DOR: 20.1001.1.24234931.1399.7.2.9.8

سال هفتم، شماره دوم، پائیز و زمستان ۱۳۹۹، ص ص ۷۳- ۸۰

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

مقاله

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۵/۱۴

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۸/۱۱

هدف‌گذاری عملکرد انرژی یک ساختمان اداری با استفاده از مفاهیم خط مبنا و شاخص عملکرد انرژی

قاسم عرب [1*]

۱- استادیار دانشکده فنی گروه مهندسی مکانیک ـ دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) شهرری ـ تهران ـ ایران

* تهران، صندوق پستی ۱۸۱۵۱۶۳۱۱۱ ، Gh.arab@iausr.ac.ir

چکیده

وجود تجربیات موفق داخلی و جهانی استقرار سیستم مدیریت انرژی بر اساس استاندارد ISO 50001: 2011 راهگشای سازمان‌ها جهت کاهش هزینه‌های انرژی و زیست‌محیطی مربوطه می‌باشد. چگونگی ارتقای مدیریت انرژی در سازمان‌ها، در این استاندارد ارائه شده است. بهبود عملکرد انرژی منجر به کاهش مصرف و به تبع آن، هزینه‌های انرژی سازمان شده و از سوی دیگر، علاوه بر بالابردن توان رقابتی و بهبود بازده اقتصادی سازمان، بخشی از تعهدات زیست محیطی آنان را نیز پوشش می‌دهد. این استاندارد برای واحدهای صنعتی، تجاری، سازمان‌ها و نهادهای دولتی چارچوبی برای مدیریت سیستماتیک انرژی ایجاد می‌نماید. خط مبناها و شاخص های عملکرد انرژی به همراه هدف گذاری و پایش عملکرد انرژی بخش هایی مهم در این استاندارد هستند و در این تحقیق، با استفاده از داده های واقعی مصارف انرژی و شناسایی عوامل تاثیر گذار، مدلی برای هدف گذاری، پایش عملکرد و تدوین خط مبناهای انرژی در یک ساختمان با کاربری اداری در شهر تهران توسعه داده شده است. مدل توسعه داده شده، متدولوژی و نتایج بدست آمده قابل استفاده در هر ساختمان مشابه در هر منطقه جغرافیایی می‌باشد.

کلیدواژگان: خط مبنا، شاخص عملکرد، هدف‌گذاری، برچسب انرژی

Energy performance targeting for an administrative building through energy baseline and energy performance indicator concepts

Ghasem Arab [1*]

- Department of Mechanic, Islamic Azad University, Yadegar-e-Emam (RAH) Shahre Rey branch, Tehran.

* P.O.B. 1815163111 Tehran, Iran, gh.arab@iausr.ac.ir

Received: 5 August 2019 Accepted: 2 November 2019

Abstract

The existence of a successful internal and global experience in establishing an energy management system, based on ISO 50001: 2018, is an acceptable method for organizations to reduce their energy as well as environmental costs. In this standard, the methodology to promote energy management in organizations is presented. In a sense, improving energy performance leads to a reduction in consumption and, consequently, the energy costs are organized as such. On the other hand, as well as raising competitiveness of the organization, and improving its profitability, it also covers part of their environmental commitments. This standard creates a framework for a systematic energy management in industrial, commercial and governmental organizations/institutions. The energy baselines, performance indicators, targets and energy performance monitoring are important parts of this standard. In this study, using actual energy consumption data and by identifying effective factors influencing on this parameter, a model has been developed for targeting, performance monitoring and compilation energy bases in an administrative building in Tehran. Results show that the proposed model/methodology and its information can be used in any similar building in any geographic region.

Keywords: Energy Baseline; Energy Performance Indicator (EnPI); Targeting; Energy Label.

۱- مقدمه

حامل‌های انرژی در تمامی سازمان‌ها مصرف می‌شوند و می‌توانند سهم بالایی را در هزینه‌های جاری یک سازمان داشته باشند. در بین نهاده‌های مربوط به هزینه‌های جاری سازمان‌ها، بدون کاستن از سطح مطلوبیت، پتانسیل‌های کاهش در هزینه‌های انرژی بیش از سایر نهاده‌هاست. علاوه بر آن، از یک سو، مصارف انرژی، انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی و هزینه‌های اجتماعی را در پی داشته و منجر به تغییرات نامطلوب آب و هوایی می‌گردند و از سوی دیگر، توسعه و تجاری‌سازی فناوری‌هایی جهت استفاده از منابع جدید و همچنین انرژی‌های تجدیدپذیر نیاز به زمان و سرمایه‌گذاری زیادی دارد. لذا پرداختن به مباحث مدیریت انرژی فراتر از مرزهای یک سازمان بوده و یک چالش مهم جهانی است. سازمان‌ها توانایی کنترل قیمت‌های انرژی، سیاست‌های دولتی یا اقتصاد جهانی را ندارند اما می‌توانند مدیریت انرژی را در سازمان خود پیاده‌سازی نمایند.

مصرف انرژی فسیلی از سال ۱۹۷۳ تا ۲۰۱۵ از ۶۱۰۱ به ۱۳۶۴۷ میلیون تن معادل نفت خام[1] افزایش یافته است که نشان‌دهنده رشد پایدار و متوسط سالانه معادل ۲/۹۴ ٪ می‌باشد [۱]. استفاده منطقی از انرژی و برنامه‌ریزی در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی با توجه به سنگینی بار مالی یارانه‌های پرداختی دولت، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تدوین تبصره ۱۹ و آیین نامه اجرایی آن در قانون برنامه پنجساله دوم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران، مصوب ۱۳۷۳ اولین گام در جهت شروع فعالیت‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در کشور بوده است. در ادامه، ماده ۱۲۱ قانون برنامه سوم توسعه، تنفیذ شده در ماده ۲۰ قانون برنامه چهارم و آیین‌نامه اجرایی آن، روند فعالیت‌های بهینه‌سازی انرژی را در زمینه‌های ممیزی انرژی و تدوین استانداردهای انرژی تقویت نمود. رشد و توسعه انجام ممیزی فنی انرژی در بخش‌های ساختمان و صنعت کشور با تاسیس شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت در سال ۱۳۷۹ با شتاب بیشتری انجام شد و در سال‌های اخیر، افزایش هزینه‌های انرژی و اجرای فازهای قانون هدفمندی یارانه‌ها، باعث ترغیب سازمان‌های بزرگ مصرف کننده به استقرار واحد مدیریت انرژی شده است.

استاندارد سیستم مدیریت انرژی همانند سایر استانداردهای مدیریت سیستمی بر مبنای فرایند طرح‌ریزی، اجرا، بررسی و بازنگری[2]، جهت بهبود مداوم عملکرد انرژی سازمان‌ها طراحی شده است. خط مبنای انرژی مقدار مرجعی است که مبنایی را برای مقایسه عملکرد انرژی فراهم می‌کند [۲]. استفاده از مفاهیم خط مبنا و شاخص عملکرد انرژی برای پایش و هدف‌گذاری در برخی از مطالعات و تحقیقات قبلی انجام شده است. در سال ۲۰۱۱، نیل استراچان به بررسی مدل‌های غیر معمول در سیاست‌های موجود در مدل‌های خط مبنای انرژی پرداخته است. خط مبناها بعنوان یک ورودی کلیدی در برنامه ریزی‌ها و مدلسازی بلند مدت انرژی شناخته می‌شوند. از آنجایی که سوابق مورد نیاز اعمال سیاست‌هایی نظیر سیاست‌های زیست محیطی موجود نمی‌باشد لذا برنامه ریزی‌های بلند مدت با چالش‌هایی روبرو هستند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مدلسازی‌های انرژی باید حداقل یک ارزیابی از سیاست‌های فعلی بر روی خط مبناها انجام دهند. شناخت و مقایسه فرضیات برای سیاست گذاری موثر و اقتصادی ضرورت دارد. در صورتی که سیاست‌ها به شکل مناسبی در خط مبنا اعمال نشوند، تخمین‌های بلند مدت در خصوص انتشار آلاینده‌ها و هزینه‌های مرتبط مناسب نخواهد بود [۳]. در سال ۲۰۱۳، ریواستاف و همکاران بر روی مدلسازی خط مبنای ساختمان با استفاده از مدل گوسی و کمی‌سازی عدم قطعیت‌ها مطالعه نمودند. مطالعه برای یک ساختمان در ایالت کالیفرنیا انجام شده و از یک مدل چند متغیره رگرسیونی بهره برده شده است. نتایج نشان دهنده انطباق مناسب نتایج با داده‌های واقعی یکسال مصرف انرژی ساختمان می‌باشد [۴]. در سال ۲۰۱۴، گرندرسون و پرایس به بررسی توسعه و کاربردهای یک متدلوژی آماری برای ارزیابی دقت مدل‌های خط مبنای انرژی در ساختمان پرداختند. این تحقیق با کاربرد اندازه گیری و صحه گذاری برای ساختمان‌ها توسعه داده شده است و از منابعی همچون بخش ۱۴ استاندارد ASHREA[3] استفاده نموده است. با استفاده از داده‌های مربوط به ۲۹ ساختمان، خط مبنای انرژی توسعه داده شده و پیش بینی‌های مدل در دوره‌های زمانی روزانه، هفتگی و ماهانه با اطلاعات واقعی کنتور برای ارزیابی دقت مدل، مقایسه شده است. نتایج نشان دهنده دقت بالای مدل توسعه داده شده می‌باشد [۵]. در سال ۲۰۱۴، روسی و همکاران بر روی شبکه‌های عصبی و مدلسازی فیزیکی برای تعیین خط مبنای یک واحد تولید همزمان برق و حرارت[4] را ارائه نمودند. در این تحقیق چندین راهکار بهینه سازی انرژی اجرا شده و هدف تحقیق ارائه مدلی برای تعیین میزان صرفه جویی اجرای راهکارها می‌باشد. دو مدل شبکه‌های عصبی و مدلسازی ترمودینامیکی مد نظر قرار گرفته است و نتایج نشان دهنده موثر بودن هر دو روش می‌باشد. سطح دقت مورد نیاز در هر دو مدل مشاهده شده و توانایی مدل برای پیش بینی مقدار مصرف واقعی واحد تولید همزمان برق و حرارت مطلوب برآورد شده است. نتایج حاصله همچنین استفاده از روش شبکه‌های عصبی را برای مدلسازی خط مبنای انرژی توصیه می‌کند. استفاده از این روش همچنین می‌تواند بخشی از مشکلات و محدودیت‌های فیزیکی موجود در مدلسازی ترمودینامیکی فرایندهای صنعتی را تصحیح نماید [۶]. در سال ۲۰۱۶، ژین لیانگ و سایرین در چین بر روی بهبود دقت مدل‌های خط مبنای انرژی برای ساختمان‌های تجاری با در نظر گرفتن داده‌های اشغال فضا پرداختند. بر اساس نتایج تحقیق انجام شده، بیش از ۸۰ ٪ انرژی مصرفی یک ساختمان در طول عمر آن در مرحله بهره برداری اتفاق افتاده و بنابراین بهینه سازی انرژی در ساختمان‌های موجود از اهمیت بالایی برخوردار است. نتایج حاصل نشان می‌دهند که اضافه نمودن متغیر سطح اشغال فضا بهبود زیادی در دقت مدل خط مبنا بخصوص در مورد سیستم‌های تهویه مطبوع[5] ایجاد نمی‌کند. علاوه بر تشریح دلایل این موضوع، تحلیل حساسیت بر روی عوامل تاثیرگذار اصلی انجام شده است [۷]. در سال ۲۰۱۷، سانتورنافا از دانشگاه تایلند به بررسی کاربرد روش رگرسیون خطی و شبکه عصبی مصنوعی برای تدوین خط مبنای انرژی جهت انجام ارزیابی‌ها و محک زنی سازمان‌ها پرداخته است. در این تحقیق جهت تدوین خط مبنا، اطلاعات روزانه انرژی از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶ مورد بررسی قرار گرفته است. تلاش در جهت تدوین خط مبنا با ضریب تعیین[6] بالاتر انجام شده است. نتایج نشان دهنده قابلیت استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و روش خطی برای تدوین خط مبنا در یک کارخانه تولیدی می‌باشد [۸]. در سال ۲۰۱۷، ژانگ هوان و دیگران مدلسازی خط مبنای انرژی ساختمان اداری را با استفاده از اطلاعات مصرف روزانه انجام دادند. این تحقیق بر روی بدست آوردن میزان صرفه جویی انرژی بر اثر

---

[1] Million ton oil equivalent (Mtoe)

[2] Plan - Do - Check - Act (PDCA)

[3] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHREA)

[4] Combined heat & power (CHP)

[5] Heating, Ventilation and air conditioning (HVAC)

[6] Coefficient of Determination (R^2)

اجرای راهکارهای بهینه سازی انرژی با استفاده از مفاهیم خط مبنای و شاخص عملکرد انرژی متمرکز شده است. در این تحقیق از یک تکنیک خوشه ای[1]برای بهبود دقت رگرسیون مدل خط مبنا استفاده شده است. از اطلاعات ماهانه و روزانه استفاده شده است. نتایج تحقیق دقت بالای مدل خوشه ای را در هنگام استفاده از داده‌های روزانه تایید می‌نماید [۹]. در سال ۲۰۱۷، آلوس و دیگران بر روی یک متدلوژی برای تخمین خط مبنای استفاده انرژی در یک ساختمان اداری با استفاده از ابزارهای قانونگذاری و ساختمان‌های مرجع در برزیل پرداختند. از خط مبنای انرژی بعنوان ابزاری برای سیاستگذاری در حوزه ساخت و ساز بخصوص ساختمان‌های نسل چهارم استفاده شده است. در این تحقیق اثرات مصرف انرژی، قوانین انرژی و تاثیرات آنها بر تیپ ساختمان سازی، مشخص نمودن شاخص‌های یک ساختمان مرجع و تاثیرات انتخاب فناوری‌های مورد استفاده در ساختمان بر مصرف انرژی آن بررسی شده است [۱۰]. در سال ۲۰۱۷، گلدن و همکاران به بررسی مدل‌های رگرسیونی خط مبنای تاسیسات صنعتی بر اساس روز درجه و تغییرات نقطه ای پرداختند. دیدگاه اصلی در این مقاله اثبات صرفه جویی بر اساس بخش ۱۴ استاندارد ASHREA می‌باشد. برای این منظور تدوین خط مبنا ضرورت دارد. در این تحقیق از نتایج تحقیقات مدلسازی خط مبنا در ساختمان‌ها استفاده شده و از پارامتر روز درجه سرمایش برای مدلسازی خط مبنا در بخش صنعت نیز بهره برده شده است. روش انجام مدلسازی ارائه شده است [۱۱]. در سال ۲۰۱۸، کارپنتر و دیگران به مقایسه مدل‌های فرایند گوسی[2]و تغییر نقطه[3]برای تدوین خط مبنای انرژی در یک تاسیسات صنعتی پرداختند. بخش صنعت در حدود یک سوم انرژی را در جهان مصرف می‌کنند و برای ارزیابی‌های موثر، تدوین خط مبنای صحیح از اهمیت بالایی برخوردار است. برای ساختمان‌های تجاری و مسکونی می‌توان از مدل‌های پیچیده یا ساده استفاده نمود. اما برای بخش‌های صنعتی معمولا از مدل‌های مبتنی بر صورتحساب‌های انرژی ماهانه و تغییرات نقطه‌ای استفاده شده است. نتایج نشان دهنده مشابهت در نتایج حاصل از دو مدل گوسی و تغییرات نقطه‌ای است. نتایج میزان ۱۰ ٪ اختلاف بین نتایج واقعی و تخمین‌های مدل را نشان می‌دهد [۱۲].

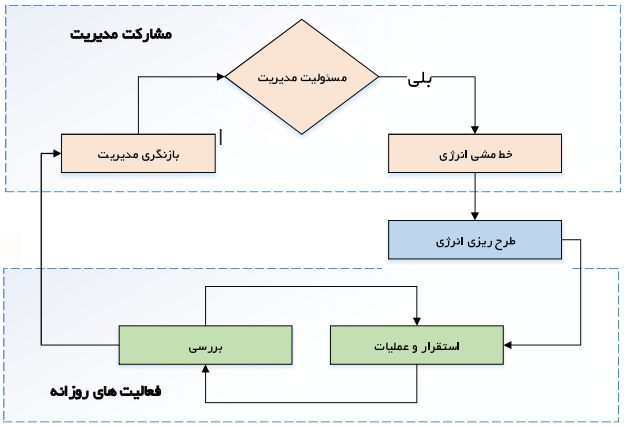
در این تحقیق با استفاده از نتایج تحقیقات انجام شده و مفاهیم ذکر شده در استانداردهای ISO 50001: 2011 و ISO 50006: 2014 و انجام تحلیل‌های آماری، مدلی برای ارائه و تدوین خط مبنای انرژی در یک ساختمان اداری در شهر تهران توسعه خواهد یافت. این مدل با قابلیت انجام مقایسه، بعنوان ابزاری کاربردی برای مقایسه با شاخص عملکرد انرژی و پایش آن مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

۲- روش توسعه مدل خط مبنای انرژی

در شکل ۱ نمایی ساده از سیستم مدیریت انرژی در چرخه ای که از مسئولیت و تعهد مدیریت آغاز می‌شود، ترسیم شده است. این مرحله، سرآغاز تصمیم گیری است و بدون آن، سیستم اثربخشی لازم را نخواهد داشت. این چرخه با تدوین خط مشی، طرح ریزی، استقرار و عملیات و بازنگری مدیریت ادامه می‌یابد. سه فعالیت مسئولیت مدیریت، خط مشی و بازنگری مدیریت در یک گروه قرار گرفته اند که مسئولیت انجام آن‌ها بر عهده مدیر ارشد سازمان است [۱۳].

طرح‌ریزی و سازماندهی اطلاعات مربوط به انرژی، فعالیتی مهم برای بررسی وضعیت فعلی عملکرد انرژی و تشخیص اقدات لازم در جهت بهبود آن است. پایش روزانه عملکرد انرژی به منظور بهبود مستمر، جز فعالیت‌های روزمره است و هدف از آن تحقق روند رو به بهبود عملکرد انرژی است. یک خط مبنای انرژی، نشان دهنده یک دوره زمانی مشخص شده است و می‌تواند با استفاده از متغیرهای تاثیرگذار بر کاربرد و یا مصرف انرژی مانند سطوح تولید و روز-درجه[4]نرمال سازی و فرموله شود. خط مبنای انرژی همچنین بعنوان مرجعی برای محاسبه صرفه جویی انرژی، قبل و بعد از انجام اقدامات بهبود عملکرد انرژی، استفاده می‌شود[۱۴]. مراحل زیر برای ایجاد یک خط مبنای انرژی بایستی انجام شود:

- تعیین دوره مناسب برای داده‌ها
- جمع آوری داده‌ها
- انجام تحلیل‌های آماری و مهندسی و تدوین خط مبنای انرژی و آزمایش کردن آن



شکل ۱: رویکرد چرخه ای در سیستم مدیریت انرژی

به هنگام ایجاد خطوط مبنای انرژی، سازمان بایستی با توجه به ماهیت عملیات خود، دوره مناسبی را تعیین کند. دوره خط مبنا و دوره گزارش دهی بایستی به اندازه کافی طولانی باشند که تضمین کند که تغییرپذیری در الگوهای عملیاتی در خط مبنای انرژی و شاخص عملکرد انرژی در نظر گرفته می‌شوند. برای نمونه در یک ساختمان دوره‌های دو ساله به اندازه کافی طولانی هستند که تاثیرات فصلی را در مصرف انرژی و متغیرهای مرتبط، لحاظ کنند. برای ایجاد خط مبنای انرژی، بایستی شاخص عملکرد انرژی متناظر با آن، با استفاده از داده‌های مصرف انرژی و متغیرهای مرتبط از دوره خط مبنا، اندازه گیری یا محاسبه شود. برای اعتبارسنجی، خط مبنای انرژی بایستی آزمایش شود تا اطمینان حاصل شود که مرجع مناسبی برای مقایسه است. زمانی که از مدل‌ها استفاده می‌شود، اعتبار خط مبنای انرژی می‌تواند با استفاده از آزمون‌های آماری نظیر ضریب تعیین آزمایش شود تا مشخص شود که آیا مدل آماری به بهترین نحو از روی داده‌ها به دست آمده است. اگر مشخص شود که مدلی معتبر نیست، سازمان بایستی تنظیم خط مبنای

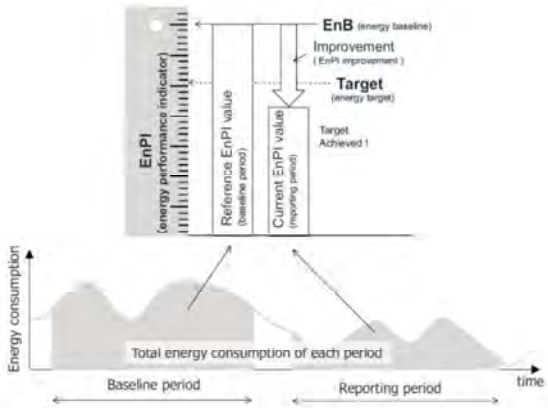
[1] Clustering technique
[2] Gaussian process
[3] change-point
[4] Degree-days

انرژی یا ایجاد مدل جدید برای شاخص عملکرد انرژی و خط مبنای انرژی متناظر با آن را در نظر بگیرد.

همانگونه که در شکل ۲ نشان داده شده است خط مبنای انرژی، سنجه عملکرد انرژی طی دوره خط مبنا بوده و مقایسه شاخص‌های عملکرد در دوره خط مبنا و دوره گزارش‌دهی، می‌تواند برای نشان دادن پیشرفت به سمت تحقق اهداف کلان و اهداف خرد انرژی مورد استفاده قرار گیرد و بهبود عملکرد انرژی را اثبات کند. انواع شاخص‌های عملکرد می‌توانند بصورت‌های زیر تعریف شوند[۱۴]:

- کل مقدار مصرف برق یا سوخت؛
- نسبت مصرف انرژی به سطح زیر بنای مفید در ساختمان یا میزان تولید در صنایع (مصرف ویژه انرژی)؛
- مدل آماری (معمولاً رگراسیون خطی) مبین رابطه بین مصرف انرژی و متغیرهای موثر.

عدم تدوین مناسب خط مبناها و استفاده از خط مبناهای استاتیکی که تاثیر عوامل تاثیر گذار بر مصرف انرژی در آنها مشخص نشده است باعث می‌شود سازمان همواره با مشکلات زیادی در بخش پایش شاخص‌های عملکرد انرژی مواجه بوده و نتواند تفسیر درستی از تاثیر اقدامات صرفه‌جویی انرژی ارائه دهد. تدوین خط مبناها و شاخص‌های عملکرد مناسب برای پایش موثر عملکرد انرژی بعنوان یک ضرورت اساسی برای سازمان‌ها می‌باشد.



شکل ۲ مفاهیم دوره مبنا، دوره گزارش دهی، خط مبنای انرژی و شاخص عملکرد انرژی و ارتباط آنها با اهداف انرژی

بر این اساس، پس از در نظر گرفتن یک دوره زمانی مشخص، سوابق مصرف انرژی تحلیل و با توجه به نوع و ماهیت مصرف‌کنندگان انرژی در سازمان، عوامل موثر بر مصرف انرژی سازمان شناسایی و معادله خط مبنای انرژی طبق تابع رابطه (۱) تعیین می‌شود. از این تابع در دوره گزارش دهی، برای پایش عملکرد انرژی و نشان دادن تاثیرات اقدامات بهبود عملکرد استفاده می‌گردد. لازم به ذکر است تابع خط مبنا برای هر حامل انرژی (برق یا گاز) می‌تواند بصورت جداگانه تدوین گردد. میزان صرفه جویی در دوره عملکرد بر اساس رابطه (۲) بدست می‌آید.

$$EnB = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (۱)$$

$$Saving = E_{estimated,baseline} - E_{actual} \quad (۲)$$

که در این رابطه x نشان دهنده متغیرهای مستقل بوده و مقدار E_{actual} که نشان دهنده مصرف انرژی واقعی می‌باشد از روی کنتورهای سازمان و $E_{estimated,baseline}$ که نشان دهنده میزان مصرف تخمینی انرژی می‌باشد، از روی معادله خط مبنا و در شرایط دوره گزارش‌دهی بدست می‌آید. تعیین اهداف بر اساس فرصت‌های بهبود و با توجه به معادله خط مبنای انرژی و محک زنی با مراجع با راندمان بالاتر صورت می‌گیرد. برچسب انرژی در ساختمان‌های اداری طبق استاندارد ملی ۱۴۲۵۴، یک مرجع مناسب برای مشخص نمودن وضعیت عملکردی ساختمان و مرجعی مفید برای هدف‌گذاری انرژی می‌باشد. در این استاندارد که منطبق بر شرایط اقلیمی ساختمان‌های مختلف کشور، مقادیری را برای مقایسه ارائه می‌دهد، نسبت انرژی (R) که نسبت مصرف انرژی واقعی به مصرف انرژی یک ساختمان ایده‌آل در همان شرایط اقلیمی بوده و شاخص مصرف ویژه انرژی (SEC) که نسبت مصرف انرژی واقعی به سطح زیر بنای مفید ساختمان می‌باشد، با روابط (۳) و (۴) معرفی می‌گردند.

$$R = \frac{E_{actual}}{E_{Ideal}} \quad (۳)$$

$$SEC = \frac{E_{actual}}{Area} \left(\frac{kWh}{m^2.yr}\right) \quad (۴)$$

نسبت انرژی نشان دهنده میزان مصرف انرژی ساختمان مورد نظر نسبت به یک ساختمان ایده‌آل در اقلیم مشابه است و بر اساس آن برچسب انرژی ساختمان مشخص می‌گردد. شاخص مصرف انرژی نشان دهنده میزان مصرف انرژی به ازای سطح زیر بنای مفید ساختمان بوده و می‌تواند با ساختمان‌های مشابه مقایسه شود.

بر اساس تحلیل خط مبنای انرژی، فرصت‌های بهبود و برچسب انرژی می‌توان هدف‌گذاری انرژی را انجام و پایش عملکرد را در راستای دستیابی به اهداف تعیین شده انجام داد.

۳- مشخصات ساختمان مورد مطالعه

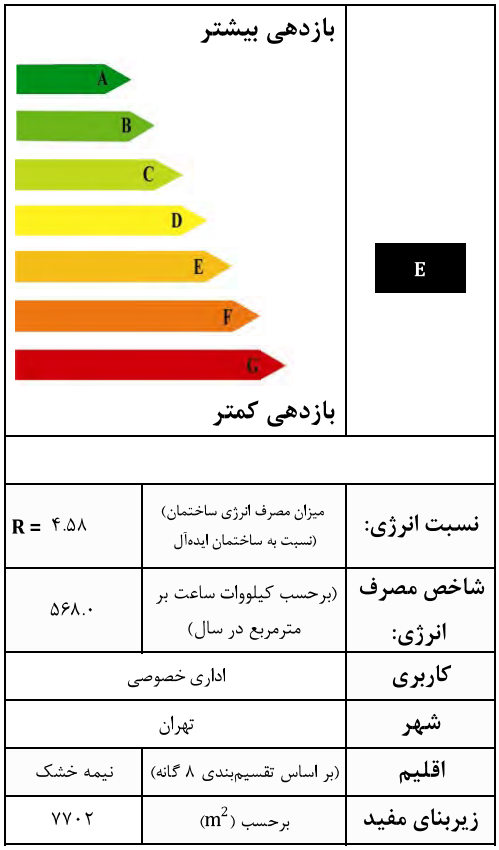
ساختمان نمونه انتخاب شده یک ساختمان با کاربری اداری و با مساحت زیر بنای مفید ۷۷۰۲ متر مربع در شهر تهران می‌باشد. برق و گاز طبیعی انرژی‌های مورد استفاده در این ساختمان بوده و برای استفاده‌های سرمایشی، گرمایشی، تامین آب گرم، روشنایی و تجهیزات اداری و ساختمانی مصرف می‌گردد. سیستم گرمایشی از نوع حرارت مرکزی و فن کوئل و سیستم سرمایشی چیلر تراکمی و فن کوئل می‌باشد. در ساختمان بصورت پراکنده از کولرهای گازی نیز استفاده می‌گردد. ساختمان دارای کاربری اداری مهندسی مشاور بوده و تعداد پرسنل تقریبا ثابت و مراجعات ارباب رجوعی بسیار کمی دارد. اطلاعات مصرف انرژی این ساختمان در سال ۱۳۹۴ در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس این مقادیر مصرف و استاندارد ملی ۱۴۲۵۴، برچسب انرژی ساختمان در سال ۱۳۹۴ مشخص شده و در شکل ۳ ارائه شده است. نتایج تحلیل اولیه نشان می‌دهد این ساختمان نسبت به یک ساختمان ایده آل ۴/۵۸ برابر انرژی بیشتری مصرف نموده و شاخص مصرف انرژی آن ۵۶۸ $kWh/m^2.yr$ می‌باشد. بر اساس این داده‌های عملکردی، برچسب E به این ساختمان تعلق می‌گیرد که نشان دهنده پتانسیل صرفه جویی انرژی بسیار بالایی در این ساختمان است [۱۵].

جدول ۱ سوابق مصرف انرژی ساختمان نمونه در سال ۱۳۹۴

ردیف	عنوان	واحد	مقدار
۱	مصرف سالانه برق	kWh	۹۳۹۳۰۰
۲	مصرف سالانه گاز طبیعی	m^3	۸۵۸۷۱

۴- تدوین خط مبنای انرژی ساختمان

تغییر در دمای محیط مهمترین عامل تاثیر گذار بر مصرف انرژی در ساختمان بوده و برای در نظر گرفتن تاثیرات آب و هوایی، سوابق دو ساله از مصارف برق و گاز ساختمان مورد توجه قرار گرفت. بعلت هماهنگ نبودن دوره‌های ارسال قبوض برق و گاز و همچنین با توجه به استقلال مصارف برق و گاز از یکدیگر، خط مبنای انرژی برای هر حامل انرژی بصورت جداگانه تدوین می‌گردد. در هر حامل انرژی، پس از ارائه داده‌های سوابق انرژی، عوامل تاثیر گذار شناسایی و معادله خط مبنای انرژی از تحلیل‌های مهندسی و آماری تدوین می‌گردد. آزمون اعتبار خط مبنای انرژی انجام شده و سپس انطباق داده‌های واقعی با داده‌های حاصل از معادله خط مبنا مقایسه می‌گردد.



شکل ۳ برچسب انرژی ساختمان مورد مطالعه در سال ۱۳۹۴

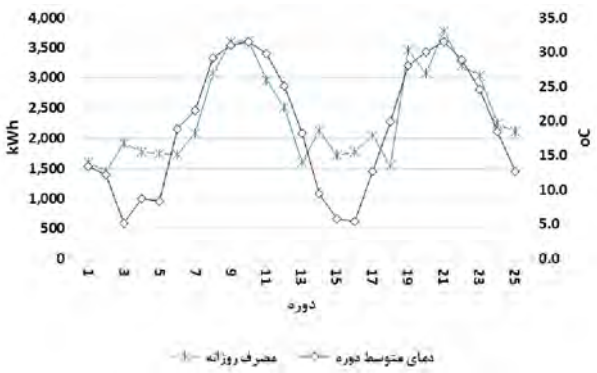
۵- خط مبنای برق ساختمان

مصارف دو سال گذشته برق ساختمان طبق قبوض ارسالی شرکت برق منطقه ای در جدول ۲ ارائه شده است. بعلت یکسان نبودن تعداد روزهای قبوض، میزان مصرف روزانه در هر دوره مشخص شده است. تحلیل اولیه مصارف روزانه نشان می‌دهد میزان مصرف برق در فصول گرم سال بشدت افزایش می‌یابد که مهمترین عامل آن گرم شدن هوا و روشن شدن سیستم تهویه مطبوع (چیلر تراکمی و کولرهای گازی) می‌باشد. با در نظر گرفتن عوامل ثابتی نظیر کاربری، سطح مفید زیر بنا، تعداد ساکنین و الگوی کاری سازمان، دمای محیط مهمترین متغیر تاثیرگذار بر مصرف انرژی شناسایی می‌شود. بنابراین متناسب با دوره‌های قبوض، دماهای متوسط دوره از داده‌های هواشناسی بدست می‌آید. داده‌های تحلیلی مصرف روزانه برق و دمای متوسط دوره در جدول ۲ و شکل ۴ ارائه شده است.

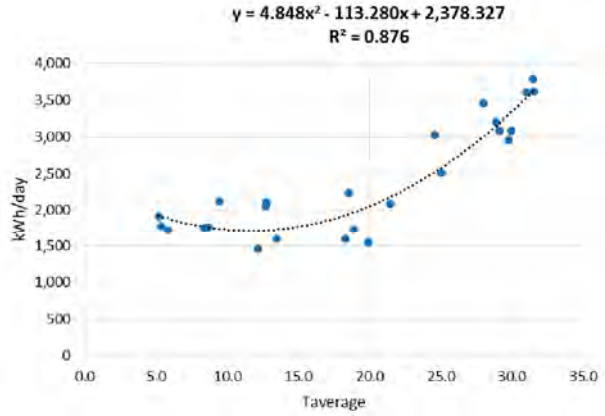
جدول ۲ سوابق مصرف برق ساختمان و دمای متوسط دوره

تا تاریخ	تعداد روز	مصرف واقعی کل دوره (kWh)	مصرف روزانه (kWh)	دمای متوسط دوره (°C)
۹۷/۰۲/۱۵	۳۱	۴۹،۶۰۰	۱،۶۰۰	۱۳/۵
۹۷/۰۱/۱۵	۵۶	۸۱،۶۰۰	۱،۴۵۷	۱۲/۲
۹۶/۱۱/۱۸	۲۵	۴۸،۰۰۰	۱،۹۲۰	۵/۲
۹۶/۱۰/۲۳	۲۸	۴۹،۶۰۰	۱،۷۷۱	۸/۷
۹۶/۰۹/۲۵	۳۲	۵۶،۰۰۰	۱،۷۵۰	۸/۴
۹۶/۰۸/۲۳	۲۴	۴۱،۶۰۰	۱،۷۳۳	۱۸/۹
۹۶/۰۷/۲۹	۳۳	۶۸،۸۰۰	۲،۰۸۵	۲۱/۴
۹۶/۰۶/۲۷	۲۷	۸۳،۲۰۰	۳،۰۸۱	۲۹/۱
۹۶/۰۵/۳۱	۲۴	۸۶،۴۰۰	۳،۶۰۰	۳۱/۰
۹۶/۰۵/۰۷	۲۷	۹۷،۶۰۰	۳،۶۱۵	۳۱/۵
۹۶/۰۴/۱۱	۳۳	۹۷،۶۰۰	۲،۹۵۸	۲۹/۸
۹۶/۰۳/۰۹	۲۸	۷۰،۴۰۰	۲،۵۱۴	۲۵/۰
۹۶/۰۲/۱۲	۲۸	۴۴،۸۰۰	۱،۶۰۰	۱۸/۳
۹۶/۰۱/۱۵	۵۵	۱۱۶،۸۰۰	۲،۱۲۴	۹/۴
۹۵/۱۱/۲۰	۲۴	۲۰،۸۰۰	۸۶۷	۴/۱
۹۵/۱۰/۲۶	۲۶	۴۴،۸۰۰	۱،۷۲۳	۵/۸
۹۵/۰۹/۳۰	۲۷	۴۸،۰۰۰	۱،۷۷۸	۵/۴
۹۵/۰۹/۰۳	۲۵	۵۱،۲۰۰	۲،۰۴۸	۱۲/۷
۹۵/۰۸/۰۸	۳۱	۴۸،۰۰۰	۱،۵۴۸	۱۹/۹
۹۵/۰۷/۰۷	۳۱	۱۰۷،۲۰۰	۳،۴۵۸	۲۸/۰
۹۵/۰۶/۰۷	۲۷	۸۳،۲۰۰	۳،۰۸۱	۳۰/۰
۹۵/۰۵/۱۱	۳۰	۱۱۳،۶۰۰	۳،۷۸۷	۳۱/۵
۹۵/۰۴/۱۲	۳۲	۱۰۲،۴۰۰	۳،۲۰۰	۲۸/۹
۹۵/۰۳/۱۱	۲۸	۸۴،۸۰۰	۳،۰۲۹	۲۴/۶
۹۵/۰۲/۱۴	۳۰	۶۷،۲۰۰	۲،۲۴۰	۱۸/۶
۹۵/۰۱/۱۵	۵۰	۱۰۵،۶۰۰	۲،۱۱۲	۱۲/۸

همانگونه که در شکل ۴ مشخص است داده‌های مصرف برق با دمای محیط انطباق بالایی را نشان می‌دهد. بر همین مبنا، دمای متوسط دوره بعنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شده و رگرسیون انجام شده است. بجای دمای متوسط محیط از روز درجه سرمایش (CDD) نیز می‌توان بهره گرفت. نتایج رگرسیون و معادله خط مبنا در شکل ۵ ارائه شده است.

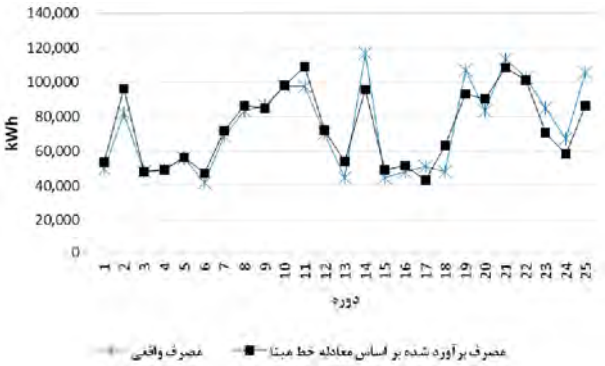


شکل ۴ روند تحلیلی مصرف روزانه برق و دمای متوسط دوره



شکل ۵ نتایج رگرسیون و خط مبنای برق ساختمان

بر اساس معادله خط مبنای تدوین شده، انطباق نتایج مدل خط مبنا و مصارف واقعی دوره بررسی و نتایج در شکل ۶ ارائه شده است.

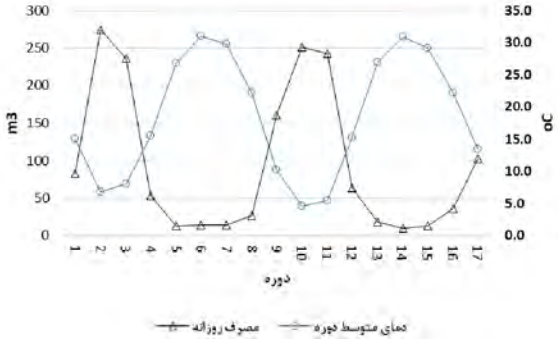


شکل ۶ بررسی انطباق نتایج مدل خط مبنا و مصارف واقعی دوره‌های مختلف برق ساختمان

با توجه به ضریب تعیین بالا (R^2=0.876) و انطباق بسیار بالای داده‌های واقعی و داده‌های برآورد شده، این تابع بعنوان خط مبنای برق پذیرفته می‌شود.

۶- خط مبنای گاز ساختمان

مصارف دو سال گذشته گاز ساختمان در جدول ۳ ارائه شده است. بعلت یکسان نبودن تعداد روزهای قبوض، میزان مصرف روزانه در هر دوره مشخص شده است. تحلیل اولیه مصارف روزانه نشان می‌دهد میزان مصرف گاز در فصول سرد سال بشدت افزایش می‌یابد که مهمترین عامل آن سرد شدن هوا و روشن شدن سیستم حرارت مرکزی می‌باشد. با در نظر گرفتن عوامل ثابتی نظیر کاربری، سطح مفید زیر بنا، تعداد ساکنین و الگوی کاری سازمان، دمای محیط مهمترین متغیر تاثیرگذار بر مصرف انرژی شناسایی می‌شود. بنابراین متناسب با دوره‌های قبوض، دماهای متوسط دوره از داده‌های هواشناسی بدست می‌آید. داده‌های تحلیلی مصرف روزانه گاز و دمای متوسط دوره در شکل ۷ و جدول ۳ ارائه شده است.

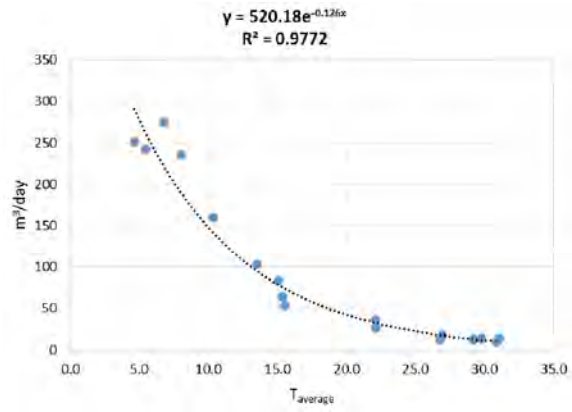


شکل ۷ روند تحلیلی مصرف روزانه گاز و دمای متوسط دوره

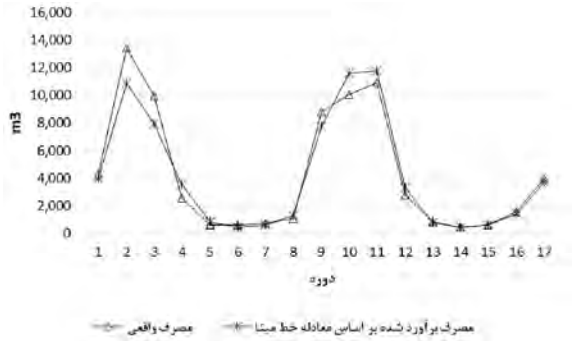
جدول ۳ سوابق مصرف گاز ساختمان و دمای متوسط دوره

تا تاریخ	تعداد روز	مصرف واقعی کل دوره (m^3)	مصرف روزانه (m^3)	دمای متوسط دوره (°C)
۹۷/۰۱/۲۸	۵۱	۴۲۵۱	۸۳	۱۵/۱
۹۶/۱۲/۰۶	۴۹	۱۳۴۵۰	۲۷۴	۶/۸
۹۶/۱۰/۱۷	۴۲	۹۹۲۷	۲۳۶	۸/۰
۹۶/۰۹/۰۵	۴۸	۲۵۵۲	۵۳	۱۵/۶
۹۶/۰۷/۱۷	۴۸	۶۳۲	۱۳	۲۶/۸
۹۶/۰۵/۳۱	۴۴	۶۰۴	۱۴	۳۱/۱
۹۶/۰۴/۱۸	۵۰	۷۱۹	۱۴	۲۹/۸
۹۶/۰۲/۳۰	۴۰	۱۰۵۶	۲۶	۲۲/۱
۹۶/۰۱/۲۱	۵۵	۸۷۸۸	۱۶۰	۱۰/۳
۹۵/۱۱/۲۶	۴۰	۱۰۰۵۴	۲۵۱	۴/۶
۹۵/۱۰/۱۶	۴۵	۱۰۹۰۸	۲۴۲	۵/۴
۹۵/۰۹/۰۱	۴۴	۲۸۱۶	۶۴	۱۵/۴
۹۵/۰۷/۱۷	۴۵	۸۱۸	۱۸	۲۷/۰
۹۵/۰۶/۰۳	۴۳	۴۳۰	۱۰	۳۰/۹
۹۵/۰۴/۲۲	۴۸	۶۴۲	۱۳	۲۹/۲
۹۵/۰۳/۰۵	۴۴	۱۶۰۷	۳۷	۲۲/۱
۹۵/۰۱/۲۳	۳۹	۴۰۱۸	۱۰۳	۱۳/۵

همانگونه که در شکل ۷ مشخص است داده‌های مصرف گاز با دمای محیط انطباق بالایی را بصورت معکوس نشان می‌دهد. بر همین مبنا، دمای متوسط دوره بعنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شده و رگرسیون انجام شده است. بجای دمای متوسط محیط از روز درجه گرمایش[1] نیز می‌توان بهره گرفت. نتایج رگرسیون و معادله خط مبنا در شکل ۸ ارائه شده است. بر اساس معادله خط مبنای تدوین شده، انطباق نتایج مدل خط مبنا و مصارف واقعی دوره بررسی و نتایج در شکل ۹ ارائه شده است.



شکل ۸ نتایج رگرسیون و خط مبنای گاز ساختمان



شکل ۹ بررسی انطباق نتایج مدل خط مبنا و مصارف واقعی دوره‌های مختلف گاز ساختمان

با توجه به ضریب تعیین بالا (R^2=0.977) و انطباق بسیار بالای داده‌های واقعی و داده‌های برآورد شده، این تابع بعنوان خط مبنای گاز ساختمان پذیرفته می‌شود.

۷- نتیجه گیری

در این تحقیق، مدلی برای توسعه خط مبنای انرژی در یک ساختمان اداری در شهر تهران ارائه گردید. خط مبناهای انرژی برق و گاز بصورت جداگانه و بصورت تابعی از متوسط دمای محیط ارائه گردید. نتایج خط مبناهای انرژی نشان دهنده انطباق بالای توابع تدوین شده با داده‌های واقعی مصارف در بخش برق و گاز می‌باشد.

ساختمان مورد نظر دارای برچسب انرژی E بوده و با توجه به شاخص نسبت انرژی (R)، میزان مصرف انرژی آن ۴/۵۸ برابر یک ساختمان ایده آل در اقلیم مشابه بوده و میزان مصرف ویژه انرژی آن ۵۶۸ $kWh/m^2.yr$ می‌باشد. هدف‌گذاری در این ساختمان برای رسیدن به حد بالا در رده C انجام می‌شود. ساختمان با رده C، به میزان ۳ برابر یک ساختمان ایده آل در اقلیم مشابه مصرف انرژی داشته و میزان مصرف انرژی آن به ۳۷۲ $kWh/m^2.yr$ می‌رسد. برای دستیابی به این شاخص کاهش ۳۵ ٪ در مصرف انرژی مورد نیاز است که با اجرای فرصت‌های بهبود عملکرد محقق می‌شود. خط مبناهای تدوین شده می‌توانند بعنوان مرجعی برای پایش عملکرد انرژی در دوره گزارش دهی و همچنین هدف‌گذاری انرژی مورد استفاده قرار گیرند.

[1] Heating Degree Days (HDD)

۸- فهرست علائم

EnB	خط مبنای انرژی
EnPI	شاخص عملکرد انرژی
Saving	صرفه جویی انرژی
x	متغیر مستقل
$E_{estimated,baseline}$	انرژی تخمینی بر اساس معادله خط مبنا
E_{actual}	انرژی واقعی مصرفی
R	نسبت انرژی
E_{ideal}	میزان مصرف انرژی یک ساختمان ایده آل
SEC	مصرف ویژه انرژی
Area	سطح زیر بنای مفید ساختمان
Cooling Degree Day (CDD)	روز درجه سرمایش
Heating Degree Day (HDD)	روز درجه گرمایش

۹- مراجع

[1] International Energy Agency, 2017. *Key world energy statistics*. www.IEA.org

[2] International Standard Organization. "IS*O 50001, Energy management system: requirement with guidance for use.* 2011.

[3] Strachan N., *Business as Unusual: existing policies in energy model baselines*, Journal of energy economics, Volume 33, issue ۲, ۲۰۱۱, □□□□□ ۱۵۳–۱۶۰.

[4] Srivastav A., Tewari A., Dong B., *baseline building energy modeling and localized uncertainty quantification using Gaussian mixture models,* Energy and buildings journal, volume ٦٥, ۲۰۱۳, □□□□□ ٤٣٨–٤٤٧.

[5] Granderson J., Price P., *development and application of a statistical methodology to evaluate the predictive accuracy of building energy baseline models*, journal of energy, volume 66, ۲۰۱٤, □□□□□ ۹۸۱–۹۹۰

[6] Rossi F., Velazquez D., Monedero L., Biscarri F., *Artificial neural network and physical modeling for determination of baseline consumption of CHP plants*, Journal of expert systems with applications, volume 41, issue 10, 2014, pages 4658-4669

[7] Liang X., Hong T., Shen G., *improving the accuracy of energy baseline models for commercial buildings with occupancy data,* Journal of applied energy, volume 179, 2016, pages 247- 260

[8] Sunthornnapha T., *utilization of MLP and linear regression methods to build a reliable energy baseline for self-benchmarking evaluation*, journal of energy procedia, volume ١٤١, ۲۰۱۷, □□□□□ ۱۸۹– ۱۹۳.

[9] Hwan J., Kong D., Huh J., *baseline building energy modeling of cluster inverse model by using daily energy consumption if office buildings*, Energy and buildings journal, volume 140, 2017, pages 317-323.

[10] Alves T., Machado L., De Souza R., Wilde P., *A methodology foe estimating office building energy use baseline by means of land use legislation and reference buildings,* Energy and buildings journal, volume 143, 2017, pages 100-113.

[11] Golden A., Woodbury K., Carpenter J., O'Neill Z., *Change point and degree day baseline regression model in industrial facilities,* Energy and buildings journal, volume 144, 2017, pages 30-41.

[12] Carpenter J., Woodbury K., O'Neill Z., *Using change point and Gaussian process model to create baseline energy models in industrial facilities:* A comparison, Journal of applied energy, Volume 213, 2018, pages 415, 425.

[13] UNIDO (United Nations Industrial Development Organization). *Practical guide for implementing an energy management system*. 2013.

[14] International Standard Organization. "*ISO 50006, Energy management system: measuring energy performance using energy baselines (EnB) and energy performance indicators (EnPI) – General principles and guidance*". 2014.

[15] www.Enms.ir