۸۹
می	۸۵/۰۲/۱۱	۶/۹	۰/۲۳	نوامبر	۸۵/۰۸/۱۰	۳۷۵	۱۲/۵
جون	۸۵/۰۳/۱۱	۱۱/۲	۰/۳۷	دسامبر	۸۵/۰۹/۱۰	۴۲۱/۸	۱۴/۰۶

با توجه به اطلاعات گاز مصرفی ارزش حرارتی گاز معادل ۳۴/۸۸۹ MJ/m^3 می‌باشد. بنابراین می‌توان مقادیر مربوط به BLC را مطابق با جدول **No text of specified style in document.**-Error! ۱۳ محاسبه نمود.

جدول **No text of specified style in document.**-Error! ۱۳ **محاسبات BLC ساختمان اداری در شهرقوچان**

شروع دوره	پایان دوره	مدت زمان بهره برداری از سیستم (S)	توان مصرفی جهت تامین آب گرم و گرمایش ساختمان (W)	روز درجات گرمایش در هر دوره (^oC)	اختلاف دمای متوسط با ۱۸ ^oC
۸٤/۱۲/۱۹	۸۵/۰۲/۲٤	۳,۳۷٦,۸۰۰	۷۳,٦۵۷	۳۳۸/۷	۵/۰٦
۸۵/۰۲/۲٤	۸۵/۰۵/۰۲	۳,۳۷٦,۸۰۰	۱۷,۰٤۸	۱۵/۵۷	۰/۲۳
۸۵/۰۵/۰۲	۸۵/۰٦/۲۱	۲,۵۲۰,۰۰۰	۱٦,۹٦۰	۰/۸	۰/۰۲
۸۵/۰٦/۲۱	۸۵/۰۸/۲۱	۳,۰۷٤,٤۰۰	۳۱,۸۵٤	۲۹۷/۹۷	٤/۸۸
۸۵/۰۸/۲۱	۸۵/۱۰/۲۰	۳,۰۲٤,۰۰۰	۱۸۸,۵۰۹	۷۹۳/۳	۱۳/۲۲
۸۵/۱۰/۲۰	۸۵/۱۲/۲۰	۳,۰۷٤,٤۰۰	۱٦٦,۱۸۳	۸۹۳/۷۷	۱٤/٦۵

در این‌صورت با ترسیم توان مصرفی برحسب اختلاف دمای متوسط با ۱۸ درجه خواهیم داشت.



شکل **No text of specified style in document.**-Error! ۲۰ **نمودار BLC ساختمان اداری قوچان**

و با توجه به راندمان ۶۵٪ سیستم گرمایش مقدار BLC واقعی ساختمان به شرح زیر محاسبه می‌گردد.

BLC = 0.65*11768 = 7649.2 W/^oC

تکنیک CUSUM[۸]

تکنیک CUSUM روشی برای برآورد مصرف انرژی است و روش جمع مرکب انحراف معیار نامیده می‌شود و معیاری است که بیانگر انحراف تدریجی از الگوی مصرف استاندارد می‌باشد و از جمع مرکب اختلاف بین مصرف انرژی واقعی و مصرف انرژی هدف‌گذاری شده و یا خط پایه بدست می‌آید.

مقادیر خط پایه از معادله استاندارد اجرایی محاسبه می‌گردد که از طریق تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده در یک دوره بازرسی مصرف انرژی ساختمان قبل از انجام هرگونه اقدامات بهینه‌سازی بدست می‌آید. جهت ترسیم منحنی CUSUM مراحل زیر باید انجام شود.

۱- با استفاده از روش رگرسیون خطی معادله خط پایه را بدست آورید.

۲- میزان مصرف انرژی پیش‌بینی شده را از معادله خط پایه برای هر ماه محاسبه کنید.

۳- برای هر نقطه آماری (هر ماه) مصرف واقعی را از مصرف پیش‌بینی شده کسر نمایید.

۴- برای هر نقطه آماری، جمع مرکب انحراف از مصرف پیش‌بینی شده را بدست آورید. براین اساس مقدار CUSUM برای هر نقطه آماری بدست می‌آید.

$$CUSUM_{n+1}=CUSUM_{n+1}+CUSUM_n$$

۵-مقدارهای CUSUM را وابسته به زمان ترسیم نمایید.

در ممیزی انرژی به این نکته باید توجه شود که خط CUSUM همیشه یک خط افقی از مبدا صفر می‌باشد. نمونه‌های واقعی ممکن است از ارقام خط پایه پیش‌بینی شده انحراف داشته باشند و می‌بایست دلایل این انحرافها بررسی گردد. یکی از کاربردهای CUSUM بررسی میزان صرفه‌جویی حاصل از اقدامات بهینه‌سازی است و هر چقدر خط CUSUM دامنه شیب نزولی بزرگتری داشته باشد، فرآیند بهینه‌سازی دارای بازدهی انرژی بیشتری است.

مثال: در این مثال که در طول یک برنامه نظارتی قبل و بعد از اجرای اقدامات بهینه‌سازی، انجام شده تغییرات مختلف در نمودار CUSUM مشهود است. در جدول **۱۴-Error! No text of specified style in document.** میزان مصرف گاز یک ساختمان اداری برای مقطع زمانی آگوست ۱۹۸۹ تا دسامبر ۱۹۹۰ براساس نتایج ممیزی انرژی آورده شده است، نمودار CUSUM ساختمان را رسم و بررسی کنید.

جدول ۱۴-Error! No text of specified style in document. تغییرات ماهانه مصرف گاز ساختمان اداری

سال	ماه	روز-درجات گرمایشی	گاز مصرفی واقعی (kwh)
۱۹۸۹	Aug	۱۸	۱۵۴۹۰
	Sep	۳۶	۲۳۷۰۰
	Oct	۱۰۹	۵۵۶۷۳
	Nov	۱۹۹	۹۴۳۸۲
	Dec	۲۳۹	۱۰۶۶۸۳
۱۹۹۰	Jan	۲۴۷	۱۱۰۷۴۵

[۸] Cumulative Sum Deviation Method

سال	ماه	روز-درجات گرمایشی	گاز مصرفی واقعی (kwh)
	Feb	۲۱۰	۹٦٤٥۸
	Mar	۲۰۷	۹٥۹۰۳
	Apr	۱۹٥	۹۳۲٦٥
	May	۱۱۷	٦۰۰٤٥
	Jun	٥۸	۳۲۲٦۷
	Jul	۲٤	۱۸۸٤۹
	Aug	۱۲	۱۲٤۳٥
	Sep	٦۰	۳۲۷۷٥
	Oct	۹٥	٤۳۹۲٤
	Nov	۲۰۱	۹٥۰۱۲
	Dec	۲۸۰	۱۲۹٥۰٥

در برنامه نظارتی بعدی که از ژانویه ۱۹۹۱ تا مارس ۱۹۹۳ توسط مدیر انرژی ساختمان انجام شده است، میزان گاز مصرفی برای هر ماه به شرح جدول **۱٥-Error! No text of specified style in document.** بدست آمده است.

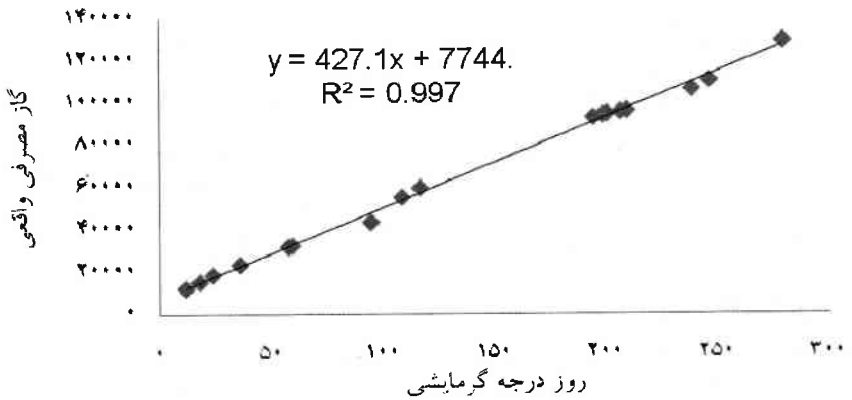
جدول ۱٥-Error! No text of specified style in document. تغییرات ماهانه مصرف گاز ساختمان اداری بعد از بهینه‌سازی

سال	ماه	روز-درجات گرمایشی	گاز مصرفی واقعی (kwh)
۱۹۹۱	Jan	۳۰۸	۱٤۰۰۲۲
	Feb	۳۳۸	۱۸۰۰۳٤
	Mar	۲۱٤	۱۱۸٥۲٤
	Apr	۲۰۱	۱۱۲۰٤٥
	May	۱۰۸	٦٤۰٤٥
	Jun	٦۷	۳۷۷۲٤
	Jul	۲٤	۱۸٤۹۰
	Aug	۲۱	۱۷۰٤٥
	Sep	۳٥	۲۲٤۸۳
	Oct	۱٤۰	٦٦۲۷٥
	Nov	۲۱۹	۱۰۱۰٤۰
	Dec	۲٦۲	۱۲۰٥۰۰
۱۹۹۲	Jan	۳۲۳	۱٤٤۲٤۰
	Feb	۲۷۱	۱۲۳۱٤۰
	Mar	۲۳۲	۹۱٥۰۰
	Apr	۱۹٥	۷۸۰٤۱
	May	۹٦	٤۱۰۰٤

ادامه جدول ۲-۱۵ تغییرات ماهانه مصرف گاز ساختمان اداری بعد از بهینه‌سازی

سال	ماه	روز-درجات گرمایشی	گاز مصرفی واقعی (kwh)
۱۹۹۲	Jun	۳۹	۲۰۵۴۹
	Jul	۱۸	۱۳۴۶۱
	Aug	۲۶	۱۶۰۶۲
	Sep	۶۱	۲۸۷۴۰
	Oct	۱۰۳	۴۴۴۶۷
	Nov	۱۹۷	۷۷۲۰۶
	Dec	۲۹۰	۱۱۲۴۴۲
۱۹۹۳	Jan	۲۶۰	۹۸۹۵۰
	Feb	۲۵۳	۹۸۳۹۹
	Mar	۲۵۰	۹۷۷۶۰

۱. با توجه به مقادیر جدول **۱۴-Error! No text of specified style in document.** معادله خط پایه ساختمان با استفاده از روش رگرسیون خطی به شرح ذیل ترسیم می‌گردد.



شکل ۲۱-Error! No text of specified style in document. نمودار خط پایه ساختمان

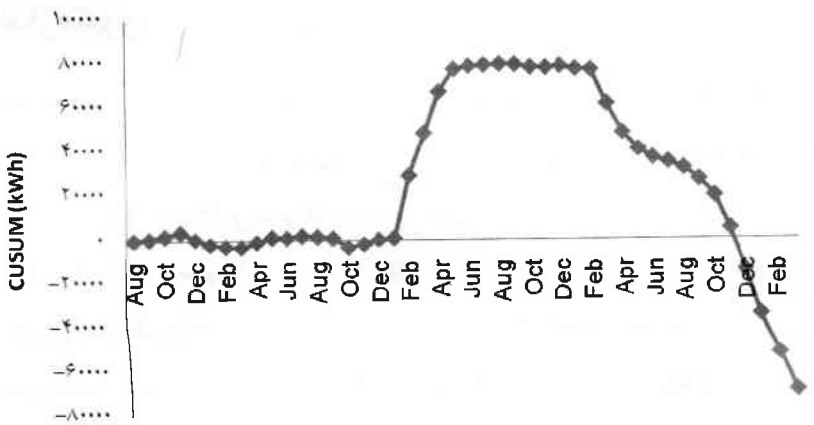
۲. میزان مصرف پیش‌بینی شده و اختلاف آن با حالت واقعی و مقدار CUSUM برای تمام داده‌ها در جدول **Error! ۱۶-No text of specified style in document.** محاسبه شده است.

جدول .Error! No text of specified style in document-۱۶ محاسبه مقادیر CUSUM

سال	ماه	روز-درجات گرمایشی	گاز مصرفی واقعی (kwh)	گاز مصرفی هدفگذاری شده (kwh)	اختلاف (kwh)	CUSUM (kwh)
۱۹۸۹	Aug	۱۸	۱۵۴۹۰	۱۵۴۳۱/۸	۵۸/۲	۵۸/۲
	Sep	۳۶	۲۳۷۰۰	۲۳۱۱۹/۶	۵۸۰/۴	۶۳۸/۶
	Oct	۱۰۹	۵۵۶۷۳	۵۴۲۹۷/۹	۱۳۷۵/۱	۲۰۱۳/۷
	Nov	۱۹۹	۹۴۳۸۲	۹۲۷۳۶/۹	۱۶۴۵/۱	۳۶۵۸/۸
	Dec	۲۳۹	۱۰۶۶۸۳	۱۰۹۸۲۰/۹	-۳۱۳۷/۹	۵۲۰/۹
۱۹۹۰	Jan	۲۴۷	۱۱۰۷۴۵	۱۱۳۲۳۷/۷	-۲۴۹۲/۷	-۱۹۷۱/۸
	Feb	۲۱۰	۹۶۴۵۸	۹۷۴۳۵	-۹۷۷	-۲۹۴۸/۸
	Mar	۲۰۷	۹۵۹۰۳	۹۶۱۵۳/۷	-۲۵۰/۷	-۳۱۹۹/۵
	Apr	۱۹۵	۹۳۲۶۵	۹۱۰۲۸/۵	۲۲۳۶/۵	-۹۶۳
	May	۱۱۷	۶۰۰۴۵	۵۷۷۱۴/۷	۲۳۳۰/۳	۱۳۶۷/۳
	Jun	۵۸	۳۲۲۶۷	۳۲۵۱۵/۸	-۲۴۸/۸	۱۱۱۸/۵
	Jul	۲۴	۱۸۸۴۹	۱۷۹۹۴/۴	۸۵۴/۶	۱۹۷۳/۱
	Aug	۱۲	۱۲۴۳۵	۱۲۸۶۹/۲	-۴۳۴/۲	۱۵۳۸/۹
	Sep	۶۰	۳۲۷۷۵	۳۳۳۷۰	-۵۹۵	۹۴۳/۹
	Oct	۹۵	۴۳۹۲۴	۴۸۳۱۸/۵	-۴۳۹۴/۵	-۳۴۵۰/۶
	Nov	۲۰۱	۹۵۰۱۲	۹۳۵۹۱/۱	۱۴۲۰/۹	-۲۰۲۹/۷
	Dec	۲۸۰	۱۲۹۵۰۵	۱۲۷۳۳۲	۲۱۷۳	۱۴۳/۳
سال	ماه	روز-درجات گرمایشی	گاز مصرفی واقعی (kwh)	گاز مصرفی هدفگذاری شده (kwh)	اختلاف (kwh)	CUSUM (kwh)
۱۹۹۱	Jan	۳۰۸	۱۴۰۰۲۲	۱۳۹۲۹۰/۸	۷۳۱/۲	۸۷۴/۵
	Feb	۳۳۸	۱۸۰۰۳۴	۱۵۲۱۰۳/۸	۲۷۹۳۰/۲	۲۸۸۰۴/۷
	Mar	۲۱۴	۱۱۸۵۲۴	۹۹۱۴۳/۴	۱۹۳۸۰/۶	۴۸۱۸۵/۳
	Apr	۲۰۱	۱۱۲۰۴۵	۹۳۵۹۱/۱	۱۸۴۵۳/۹	۶۶۶۳۹/۲
	May	۱۰۸	۶۴۰۴۵	۵۳۸۷۰/۸	۱۰۱۷۴/۲	۷۶۸۱۳/۴
	Jun	۶۷	۳۷۷۲۴	۳۶۳۵۹/۷	۱۳۶۴/۳	۷۸۱۷۷/۷
	Jul	۲۴	۱۸۴۹۰	۱۷۹۹۴/۴	۴۹۵/۶	۷۸۶۷۳/۳
	Aug	۲۱	۱۷۰۴۵	۱۶۷۱۳/۱	۳۳۱/۹	۷۹۰۰۵/۲

سال	ماه	روز-درجات گرمایشی	گاز مصرفی واقعی (kwh)	گاز مصرفی هدفگذاری شده (kwh)	اختلاف (kwh)	CUSUM (kwh)
	Sep	۳۵	۲۲٤۸۳	۲۲٦۹۲/٥	-۲۰۹/٥	۷۸۷۹٥/۷
	Oct	۱٤۰	٦٦۲۷٥	٦۷٥۳۸	-۱۲٦۳	۷۷٥۳۲/۷
	Nov	۲۱۹	۱۰۱۰٤۰	۱۰۱۲۷۸/۹	-۲۳۸/۹	۷۷۲۹۳/۸
	Dec	۲٦۲	۱۲۰٥۰۰	۱۱۹٦٤٤/۲	۸٥٥/۸	۷۸۱٤۹/٦
۱۹۹۲	Jan	۳۲۳	۱٤٤۲٤۰	۱٤٥٦۹۷/۳	-۱٤٥۷/۳	۷٦٦۹۲/۳
	Feb	۲۷۱	۱۲۳۱٤۰	۱۲۳٤۸۸/۱	-۳٤۸/۱	۷٦۳٤٤/۲
	Mar	۲۳۲	۹۱٥۰۰	۱۰٦۸۳۱/۲	-۱٥۳۳۱/۲	٦۱۰۱۳
	Apr	۱۹٥	۷۸۰٤۱	۹۱۰۲۸/٥	-۱۲۹۸۷/٥	٤۸۰۲٥/٥
	May	۹٦	٤۱۰۰٤	٤۸۷٤٥/٦	-۷۷٤۱/٦	٤۰۲۸۳/۹
سال	ماه	روز-درجات گرمایشی	گاز مصرفی واقعی (kwh)	گاز مصرفی هدفگذاری شده (kwh)	اختلاف (kwh)	CUSUM (kwh)
۱۹۹۲	Jun	۳۹	۲۰٥٤۹	۲٤٤۰۰/۹	-۳۸٥۱/۹	۳٦٤۳۲
	Jul	۱۸	۱۳٤٦۱	۱٥٤۳۱/۸	-۱۹۷۰/۸	۳٤٤٦۱/۲
	Aug	۲٦	۱٦۰٦۲	۱۸۸٤۸/٦	-۲۷۸٦/٦	۳۱٦۷٤/٦
	Sep	٦۱	۲۸۷٤۰	۳۳۷۹۷/۱	-٥۰٥۷/۱	۲٦٦۱۷/٥
	Oct	۱۰۳	٤٤٤٦۷	٥۱۷۳٥/۳	-۷۲٦۸/۳	۱۹۳٤۹/۲
	Nov	۱۹۷	۷۷۲۰٦	۹۱۸۸۲/۷	-۱٤٦۷٦/۷	٤٦۷۲/٥
	Dec	۲۹۰	۱۱۲٤٤۲	۱۳۱٦۰۳	-۱۹۱٦۱	-۱٤٤۸۸/٥
۱۹۹۳	Jan	۲٦۰	۹۸۹٥۰	۱۱۸۷۹۰	-۱۹۸٤۰	-۳٤۳۲۸/٥
	Feb	۲٥۳	۹۸۳۹۹	۱۱٥۸۰۰/۳	-۱۷٤۰۱/۳	-٥۱۷۲۹/۸
	Mar	۲٥۰	۹۷۷٦۰	۱۱٤٥۱۹	-۱٦۷٥۹	-٦۸٤۸۸/۸

۳. با توجه به جدول Error! No text of specified style in document.-۱۶ نمودار CUSUM در شکل Error! No text of specified style in document.-۲۲ رسم شده است.



شکل .Error! No text of specified style in document-۲۲ نمودار CUSUM ساختمان اداری

۴. با بررسی نمودار CUSUM مشخص می‌گردد که دو تغییر عمده در طول برنامه نظارتی ایجاد شده است. یکی در فوریه ۱۹۹۱ زمانی که مصرف انرژی بطور چشمگیری افزایش یافته است و دیگری در فوریه ۱۹۹۲ زمانی که مصرف انرژی شروع به کاهش نموده است. براساس گزارشات ممیزی انرژی و بررسی بیشتر در ساختمان موارد زیر مشخص گردید.

- در فوریه سال ۱۹۹۱ ساعت زمانی نصب شده بر روی سیستم گرمایشی اشتباه تنظیم شده بود و گرمایش ساختمان تا ساعت ۲۲ ادامه داشته و این موضوع سبب افزایش چشمگیر مصرف گاز شده است و در ماه مه سال ۱۹۹۱ مساله شناسایی و اصلاح گردیده است و از این نقطه مجددا منحنی CUSUM یک خط افقی شده است.
- در فوریه ۱۹۹۲ پنجره‌های قدیمی یک جداره در ساختمان اداری با پنجره‌های دوجداره تعویض گردید و این موضوع سبب کاهش مصرف انرژی گردید، قابل ذکر است در طول ماههای تابستان بدلیل کاهش تقاضای انرژی برای گرمایش ساختمان، دامنه شیب خط CUSUM کمتر شده است.

مروری بر تجهیزات اندازه‌گیری

اندازه‌گیری و ثبت اطلاعات عملکردی ساختمان سبب می‌گردد تا ممیز تصویر مناسبی از وضعیت مصرف انرژی ساختمان بدست آورد و تحلیل دقیق‌تری از مشکلات ساختمان و پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی داشته باشد. همچنین اندازه‌گیری جهت بررسی عملکرد سنسورها، ترموستاتها، کنتورها و ... و در صورت لزوم کالیبره نمودن آنها کاربرد دارد و می‌توان با استفاده از تجهیزات اندازه‌گیری میزان مصرف انرژی تجهیزات مصرف‌کننده انرژی را به تفکیک مشخص نمود. می‌توان اطلاعات دقیق و تفضیلی میزان مصرف را از طریق اندازه‌گیری‌های موضعی، نمودار دیماند و اندازه‌گیری آیتم‌های مختلف، بدست آورد.

به هنگام استفاده از تجهیزات در ممیزی باید به این نکته توجه داشت که همگی آنها دارای کالیبراسیون معتبر باشند تا بتوان از نتایج آنها مطمئن بود.

در مرحله اندازه‌گیری ممکن است محدودیت‌هایی بر پرسنل ممیزی و تکنیک‌های کار تحمیل شود. موارد زیر باید قبل از شروع ممیزی مشخص شوند و روی آنها تاکید شود:

- قسمت‌های خطرناک مثل ولتاژهای بالا، اجسام خطرناک
- الزاماتی که پرسنل مسئول و تایید شده باید داشته باشند مثل صلاحیت کار با تجهیزات ولتاژ بالا
- صلاحیت لازم و عدم سوء پیشینه
- الزامات سلامت پزشکی
- نیاز به لباس‌های محافظ و مخصوص کار
- محدودیت در استفاده از تجهیزات ممیزی مثل استفاده از تجهیزات ایمنی که در ولتاژ پایین عمل می کنند و هیچ نوع مواد سمی در بر ندارند
- دستورالعمل‌های ایمنی

پرسنل ایمنی و مسئولان باید از برنامه اطلاع کامل داشته باشند و از آنها خواست که در حین ممیزی از همکاری خود دریغ ننمایند.

جهت آشنایی با تجهیزات اندازه‌گیری در ادامه به ارائه اطلاعات دستگاه‌های مختلف پرداخته خواهد شد. قابل ذکر است که تجهیزات و اطلاعات ارائه شده به عنوان نمونه بوده و دستیابی به مدل‌های متفاوت با رنج کارکرد مختلف میسر می‌باشد.

تجهیزات اندازه‌گیری دما

نمایش و ثبت دما و رطوبت می‌تواند اطلاعاتی درباره عملکرد و سطح آسایش در فضایی که تحت بررسی است، فراهم آورد. نمودار تغییرات دما در چند روز نشان‌دهنده محدوده دمایی در دوره سکونت می‌باشد. نوسان شدید در دما در دوره‌های دارای سکونت می‌توانند نشان‌دهنده اشکال در سیستم یا کنترل HVAC باشند. مقادیر دما و رطوبت می‌توانند در نمودارهای دایره‌ای ترسیم شوند و با شرایط آسایش ASHRAE مقایسه شوند. در ذیل به اختصار شرایط کارکردی برخی از دستگاه‌های اندازه‌گیری دما ارائه شده است.

دماسنج

این دستگاه دارای یک ترموکوپل نوع K (NiCr-NiAl) برای اندازه‌گیری دما می‌باشد. با فشردن کلید روشن و خاموش، دستگاه به وضعیت اندازه‌گیری می‌رود. اگر تغییر دما در محیط اندازه‌گیری اعمال شود باید زمان کافی به دستگاه داده شود تا خود را با شرایط جدید تطبیق دهد. اطلاعات جمع‌آوری شده توسط دستگاه ذخیره می‌شوند. در این نوع دماسنج‌ها مقادیر دمایی به صورت ºC و یا ºF نمایش داده می‌شوند.

جدول .Error! No text of specified style in document-۱۷ محدوده عملکردی دماسنج

	Temperature
Sensor	K Thermocouple (NiCr-NiAl)
Measuring Range	-50…1000ºC (-75…1832ºF)
Accuracy	±0.7ºC (±1.3ºF) ±0.5% of mv (-40…900ºC) (-40…1650ºF) ±1ºC (±1.8ºF) ±1% of mv (remaining range)
Operating Temperature	0…50ºC(32…104ºF)

ثبت‌کننده رطوبت و دمای محیطی

این دستگاه برای اندازه‌گیری، ثبت و ذخیره‌سازی دما و رطوبت فضاهای مختلف و جهت بررسی شرایط تغییرات این پارامترها در شرایط مختلف کاربرد دارند.

جدول ۱۸-Error! No text of specified style in document. محدوده عملکرد ثبت‌کننده رطوبت و دمای محیطی

Measuring Range	0…100% RH	(-20…70°C)
Accuracy	± 3% RH ±0.5°C	(0…100% RH) (-20…70°C)
Operation Temperature	-20…70°C	

دماسنج تشعشعی مادون قرمز

این دستگاه یک سنجشگر دمایی تشعشعی با سنسور و لنز اپتیکی بوده و دارای پرتوی لیزری جهت مکان‌یابی محل اندازه‌گیری می‌باشد. دامنه اندازه‌گیری آن بین (۵۵۰+ - ۲۰-) درجه سانتیگراد بوده و قابلیت نشان دادن دما با دو مقیاس سلسیوس و فارنهایت را دارا می‌باشد. برد مفید اندازه‌گیری این دستگاه تا ۱۰۰۰ میلیمتر می‌باشد و دارای قابلیت‌های نگهداری اندازه‌گیری و نیز نگهداری بیشترین و یا کمترین مقدار اندازه‌گیری طی یک دوره اندازه‌گیری و نیز خاموش شدن اتوماتیک می‌باشد. باتوجه به تشعشعی بودن اندازه‌گیری، ضریب تشعشع جسم مورد نظر باید برای دستگاه مشخص شود که دستگاه قابلیت پذیرش این ضریب بین ۱-۰/۱ را با دقت ۰/۰۱ دارد. با وجود این قابلیت، مناسب‌ترین روش آنست که به جسم مورد نظر رنگ سیاه زده شود که در این حالت ضریب تشعشع ۰/۹۵ می‌باشد.

جدول ۱۹-Error! No text of specified style in document. مشخصات عمومی و دقت اندازه‌گیری دماسنج تشعشعی

Sensor	Thermopile,Frensel Lens
Range	-20°C~550 °C
Accuracy	±2 of Reading or ±3 °C/6 °F wichever is greater (at 18 °C ~ 28 °C ambient operating temperature).
Response Time	1Sec
Spectral Response	6~14μm

دستگاه تصویربردار حرارتی

این دستگاه یک سنجشگر دمایی تشعشعی است که دارای پرتو لیزری جهت مکان‌یابی محل اندازه‌گیری می‌باشد. دامنه اندازه‌گیری آن (32-482ºF) 0-250ºC بوده و قابلیت نمایش دما با دو مقیاس سیلیوس و فارنهایت را دارا می‌باشد. باتوجه به تشعشعی بودن اندازه‌گیری، ضریب تشعشع جسم مورد نظر باید برای دستگاه مشخص باشد که دستگاه قابلیت پذیرش این ضریت بین (۱- ۰/۱) را با دقت ۰/۰۱ دارد.

جدول ۲۰-Error! No text of specified style in document. مشخصات عمومی و دقت اندازه‌گیری دستگاه تصویربردار حرارتی

Range	0-250°C (32-482°F)
Accuracy	± 2% or ± 2°C (which ever is greater at calibration geometry)
Temperature Indication Resolution	0.1°C (°F)
Spectral Range	7 – 14 µm

معمولا دوربین‌های حرارتی دارای پارامترهای کارکردی زیر می‌باشند:

- Laser on/off: برای تعیین دمای یک نقطه معین از جسم، لیزر را روشن کنید.
- ºC or ºF selection: برای انتخاب واحد مناسب جهت نمایش دمای اندازه‌گیری شده، بکار می‌رود.

تنظیم روشنایی LCD: باتوجه به وضعیت نوری محل اندازه‌گیری می‌توان حالت کاملا روشن را برای محیط‌های سربسته و تاریک بکار گرفت، حال آنکه حالت خاموش برای محیط‌های سرباز که از روشنایی کافی برخوردارند، مناسب می‌باشد. برای صرفه‌جویی در مصرف باطری، حالت میانی انتخاب می‌شود.

دستگاه‌های تصویربردار حرارتی دارای سه حالت رنگ‌بندی تصاویر می‌باشند.

- rainbow: بیشترین تمایز به لحاظ رنگ را بین مناطق با دماهای متفاوت قائل می‌شود.
- ironbow: تغییر رنگ بین نواحی با دماهای متفاوت با شدت کمتری صورت می‌گیرد.
- gray scale: در این حالت تصاویر به صورت سیاه و سفید نمایش داده می‌شوند.

عموما اندازه‌گیری در حالت gray scale شروع می‌شود تا تصوری از نحوه تغییر دمای جسم (تغییر رنگ در تصویر) بدست آید، زیرا در این حالت چشم انسان توانایی بیشتری برای تشخیص مرزبندی‌ها به لحاظ تغییر رنگ دارد.

شرایط محیط اندازه‌گیری

وجود هرگونه آلودگی (دوده و غبار و ...) موجب کاهش دقت در اندازه‌گیری می‌گردد. علاوه بر این دستگاه برای محیط با دمای (32-122°F) 0–50°C کالیبره شده است. در صورتی که دمای محیط‌های اندازه‌گیری بیش از (18°F) 10°C اختلاف دما داشته باشند، باید حداقل ۲۰ دقیقه به دستگاه فرصت داد تا مجددا کالیبره شود.

این دستگاه‌ها در ساختمان‌ها برای بررسی نشتی هوا، رطوبت‌دهی از سقف، کیفیت عایق‌کاری ساختمان بکار گرفته شده و همچنین برای بررسی قسمت‌های الکتریکی یا مکانیکی تجهیزات بکار می‌رود.

به طور کلی از این دستگاه برای کنترل کیفیت مواد غذایی، کنترل مواد دارویی، کاوش‌های باستان‌شناسی، تشخیص‌های پزشکی، عملیات نجات، عملیات گروه‌های بازرسی و تشخیص نیروی پلیس استفاده می‌شود.

شرایط برای بررسی عایق‌کاری

در بررسی عایق‌کاری ساختمان اختلاف دمای داخل و بیرون حداقل (18°F) 10°C است و بررسی عایق‌کاری باید از داخل و بیرون ساختمان صورت پذیرد. می‌بایست نوع عایق و ساختمان آن معین باشد. در هنگام اندازه‌گیری تابش خورشید و اثر وزش باد در نظر گرفته شود و تا حد امکان تصحیح صورت گیرد.

شرایط بررسی نشتی هوا

در این حالت اختلاف دمای داخل و بیرون می‌تواند کمتر باشد. بررسی نشتی در ساختمان‌های بلند دشوار است و امکان بررسی تمامی نواحی داخل و بیرون ساختمان وجود ندارد.

شرایط بررسی نشتی رطوبت

نشت رطوبت از سقف موجب کاهش سقف می‌شود. لذا بررسی اثر نشتی رطوبت بسیار مهم می‌باشد. حین اندازه‌گیری می‌بایست هوا آفتابی، ساختمان گرم و سقف خشک باشد. بهتر است اندازه‌گیری در شرایطی که وزش باد وجود ندارد انجام گیرد. در حالتی که عایق‌کاری سقف سیاه رنگ باشد ممکن است در مقابل تشعشع مادون قرمز، خاصیت انعکاسی بالایی نشان دهد.

بررسی تجهیزات الکتریکی

هنگام بررسی تجهیزات الکتریکی توجه به نکات زیر ضروری است.

۱. داشتن دید مستقیم (اگر دستگاه مورد نظر داخل محفظه قرار گرفته باشد، بهتر است درهای محفظه را باز کرد.)
۲. در این گونه تجهیزات حتی اختلاف دماهای کم می‌تواند حائز اهمیت باشد، به‌ویژه در مورد تجهیزات بسیار بزرگ و در حالتی که امکان برداشتن درهای محافظ دستگاه وجود ندارد.
۳. اندازه‌گیری در حالتی که دستگاه در حداکثر بارگیری قرار دارد، انجام شود.
۴. سطوح با بیشترین میزان پخش که در مجاورت منبع حرارتی قرار دارند و نیز فیوزها می‌بایست مورد بررسی قرار گیرند.

۵. اثر وجود تابش خورشید و وزش باد در نظر گرفته شود.

حین بررسی تجهیزات الکتریکی می‌توان اتصالات با مقاومت رسانایی بالا و نیز اضافه بار و عدم توازن در سیستم را معین نمود. در واقع می‌توان وضعیت عملکرد هر دستگاه را بررسی کرده و قسمت‌هایی را که به درستی عمل نمی‌کنند و موجب کاهش بازده در کل فرآیند می‌گردند را شناسایی نموده و متناسب با وضعیت موجود نسبت به رفع آن، اقدام کرد.

اگر جزئی دارای دمایی پایین‌تر از مقدار مورد نظر باشد می‌تواند بیانگر محدودیت جریان در لوله‌های خنک‌کننده، فازهای برق خراب که به درستی عمل نمی‌کنند و یا فیوزهای سوخته باشد.

تجهیزات فرعی که بایستی مورد بررسی قرار گیرند شامل انواع کلیدها، ترانسفورمرها، فن‌های خنک‌کننده، اتصال دهنده‌ها، خازن‌ها و فیوزها (سیستم حفاظت از بارگذاری بیش از حد) می باشند.

حین بررسی تجهیزات الکتریکی، کلیه اتصالات مربوط به دستگاه مورد نظر و نیز نقاطی که مجددا جوش داده شده‌اند بایستی مورد توجه قرار گیرند.

در بررسی ترانسفورمرها بررسی کلیه اتصالات داخلی و خارجی، ضروری به نظر می‌رسد. در این خصوص توجه به نکاتی چون دسترسی دشوار، کم بودن ضریب پخش اجزا و قسمت‌های مختلف، امکان جرقه زدن و خطر آتش‌سوزی و همچنین عدم اطمینان از دما به دلیل قرارگیری تجهیزات داخل محفظه شیشه‌ای قابل توجه می‌باشد.

در بررسی مسیرهای تغذیه مشکلاتی چون دسترسی دشوار و اینکه وجود اختلاف دماهای بسیار کم نیز منجر به بروز مشکلات داخلی می‌شوند، وجود دارد.

در مرکز کنترل موتور کلیه اتصالات داخلی MCC و نیز مسیرهایی که از MCC به تغذیه‌کننده‌ها وجود دارد می‌بایست مورد بررسی قرار گیرند.

در مورد فیوزها نیز، فیوزهایی که قطع شده باشند دمای کمتری خواهند داشت، در این حالت تعیین دقیق منبع گرما می‌تواند دشوار باشد.

وزش باد در حین اندازه‌گیری می‌تواند موجب کاهش دقت اندازه‌گیری شود، زیرا انتقال حرارت جابجایی به شکل قابل ملاحظه‌ای صورت می‌گیرد. در این حالت به علت تبادل با محیط، دمای نقاط مورد نظر کمتر از مقدار واقعی گزارش خواهد شد. حتی زمانی که در محیط‌های سربسته قرار دارید، باز هم این اثر قابل ملاحظه خواهد بود.

بهتر است اندازه‌گیری در شرایطی که سرعت وزش باد بیش از ۱۰ مایل بر ساعت باشد، انجام نپذیرد. حین اندازه‌گیری Gainهای کوچکتری بکار برده شود و سعی گردد حتی‌المقدور، میزان آن را کاهش داد.

به طور کلی حین اندازه‌گیری تجهیزات برقی باید نکاتی چون بارگیری بالا، انتقال حرارت همرفت کم، ضریب پخش بالا و اندازه‌گیری برای ΔT کوچک مورد توجه قرار گیرند.

تجهیزات مکانیکی

انواع متنوعی از تجهیزات مکانیکی توسط این دستگاه مورد بررسی قرار می‌گیرند و می‌توان مکانیزم انتقال حرارت و نحوه عملکرد دستگاه مورد نظر و میزان افت حرارتی آن را بررسی نمود.

این تجهیزات شامل یاتاقان‌ها، اتصالات متحرک و اتصالات الکتریکی می‌باشند. البته توجه به برخی نکات در این خصوص لازمی می‌باشد. اول اینکه یاتاقان‌ها و اتصالات متحرک پس از نصب قابل دسترسی نخواهند بود. همچنین درخصوص موتورها

اگر امکان خنک شدن موتور فراهم نباشد، دمای موتور افزایش یافته و اتلاف حرارت از آن نیز بیشتر خواهد بود. درخصوص اتصالات نهایی نیز بررسی آنها ساده نیست و پیدا کردن معایب عملکردی آنها به سختی صورت می‌گیرد. نحوه قرار گرفتن تسمه و قرقره نیز زاویه دید را محدود می‌کند و بنابراین امکان اندازه‌گیری دقیق وجود ندارد.

تجهیزات اندازه‌گیری رطوبت

رطوبت سنج

این دستگاه برای اندازه‌گیری دما و رطوبت بکار می‌رود. این دستگاه با فشردن کلید روشن و خاموش به وضعیت اندازه‌گیری می‌رود. کاربر می‌تواند با کلیدی که معمولا با RH%/td نشان داده می‌شود، بین حالت نمایش میزان رطوبت و یا نقطه شبنم یکی را انتخاب نماید.

جدول .Error! No text of specified style in document-۲۱ دامنه عملکرد رطوبت‌سنج

Measuring Range	5…95%RH -20…70°C
Accuracy	3%RH (5…95%RH) 0.5°C (-20…70°C)
Operating Temperature	0…50°C
Storage Temperature	-20…70°C

رطوبت و دماسنج محیطی

این دستگاه یک سنجشگر دما و رطوبت محیطی می‌باشد که برای اندازه‌گیری دما از سنسور دمایی از نوع مقاومت پلاتینی و برای اندازه‌گیری رطوبت، از سنسور فیلم پلیمر خازنی استفاده می‌کند. این سنسور در مقابل کندانس آب و غالب عوامل شیمیایی مصونیت دارد. دامنه اندازه‌گیری دمایی دستگاه بین ۱۰۰-۰ درجه سانتیگراد و برای رطوبت نسبی بین (۱۰۰-۰)٪ می‌باشد و سرعت داده‌برداری آن در هر ثانیه ۲/۵ مرتبه می‌باشد. برای آنکه بتوان اندازه‌گیری دقیقی با این

دستگاه انجام داد، باید شرایط محیط اندازه‌گیری، در حالت تعادل باشد و زمان لازم برای به تعادل رسیدن دستگاه و محیط به آن داده شود. به طور متوسط زمان رسیدن به ۹۰٪ از دامنه اندازه‌گیری حدود ۶۰ ثانیه است. طی یک اندازه‌گیری با زمان کوتاه، ایجاد تغییرات دمایی توسط یک منبع حرارتی و نیز تغییرات رطوبتی شدید، می‌تواند باعث ایجاد خطا در اندازه‌گیری شود.

این دستگاه دارای نشانگر دیجیتال چهار رقمی بوده و قابلیت تفکیک ۰/۱ را برای نشان دادن دما و رطوبت دارد و نیز دارای توابع نگهداری اندازه‌گیری و نیز نگهداری بیشترین و یا کمترین مقدار اندازه‌گیری طی یک دوره اندازه‌گیری می‌باشد.

جدول ۲۲-Error! No text of specified style in document. مشخصات عمومی و دقت اندازه‌گیری رطوبت و دماسنج محیطی

	Relative Humidity	Temperature
Sensor	Electronic Capacitance Polymer Film	RTD Pt 385/1000 Ω
Range	0%~100% RH	-20°C~100 °C
Accuracy	±2.5% RH (10%~90% RH) ±5% RH (<10% , >90% RH)	±.5 °C (0 °C ~50 °C) ±1 °C (-20 °C ~0 °C ,50 °C~100 °C)
Measuring Rate	2.5 per Sec	2.5 per Sec
Response Time	60 Sec for 90% total range	Online

تجهیزات اندازه‌گیری سرعت و فشار

سرعت سنج

این دستگاه برای اندازه‌گیری دبی هوا بکار می‌رود و قابلیت اتصال به دو نوع پراب دارد:

- Vane Probe
- Hot Wire Probe

همچنین می‌توان دو نوع هود را نیز برای اندازه‌گیری سرعت بدین دستگاه متصل نمود.

جدول ۲۳-Error! No text of specified style in document. مشخصات عمومی و دقت اندازه‌گیری سرعت‌سنج

Probe Type	Measuring Range	Accuracy
Vane Probe	0.2 – 20 m/s 0 – 60°C	± 0.1m/s ± 1.5 of mv
Hot Wire Probe	0 – 20 m/s -20 - 70°C	± 0.03 m/s ± 4% of mv

برای اندازه‌گیری دبی جریان، در حالتی که جهت جریان معلوم است، پراب در مقابل جریان قرار داده می‌شود. به گونه‌ای که جهت جریان با علامت فلش نشان داده شده روی صفحه نمایشگر مطابقت کند. اگر جهت جریان معین نباشد، پراب را در

جهات مختلف جابجا کرده و مقادیر اندازه‌گیری شده خوانده می‌شود. جهت جریان در همان جهتی است که بیشترین میزان دبی را نمایش می‌دهد.

سرعت سنج و اختلاف فشارسنج

این دستگاه برای اندازه‌گیری فشار در یک نقطه از مسیر جریان، با برای اندازه‌گیری اختلاف فشار موجود بین دو نقطه از مسیر جریان بکار گرفته می‌شود. با بکار گرفتن لوله پیتوت دستگاه قادر است با استفاده از اختلاف فشار استاتیک و فشار کل (پاسکال)، s (ضریب لوله پیتو) و چگالی هوا (کیلوگرم بر مترمکعب)، سرعت (متر بر ثانیه) را از رابطه $v = s\sqrt{\frac{2P}{\rho}}$ محاسبه نماید. یک نوع لوله پیتوت توسط سیم رابط به دستگاه متصل می‌گردد.

جدول ۲۴-Error! No text of specified style in document. دقت اندازه‌گیری دستگاه سرعت‌سنج و اختلاف فشارسنج

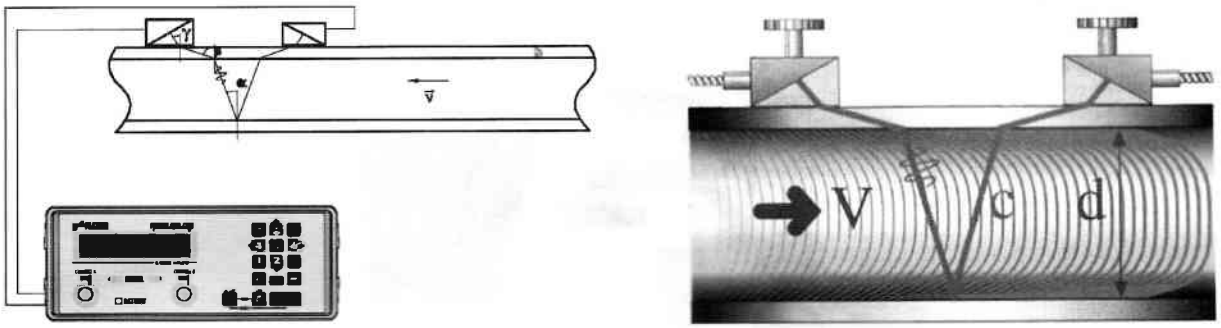
Probe Type	Pitot Tube	Pitot Tube	Integrated P
Measuring Range	5 – 55 m/s	16 – 10800 fpm	0 – 20 hpa
Operation Temperature	0 - 60°C		
Probes	Connection hose; 5m long, Max Load 700 hpa, Pitot Tube 350mm		

سرعت‌سنج آلتراسونیک

دستگاه اندازه‌گیری جریان، به کمک امواج مافوق صوت و براساس تغییرات سرعت امواج صوتی، هنگام حرکت در یک سیال متحرک و تاثیر سیال روی امواج صوتی کار می‌کند. محاسبه سرعت با انتشار امواج مافوق صوت به داخل لوله و سپس سنجش اختلاف زمان عبور، تغییرات فرکانس یا تغییر فاز سیگنال‌های مافوق صوت صورت می‌پذیرد. بزرگترین مزیت این روش اندازه‌گیری آنست که هیچ تاثیری روی جریان سیال ندارد و نیازی به قطع لوله‌ها، توقف فرآیند و خاموش کردن واحد نیست، هیچ افت فشاری در لوله‌ها بوجود نمی‌آید و قطعات و وسایل اندازه‌گیری مستهلک نمی‌شوند. سیگنال‌های مافوق صوت تقریبا بدون تاخیرند. بنابراین، این روش برای تشخیص وضعیت جریان دینامیکی کاملا مناسب است. پس از نصب سنسورها روی جداره خارجی لوله، یک پالس مافوق صوت بطور متناوب در جهت و در خلاف جهت جریان از سیال عبور می‌کند. در هر وضعیت، زمان عبور پالس‌های مافوق صوت متفاوت است، مانند شناگری که در جهت جریان سریعتر از خلاف جهت جریان شنا می‌کند. سرعت جریان سیال بر اساس اختلاف زمان عبور محاسبه می‌شود. اختلاف زمان عبور با معادله زیر بیان می‌شود:

$$\Delta t = \frac{2 \cdot L \cdot v \cdot \sin\alpha}{c^2}$$

ملاحظه می‌شود اختلاف زمان عبور با مربع سرعت جریان نسبت معکوس دارد. امواج مافوق صوت پس از ورود به جداره لوله توسط یکی از ترانسدیوسرهای مافوق صوت دریافت می‌شوند، بنابراین ترانسدیوسرها می‌توانند برای اندازه‌گیری بدون مداخله، روی سطح خارجی لوله نصب شوند. این روش که به آن روش Clamp–on نیز گفته می‌شود، از نوعی ترانسدیوسرهای مافوق صوت استفاده می‌کند که دارای بلوکهای تاخیر صدای گوه‌ای شکل است. پالسهای مافوق صوت، به صورت مایل به داخل لوله فرستاده می‌شوند و لوله‌ها آنها را تحت یک زاویه مشخص منتشر می‌کنند. هنگام عبور صدا در حاشیه مرز دو ماده مختلف که سرعت صوت در آنها متفاوت است، شکست شعاع صوتی یا انکسار موج صوتی رخ می‌دهد، بنابراین زاویه‌های متفاوت در شعاع صوتی در محل تماس لوله با ماده در حال جریان پدید می‌آید. عبور صوت از مواد مختلف که سرعت صوت در آنها متفاوت است بوسیله قانون شکست طبیعی Snellius بیان می‌شود.



شکل .Error! No text of specified style in document-۲۳ روش اندازه‌گیری دبی

سرعت جریان محاسبه شده بوسیله دستگاه (V_1)، سرعت متوسط جریان سیال در مسیر حرکت صوت را ارائه می‌کند. متوسط سطح مقطعی سرعت جریان (V_A) در لوله با ضرب کردن فاکتور تصحیح پروفیل (k') بدست می‌آید. این فاکتور در جریان آرام ۰/۷۵ است، اما در جریان مغشوش بین ۰/۸۹ تا ۰/۹۶ است، و دستگاه آنرا براساس عدد رینولدز محاسبه می‌کند. بنابراین پروفیل جریان دورانی متقارن لازم است، یعنی طولهای مستقیم کافی در جهت جریان و در خلاف جهت جریان باید به حساب آیند.

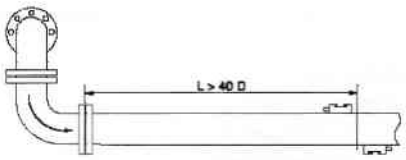
$$V_A = k' . V_1$$

کاربرد موفقیت‌آمیز اصل مافوق صوت برای اندازه‌گیری جریان به تحلیل پیشرفته داده‌ها به صورت On Line وابسته است. جریان سنج باید دائما تغییر وضعیت اندازه‌گیری را تشخیص دهد تا خود را بوسیله تحلیل خودآموز با آن تطبیق دهد، بنابراین دستگاه از میکروکنترلر و تحلیلگرهای سیگنال پیشرفته بهره می‌گیرد. با وجود استفاده از تحلیل‌گر سیگنال پیشرفته در اندازه‌گیری جریان به روش Clamp–on تعیین و ورود دقیق پارامترهای نقاط اندازه‌گیری بعلاوه تعیین دقیق محل نصب ترانسدیوسرها توسط کاربر شرط اولیه موفقیت در اندازه‌گیری است. تمامی پارامترهای ورودی لازم برای یک نقطه اندازه-گیری بوسیله یک منوی محاوره‌ای راهنما صورت می‌گیرد. دستگاه داده‌های ورودی را بررسی می‌کند و پارامترهای بی‌ربط و متناقض یا خارج از محدوده‌ای که کارخانه سازنده تعیین کرده را نمی‌پذیرد. زمانی‌که اندازه‌گیری باید در نقاط اندازه‌گیری مشابه تکرار شود کاربر می‌تواند پارامترها را در دستگاه ذخیره کند و آنها را فراخوانی نماید یا تغییر دهد. این دستگاه حاوی یک بانک اطلاعاتی از پارامترهای سیالات و جنس لوله‌هایی است که معمولا در تاسیسات صنعتی استفاده می‌شوند اما کاربر از آنها اطلاع ندارد. کاربر نیز می‌تواند شخصا پارامترهای سیالات یا مواد دیگر را اضافه کند.

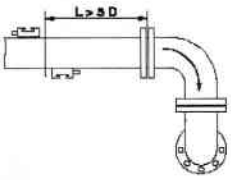
یکی از مهمترین عوامل در دقت اندازه‌گیری، انتخاب محل مناسب اندازه‌گیری است. محل اندازه‌گیری باید تا حد ممکن دارای جریان کاملا توسعه یافته و دور از اغتشاشات ایجاد شده توسط المان‌های مختلف نظیر پمپ، خم و ... باشد. براساس آزمایش‌های انجام شده، فواصل مناسب اندازه‌گیری از این موارد براساس قطر لوله در شکل Error! **No text of specified style in document.**-۲۴ ملاحظه می‌شود.

Disturbance source: 2 x 90 °-elbows in different planes

Inlet
L ≥ 40 D

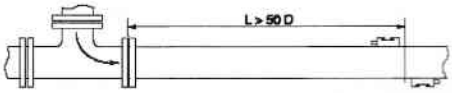


Outlet
L ≥ 5 D

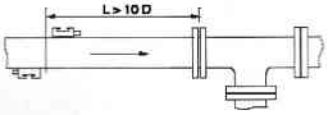


Disturbance source: T-section

Inlet
L ≥ 50 D

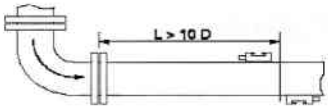


Outlet
L ≥ 10 D

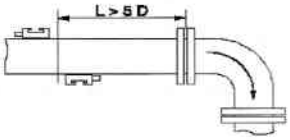


Disturbance source: 90 °-elbow

Inlet
L ≥ 10 D

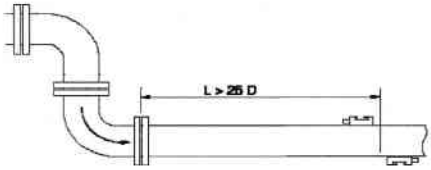


Outlet
L ≥ 5 D

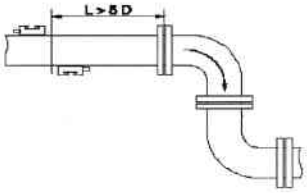


Disturbance source: 2 x 90 °-elbows in one plane

Inlet
L ≥ 25 D

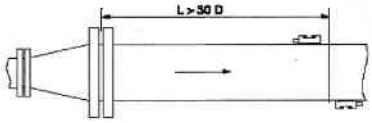


Outlet
L ≥ 5 D

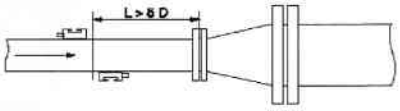


Disturbance source: diffuser

Inlet
L ≥ 30 D

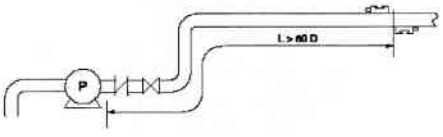


Outlet
L ≥ 5 D



Disturbance source: pump

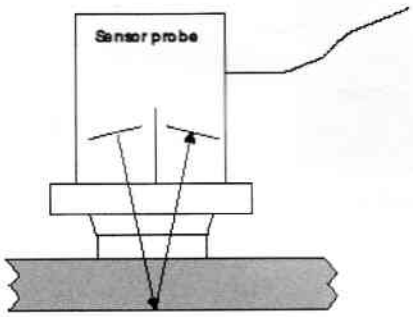
Inlet
L ≥ 50 D



شکل **Error! No text of specified style in document.**-۲٤ روش صحیح نصب دستگاه

یکی از پارامترهای مهم در اندازه‌گیری دبی سیال ضخامت جداره لوله است که برای اندازه‌گیری دقیق آن یک پراب ضخامت‌سنج آلتراسونیک نیز در دستگاه وجود دارد. با نصب این پراب به دستگاه و قرار دادن آن روی دیواره لوله دستگاه

پس از اندازه‌گیری ضخامت، آن را به عنوان ورودی اندازه‌گیری دبی در نظر می‌گیرد. اندازه‌گیری ضخامت نیز براساس سرعت صوت در جنس جداره لوله و انعکاس صوت در برخورد با جداره داخلی لوله و اختلاف زمانی سیگنال‌های صوتی تعیین می‌شود. در شکل .Error! No text of specified style in document-۲۵ نحوه اندازه‌گیری ضخامت ملاحظه می‌شود.



شکل .Error! No text of specified style in document-۲۵ روش اندازه‌گیری ضخامت جداره لوله

این دستگاه دارای قابلیت ذخیره‌سازی داده‌های اندازه‌گیری تا حجم ۱۰۰۰۰۰ داده، نشان دادن سرعت جریان و دبی در مقیاس‌های مختلف، انتگرال‌گیری از دبی و تعیین حجم کل عبوری، اتصال به کامپیوتر و انتقال داده‌ها و رسم منحنی‌های دبی و سرعت بوده و دارای باتری قابل شارژ با عمر موثر ۱۰ ساعت پس از هر شارژ می‌باشد. دقت اندازه‌گیری دبی با این دستگاه ۳-۱٪ مقدار اندازه‌گیری شده و یا ±۰/۰۱۵ m/s سرعت سیال می‌باشد و قابلیت اندازه‌گیری در تمام سیالات هادی صوت را با حداکثر ۱۰٪ محتوی گاز و یا جامد دارد.

دبی‌سنج و سرعت سنج هوا به همراه کانال جمع‌آوری

این دستگاه برای اندازه‌گیری دبی هوای خروجی از دیفیوزرها، اجاق‌ها و خروجی از اگزوز دستگاه‌ها می‌باشد.

این دستگاه شامل یک هود پارچه‌ای و یک پایه پلاستیکی است که نمایشگر و دگمه‌های عملیاتی، و یک حسگر چند شاخه در آن مستقر شده‌اند.

دبی هوا از طریق یک حسگر فیلمی داغ که در قسمت مرکزی حسگر چندشاخه قرار گرفته و نیز ۲۴ جفت نقطه حسگر که روی شاخه‌های حسگر چندشاخه قرار دارند، با بالاترین دقت ممکن حتی در حالت جریان غیر یکنواخت اندازه‌گیری می‌شود.

جدول .Error! No text of specified style in document-۲۵ شرایط عملکردی دستگاه دبی‌سنج و سرعت‌سنج هوا به همراه کانال جمع‌آوری

Flow Range	30-2000 CFM (15.0-1000 L/s) (50-3500 m^3/min) (0.84-55.0 m^3/min)
Accuracy	± 5% Reading ± 5 CFM (± 5% reading ± 2/4 L/s) (± 5% Reading ± 8.5 m3/hr)
Operating Temperature Range	32 - 140°F (0 - 60°C)
Accuracy	± 1°F (0.5°C)
Data Memory	1000 points = sum of systems + branches + terminals
Power	4 c Size batteries (4 Alkaline batteries provided)

دورسنج نوری و تماسی

این دستگاه برای اندازه‌گیری سرعت دورانی محورهای دوار بکار رفته و قابلیت کار به صورت تماسی و نیز نوری را دارا می‌باشد.

جدول .Error! No text of specified style in document-۲۶ عملکرد دستگاه دورسنج نوری و تماسی

Probe Type	Optically with mod. Light beam	Mechanical
Measuring Range	1…99999 rpm	1…19.999 rpm
Accuracy	± 0.02% of mv (1…99999 rpm)	0.02% of mv (1…19.999 rpm)
Operation Temperature	0…50°C	

تجهیزات اندازه‌گیری آنالیز جریان گاز

جهت به حداکثر رساندن راندمان احتراق، شناسایی اجزای گازهای احتراق ضروری می‌باشد. با تعیین یک نسبت هوای احتراق مناسب، انرژی قابل توجهی صرفه‌جویی می‌شود.

آزمایش احتراق شامل تعیین غلظت محصولات احتراق، در دودکش گاز می‌باشد. محصولات احتراق اغلب شامل دی-اکسیدکربن (Co_2) و مونواکسیدکربن (Co)، هستند. اکسیژن (O_2) نیز جهت اطمینان از سطح هوای اضافه، اندازه‌گیری می-شود.

غلظت‌های معمول عبارتند از: Co_2: ٪۲۰-۰، O_2: ٪ ۲۱-۰ و Co: ٪ ۰/۵-۰

این دستگاه توانایی سنجش میزان اکسیژن، مونواکسیدکربن و دی‌اکسیدکربن موجود در گازهای اگزوز با دماهای مختلف را دارا می‌باشد. این دستگاه با استفاده از پراب مخصوص خود که باید در مسیر جریان دود خروجی اگزوز قرار گیرد، مقداری از گاز اگزوز را به کمک پمپ تعبیه شده در دستگاه مکیده و پس از فیلتر کردن آن و جذب ذرات جامد و همچنین رطوبت‌گیری از این گاز، آن را از سل‌های مخصوص اندازه‌گیری عبور می‌دهد. سل‌های الکتروشیمیایی نصب شده در دستگاه که هریک وظیفه اندازه‌گیری یک ماده خاص را برعهده دارند، پس از چند ثانیه که برای پایدار شدن شرایط اندازه‌گیری به طول می‌انجامد، میزان ماده موجود را محاسبه و این مقادیر به طور پیوسته در صفحه نمایش دستگاه قابل ثبت خواهد بود. علاوه بر سل‌های الکتروشیمیایی موجود، این دستگاه دارای ترموکوپل برای اندازه‌گیری دمای محیط و گازهای احتراقی می‌باشد. همچنین یک اختلاف فشارسنج برای اندازه‌گیری میزان افت فشار در این دستگاه تعبیه شده‌است. همچنین این دستگاه دارای ماژول‌های محاسباتی جهت تعیین درصد هوای اضافی و راندمان خالص و ناخالص و همچنین دارای مشخصات سوخت‌های مختلف می‌باشد. همچنین با استفاده از پراب و سل‌های مخصوص می‌توان به این دستگاه قابلیت اندازه‌گیری سرعت و نیز آنالیز میزان دی‌اکسید گوگرد و اکسیدهای نیتروژن را اضافه نمود.

تجهیزات اندازه‌گیری برقی

توان‌سنج الکتریکی، دستگاه اندازه‌گیر دیجیتال پیشرفته‌ای می‌باشد که برای اندازه‌گیری و نمایش پارامترهای الکتریکی و موارد کنترلی از آن استفاده می‌شود. برخی از موارد استفاده این دستگاه به قرار زیر است:

۱. به عنوان یک Analog Transducer استفاده شود.
۲. برای اتوماسیون در پست‌های برق استفاده شود.
۳. برای اندازه‌گیری‌های متداول برقی استفاده شود.
۴. برای اندازه‌گیری‌های صنعتی و تجاری استفاده شود.
۵. برای مانیتورینگ تقاضا به کار رود.

کمیات قابل اندازه‌گیری توسط دستگاه به شرح ذیل است:

- اندازه‌گیری لحظه‌ای ولتاژ (خط به خط و فاز) و مقادیر متوسط آن، جریان در هر فاز و متوسط جریان، توان حقیقی در هر فاز و کل توان حقیقی، توان راکتیو هر فاز و کل توان راکتیو، توان ظاهری هر فاز و کل توان ظاهری، ضریب توان در هر فاز و ضریب توان کل، عدم تعادل ولتاژ و جریان و فرکانس
- انرژی: KVARh و KWh ورودی، خروجی و مقدار خالص آن و نیز KVAh ورودی با قابلیت برنامه‌ریزی جهت اندازه‌گیری ولت-ساعت و آمپر-ساعت و غیره
- دیماند: محاسبه دیماند و حداکثر آن
- جریان عدم تعادل: قابلیت اندازه‌گیری جریان عدم تعادل در سیستم‌های سه فاز چهار سیمه
- هارمونیک: قابلیت محاسبه اعوجاج تکی و کلی هارمونیک‌های ولتاژ و جریان ورودی تا مرتبه ۱۵ و محاسبه ضریب K برای جریان‌های ورودی
- ثبت و ضبط اطلاعات و رخدادها شامل ثبت آماری و امکان تعریف اولویت در اعلام رخدادها و اخطارها.

توان‌سنج الکتریکی قادر به انجام پردازش‌های محاسباتی روی مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد (مانند محاسبه BTU با جمع کل ورودی‌ها یا محاسبه تلفات ترانسفورمرها).

می‌توان از عملگرهای منطقی و SETPOINTها برای تنظیم آلارم‌ها و تجهیزاتی که جهت حفاظت دستگاه وجود دارد، استفاده کرد. از طرف دیگر می‌توان الگوریتم‌هایی برای کنترل خازن‌های تصحیح ضریب توان و دیماند تعریف کرد.

برای انجام اندازه‌گیری صحیح باید اتصالات ولتاژ، جریان و نیز جریان زمین دستگاه به طور صحیح به محل اندازه‌گیری متصل شود. این اتصالات می‌توانند به صورت مستقیم و یا با CT و PT انجام گیرد. جهت عملکرد صحیح دستگاه باید توجه داشت که فازها و پلاریته ولتاژهای AC به طور صحیح وصل شوند و دامنه ولتاژهای ورودی در یک محدوده مشخص باشند تا به دستگاه آسیبی وارد نشود. جهت نمونه‌برداری از جریان بار هر فاز می‌بایست از CTهایی با نسبت تبدیل مناسب استفاده کرد. ضریب تبدیل CTها را می‌توان به صورت نرم‌افزاری برای دستگاه تعریف کرد.

این دستگاه جهت اندازه‌گیری کمیاتی چون فرکانس، توان و اندازه‌گیری‌هایی که در ارتباط با انرژی باید انجام گیرند از ترمینال V_1 به عنوان مرجع اصلی اندازه‌گیری استفاده می‌کند، لذا باید اتصالات ترمینال V_1 با دقت کافی انجام پذیرد. ترمینال V_{ref} به عنوان مرجع صفر دستگاه استفاده می‌شود و برای اندازه‌گیری صحیح و دقیق اتصال به V_{ref} ضروری می‌باشد. جهت اندازه‌گیری جریان توسط دستگاه، باید از CT استفاده کرد. این CTها باید حداکثر جریان نامی ۵ الی ۱۰ آمپر را در ثانویه خود داشته باشند. مقدار اولیه CT با توجه به جریان محل اندازه‌گیری انتخاب می‌شود. ثانویه CTها باید توانایی بارهای بزرگتر از ۳ ولت آمپر را داشته باشد. همچنین طول سیم‌های ارتباطی CT می‌بایست حتی‌الامکان کوتاه انتخاب گردد چرا که این طول در BURDEN ثانویه CTها نقش بسزایی دارد. از طرف دیگر باید توجه کرد که BURDEN در CTها از مجموع BURDEN تجهیزاتی که به ثانویه CT اتصال دارند، بیشتر باشد.

تجهیزات اندازه‌گیری روشنایی

دستگاه اندازه‌گیری سطح روشنایی وسیله‌ای است که توسط آن ممیزی سیستم روشنایی، انجام می‌گیرد. دستگاه اندازه-گیری سطح روشنایی جهت اندازه‌گیری میزان روشنایی، در واحد فوت کاندل، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این دستگاه قابل حمل، سبک وزن و دارای باطری می‌باشد که استفاده از دستگاه را آسان می‌نماید. جهت انجام اندازه‌گیری دقیق، اندازه‌گیری روشنایی بایددر مکان‌هایی که کارهای بصری انجام می‌شود، مانند سطح میزکار، انجام گردد.

باید مراقب بود که اندازه‌گیری را طوری انجام داد که سایه‌ای بر سنسور دستگاه قرار نگیرد. توجه اولیه ممیزی انرژی بر کمیت روشنایی است، در حالی که موارد کیفیتی نیز وجود دارد که فرد ممیز ممکن است براساس نوع تجهیزات، به آن توجه نماید.

تجهیزات اندازه‌گیری نفوذ هوا

نمایش و ثبت دما و رطوبت در طول زمان می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را برای فرد ممیز جهت نرخ‌های تهویه، طرح‌های سکونت، عملیات سیستم HVAC و شرایط کلی آسایش داخلی فراهم آورد.

غلظت دی اکسیدکربن محیط خارجی اغلب در محدوده ۲۵۰ ppm تا ۳۵۰ ppm می‌باشد. با اندازه گیری و ثبت سطح دی اکسیدکربن در طول زمان، غلظت‌های بالاتر از شرایط محدوده می‌تواند جهت تعیین زمانی که فضا به طور واقعی اشغال شده است، استفاده گردد.

سطح دی اکسیدکربن بالاتر از ۱۰۰۰ ppm می تواند نشان دهنده این باشد که نرخ تهویه کافی نیست. سطوح دی اکسیدکربن که در نزدیک سطح محیط خارجی در طول روز قراردارد ممکن است نشان دهنده این باشد که تهویه بیش از حد وجود دارد.

این دستگاه برای بررسی کیفیت هوای اتاق و سایر محیط‌های بسته به لحاظ میزان دی‌اکسیدکربن می‌پردازد.

پس از روشن شدن دستگاه پس از مدت کوتاهی دستگاه برای اندازه‌گیری آماده می‌شود. حدود یک دقیقه زمان لازم است تا غلظت دی‌اکسیدکربن موجود در حسگر با شرایط محیطی هماهنگ شود. تشکیل کندانس در پراب دقت اندازه‌گیری را کاهش می‌دهد.

مقدار دی‌اکسیدکربن خوانده شده توسط دستگاه بستگی زیادی به مقدار فشار مطلق هوا در محل اندازه‌گیری دارد. بنابراین باتوجه به ارتفاع از سطح دریا در محل اندازه‌گیری می‌توان از جداول موجود مقدار فشار مطلق هوا را محاسبه نمود.

جدول ۲۷-Error! No text of specified style in document. محدوده عملکرد سنجشگر دی‌اکسیدکربن

Probe Type	2channel infrared sensor
Measuring Range	0… 9999ppm Co_2
Accuracy	±(50ppm CO_2 ±2% of mv) (0…5000ppm CO_2) ±(100ppm CO_2 ±3% of mv) (5001…9999ppm CO_2)
Measuring Med Operating Temperature	0…50°C
Storage Temperature	-20…70°C

تجهیزات اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت دیوارها

ممیزی انرژی تفصیلی، فراگیرترین روش ممیزی بوده لیکن نوعی ممیزی زمان مصرف می‌باشد. به ویژه، در روش مذکور از تجهیزات اندازه‌گیری مصرف انرژی برای تمام ساختمان یا برای برخی از سیستم‌های داخلی ساختمان (به عنوان نمونه در بخش مصرف نهایی: سیستم‌های روشنایی، تجهیزات اداری، فن‌ها، چیلرها و غیره) استفاده می‌شود. علاوه بر این، برنامه‌های شبیه‌سازی بسیار پیچیده‌ای جهت ممیزی انرژی تفصیلی برای ارزیابی و پیشنهاد جایگزین‌های مناسب انرژی تاسیسات به کار می‌روند.

تکنیک‌های 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 بلندمدت، از حسگرهای مختلفی استفاده می‌شود که داده‌ها را در هر لحظه اندازه گرفته و مستقیما جهت انجام پردازش به سیستم‌های جمع‌آوری کننده که قدرت نظم دادن به اطلاعات را داشته و از راه دور قابل کنترلند، ارسال می‌کنند.

برنامه های شبیه سازی کامپیوتری که در ممیزی انرژی تفصیلی استفاده می شوند، امکان توزیع مصرف انرژی برحسب نوع بار (یعنی مصرف انرژی در روشنایی، فنها، چیلرها، بویلرها و غیره) را فراهم می‌کنند. این برنامه‌ها غالبا براساس عملکرد حرارتی پویای سیستم های انرژی ساختمان بوده و نیاز به تخصص و آموزش های سطح بالای مهندسی دارند.

در ممیزی انرژی تفصیلی، ارزیابی دقیق اقتصادی از راهکارهای صرفه‌جویی انرژی انجام می‌گیرد. مخصوصا به صرفه بودن جایگزینی‌های انرژی براساس تجزیه و تحلیل هزینه دوره کارکرد نسبت به تحلیل دوره بازگشت سرمایه ساده انجام می‌گیرد. تجزیه و تحلیل هزینه دوره کارکرد، تعدادی از پارامترهای اقتصادی نظیر نرخ بهره، تورم و تعرفه‌های مالیاتی را وارد محاسبات می‌کند.

اجرای ممیزی انرژی بسته به نوع ممیزی، اندازه و کارکرد ساختمان چندین مرحله را در بر می‌گیرد. جدول Error! **No text of specified style in document.**-۲۸ مراحل مختلف اجرای ممیزی انرژی را نشان می‌دهد. این جدول بیانگر آن است که مقدار قابل توجهی از کارها را می‌توان بدون حضور در محل و به هنگام آماده‌سازی و تحلیل و بررسی‌ها انجام داد. همچنین لازم است رویکرد سازمان یافته‌ای براساس اصول، تعیین کرد.

جدول Error! No text of specified style in document.-۲۸ **- چگونگی انجام ممیزی انرژی**

مرحله	وظیفه
طرح‌ریزی اولیه	تعیین محدوده ممیزی: کل سایت، ساختمان یا سیستم تعیین عمق مطالعه و میزان جزئیات تعیین تاریخ شروع و پایان ممیزی تنظیم سبک گزارش: خلاصه، دقیق یا تفضیلی
جمع‌آوری داده‌های اولیه (قبل از دیدن سایت)	جمع آوری داده‌های ممکن قبل از رفتن به سایت جمع‌آوری صورت‌حساب مصرف انرژی برای انواع سوخت مصرفی (کیلو وات ساعت) اطلاعات مربوط به زیر بنا و طرح‌های اولیه ساختمان
جمع‌آوری داده‌های اولیه (قبل از دیدن سایت)	کاربری ساختمان و الگوی بهره‌برداری از آن تهیه اطلاعات مربوط به سیستم‌های تهویه، سرمایش و گرمایش پایه
ممیزی/ تحلیل اولیه (قبل از	آشنایی با طرح اولیه و سیستم‌های ساختمان شناسایی قسمت‌های کلیدی جهت بازدید محاسبه میزان مصارف انرژی در طول یکسال ($(kW.h)/m^2$).

مرحله	وظیفه
دیدن سایت)	مقایسه مصرف واقعی ساختمان با مقادیر استاندارد جهت شناسایی صرفه-جویی‌های بالقوه
بررسی اولیه سایت	بررسی کاربرد اصلی هر سیستم جمع‌آوری اطلاعات مربوط به تجهیزات ارزیابی وضعیت سیستم کنترل بررسی عملکرد مدیریت مصرف انرژی ثبت اعداد کنتور در طول دوره بررسی جمع‌آوری اطلاعات مربوط به ساعت‌های بهره‌برداری تجهیزات اطمینان از صحت مساحت زیربنا و سایر اطلاعات تهیه فهرستی از راهکارهای صرفه‌جویی انرژی عملی در حین بررسی گفتگو با پرسنل تعمیر و نگهداری یا بهره‌برداری در مورد استفاده از ساختمان و سیستم‌های آن
بررسی اولیه سایت	کسب اطلاعات در مورد مشکلات یا تغییرات و طرح‌های آتی ساختمان
تحلیل	تعیین شرایط آب و هوایی محل ممیزی بررسی مجدد عملکرد واقعی ساختمان با شاخص‌ها به منظور شناسایی صرفه‌جویی‌های بالقوه شناسایی راه‌حل‌های ممکن برای سیستم‌هایی که عمکرد ضعیفی دارند تحلیل اطلاعات کنتورها بررسی نقاط ضعف سیستم‌ها بررسی راهکارهای صرفه‌جویی انرژی عملی و بسط و توسعه مداوم آن تخمین هزینه صرفه‌جویی‌های بالقوه و هزینه‌های بهره‌برداری هر یک از راهکارها ارزیابی اقتصادی راهکارها از قبیل دوره بازگشت ساده یا هزینه‌های کل عمر مفید شناسایی داده‌هایی که از قلم افتاده‌اند یا داده‌هایی که از دقت کافی برخوردار نیستند
بررسی نهایی سایت	جمع‌آوری تمام داده‌های از قلم افتاده و بهبود داده‌هایی که از دقت کافی برخوردار نیستند بررسی بیشتر کاربردهای غیر کارا که در تحلیل‌ها شناسایی شده‌اند یکپارچه نمودن کلیه راهکارهای صرفه‌جویی انرژی برای اطمینان از عملی بودن آنها
بررسی نهایی سایت	گفتگو با پرسنل تعمیر نگهداری/ بهره‌برداری در مورد راهکارها برای اطمینان از عملی بودن آنها گفتگو با تامین‌کنندگان تجهیزات در مورد پیاده‌سازی برای اطمینان از کاربردی بودن آنها
تحلیل نهایی	یکپارچه نمودن ممیزی انرژی چک نهایی عملکرد واقعی با شاخص‌ها یکپارچه نمودن صرفه‌جویی‌های ممکن در هزینه یکی کردن هزینه‌های پیاده‌سازی برای بدست آوردن مقدار دوره بازگشت سرمایه ساده

مرحله	وظیفه
گزارش دهی	تهیه گزارشی از موارد بررسی شده سیستم و ساختمان نشان دادن ممیزی انرژی در قالب نمودار نشان دادن عملکرد واقعی در مقایسه با شاخص‌ها نگارش بخش کوتاهی که توضیح دهنده هر یک از راهکارهای صرفه‌جویی انرژی است که نشان دهنده محاسبات مختصری از برگشت‌های اقتصادی است مشخص کردن سایر مزایای بدست آمده که ممکن است در نتیجه راهکارها باشد، مثل افزایش سطح آسایش تهیه خلاصه و گزارش مدیریتی
گزارش دهی	فهرست نمودن صرفه‌جویی‌ها جهت اولویت‌بندی کردن آنها- معمولا برمبنای دوره‌های بازگشت ساده و سهولت پیاده‌سازی نشان دادن صرفه‌جویی‌های کلی، هزینه‌های پیاده‌سازی و دوره بازگشت سرمایه

روش عمومی ممیزی انرژی تفصیلی

مراحل اجرای ممیزی انرژی تفصیلی در ساختمان را می‌توان در سه مرحله به شرح زیر معرفی نمود.

گام ۱: شناسایی وضعیت موجود ساختمان

هدف اصلی در این مرحله ارزیابی ویژگی‌های سیستم‌های انرژی و الگوهای مصرف انرژی برای ساختمان می‌باشد. در اولین قدم می‌بایست شرایط اقلیمی محل قرارگیری ساختمان بررسی شده و میزان تاثیرپذیری شرایط ساختمان از شرایط آب و هوایی تعیین گردد. پس از آن خصوصیات ساختمان از نقشه‌های معماری/ مکانیکی/ الکتریکی با مشورت اپراتورهای ساختمان استخراج گردد و الگوهای مصرف انرژی از صورت‌حسابهای مربوط به چندین سال گذشته فراهم شود. بنابراین جمع‌آوری قبوض مصرف انرژی مربوط به چند سال قبل و همچنین اطلاعات مربوط به ساختمان از قبیل نقشه اولین مرحله در وضعیت شناسایی ساختمان می‌باشد.

صورت‌حساب‌ها یا قبض‌ها، منابع اصلی اطلاعات مربوط به انرژی، هزینه‌ها و تعرفه‌ها هستند. بنابراین بهتر است به جای یادداشت‌های دست نوشته، قبض‌های اصلی مورد استفاده قرار گیرند تا احتمال بروز خطا به حداقل کاهش یابد. اطلاعات مربوط به تاریخ و اعداد خوانده شده از کنتورها، در بررسی و تفسیر آنها کمک بسیار مفیدی است. در استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده از ساختمان توجه به برخی نکات لازم می‌باشد که در زیر به آنها اشاره شده است:

- می‌بایست اطلاعات مربوط به قبض‌های مدت ممیزی نیز مورد استفاده قرار گیرند و فقط به قبض‌هایی که پرداخت شده‌اند اکتفا ننمود.
- برای سوخت‌هایی که در مخازن نگهداری می‌شوند (مثل نفت، سوخت جامد، و غیره) فاکتورهای تحویل سوخت در طول دوره ممیزی جمع‌آوری شوند.
- بررسی شود که آیا کلیه اطلاعات از روی قبض‌ها قابل شناسایی می‌باشند و اینکه آیا همه موارد لحاظ شده است یا خیر.
- اطمینان حاصل گردد که اطلاعات و داده‌های هر یک از انواع انرژی، تا حد امکان، به دوره یکسانی اشاره داشته باشد.

- در صورتی که اطلاعات و داده‌های صورتحساب‌ها و قبوض کافی نبوده و یا در دسترس نباشند، می‌توان از تامین کنندگان انرژی کمک گرفت و با آنها مشاوره کرد.

پس از جمع‌آوری اطلاعات مربوط به نوع سوخت مصرفی و مقادیر مصارف، لازم است تا تحلیلی بر روی نتایج بدست آمده از قبوض و مدارک ساختمان انجام گردد. تحلیل هزینه و مصرف از روی قبض‌ها، به انتخاب اولویت‌های ممیزی کمک می‌کند. داده‌های ساختمان می‌بایست به شرح زیر تحلیل شود:

- شناسایی همه انواع انرژی که مورد مصرف قرار می‌گیرند.
- یادداشت برداشتن از اعداد خوانده شده تخمینی که معمولا برای منابع کم گاز یا برق صورت می‌گیرد. تخمین‌ها اغلب بر مبنای میزان مصرف دوره‌های مشابه از سال قبل می‌باشد و ممکن است، کاملا نادرست باشند.
- اطمینان از اینکه مقادیر مصرف انرژی برای طول یکسال موجود باشد. قبض‌های مربوط به دوره اول یا آخر، اعداد تخمینی و یا اعداد خوانده شده در زمان‌های نادرست به مقداری تجزیه و تحلیل نیاز دارند.
- میزان مصرف هر یک از انواع انرژی را به واحد متعارف (kW.h) تبدیل کرد. در صورتی که مقادیر واقعی در دسترس نباشند، می‌توان مقادیر فرضی را در نظر گرفت.
- درصد هزینه و مصرف انرژی کل را برای هر یک از انواع انرژی به صورت تفکیکی محاسبه کرده و میانگین هزینه کل در هر kW.h از انواع انرژی مشخص شود تا اهمیت نسبی آن مشخص گردد.
- جدولی که در آن مجموع مصرف سالیانه و هزینه هر یک از انواع سوخت در یک سال وجود داشته باشد تهیه گردد.
- نمودار دایره‌ای مصرف انواع انرژی تهیه شود تا سهم مصرف و هزینه هر یک از انواع انرژی مشخص شود.
- اطلاعات مصارف انرژی در سال‌های قبل با اطلاعات انرژی طول مدت ممیزی مقایسه گردد.
- باتوجه به نتایج حاصله از اطلاعات ساختمان، اولویت‌های بررسی مشخص گردد.

گام ۲: ممیزی انرژی ساختمان و مقایسه مصرف انرژی ساختمان با استاندارد

در این مرحله می‌بایست محل ساختمان مورد بازدید قرار گیرد. در ابتدا باید از صحت اطلاعات جمع‌آوری شده در مرحله قبل اطمینان حاصل نمود و با استفاده از ابزارهای اندازه‌گیری و تجهیزات سایر اطلاعات مورد نیاز را جمع‌آوری نمود.

به عنوان بخشی از ممیزی، باید تفکیک انرژی در بخش‌های مختلف مصرف انرژی انجام پذیرد. در این راستا توجه به نکات زیر لازم می‌باشد:

- جدولی مشابه با جدول ۲۹-Error! **No text of specified style in document.** برای ساختمان در مرحله ممیزی اولیه تهیه گردد و همه داده‌های مصرف اندازه‌گیری در آن وارد شود. سوخت‌ها باید به صورت مجزا در نظر گرفته شوند چرا که هزینه‌های متفاوتی دارند.

جدول ۲۹-Error! No text of specified style in document.- مصرف انرژی اندازه‌گیری شده

دسته‌بندی مصارف	حامل سوخت		
	برق	گاز	نفت
گرمایش			
آبگرم			
تهویه مطبوع			
روشنایی			
سایر موارد			
کل مصرف			

- ضرایب انتقال حرارت ساختمان از روش‌های ارائه شده در فصل ۲ محاسبه شده و نیازهای حرارتی و برودتی ساختمان محاسبه گردد.

اگر مجموع انرژی خریداری شده و محاسبه شده با هم مغایرت داشته باشند در آن صورت باید به دنبال داده‌های معتبرتری برای انجام تخمین‌های دقیق‌تر کاربرد نهایی بود تا زمانی که تعادل برقرار شود.

پس از آن براساس نتایج حاصل شده از فرآیند ممیزی، مدلسازی ساختمان توسط نرم‌افزارهای پیشرفته انجام می‌گردد. هدف اصلی در این مرحله توسعه مدل مبنایی است که مصرف انرژی موجود و شرایط بهره‌برداری ساختمان را تشریح کند. این مدل، مرجعی است که میزان کاهش مصرف انرژی را با اجرای راهکارهای مختلف صرفه‌جویی تخمین می‌زند. در این مرحله نیاز است که از نقشه‌های معماری/ مکانیکی/ الکتریکی و کنترلی ساختمان که در مرحله بازدید به روزرسانی شده‌اند استفاده گردد. از نتایج مربوط به ارزیابی تجهیزات ساختمانی از لحاظ بازدهی، عملکرد و قابلیت اطمینان آنها و از برنامه‌های زمانی اشغال ساختمان و همچنین بهره‌برداری از تجهیزات (مثل سیستم‌های روشنایی و سیستم HVAC) در مدلسازی ساختمان استفاده می‌گردد. بر اساس نتایج حاصل از نرم‌افزار یک مدل خط مبنا برای انرژی ساختمان تهیه می‌شود.

میزان انرژی مصرفی ساختمان با استاندارد مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان و استانداردهای جهانی مورد قیاس قرار گرفته و براساس دستورالعمل برچسب انرژی ساختمان رتبه مصرف انرژی ساختمان تعیین می‌گردد.

گام ۳ : تعیین پتانسیل صرفه‌جویی انرژی و ارزیابی فرصتهای صرفه‌جویی انرژی

در این مرحله، لیستی از فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی به تفکیک بخش‌های مختلف ساختمان (معماری، تاسیسات مکانیکی، تاسیسات برقی) ارائه می‌گردد. پس از آن هزینه صرفه‌جویی انرژی مربوط به هریک از راهکارها محاسبه شده و دوره بازگشت سرمایه به تفکیک تعیین می‌گردد.

باید توجه نمود که قبل از ایجاد هرگونه تغییر در سیستم‌های موجود ساختمان لازم است همه گزینه‌های ممکن مدنظر قرار گیرد، به خصوص در بخش‌هایی که باید سرمایه‌گذاری عمده صورت گیرد. ارزیابی این اطمینان را ایجاد می‌کند که مقرون به صرفه‌ترین و کاراترین سیستم انتخاب شده است. مزایای ارزیابی بدین قرار می‌باشند:

- تنظیم سایز سیستم برای برآورده کردن دیماندهای واقعی ساختمان که اغلب منجر به هزینه‌های سرمایه-گذاری پایین‌تر می‌شود
- سطح آسایش بالا از طریق افزایش سطوح کنترل همراه با در نظر گرفتن نیازهای آسایشی
- پایین آمدن هزینه های جاری از طریق نصب سیستم‌های کارای مجهز به کنترل‌های بهتر
- تعمیر و نگهداری آسان‌تر و با قابلیت اطمینان بیشتر با استفاده از سیستم‌های مدرن و انتخاب دقیق سیستم-ها
- استانداردهای زیست محیطی بالاتر با در نظر گرفتن مزایای زیست محیطی هر راهکار
- مطابقت قانونی برای پیشنهادهای صورت گرفته، شامل بررسی دقیق موارد رد شده در حالتی که اولین پیشنهاد توسط مدیریت رد شود
- فرصت بررسی سایر فرم‌های مالی از قبیل قرارداد مدیریت انرژی

ارزیابی اقدامات، منجر به مقایسه راه‌حل‌های مختلف شده و سبب می‌گردد تا برای فراهم آوردن شرایط آسایش مورد نیاز، به بهترین راه‌حل برسد. موارد ارزیابی شامل سرمایه‌گذاری و هزینه‌های بهره‌برداری، اثرات زیست محیطی و همچنین مقولات عملکردی از قبیل وضعیت سیستم و قابلیت انعطاف‌پذیری برای هماهنگی با تغییرات کاربری ساختمان می‌باشد.

در ارزیابی اقدامات برخی راهکارها به دلیل موانع موجود در سر راه پروژه از قبیل مشکلات اقتصادی و عملکردی، در حین پروسه حذف می‌شوند. بالعکس، برخی از مشکلات در حین تحلیل و بررسی‌ها برطرف می‌شوند، بنابراین حتی به گزینه‌هایی که به ظاهر مهم نیستند نیز باید توجه شود. همچنین باید به ارزیابی به عنوان یک پروسه تغییرپذیر پیشرفت و توسعه نگریسته شود و هیچ موردی تا قبل از پیشنهادات نهایی، تثبیت نشود.

در این بخش باید به تغییرات آتی که ممکن است بر میزان تقاضا تاثیرگذار باشند، مثل الگوهای مصرف یا کاربری، تغییرات ساختمان شامل بهسازی، تخریب و اضافه نمودن‌ها باید مدنظر قرار بگیرند.

پس از اینکه موارد پیشنهادی به عنوان راهکارهای عملی تلقی شوند، مقایسه‌های دوره بازگشت سرمایه صورت خواهد گرفت. هدف این است که روی گزینه‌های اقتصادی و مناسب از طریق افزایش تدریجی دقت هزینه‌ها و جزئیات مهندسی برای آن دسته‌ای که بیشتر مورد توجه هستند، تاکید شود. سپس گزینه‌های انتخاب شده را می‌توان با مدنظر قرار دادن مشکلات عملی، اصلاح کرد.

برای راهکارهای کم‌هزینه با دوره‌های بازگشت کوتاه‌مدت، معمولا روش‌های ساده ارزیابی قابل قبول است. در ارزیابی سرمایه‌گذاری‌های عظیم یا بلندمدت باید نرخ بهره، تورم، ریسک و زمان پروژه نیز مدنظر قرار گیرند. راهکارهای کارآیی انرژی باید برمبنای یکسانی با سایر سرمایه‌گذاری‌ها سنجیده شود و تمامی مزایای ممکن آن لحاظ گردد. همچنین تحلیل حساسیت به تغییرات آن مانند دمای محیط (که بوسیله روز درجه اندازه‌گیری می‌شود)، عملکرد تجهیزات یا قیمت‌های انرژی نیز توصیه می‌شود.

هزینه‌های پیاده‌سازی نیز باید مدنظر قرار بگیرند، این هزینه‌ها شامل تجهیزات، هزینه کارگر و مصالح، دستمزد مشاوران و هرنوع هزینه مختل شدن سایر امور، می‌باشد. همچنین وقت پرسنل داخلی نیز باید لحاظ شود، حال چه شخص به طور مستقیم کاری را انجام دهد یا چه به صورت نظارت بر کار سایرین باشد.

برخی روش‌هایی که در ارزیابی اقتصادی مورد استفاده قرار می‌گیرد در فصل بعد ارائه شده‌اند.

راهکارهای معمول صرفه‌جویی انرژی

در این بخش برخی از راهکارهای صرفه‌جویی انرژی منتخب در تاسیسات تجاری و صنعتی بطور خلاصه تشریح شده است. باید تاکید شود که لیستی که در زیر آمده است صرفا جهت نشان دادن بعضی از انتخابهای ممکن برای ممیزین انرژی می‌باشد که در هنگام اجرای تجزیه و تحلیل‌های انرژی تاسیسات تجاری و صنعتی بکار گرفته می‌شوند. لیکن، لازم به ذکر است که ممیزان انرژی باید در هنگام تجزیه و تحلیل‌های 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 تحلیل‌های اقتصادی درست، ارایه دهد.

معماری ساختمان

پوشش هر ساختمان (یعنی جداره‌ها، سقف‌ها، پنجره‌ها و درها) می‌تواند 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 داده‌ها در فرمهای تشریحی مخصوص پوشش ساختمان انجام می‌گیرد که شامل اطلاعات مربوط به جنس سازه (برای نمونه

سطح عایق جداره‌ها، سقف‌ها وکف‌ها) 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 جایگزینی‌ها باید مورد توجه قرار بگیرند.

برخی از راهکارهای صرفه‌جویی انرژی جهت بهبود عملکرد حرارتی پوشش ساختمان عبارتند از:

الف) افزودن عایق حرارتی

برای سطوح ساختمان بدون هر گونه عایق، این راهکار به صرفه می‌باشد.

ب) جایگزینی پنجره‌ها

مواقعیکه پنجره‌های ساختمان بخش قابل توجهی از سطح جداره ساختمان را تشکیل می‌دهد، استفاده از پنجره‌های با راندمان بالا (مقاومت بالا، شیشه با گذردهی پایین و غیره) هم موجب کاهش مصرف انرژی شده و هم موجب بهبود سطح راحتی ساکنین می‌گردد.

پ) نصب سایبان

زمانیکه بار حرارتی اکتسابی از خورشید قابل توجه باشد، استفاده از سایبان باتوجه به شرایط مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، برای جدارهای جورگذر به ویژه در ضلع جنوبی ساختمان راهکار مناسبی خواهد بود.

ت) تعویض درها

برای ساختمان‌هایی که دارای مراجعه کننده زیاد می‌باشند تغییر درهای معمولی با درهای گردان و یا استفاده از دو در جهت جلوگیری از اتلاف انرژی به صرفه می‌باشد.

ث) کاهش نشتی هوا

هنگامیکه بار تهویه قابل ملاحظه باشد، با تکنیکهای ساده و کم هزینه درزگیری می‌توان مقدار نشتی از پوشش ساختمان را شدیدا کاهش داد.

ممیزی انرژی پوشش، اهمیت ویژه‌ای برای ساختمانهای مسکونی و کوچک دارد. یقینا مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی متاثر از تغییرات آب و هوایی می‌باشد، چرا که 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 می‌دهند. برای ساختمان‌های تجاری، بهبود پوشش ساختمان (جایگزینی پنجره‌ها، عایقکاری حرارتی جداره) شدیدا هزینه‌بر می‌باشد. لیکن توصیه می‌شود جهت تعیین پتانسیل صرفه‌جویی انرژی، همچنین برای اطمینان حاصل کردن از یکپارچگی همه شرایط، ممیزی نظاممند مدنظر قرار داده شود. به عنوان نمونه، پلهای حرارتی-در صورتی که نمایانده شود- باعث افزایش انتقال حرارت و چگالش رطوبت می-گردند. مسائل مربوط به چگالش رطوبت بغرنج‌تر و هزینه‌برتر از افزایش انتقال حرارت است؛ چرا که یکپارچگی سازه‌ای پوشش ساختمان را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

ج) تفکیک فضاهای با کاربری مختلف

باید در نظر داشت که فضاهایی که دارای کاربری مختلفی در یک ساختمان می‌باشند، به طور مثال فضای نگهداری سرور، در مکان‌هایی قرار گرفته باشند که امکان تفکیک فیزیکی آنها میسر باشد. مثلا انتخاب فضایی در مرکز ساختمان به عنوان مکان نگهداری سرور، مناسب نمی‌باشد. این فضا باید در بخش‌های کناری واقع شده باشد تا بتوان راحتتر شرایط تفکیک آن به دلیل اعمال حالات خاص را اعمال نمود.

سیستم‌های الکتریکی

در ساختمان‌های تجاری و بخش عمده‌ای از تاسیسات صنعتی، هزینه انرژی الکتریکی سهم چشمگیری از صورت حسابهای خدمات را به خود اختصاص می‌دهد. روشنایی، تجهیزات اداری و موتورهای الکتریکی از جمله سیستم‌های انرژی بر در ساختمان‌های تجاری و صنعتی محسوب می‌شوند.

الف)روشنایی

روشنایی در ساختمان اداری بطور متوسط ۴۰٪ مجموع مصرف انرژی الکتریکی را به خود اختصاص می‌دهد. راهکارهای ساده و ارزان قیمت متفاوتی جهت بهینه‌سازی سیستم‌های روشنایی وجود دارد. بهینه کردن مصرف انرژی لامپ‌های روشنایی، بالاست‌ها و افزودن وسایل انعکاسی، کم کردن لامپ‌ها (در صورتی‌که میزان روشنایی از سطح توصیه شده استانداردها بالاتر باشد) و استفاده از کنترلرهای روشنایی روز، ازجمله این راهکارها می‌باشند. بیشتر راهکارهای مربوط به روشنایی، به ویژه در ساختمان‌های اداری به صرفه هستند؛ به طوریکه بازگشت سرمایه آنها زیر یکسال است.

ب)تجهیزات اداری

تجهیزات اداری بیشترین سهم را در رشد بارهای الکتریکی ساختمان‌های اداری و به ویژه ساختمان‌های تجاری، برعهده دارند. تجهیزات اداری عبارتند از: کامپیوترها، ماشین‌های فاکس، پرینترها و دستگاه‌های کپی. امروزه تولیدکنندگان زیادی در زمینه عرضه تجهیزات اداری پربازده (نظیر محصولاتی که با مشخصات انرژی استار در ایالات متحده مطابقت دارند) فعال هستند. به عنوان نمونه کامپیوترهای پربازده در مواقعی که بلااستفاده‌اند، بطور اتوماتیک به یک مد با مصرف توان پایین سوئیچ می‌کنند.

پ)موتورهای الکتریکی

هزینه انرژی کارکرد موتورهای الکتریکی بخش مهمی از بودجه بهره‌برداری ساختمانهای تجاری و صنعتی را در بر می‌گیرد. راهکارهای کاهش هزینه انرژی استفاده از موتورها عبارتند از کاهش زمان کارکرد (خاموش کردن تجهیزات غیرضروری)، بهینه‌سازی سیستم‌های موتور، استفاده از کنترلرهایی به منظور هماهنگ کردن خروجی موتور با میزان تقاضا، استفاده از محرک‌های سرعت متغیر برای توزیع هوا و آب و نیز نصب موتورهای پربازده.

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

ت) بالانس نمودن جریان

ث) کاهش توان غیرحقیقی مصرفی در ساختمان

ج)کنترل تجهیزات

سیستم‌های HVAC

سیستم‌های HVAC، ۴۰٪ مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی را به خود اختصاص می‌دهند. 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 شده‌اند. برخی از این راهکارها عبارتند از:

الف) تنظیم دمای ترموستات

در مواقع مناسب، می‌توان کم کردن دماهای گرمایشی در طول دوره‌های اشغال فضا را پیشنهاد کرد. بطور مشابه، افزایش دماهای سرمایشی را نیز می‌توان در نظر گرفت.

ب) شیرهای ترموستاتیک

استفاده از شیرهای ترموستاتیک رادیاتور با قابلیت تنظیم دما توسط ترموستات می‌توانند دمای اتاق را در درجه حرارت مورد نظر ثابت نگه دارند. به‌طور کلی طبق آزمایشات بعمل آمده، کاهش هر یک درجه سانتیگراد و جلوگیری از افزایش بی‌مورد دمای اتاق، سبب کاهش مصرف سوخت به میزان ۶٪ می‌گردد.

شیرهای ترموستاتیک با قابلیت نصب برروی انواع رادیاتورهای خانگی وسیله‌ای مناسب جهت کنترل موضعی دما می‌باشند. هر شیر ترموستاتیک از یک سنسور حرارتی (ترموستات) برای کنترل خودکار درجه حرارت محلی که در آن رادیاتور نصب شده و یک شیر که از سنسور فرمان می‌گیرد، تشکیل شده است. دمای مورد نیاز هر اتاق با چرخاندن کلاهک ترموستات قابل تنظیم می‌باشد. هنگامی که دمای اتاق بر اثر گرمای خروجی از رادیاتور و یا هر منبع تولید گرمای خارجی (مانند تابش خورشید، افزایش تعداد ساکنین و یا تجهیزات و لوازم برقی) افزایش یابد و در محدوده تنظیم دمای ترموستات قرار گیرد ترموستات به شیر فرمان داده و جریان آب‌گرم در رادیاتور را کاهش می‌دهد و از افزایش گرمای اتاق توسط رادیاتور جلوگیری می‌کند. در نتیجه ضمن تأمین شرایط آسایش مطلوب برای ساکنین اتاق، کاهش مصرف انرژی و هزینه‌های سوخت مصرفی را نیز برآورده می‌کند. چنانچه از شیرهای ترموستاتیک بر روی رادیاتور استفاده نشود، در این صورت دمای هوای اتاق افزایش می‌یابد تا اینکه شرایط اتاق در حالت نامطلوبی قرار گیرد. در نتیجه ساکنین اتاق مجبور به بازکردن پنجره‌ها می‌شوند و این امر سبب می‌شود که هزینه پرداختی صرف گرم کردن هوای بیرون خانه شود و به هدر رود.

بررسی‌های بعمل آمده نشان‌دهنده این نکته است که هزینه خرید و نصب شیرهای ترموستاتیک رادیاتور نهایتا طی دو دوره سرما از محل صرفه‌جویی در هزینه سوخت مصرفی قابل برگشت خواهد بود.

پ) 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[۹] توصیه می‌شود.

ت) نصب سیستم‌های بازیافت حرارت

امکان بازیافت حرارتی از برخی تجهیزات HVAC وجود دارد. برای مثال نصب مبدل‌های حرارتی جهت بازیافت حرارت از واحد کنترل هوا[۱۰] و جریانات هوای خروجی از دودکش‌های بویلر گزینه‌های قابل بررسی می‌باشند.

ث) جایگزینی سیستم گرمایش مرکزی

بازدهی بویلر بطور موثری با تنظیم نسبت سوخت- هوا بهبود پیدا می‌کند. علاوه بر این نصب بویلرهای جدید پربازده به جای بویلرهای قدیمی، به صرفه می‌باشد.

---

[۹] Variable air volume (VAV)

[۱۰] .Air Handling unit (AHU)

ج) جایگزینی سیستم سرمایش مرکزی

امروزه چندین مدل از چیلرهای پربازده در بازار موجود هستند که کنترل و عملیات آنها ساده بوده و برای پروژه‌های 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، باید تجزیه و تحلیل کل سیستم انجام گیرد. بهینه‌سازی مصرف انرژی سیستم سرمایش مرکزی (که شامل چیلرها، پمپ‌ها و برج‌های خنک‌کننده) نمونه‌ای از کاربرد روش تجزیه و تحلیل کل سیستم جهت کاهش مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی در ساختمان‌ها می‌باشد.

سیستم‌های هوای فشرده

هوای فشرده ابزاری غیرقابل حذف در بسیاری از تاسیسات تولیدی می‌باشد. محدوده مصرف هوای فشرده، از ابزارهای دستی و عمل کننده‌هایی که با هوا کار می‌کنند تا سیستم‌های رباتیک نیوماتیک پیچیده را در بر می‌گیرد. متاسفانه، امروزه مقادیر هنگفتی هوای فشرده در تاسیسات متعددی به هدر می‌رود. تخمین زده می‌شود که ۲۰ تا ۲۵ درصد از انرژی الکتریکی ورودی به کمپرسور به انرژی هوای فشرده مفید تبدیل می‌شود. نشتی‌ها ۱۰ تا ۵۰ درصد ازاتلاف انرژی را بخود اختصاص می‌دهند در حالیکه ۵ تا ۴۰ درصد از هوای فشرده به خاطر استعمال نادرست هدر می‌رود.

جهت بهبود کارایی سیستم‌های هوای فشرده، ممیزین انرژی باید مسائل مختلفی، نظیر ضرورت وجود هوای فشرده برای انجام کار (به عنوان نمونه، موتورهای الکتریکی خیلی کاراتر از وسایل رفت و برگشتی می‌باشند)، 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 صرفه‌جویی انرژی و هزینه، لازم است) را مدنظر قرار دهند.

کنترل‌های مدیریت انرژی

با کاهش هزینه‌های تکنولوژی کامپیوتر، کنترل اتوماتیک سیستم‌های انرژی داخل ساختمان‌های تجاری و صنعتی، بسیار مردم‌پسند 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 می‌رسد. برای نمونه مدیریت انرژی و سیستم کنترل می‌تواند بطور اتوماتیک دمای محیط داخلی را مانیتور می‌کند، دمپرهای واحد کنترل هوا را باز و بسته کرده و سیستم‌های روشنایی را کنترل می‌نماید.

در صورت نصب مدیریت انرژی و سیستم کنترل در ساختمان، توصیه می‌شود که از یک سیستم تنظیم کننده جهت اطمینان از عملکرد مناسب آن استفاده شود. برای نمونه حسگرها باید بطور منظم مطابق مشخصات تولیدکننده، تنظیم شوند. کالیبره کردن ناقص حسگرها احتمالا سبب افزایش بارهای گرمایشی و سرمایشی شده و کاهش راحتی ساکنین را به دنبال خواهد داشت.

تعمیر و نگهداری

در صورتیکه برنامه تعمیر و نگهداری تجهیزات مختلف در زمان‌های مقرر و به صورت منظم صورت پذیرد، جلو برخی از مشکلات ناشی از گذر زمان نظیر از بین رفتن عایق سیستم‌های تاسیساتی و یا کاهش راندمان سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی گرفته خواهد شد. بنابراین نظارت بر اجرای صحیح برنامه‌های تعمیر و نگهداری بر کاهش اتلافات انرژی تاثیرگذار خواهد بود.

مدیریت آب داخل ساختمان

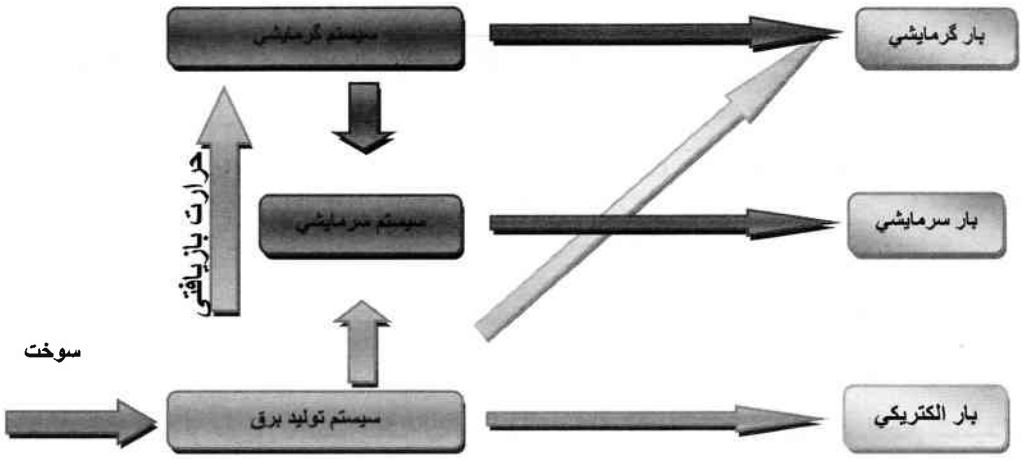
با استفاده از لوله و اتصالات صرفه‌جویی آب به جای لوله و اتصالات مرسوم در دستشویی‌ها، شیرهای آب، سردوش‌ها، ظرفشویی‌ها و لباس‌شویی‌های داخل ساختمان، مصرف آب و انرژی پایین خواهد آمد. همچنین رفع چکه در لوله‌ها و اتصالات نیز باعث صرفه‌جویی می‌شود.

تکنولوژی‌های جدید

الف) سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت[11]

به تولید توامان الکتریکی (برق) و انرژی حرارتی مفید، از یک منبع انرژی (سوخت)، تولید همزمان برق و حرارت می‌گویند (

شکل **.Error! No text of specified style in document-۲۶**). با اکتساب و استفاده از انرژی حرارتی بازیافتی از جریان سیالی که به هر ترتیبی به محیط برگشت داده می‌شود، سیستم‌های CHP می‌توانند با کارآیی و بهره‌گیری بیشتری نسبت به زمانی که این انرژی‌ها به طور جداگانه توسط تجهیزات و سیستم‌های مختلف تولید می شوند، عمل کنند.



شکل .Error! No text of specified style in document-۲۶طرح کلی سیستم CHP

به طور کلی مزایای استفاده از سیستم‌های CHP شامل موارد زیر می‌گردد:

- کاهش گازهای گلخانه‌ای
- کاهش تلفات انتقال و توزیع
- کاهش هزینه‌های مربوط به تامین و نصب تجهیزات شبکه توزیع
- کاهش هزینه نهایی برق تولیدی
- کاهش مصرف سوخت
- توسعه خصوصی‌سازی در صنعت برق

[11] Cogeneration

ب) سیستم‌های خورشیدی

استفاده از سوخت‌های فسیلی برای تولید انرژی باعث افزایش میزان گازهای مضر مانند دی‌اکسیدکربن، دی‌اکسیدگوگرد و اکسیدهای نیتروژن می‌شود که این امر به نوبه خود باعث بهم خوردن اکوسیستم‌های منطقه‌ای می‌گردد. با استفاده از انرژی خورشیدی به عنوان یکی از تمیزترین منابع انرژی در دسترس مطمئنا بسیاری از این معضلات زیست‌محیطی حل خواهد شد. استفاده از انرژی خورشیدی در موارد مختلفی کاربردی می‌باشد که در ذیل بدان پرداخته شده است.

- آب‌گرمکن‌های خورشیدی

کلکتور مهمترین قسمت هر آب‌گرمکن خورشیدی است و وظیفه دریافت انرژی خورشید و گرم کردن آب در آب‌گرمکن‌های خورشیدی را برعهده دارد. کلکتورهای خورشیدی می‌بایست از شیشه‌های نشکن با خلوص بالا بمنظور دستیابی به ضریب عبور نور بیش از ۰/۹۷ ساخته شوند. صفحه جاذب آلومینیومی در کلکتورها تعبیه می‌گردد که به منظور حداکثر جذب تابش خورشید و حداقل صدور انرژی می‌باشد. مسیر جریان آب در کلکتورها از طریق لوله‌های مسی و بصورت مارپیچی برای حداکثر دریافت انرژی طراحی می‌باشند و در اطراف لوله‌ها از عایق به منظور کاهش اتلاف حرارتی استفاده می‌گردد.

از دیگر اجزا آب گرمکن‌های خورشیدی مخزن ذخیره انرژی می‌باشد. مخازن بمنظور کاهش تلفات حرارتی از آب‌گرم تولیدی در کلکتورهای خورشیدی و نگهداری آب گرم در روزها و شب‌های متوالی با عایق حرارتی پوشانده می‌شوند. آب‌گرمکن‌های خورشیدی می‌توانند بصورت مستقل برای تامین آب‌گرم و گرمایش یک واحد آپارتمانی و یا ویلایی و از طریق اتصال به سیستم‌های رایج نظیر پکیج مورد استفاده قرار گیرند و یا به صورت مرکزی با اتصال به سیستم موتورخانه برای تامین انرژی تمامی واحدهای یک مجموعه آپارتمان مسکونی و یا ساختمان‌های اداری و تجاری مورد استفاده قرار گیرند.

- گرمایش خورشیدی

برای تامین گرمایش خورشیدی مورد نیاز، باتوجه به سهم خورشید در تامین گرما و دمای مورد نیاز، سیستم‌های خورشیدی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

- سرمایش خورشیدی

سیستم سرمایش خورشیدی در دو مدل قابل ارائه می‌باشد یکی با استفاده از سیستم‌های فتوولتاییک و ترکیب آن با سیستم‌های کولرگازی اسپلیت و دیگری استفاده از آب‌گرمکن‌های خورشیدی و ترکیب آن با چیلرهای جذبی است. بطورکلی سیستم سرمایش خورشیدی ترکیبی با چیلرجذبی برای تمامی مناطق ایران که مجهز به سیستم لوله‌کشی گازطبیعی می‌باشند و امکان بهره‌گیری از چیلرجذبی در آنها میسر می‌باشد، برای تامین بخشی از انرژی موردنیاز سیستم چیلرجذبی کاربرد دارد.

- گرمایش آب استخرها

با استفاده از کلکتورهای خورشیدی لاستیکی می‌توان هزینه‌های تامین آب‌گرم استخر را در مجتمع‌های مسکونی و استخرهای عمومی کاهش داد و از سیستم‌های گازی رایج برای زمان‌هایی که آسمان ابری است، استفاده کرد. این کلکتورها که از جنس لاستیک با پوشش خاص می‌باشند بدون نیاز به شیشه یا پوشش شفاف جهت کاهش تلفات حرارتی از کلکتور می‌باشند. این ساختار ساده، هنگامی که سیستم با اختلاف دمای پایین بین صفحه جاذب و محیط (۱۸-۱۰ °C) مورد استفاده قرار می‌گیرد، کارایی لازم را خواهد داشت و با گردش مستقیم آب استخر در کلکتور خورشیدی، آب گرم مطلوب در استخر تامین می‌شود.

- تامین گرمای مورد نیاز در صنایع فرایندی با دمای گرم پایین

از دیگر موارد استفاده از سیستم‌های خورشیدی، تامین گرمای مورد نیاز در فرایندهای صنعتی با دمای گرم پایین مانند کارخانجات تولید رب گوجه می‌باشد و با استفاده از کلکتورهای هیت‌پایپ، سیستم‌های خورشیدی را برای تامین دماهای کمتر از ۱۲۰ درجه سانتیگراد و در صورت لزوم تولید بخار ارائه می‌نماید.

ج) بویلر چگالشی

بویلر به عنوان یکی از مصرف‌کننده‌های عمده انرژی در ساختمان می‌باشد، بطوریکه وضعیت عملکرد آن نقش مهمی در تعیین وضعیت مصرف انرژی ساختمان ایفا می‌نماید. از اینرو کنترل مطلوب راندمان عملکرد این تجهیز و بهبود آن، گام موثری در رفع مشکلات موجود در مصرف انرژی ساختمان و کاهش تلفات مجموعه ایفا می‌نماید.

در بویلرهای غیرچگالشی گازهای حاصل از احتراق پس از گرم نمودن آب در گردش سیستم، با دمای بالا از طریق دودکش به محیط خارج تخلیه می‌گردد. تخلیه گازهای حاصل از احتراق با دمای بالای حدود ۱۵۰°C، تلفات شدید انرژی را به ساختمان تحمیل می‌نماید. علاوه بر این تنظیم نسبت سوخت به هوا در این دیگ‌ها با مشکلات فراوانی همراه بوده و بر این اساس، گاز مصرفی جهت تامین بار حرارتی ساختمان افزایش می‌یابد. از دیگر معایب دیگ‌های غیر چگالشی به عدم امکان تنظیم ظرفیت عملکرد آن با بار حرارتی مورد نیاز ساختمان، حجم آب‌گیری بالا، محدودیت در دمای آب برگشتی و محدودیت در دبی آب در گردش سیستم می‌توان اشاره نمود.

راندمان بالای عملکرد دیگ‌های چگالشی (حدود۱۱۰٪) از مهترین مزایای بهره‌گیری از این تجهیزات می‌باشد، گازهای حاصل از احتراق با دمای حدود ۶۰°C به محیط تخلیه می‌گردد که بدین ترتیب حداکثر استفاده از حرارت موجود امکان‌پذیر می‌گردد. همچنین دریافت گرمای نهان حاصل از چگالش گازهای احتراقی از دیگر نقاط تامین حرارت مورد نیاز سیستم است. به طور کلی مزایای استفاده از پکیج‌های راندمان بالای به شرح زیر می‌باشد:

- راندمان بالا

از مهمترین مشخصه‌های پکیج‌های چگالشی، راندمان بالای این سیستم‌ها نسبت به سیستم‌های متداول می‌باشد (۱۱۰٪ در مقایسه با ۸۰٪). در پکیج‌های چگالشی، میزان مصرف سوخت در قیاس با بویلرهای معمولی بسیار کمتر می‌باشد که سبب کاهش هزینه‌های پرداختی انرژی ساختمان می‌گردد. علاوه بر در نظر گرفتن مسائل اقتصادی و حرکت در جهت کاهش مصرف انرژی به عنوان یک حرکت ملی، تاثیر قابل توجه آن بر جنبه‌های زیست‌محیطی نیز از دیگر پارامترهای مهم بهره‌گیری از این تجهیزات است.

- قابلیت تغییر ظرفیت و کنترل پذیری

از آنجا که در فصل و بهار و تابستان میزان انرژی کمتر مورد نیاز می باشد با کم کردن بار حرارتی سیستم می‌توان به میزان قابل توجهی در مصرف انرژی صرفه‌جویی نمود. پکیج‌های چگالشی، با قابلیت تغییر ظرفیت، می‌توانند مطابق با نیاز حرارتی ساختمان تنظیم شوند. درحالی‌که در بویلرهای متداول مورد استقاده قابلیت تغییر ظرفیت کارکرد را نداشته و بدین ترتیب استهلاک دستگاه و مصرف بالای انرژی به وقوع می‌پیوندد. باتوجه به سیستم کنترلی پیشرفته پکیج‌های چگالشی، این فرآیند به صورت کاملا اتوماتیک انجام می‌گردد.

- کاهش میزان فضای اشغال شده در موتورخانه

کوچک بودن ابعاد و پایین بودن وزن پکیج چگالشی از جمله مزایای این سیستم می‌باشد که سبب کاهش هزینه‌های حمل و نقل و نصب می‌گردد. این سیستم در زمان نصب به فونداسیون نیازی نداشته و قابلیت جانمایی در مجاورت دیوار را دارد.

- سهولت در نصب و راه‌اندازی

باتوجه به اینکه تمامی اتصالات پکیج‌های چگالشی در بالای تجهیز واقع شده اند، فرآیند لوله‌کشی و اتصال آن به پکیج با سهولت انجام می‌گیرد.

- تسهیل در تعمیر و نگهداری

به دلیل دسترسی ساده و آسان به تمام اجزای پکیج چگالشی از طریق پانل جلویی سیستم، تعمیر و نگهداری سیستم با سرعت بالا و کمترین هزینه ممکن می‌باشد.

- کاهش میزان سر و صدا

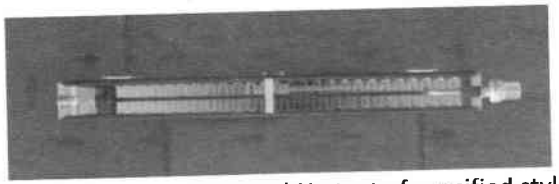
پایین بودن صدای تولیدی پکیج‌های چگالشی در زمان کارکرد ازجمله مزایای این تجهیز نسبت به بویلرهای متداول می‌باشد کاهش سر و صدای ناشی از تجهیزات موتورخانه از جمله نکات قابل توجه می‌باشد.

- قابلیت برنامه‌ریزی ساعات کارکرد و سیستم کنترل هوشمند محیطی

پکیج‌های مرکزی چگالشی راندمان بالا، مجهز به سیستم کنترل هوشمند محیطی براساس اندازه‌گیری دمای هوای بیرون و با قابلیت برنامه‌ریزی ساعتی، روزانه، هفتگی، ماهانه و سالانه می‌باشند و از مهمترین مشخصه‌های پکیج‌های چگالشی راندمان بالا می‌توان به کاهش میزان مصرف انرژی در فصل تابستان، بهار و پاییز یعنی در فصل‌هایی که مدیریت مصرف انرژی حائز اهمیت می‌باشد، اشاره نمود. از آنجا که در فصل تابستان تنها نیاز حرارتی آبگرم وجود دارد، در موتورخانه‌های متعارف نیاز به روشن کردن حداقل یک دیگ وجود دارد که استهلاک دستگاه و مصرف بالای انرژی را به همراه دارد، در حالیکه پکیج‌های چگالشی قابلیت تغییر ظرفیت را دارا می‌باشند که می‌توانند مطابق با نیاز آبگرم ساختمان تنظیم شوند. این مساله علاوه بر کاهش زیاد مصرف انرژی، سبب پایین آمدن استهلاک سیستم می‌گردد.

د) رادیاتور راندمان بالا

رادیاتورهای راندمان بالا همانند رادیاتورهای فولادی پانلی معمولی هستند و تنها مسیر جریان آب در آنها متفاوت می‌باشد. در رادیاتورهای معمولی آب گرم وارد رادیاتور شده و بصورت یکسان در پانل جلویی و عقبی رادیاتور توزیع می‌گردد ولی در رادیاتورهای راندمان بالا آب گرم به صورت سری در پانل‌های رادیاتور جریان می‌یابد و ابتدا وارد پانل جلویی شده و با هوای اتاق تبادل حرارت می‌نماید و سپس با دمای پایین‌تر به پانل عقبی رادیاتور هدایت می‌شود. جریان کنترل شده آب در این رادیاتورها و ورود آب گرم به پانل جلویی و خروج آن از طریق پانل عقبی رادیاتور مطابق شکل **Error! No text of specified style in document.-۲۷** سبب می‌گردد تا کارایی انرژی رادیاتور و شرایط آسایش ساکنان ساختمان بهبود یابد.



شکل Error! No text of specified style in document.-۲۷ مسیر جریان آب در رادیاتورهای راندمان بالا

تغییر مسیر جریان آب در رادیاتورهای راندمان بالا از حالت موازی به سری در مقایسه با رادیاتورهای معمولی سبب می‌گردد تا با توجه به اینکه ابتدا آب در پانل جلویی رادیاتور به گردش در می‌آید، گرمای آب بیشتر به فضای اتاق منتقل

گردد و بعد از اینکه درجه حرارت آب کاهش یافت، آب به پانل عقبی هدایت می‌گردد و در نتیجه تلفات حرارتی از طریق دیوار پشتی رادیاتور کاهش می‌یابد.

در اکثر زمان‌های سال بیش از ۹۰٪ روزهای فصل سرما جهت تامین گرمای مورد نیاز اتاق این امکان وجود دارد که رادیاتور با ۶۵٪ توان خروجی گرمای مورد نیاز را تامین کند و الباقی گرما از حضور افراد، تجهیزات و سایر بارهای حرارتی داخلی اتاق تامین گردد. برای این منظور می‌بایست جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی، این امکان وجود داشته باشد که جریان آب ورودی به رادیاتور را به میزان ۱۵٪ جریان طراحی کاهش داد، که در رادیاتورهای معمولی این امکان وجود ندارد و درصورت کاهش جریان آب ورودی به رادیاتور، سبب می‌گردد که دمای سطحی رادیاتور کاهش یابد و عملا گرمای مطلوب و آسایش حرارتی ساکنین ساختمان تامین نگردد.

مزایای استفاده از رادیاتور راندمان بالا

- سرعت پاسخ بالاتر به میزان ۲۵٪ در مقایسه با رادیاتورهای معمولی
- میانگین دمایی بالاتر در سطح جلویی رادیاتور
- ۱۰٪ توان تشعشعی بیشتر در مقایسه با رادیاتورهای معمولی
- انتقال گرمای بیشتر به فضای داخل ساختمان
- انتقال گرمای کمتر به دیوار پشتی رادیاتور
- صرفه‌جویی و کاهش مصرف انرژی به میزان ۱۱٪
- کاهش هزینه‌های مصرف سوخت

آشنایی با مباحث اقتصادی

هزینه‌های ثابت و متغیر

هزینه‌های متغیر، هزینه‌هایی می‌باشند که مستقیما با خروجی یک تاسیسات خاص و یا فرآیند تولید تغییر می‌کنند مانند هزینه‌های سوخت مصرفی.

هزینه‌های ثابت، هزینه‌هایی می‌باشند که وابسته و یا مرتبط به خروجی فرآیند و یا تاسیسات نیستند مانند هزینه خرید تجهیزات، اجاره محل، بیمه، تعمیر و نگهداری سالیانه و ... .

نرخ‌های بهره

نرخهای بهره توسط موسسات وام‌دهنده، معمولا به دو طریق ساده و مرکب محاسبه می‌شود. با توجه به اینکه در بسیاری از پروژه‌ها ممکن است مالک ساختمان جهت اجرای اقدامات بهینه‌سازی از بانک‌ها و یا دیگر موسسات اعتباری وام دریافت کند، در این‌صورت اطلاع از نرخ‌های بهره برای ممیز لازم می‌باشد.

بهره ساده

در بهره ساده، نرخ‌ها به عنوان درصد ثابتی از سرمایه وام گرفته شده محاسبه می‌شود. بر این اساس بهره ثابتی برای هر سال وام در نظر گرفته شده و بازپرداخت‌ها مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$TRF = LV + \left(\frac{IR}{100} \times LV \times P\right)$$

که در آن TRV کل ارزش بازپرداخت، LV ارزش وام اولیه، IR نرخ بهره(٪) و P زمان بازپرداخت برحسب سال می‌باشد.

بهره مرکب

در بهره مرکب مبلغ بهره به عنوان درصدی از وام معوقه در انتهای هر مقطع زمانی اعمال می‌گردد و از آنجاییکه وام معوقه حاصل جمع مبالغ پرداخت نشده و بهره تا آن مقطع زمانی است، مرکب نامیده می‌شود. بهره مرکب معمولا سالانه محاسبه می‌شود، ارزش کل بازپرداخت با استفاده از معادله زیر بدست می‌آید.

$$TRF = LV \times \left(1 + \frac{IR}{100}\right)^{P}$$

برای محاسبه میزان کل بازپرداخت از روش بهره مرکب می‌توان از رابطه بهره ساده بصورت سالانه و یا در هر مقطع زمانی مشخص نیز استفاده کرد بگونه‌ای که میزان بازپرداخت هر سال به عنوان میزان وام سال بعد در نظر گرفته شود.

مثال ۱:

به منظور بهینه‌سازی و تعویض دیگ بخار یک ساختمان ۵۰۰۰۰ دلار وام با نرخ بهره ۹/۵٪ و دوره بازپرداخت ۵ ساله دریافت می‌شود. ارزش کل بازپرداخت و ارزش بازپرداخت ماهانه را برای دو حالت زیر محاسبه کنید.

- بهره ساده در نظر گرفته شود.
- بهره مرکب لحاظ گردد.

با فرض بهره ساده:

کل بازپرداخت: $TRP = LP + \left(\frac{PR}{100} \times LP \times P\right) = 50000 + \left(\frac{RF}{100} \times 50000 \times 5\right) = 7375$

بازپرداخت ماهانه = $\frac{7375}{60} = 1229.1$

با فرض بهره مرکب:

بازپرداخت در انتهای سال اول $= LP + \left(\frac{PR}{100} \times LP \times P\right) = 50000 + \left(\frac{RF}{100} \times 50000 \times 1\right) = 547!$

بازپرداخت در انتهای سال دوم $= LP + \left(\frac{PR}{100} \times LP \times P\right) = 54750 + \left(\frac{RF}{100} \times 54750 \times 1\right) = 5995L$

بازپرداخت در انتهای سال سوم = ۶۵۴۶۴/۶۲ $

بازپرداخت در انتهای سال چهارم = ۷۱۸۸۳/۰۵ $

بازپرداخت در انتهای سال پنجم = ۷۸۷۱۱/۹۴ $

بازپرداخت ماهانه= $\frac{7871}{60}$ = ۱۳۱۱/۸۷ $

و یا از رابطه بهره مرکب می‌توان نوشت:

کل بازپرداخت: $TRP = LP \times \left(1 + \frac{PR}{100}\right)^P = 50000 \times \left(1 + \frac{RF}{100}\right)^5 = 78711.$

زمان بازگشت سرمایه‌گذاری

تجزیه و تحلیل بازگشت سرمایه‌گذاری، ساده‌ترین روشی است که می‌توان جهت ارزیابی یک طرح مورد استفاده قرار داد. زمان برگشت سرمایه‌گذاری، مدت زمانی است که سپری می‌شود تا کل صرفه‌جویی‌های خالص حاصل از اجرای اقدامات بهینه‌سازی برابر با میزان سرمایه‌گذاری اولیه گردد. بدیهی است که زمان بازگشت سرمایه‌گذاری، می‌تواند حداکثر در عمر مفید دستگاه معتبر باشد. از نظر تئوری در مقطعی که زمان بازگشت سرمایه‌گذاری فرا رسد، کلیه هزینه‌های سرمایه‌ای پروژه بازیافت خواهد شد و هرگونه صرفه‌جویی در هزینه را بواسطه بهینه‌سازی انجام شده، می‌توان به عنوان سود خالص در نظر گرفت. هر چقدر زمان بازگشت سرمایه کوتاهتر باشد، پروژه برای سرمایه‌گذاری مناسبتر است. زمان برگشت سرمایه را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$PB = \frac{CC}{AS}$$

که در آن PB زمان برگشت سرمایه (سال)، CC هزینه سرمایه‌گذاری پروژه برحسب ریال و AS میزان صرفه‌جویی هزینه خالص سالیانه برحسب ریال می‌باشد. صرفه‌جویی هزینه خالص سالیانه، صرفه‌جویی هزینه‌ای است که بعد از برآورده ساختن کلیه هزینه‌های عملیاتی حاصل می‌شود.

مثال ۲:

در یک ممیزی انرژی، پیشنهاد گردیده که سیستم تولید همزمان برق و گرما (CHP) جایگزین موتورخانه موجود گردد و میزان صرفه‌جویی سالیانه در کل انرژی ساختمان با این جایگزینی حاصل می‌شود معادل ۸۱۰۰ دلار می‌باشد. اگر هزینه

سرمایه‌گذاری برای خرید و راه‌اندازی سیستم CHP معادل ۳۷۰۰۰ دلار باشد و هزینه بهره‌برداری و نگهداری از سیستم مذکور معادل ۷۰۰ دلار در سال باشد، زمان برگشت سرمایه را محاسبه نمایید.

$$PE = \frac{CC}{AS} = \frac{37000}{8100 - 700} = 5 \text{ سال}$$

نواقص عمده روش برگشت سرمایه

روش برگشت سرمایه، میزان صرفه‌جویی‌هایی که بعد از پایان یافتن مقطع زمانی برگشت سرمایه، حاصل می‌گردد، را لحاظ نمی‌کند.

در روش برگشت سرمایه، بهره‌ای که می‌بایست به پول سرمایه‌گذاری شده با گذشت زمان تعلق گیرد، در نظر گرفته نمی‌شود.

ارزش حال خالص

متد ارزش حال خالص با به کمیت در آوردن اثر زمان بر هر جریان نقدینگی آتی، تاثیر بهره بر میزان سرمایه با گذشت زمان را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر این روش تعیین ارزش حال هر جریان نقدینگی آتی است. برای بدست آوردن ارزش حال (PV) از روابط زیر استفاده می‌شود.

$FV=D\times(1+IR/100)^{n}$, $PV=S\times(1+IR/100)^{-n}$

در روابط فوق FV ارزش آتی سرمایه‌گذاری برحسب ریال، D ارزش سپرده اولیه یا سرمایه‌گذاری برحسب ریال، PV ارزش حال S در n سال زمانی برحسب ریال و S ارزش جریان نقدینگی در n سال زمانی برحسب ریال است. پارامتر $(1+IR/100)^{-n}$ را فاکتور تنزیل (DF) می‌گویند.

در روش ارزش حال خالص، ارزش حال تمام جریانات نقدینگی سالیانه (مثلا هزینه‌های سرمایه‌ای و صرفه‌جویی خالص) ایجاد شده یا انباشت شده در طول عمر یک پروژه را محاسبه کرده و آنها را تجمیع می‌کند. در این روش هزینه‌ها به عنوان یک مقدار منفی و صرفه‌جویی‌ها به عنوان یک مقدار مثبت ارائه می‌شود. جمع کلیه ارزش‌های حال به عنوان ارزش حال خالص (NPV) شناخته می‌شود. هرچقدر ارزش حال خالص بالاتر باشد، پروژه برای سرمایه‌گذاری مناسبتر است.

مثال ۳:

در مثال قبل اگر بجای نصب سیستم CHP مبلغ ۳۷۰۰۰ دلار در یک بانک با نرخ بهره سالیانه ۸٪ سرمایه‌گذاری می‌گردید، در این صورت ارزش آتی سرمایه‌گذاری و یا کل مبلغ بعد از ۵ سال چقدر خواهد بود.

بعد از ۵ سال ارزش آتی سرمایه‌گذاری برابر خواهد بود با:

$$FV = D \times (1 + \frac{IR}{100})^{n} = 37000 \times (1 + \frac{8}{100})^{5} = 54365.14\$$$

به عبارت دیگر در مدت ۵ سال ۳۷۰۰۰ دلار سرمایه‌گذاری اولیه معادل ۱۷۳۶۵/۱۴ دلار بهره خواهد داشت و ارزش پول معادل ۵۴۳۶۵/۱۴ دلار خواهد بود و یا اینکه در یک بازه زمانی ۵ ساله مبلغ ۵۴۳۶۵/۱۴ دلار دارای ارزش کنونی ۳۷۰۰۰ دلار خواهد بود.

مثال ۴:

با استفاده از روش ارزش حال خالص و با فرض نرخ بهره سالیانه ۸٪، با استفاده از روش حال خالص مشخص کنید که کدام یک از پروژه‌های زیر برای سرمایه‌گذاری مناسبتر می‌باشند.

جدول Error! No text of specified style in document.-۳۰ شرایط سرمایه‌گذاری پروژه‌های ارائه شده در مثال

	پروژه ۱	پروژه ۲
هزینه سرمایه‌گذاری (دلار)	۳۰۰۰۰	۳۰۰۰۰
سال	میزان صرفه‌جویی خالص سالیانه (دلار)	
۱	۶۰۰۰	۶۶۰۰
۲	۶۰۰۰	۶۶۰۰
۳	۶۰۰۰	۶۳۰۰
٤	۶۰۰۰	۶۳۰۰
٥	۶۰۰۰	۶۰۰۰
٦	۶۰۰۰	۶۰۰۰
۷	۶۰۰۰	۵۷۰۰
۸	۶۰۰۰	۵۷۰۰
۹	۶۰۰۰	۵٤۰۰
۱۰	۶۰۰۰	۵٤۰۰
کل صرفه‌جویی خالص در پایان سال دهم (دلار)	۶۰۰۰۰	۶۰۰۰۰

با توجه به نرخ بهره ۸٪ و با استفاده از رابطه $PV=S\times(1+IR/100)^{-n}$ خواهیم داشت.

۳۱- محاسبه ارزش حال خاص پروژه‌هاي مثال.Error! No text of specified style in documentجدول

	(بهره ۸٪)	صرفه‌جویی خالص (دلار)		ارزش حال خالص (دلار)	
سال	DF	پروژه ۱	پروژه ۲	پروژه ۱	پروژه ۲
۰	۱/۰۰۰	-۳۰۰۰۰	-۳۰۰۰۰	-۳۰۰۰۰	-۳۰۰۰۰
۱	۰/۹۲۶	٦۰۰۰	٦٦۰۰	٥٥٥٥/٥٦	٦۱۱۱۱/۱۱
۲	۰/۸٥۷	٦۰۰۰	٦٦۰۰	٥۱٤٤/۰۳	٥٦٥۸/٤٤
۳	۰/۷۹٤	٦۰۰۰	٦۳۰۰	٤۷٦۲/۹۹	٥۰۰۱/۱٤
٤	۰/۷۳٥	٦۰۰۰	٦۳۰۰	٤٤۱۰/۱۸	٤٦۳۰/٦۹
٥	۰/٦۸۱	٦۰۰۰	٦۰۰۰	٤۰۸۳/٥۰	٤۰۸۳/٥۰
٦	۰/٦۳۰	٦۰۰۰	٦۰۰۰	۳۷۸۱/۰۲	۳۷۸۱/۰۲
۷	۰/٥۸۳	٦۰۰۰	٥۷۰۰	۳٥۰۰/۹٤	۳۳۲٥/۹۰
۸	۰/٥٤۰	٦۰۰۰	٥۷۰۰	۳۲٤۱/٦۱	۳۰۷۹/٥۳
۹	۰/٥۰۰	٦۰۰۰	٥٤۰۰	۳۰۰۱/٤۹	۲۷۰۱/۳٤
۱۰	۰/٤٦۳	٦۰۰۰	٥٤۰۰	۲۷۷۹/۱٦	۲٥۰۱/۲٤
				٤۰۲٦۰/٤۹	٤۰۸۷۳/۹۱

بنابراین پروژه ۲ برای سرمایه‌گذاری مناسبتر می‌باشد.

نرخ برگشت داخلی

در مثال قبل هر دو پروژه ارزش حال خالص مثبت در طول ده سال با یک بهره ۸٪ برگشت داده‌اند. در حالیکه در نرخ بهره کمتر، ارزش حال خالص صفر می‌شد. واضح است که برای دستیابی به یک ارزش حال خالص صفر، بهره‌ای که برا ی پروژه ۲ درنظر گرفته می‌شود بالاتر از پروژه ۱ خواهد بود و یا به عبارت دیگر متوسط نرخ برگشت برای پروژه ۲ بالاتر از پروژه ۱ است در نتیجه پروژه ۲ پیشنهاد مناسبتری است. نرخ تنزیلی (بهره‌ای) که یک ارزش حال خالص صفر را حاصل می‌کند به عنوان نرخ برگشت داخلی[۱۲] نامیده می‌شود. هر چه نرخ برگشت داخلی بالاتر باشد، پروژه برای سرمایه‌گذاری مناسبتر است.

مثال ۵:

نرخ برگشت داخلی را برای هر دو پروژه مثال ۱ را بدست آورید.

همانگونه که گفته شد نرخ برگشت داخلی برابر نرخ تنزیلی است که منجر به ارزش حال خالص صفر می‌گردد، برای این منظور می‌بایست مقدار ارزش حال خالص را با بهره‌های متفاوت محاسبه کرد و در نهایت نرخ برگشت داخلی را بدست آورد. با انجام محاسبات، مقدار نرخ برگشت داخلی معادل ۱۳٪ بدست می‌آید.

[۱۲] Internal Rate of Return (IRR)

روش ارزش حال خالص یک ابزار مقایسه‌ای است که مقایسه شماری از پروژه‌ها را میسر می‌سازد و روش برگشت داخلی برای برآورد اینکه آیا یک پروژه به تنهایی نرخ برگشت مورد نظر را دارا می‌باشد، کارایی دارد.

شاخص سودآوری

روش دیگری که جهت ارزیابی کارایی مالی پروژه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، شاخص سودآوری است که به روش زیر قابل محاسبه می‌باشد.

$$\text{شاخص سودآوری} = \frac{\text{جمع ارزش حال خالص صرفه‌جویی‌ها}}{\text{هزینه‌های سرمایه‌ای}}$$

هرقدر شاخص سودآوری بالاتر باشد، پروژه برای سرمایه‌گذاری مناسبتر است.

مثال ۶:

شاخص سودآوری مثال ۵ را برای هر دو پروژه محاسبه کنید. نرخ بهره ۸٪ می‌باشد.

براساس محاسبات انجام شده در مثال ۵ داریم:

جدول ۳۲-Error! No text of specified style in document. محاسبه شاخص سودآوری پروژه‌ها

	(بهره ۸٪)	صرفه‌جویی خالص (دلار)		ارزش حال خالص (دلار)	
سال	DF	پروژه ۱	پروژه ۲	پروژه ۱	پروژه ۲
۱	۰/۹۲۶	۶۰۰۰	۶۶۰۰	۵۵۵۵/۵۶	۶۱۱۱/۱۱
۲	۰/۸۵۷	۶۰۰۰	۶۶۰۰	۵۱۴۴/۰۳	۵۶۵۸/۴۴
۳	۰/۷۹۴	۶۰۰۰	۶۳۰۰	۴۷۶۲/۹۹	۵۰۰۱/۱۴
۴	۰/۷۳۵	۶۰۰۰	۶۳۰۰	۴۴۱۰/۱۸	۴۶۳۰/۶۹
۵	۰/۶۸۱	۶۰۰۰	۶۰۰۰	۴۰۸۳/۵۰	۴۰۸۳/۵۰
۶	۰/۶۳۰	۶۰۰۰	۶۰۰۰	۳۷۸۱/۰۲	۳۷۸۱/۰۲
۷	۰/۵۸۳	۶۰۰۰	۵۷۰۰	۳۵۰۰/۹۴	۳۳۲۵/۹۰
۸	۰/۵۴۰	۶۰۰۰	۵۷۰۰	۳۲۴۱/۶۱	۳۰۷۹/۵۳
۹	۰/۵۰۰	۶۰۰۰	۵۴۰۰	۳۰۰۱/۴۹	۲۷۰۱/۳۴
۱۰	۰/۴۶۳	۶۰۰۰	۵۴۰۰	۲۷۷۹/۱۶	۲۵۰۱/۲۴
مجموع				۴۰۲۶۰/۴۹	۴۰۸۷۳/۹۱

۱/۳۴۲ = ۳۰۰۰۰ / ۴۰۲۶۰/۴۹ = شاخص سودآوری پروژه ۱

۱/۳۶۲ = ۳۰۰۰۰ / ۴۰۸۷۳/۹۱ = شاخص سودآوری پروژه ۲

بنابراین پروژه ۲ از لحاظ اقتصادی مناسبتر از پروژه ۱ می‌باشد.