

بنام خدا

اصول تعیین شاخص های عملکرد و خط مبنای انرژی با نگاهی بر کارخانه سیمان

نعیما فلاح اردیزی - کارشناس انرژی دفتر فنی

شرکت سیمان زاوه تربت

پاییز ۹۷

چکیده

با توجه به کمبود منابع و هزینه بالای انرژی، مدیریت انرژی در صنعت سیمان از اهمیت ویژه ای برخوردار است. یکی از چالش‌های مدیریت اثربخش انرژی، تعیین صحیح اثرات سیستم مدیریت انرژی بر عملکرد و هزینه‌های انرژی است. شاخص عملکرد انرژی و خط مبنای انرژی دو مفهوم بهم وابسته و مهم در استاندارد سیستم مدیریت انرژی ایزو ۵۰۰۰۱ بوده که سازمان را قادر می سازد تا نسبت به اندازه گیری و پایش عملکرد انرژی خود اقدام نماید. در این مقاله فرایند تعیین شاخص عملکرد و خط مبنای مناسب برای پایش و مدیریت عملکرد انرژی معرفی می شود.

مقدمه

رشد فزاینده مصرف انرژی در سالهای اخیر، علیرغم محدودیت منابع و پیامد های زیست محیطی جبران ناپذیر استفاده از منابع فسیلی، باعث شده تا بحث انرژی یکی از مهمترین موضوعات جاری جوامع بشری باشد. انرژی یکی از مهم ترین اجزای زیربنایی فنی اقتصادی جوامع بوده و تداوم فعالیت‌ها در بخش تولیدی، خدماتی و بهبود سطح زندگی مردم مستلزم تأمین آن می باشد.

علاوه بر کمبود منابع انرژی، هزینه بالای انرژی پس از حذف یارانه ها، نیز باعث شده که مدیریت و مصرف بهینه انرژی خصوصا در صنایع تولیدی از جمله صنعت سیمان که از مصرف بالایی برخوردارند، اهمیت بیشتری پیدا کرده و این صنایع را به سمت استقرار سیستم مدیریت نظام مند انرژی سوق دهد. لیکن یکی از چالش‌های مدیریت اثربخش انرژی، تعیین صحیح اثرات سیستم مدیریت انرژی بر عملکرد و هزینه‌های انرژی است. چرا که به منظور مدیریت موثر عملکرد انرژی لازم است تا سازمان از نحوه استفاده انرژی و میزان مصرف آن در کل زیرمجموعه، تجهیزات، سیستم ها و یا فرآیندها (حسب مورد) در طول زمان آگاه باشد، تا از آن طریق، عملکرد جاری سازمان، میزان انحراف آن از اهداف سازمانی و یا الزام‌های قانونی، مشخص شود. همچنین اثربخشی پروژه‌های بهبود قابل اندازه‌گیری باشد.

عملکرد انرژی عمدتاً تابعی از مجموعه عوامل دینامیک و مرتبط است. این موضوع، شناسایی و تفکیک تغییرات میزان عملکرد انرژی سازمان ناشی از متغیرهای اساسی اثرگذار (برای مثال، شرایط آب و هوایی، نرخ تولید و غیره) و اثرات حاصل از اقدامات بهبود عملکرد را دشوار می‌سازد.

به عبارت دیگر، به منظور محاسبه میزان صرفه‌جویی واقعی حاصل از اجرای راهکار بهینه سازی انرژی در هر سازمان، ضروری است اثرات مربوط به راهکار اجرا شده از دیگر تغییرات همزمان که عملکرد سیستم‌های انرژی بر

را تحت الشعاع قرار می‌دهد، تفکیک شود که این امر از طریق تعیین شاخص‌های عملکردی و ترسیم خطوط مبنای انرژی امکان‌پذیر خواهد بود.

شاخص عملکرد انرژی و خط مبنای انرژی دو مفهوم بهم وابسته و مهم در استاندارد سیستم مدیریت انرژی ایزو ۵۰۰۰۱ بوده که سازمان را قادر می‌سازد تا نسبت به اندازه‌گیری و پایش عملکرد انرژی خود اقدام نماید.

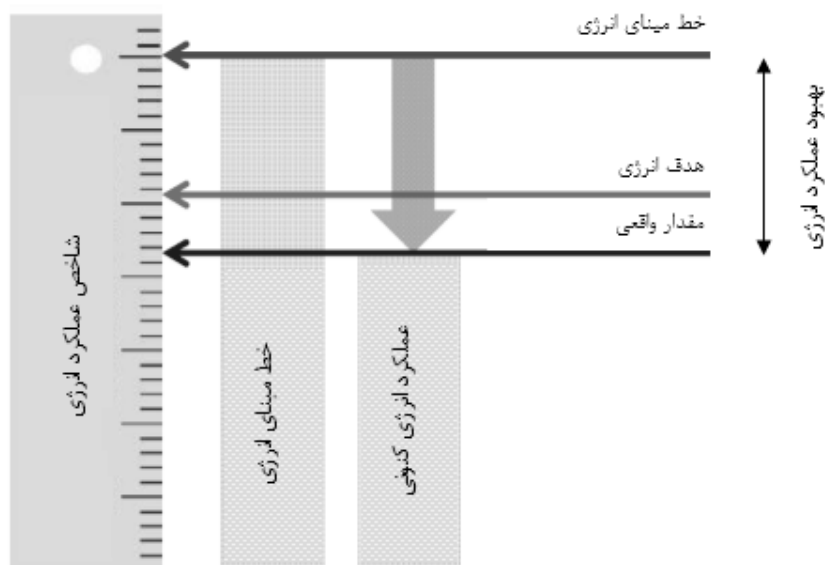
شاخص عملکرد انرژی معیاری است که بازدهی، کاربری و میزان مصرف انرژی تجهیزات، سیستم‌ها و فرآیندها در سازمان را به صورت کمی نشان می‌دهد در حالیکه خط مبنای انرژی مرجعی کمی برای مقایسه و تعیین عملکرد انرژی در بازه‌های زمانی مناسب نسبت به میزان مصرف اندازه‌گیری شده می‌باشد. عملکرد انرژی تجهیزات، سیستم‌ها و فرایندها با مقایسه مصرف انرژی با خط مبنای انرژی بدست می‌آید. این مقایسه می‌تواند برای نشان دادن میزان تحقق اهداف خرد و کلان انرژی مورد استفاده قرارگیرد.

پیش‌بینی میزان مصرف انرژی و هزینه‌های مربوط به آن در دوره‌های آتی نیز از مزایای تعیین خط مبنا است. همچنین خط مبنا به عنوان ابزاری جهت اندازه‌گیری و صحت‌گذاری صرفه‌جویی واقعی حاصل از پروژه‌های ارتقا کارایی انرژی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

سازمان بایستی برای هر یک از شاخص‌های عملکرد انرژی خود، اهدافی را در فرایند مدیریت انرژی در نظر گیرد. هدف گذاری برای هر شاخص می‌تواند بر مبنای بهترین عملکرد گذشته، اهداف مورد تایید در صنعت یا عملکرد ایده آل در نظر گرفته شود.

رابطه بین شاخص‌های عملکرد انرژی، خط مبنا و اهداف انرژی در شکل ۱ دیده می‌شود.

هدف از ارایه این مقاله معرفی فرایند تعیین شاخص عملکرد و خط مبنای مناسب برای پایش و مدیریت عملکرد انرژی است.



شکل ۱: ارتباط بین شاخص‌های عملکرد، خط مبنا و اهداف انرژی

مراحل تعیین شاخص عملکرد و خط مبنای انرژی

برای تعیین شاخص های عملکرد انرژی و خط مبنای متناظر با آن فرآیند ۶ مرحله ای زیر پیشنهاد می شود:

۱. تعیین مرزهای مورد نظر

در مرحله اول، بایستی مرزهای سازمان و تجهیزات و فعالیت های عملیاتی درون این مرزها برای تعیین عملکرد و خط مبنای انرژی مشخص شود. تعیین مرزهای سازمان شدیداً به بزرگی و پیچیدگی فعالیت های آن وابسته است و می تواند در سطح سازمان، فرآیند یا یک تجهیز خاص باشد. مثلاً در یک کارخانه سیمان، شاخص عملکرد انرژی می تواند برای کل کارخانه یا به طور خاص برای فرآیند پخت کلینکر تعریف شود. مرزهای انرژی باید به اندازه ای گسترده باشند که تمامی تغییرات مصرف انرژی ناشی از عوامل موثر مرتبط را شامل شوند و از طرفی باید محدود باشند تا از تاثیر سایر عوامل متاثر نشوند. انواع مرزهای اصلی برای تعیین شاخص عملکرد و خط مبنای انرژی عبارتند از:

• مرزهای فیزیکی

رایج ترین روش انتخاب مرز فیزیکی است که تمامی فعالیت ها و مصرف انرژی درون ساختمان، سایت کاری یا فنس های محدوده مورد نظر را شامل می شود. این نوع مرز می تواند شامل بیش از یک ساختمان و یا چندین سایت کاری باشد. با این روش می توان مرز را برای کل کارخانه سیمان تعریف نموده و شاخص عملکرد انرژی را برای کل کارخانه در نظر گرفت.

• مرزهای سیستمی

زمانی که یک سیستم یا فرآیند، بخش عمده ای از انرژی یک کارخانه را به خود اختصاص می دهد جهت تمرکز بیشتر بر آن می توان مرزهای انرژی را برای این سیستم یا فرآیند تعریف نمود. همچنین در صورت محدودیت داده ها یا وسایل اندازه گیری می توان از مرزهای سیستمی استفاده نمود. تعریف مرزهای انرژی در کارخانه سیمان برای فرآیند سایش کلینکر، نمونه ای از مرزهای سیستمی است.

• مرزهای سازمانی

مناسب ترین نوع مرزهای انرژی، برای سازمانی که قصد ارزیابی عملکرد واحد ها و مدیریت های مختلف خود را دارد، مرز سازمانی است. در این نوع مرزبندی می توان مرز را روی دپارتمان های مختلف کارخانه سیمان مانند، سنگ شکن، آسیای مواد خام و تعریف کرد.

۲. تعیین منابع انرژی

در این مرحله نحوه جریان انرژی در مرزهای تعریف شده، شناسایی می گردد. این کار با تعیین کاربری، نحوه مصرف و اندازه گیری میزان مصرف انرژی در مرزهای تعریف شده انجام می شود. منابع انرژی در یک کارخانه سیمان، الکتریسیته، سوخت، هوای فشرده و آب می باشد.

۳. تعیین بازه زمانی خط مبنای انرژی

دوره زمانی خط مبنای انرژی، با توجه به ماهیت عملیات سازمان، تعیین می شود. دوره خط مبنا و دروه گزارش دهی باید به اندازه کافی طولانی باشند که تضمین کند تغییر پذیری در الگوهای عملیاتی در خط مبنا و شاخص عملکرد انرژی در نظر گرفته می شوند. برای نمونه دوره های سالانه به اندازه کافی طولانی هستند که تأثیرات فصلی و الگو های آب و هوایی را در مصرف انرژی و متغیر های مرتبط، لحاظ کنند. دوره تناوبی که سازمان داده ها را برداشت می کند نیز عامل مهمی برای تعیین دوره خط مبنا است. دوره زمانی را می توان روزانه، هفتگی، ماهیانه، سالانه، چند ساله یا هر زمانی که سیکل کاری تجهیز یا فرآیند مورد نظر کامل می شود در نظر گرفت. متداول ترین بازه زمانی برای خط مبنای انرژی، یک سال است. یک سال علاوه بر اینکه همه فصول را شامل می شود و می تواند تأثیرات متغیر های مرتبط مانند آب و هوا را بر کاربرد و مصرف انرژی ثبت کند، می تواند انواع چرخه های عملیاتی کسب و کار را که ممکن است به سبب تغییرات الگوی تقاضا در طول سال به وجود آید، را نیز شامل شود. جهت بررسی و مقایسه میزان تطابق با اهداف و چگونگی روند مصرف انرژی و نیز پیش بینی بودجه لازم برای هزینه های انرژی، معمولاً از خط مبناهایی با دوره زمانی یکساله استفاده می شود.

بازه زمانی کمتر از یک سال برای خط مبنای انرژی، برای مواردی مناسب است که تغییرات فصلی بر مصرف انرژی تأثیری ندارد یا بررسی الگوهای عملیاتی خاص در دوره های عملیاتی کوتاه، مد نظر است. به علاوه دوره خط مبنای کوتاه، برای وضعیت های ضروری که سابقه داده ها غیرقابل اطمینان، نامناسب یا غیر قابل دسترس است، مورد استفاده قرار می گیرد. برای مثال، زمانی که تغییر در سازمان، خط مشی یا فرآیند، سبب شده که تنها داده های فعلی در دسترس باشند. خط مبنای انرژی چند ساله برای دوره های تولید کوتاه در سال مفید است. جایی که واحد تولیدی تنها چند ماه در سال تولید می کند و نسبتاً در باقی سال راکد است.

۴. تعریف متغیرهای موثر بر مصرف انرژی

با استفاده از دانش فنی و درک تجربی مناسب از فرایند می توان عوامل کمی و قابل اندازه گیری که میزان مصرف انرژی را تحت تأثیر قرار می دهند، شناسایی کرد. برخی از عوامل تأثیر زیادی بر مصرف انرژی دارند در حالیکه برخی دیگر دارای تأثیر اندک یا ناچیز بر مصرف انرژی در یک مرز انرژی هستند. عدم در نظر گرفتن این عوامل، باعث بروز خطا در تحلیل مصارف انرژی می گردد. شرایط آب و هوایی (دمای هوا، رطوبت، تعداد روزهای گرم و سرد سال)، میزان تولید و ساعت کارکرد نمونه هایی از این عوامل هستند که با عنوان متغیرهای اثر گذار بر مصرف انرژی شناخته می شوند.

۵. تعریف شاخص و خط مبنای انرژی با توجه به اثر متغیر های موثر بر آن

شاخص عملکرد انرژی با کمک دانش فنی و بررسی رفتار تجهیزات، سیستم ها و فرایند ها تعیین می شود. شاخص مذکور باید منعکس کننده راندمان و کاربری انرژی به بهترین شکل باشد. خط مبنای انرژی را نیز می توان با استفاده از تحلیل داده های انرژی گذشته و شرایط بهره برداری و با در نظر گرفتن اثر متغیر های موثر بر مصرف

انرژی تعیین کرد. ممکن است شاخص عملکرد انرژی، تنها تابعی از یک متغیر بوده و با یک رابطه خطی ساده قابل تعریف باشد و یا ممکن است به صورت تابعی غیرخطی و پیچیده از متغیرهای اثر گذار بر آن تعریف شود. برای تعریف شاخص عملکرد و خط مبنای انرژی با در نظر گرفتن متغیرهای موثر بر آن، روش های مختلفی وجود دارد که در ادامه به برخی از آن ها اشاره می شود:

- روش اندازه گیری

برای فرآیندهایی که دارای مصرف ثابت انرژی هستند و تاثیر عوامل موثر بر مصرف انرژی قابل اغماض است، شاخص عملکرد انرژی میزان مصرف تعریف شده و می توان از اندازه گیری های کوتاه مدت جهت تعیین خط مبنای انرژی استفاده کرد.

در تعیین خط مبنای انرژی با این روش، فرایند مورد نظر باید به اندازه کافی پایدار باشد تا با تغییر شرایط تولید میزان مصرف انرژی ثابت بوده و بتواند به عنوان خط مبنای انرژی استفاده شود. مصرف انرژی فن های خنک کن بدنه کوره، مثالی از این نوع فرایند است.

- روش تعیین نسبت

این روش برای فرایندهایی که الگوی ساده مصرف انرژی داشته و تنها دارای یک یا دو متغیر موثر بر عملکرد انرژی می باشند، استفاده می شود. در این صورت شاخص عملکرد انرژی به صورت یک نسبت یا یک رابطه ساده تعریف شده و خط مبنا با استفاده از تحلیل داده های گذشته تعیین می شود. مانند مصرف انرژی سیستم روشنایی که تنها تابع مدت زمان عملکرد سیستم است. می توان عملکرد آن را با نسبت میزان مصرف انرژی به زمان کارکرد سنجید.

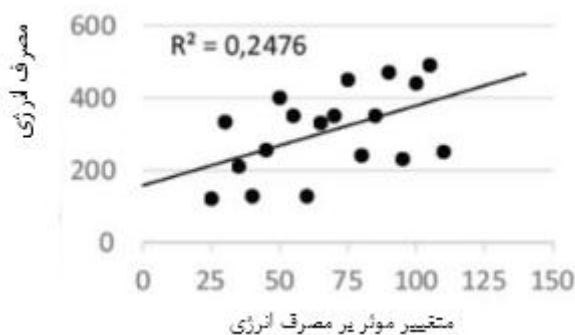
- روش تحلیل آماری

در فرایندهایی که الگوی مصرف انرژی نسبتاً پیچیده دارند و دارای یک یا چند متغیر موثر بر مصرف انرژی هستند، شاخص عملکرد انرژی به شکل رابطه ای پیچیده در می آید. در این فرایندها می توان از روش های تحلیل آماری برای تعیین خط مبنا و چگونگی و میزان اثرگذاری متغیرهای موثر بر آن استفاده نمود. روش هایی مانند، آنالیز همبستگی، نمودار پراکندگی X-Y و آنالیز رگرسیون. آنالیز رگرسیون به عنوان رایج ترین روش آماری تعیین ارتباط بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل، کاربرد بیشتری در تعیین خط مبنا دارد و علاوه بر نشان دادن رابطه بین داده ها، پراکندگی داده ها را نیز مشخص می کند. متغیر وابسته میزان مصرف انرژی و متغیرهای مستقل، متغیرهای موثر بر مصرف انرژی می باشد.

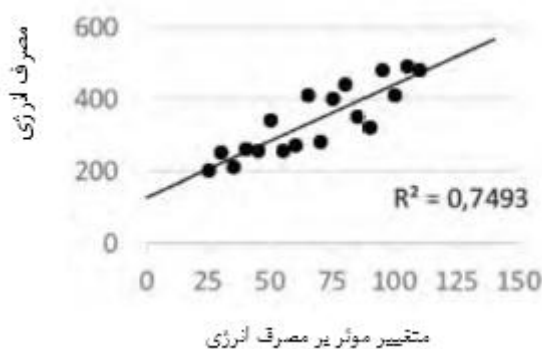
گفتنی است، داده های مربوط به میزان مصرف انرژی و متغیرهای مربوطه باید همسان باشند یا به عبارت دیگر در بازه زمانی مشترک اندازه گیری و جمع آوری شده باشند. در صورتیکه تنها یک متغیر اثرگذار اصلی وجود داشته باشد، ارتباط بین مصرف انرژی به عنوان متغیر وابسته و عوامل موثر بر آن به عنوان متغیر مستقل بصورت تابع خطی زیر است:

$$y=mx+b$$

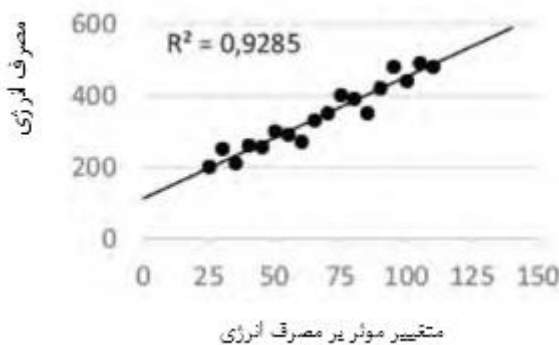
در این صورت شاخص عملکرد انرژی به صورت نسبت y/x تعریف شده و این تابع خطی را می توان به عنوان خط مبنا در نظر گرفت. در این رابطه m انرژی به ازای یک واحد تغییر متغیر مستقل و b بار پایه سیستم می باشد. R^2 ضریب رگرسیون بوده که هر چقدر به عدد ۱ نزدیکتر باشد، مدل مربوطه از قطعیت بالاتری برخوردار است. این موضوع در شکل های ۲ تا ۴ نشان داده شده است:



شکل ۲: ارتباط میزان مصرف انرژی با متغیر بدون تاثیر عمده

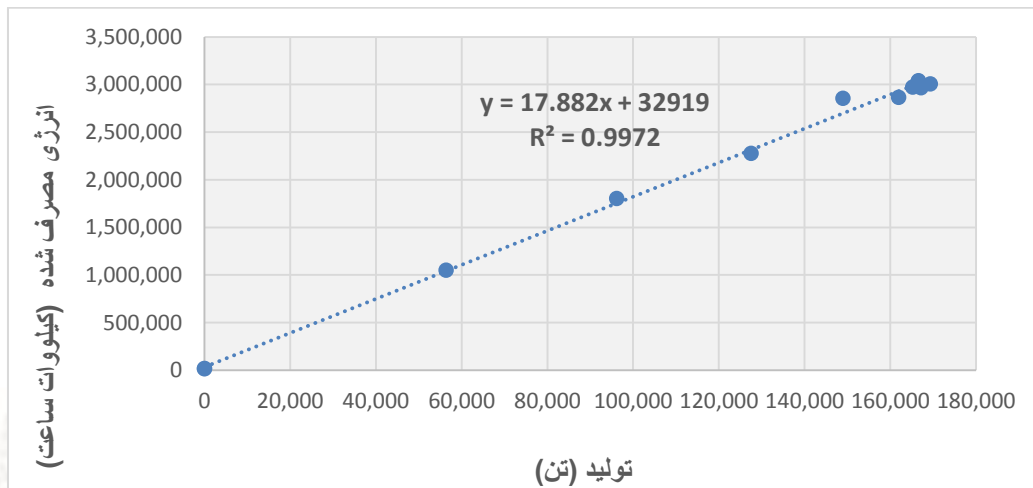


شکل ۳: ارتباط میزان مصرف انرژی با متغیر با تاثیر کم



شکل ۴: ارتباط میزان مصرف انرژی با متغیر با تاثیر زیاد

به عنوان مثال، خط مبنای انرژی آسیا (غلطکی) را می توان با توجه به تولید این دپارتمان و صرف نظر از سایر متغیرهای اثرگذار بر مصرف انرژی، به این روش تعیین کرد. شکل ۵.



شکل ۵: خط مبنای انرژی یک نمونه آسیا غلطکی

اگر تحلیل رگرسیون خطی تک متغیره نشان دهنده رابطه مناسبی برای فرایند مورد نظر نباشد می توان از تحلیل رگرسیون خطی چند متغیره استفاده کرد. در تحلیل رگرسیون خطی چند متغیره، مدل شامل دو یا چند متغیر تاثیر گذار عمده می باشد. رابطه رگرسیون خطی چند متغیره به صورت زیر است:

$$y = m_1x_1 + m_2x_2 + \dots + b$$

با توجه به اینکه علاوه بر میزان تولید، متغیرهای دیگری نیز بر مصرف انرژی آسیا تاثیرگذارند، تعیین خط مبنای انرژی آن به صورت رگرسیون خطی چند متغیره، ضمن اینکه از دقت بالاتری برخوردار است، میزان اثر هر یک از این متغیرها را نیز به وضوح نشان می دهد. متغیرهای اصلی موثر بر مصرف انرژی یک آسیای غلطکی عبارتند از: میزان تولید (نرخ تولید) A_1 ، ارتفاع دم رینگ A_2 ، میزان سایش غلطک و سینی A_3 ، نرمی محصول آسیا A_4 ، تعداد استارت های آسیا A_5 ، میزان مصرف انرژی در توقف تعمیرات A_6 و ... بنابراین با تحلیل داده های گذشته خط مبنای انرژی برای این فرایند را می توان به شکل زیر تعریف کرد:

$$Q = m_1A_1 + m_2A_2 + m_3A_3 + m_4A_4 + m_5A_5 + A_6 + b$$

که در آن Q میزان مصرف انرژی و ضرایب m ، نشاندهنده شدت اثرگذاری هریک از متغیرها بر مصرف انرژی است.

گفتنی است، تحلیل رگرسیون می تواند توسط توابع چند جمله ای نمایی، توانی و لگاریتمی نیز انجام گیرد.

• روش تحلیل مهندسی

در مورد فرایندهای پیچیده از روش تحلیل مهندسی استفاده می شود. در این روش، فرایند با استفاده از داده های فرآیند و محاسبات مهندسی مدلسازی می شود تا شاخص عملکرد و خط مبنای انرژی با درستی و دقت

بیشتری تعیین گردد. یک مدل باید شامل تعدادی متغییر ورودی مشخص تاثیرگذار بر مصرف انرژی باشد. دستکاری و تغییر متغییر های ورودی، تفاوت مصرف انرژی را در حالت های مختلف نشان می دهد. مدلسازی مدل های پیچیده می تواند با استفاده از نرم افزار های مناسب انجام شود.

۶. تعدیل (اصلاح) شاخص عملکرد و خط مبنای انرژی

وقتی تغییراتی بر روی تاسیسات، سیستم ها یا فرایندها اتفاق می افتد، کاربرد، مصرف، بهره‌وری انرژی و متغییرهای موثر بر مصرف انرژی تحت تاثیر قرار می گیرند. در این صورت بایستی از مناسب و موثر بودن شاخص های عملکرد، مرزهای متناظر و خطوط مبنا، در اندازه گیری عملکرد انرژی، در شرایط جدید اطمینان حاصل نمود. چنانچه مناسب نباشند، بایستی تغییرات لازم انجام گیرد، یا شاخص های عملکرد جدید ایجاد شود و یا تنظیماتی بر روی خط مبنای انرژی اعمال گردد.

مهمترین تغییراتی که منجر به تعدیل شاخص عملکرد و خط مبنای انرژی می شوند عبارتند از: تغییر منبع انرژی (استفاده از گاز یا مازوت)، تغییر در بهره‌برداری (تغییر در راهبری فرایند، استفاده از مصرف کننده های جدید، تغییر در مواد اولیه)، تغییر در کسب و کار (استفاده از تجهیزات جدید) و تغییر در سیستم مدیریت انرژی.

جمع بندی

استاندارد سیستم مدیریت انرژی ایزو ۵۰۰۰۱، ابزار کارآمدی برای گنجاندن مباحث انرژی در رویه‌های مدیریتی است. شاخص عملکرد و خط مبنای انرژی از مهمترین و کاربردی ترین مفاهیم این استاندارد هستند که سازمان را قادر به اندازه گیری و پایش عملکرد انرژی خود می سازند. از این مفاهیم در تعیین عملکرد انرژی تجهیزات، سیستم ها، فرایندها، صحت گذاری صرفه جویی حاصل از پروژه های ارتقاء کارایی انرژی و حتی میزان تحقق اهداف خرد و کلان انرژی استفاده می شود. عدم انتخاب صحیح شاخص عملکرد و خط مبنای انرژی نه تنها باعث عدم کارایی سیستم مدیریت انرژی شده، ممکن است با برداشت نادرست از عملکرد انرژی، منجر به اتخاذ تصمیمات مدیریتی ناصحیح و تحمیل هزینه به سازمان گردد. لذا رعایت اصول و دقت در تعیین شاخص عملکرد و خط مبنای انرژی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در این مقاله به شرح اصول مذکور با ذکر مثال ها و مصادیق در کارخانه سیمان پرداخته شده است. پس از تعیین مرزهای سیستم مدیریت انرژی، منابع انرژی، دوره زمانی خط مبنا و تعریف متغییرهای موثر بر مصرف انرژی، می توان با استفاده از روش های اندازه گیری، تعیین نسبت، تحلیل آماری یا تحلیل مهندسی نسبت به تعریف شاخص عملکرد و خط مبنای انرژی اقدام نمود.

منابع

1. ISO 50001 :2011, Energy management systems - Requirements with guidance for use.

2. ISO 50006 :2014, Energy management systems - measuring energy performance using energy baseline and energy performance indicators – general principles and guidance.

3. US Department of energy, ' Steps to Develop a Baseline: a guide to developing and energy use and energy intensity baseline and the reporting requirements for the save energy'.

4. Northwest Energy Efficiency Alliance, ' Energy Baseline Methodologies for industrial Facilities' , 2013.

۵. احمد قاسمی، ' بررسی روش های تعیین عملکرد انرژی و محاسبه میزان صرفه جویی انرژی ناشی از پیاده سازی طرح های بهبود' ، پنجمین کنفرانس انرژی و محیط زیست، دی ۱۳۹۴.

۶. مهدی شکوری، ' اصول تعیین خط مبنای انرژی و شاخص های عملکرد انرژی '، یونیدو ۱۳۹۶.

۷. امور پژوهش و فناوری شرکت گاز استان خراسان رضوی، ' ایزو ۵۰۰۰۱ و سیستم مدیریت انرژی '.

۸. مهدی شکوری، علیرضا مختار، احمدرضا سجادی، ' راهنمای عملی برای پیاده سازی سیستم مدیریت انرژی '، یونیدو، ۱۳۹۴.

شرکت

سیمان

زاوه

تربت

Zaveh Torbat Cement Co.