# ممیزی انرژی سریع - قسمت اول

ممیزی انرژی ساختمان


## نجمه توکلی

**دانشجوی دکتری مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی-گرایش انرژی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران**

n.tavakoli@ut.ac.ir


با توجه به روند روزافزون مصرف انرژی در کشور، خصوصاً در بخش ساختمان، ارائه روش‌هایی جهت کاهش مصرف و بهبود رویه مصرف، ضروری به نظر می‌رسد. درک چگونگی روند مصرف و تبیین روش‌هایی جهت کاهش و بهینه‌سازی مصرف، تحت عنوان ممیزی انرژی در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در این پروژه به تشریح ممیزی سریع انرژی ساختمان اداری نیروگاه حدیث مهر پارس، به‌عنوان راهکاری مؤثر در کاهش تلفات انرژی پرداخته شده و مراحل چهارگانه آن بررسی شده است. در ممیزی این ساختمان موارد اصلی هدر رفتن و پایین بودن بازده مشخص شد و امکان برآوردهایی به عنوان مبنای تصمیم‌گیری در امور سرمایه‌گذاری فراهم شد. به‌طورکلی هدف از ممیزی انرژی، تعیین راه‌حل‌هایی برای کاهش مصرف انرژی و همچنین کاهش هزینه‌های جاری در یک واحد است. نتایج حاصل از ممیزی انرژی انجام‌شده در ساختمان اداری برق منطقه‌ای، نشان می‌دهد که بیشترین سهم مصرف در فصل گرم، مربوط به وسایل سرمایشی ۶۵ درصد و در فصل سرد مربوط به روشنایی داخلی ۵۶ درصد است.

راهکارهای صرفه‌جویی انرژی به سه دسته بدون هزینه، کم‌هزینه و پرهزینه تقسیم‌بندی می‌شوند. راهکارهای صرفه‌جویی انرژی بدون هزینه در ساختمان شامل درزبندی اطراف کولرها، خاموش کردن تجهیزات بعد از ساعت اداری و استفاده حداکثر از روشنایی طبیعی روز (با تنظیم پرده و چیدمان مناسب اتاق) است. درزبندی مناسب موجب کاهش ۶/۳ درصدی و خاموش نمودن تجهیزات بعد از ساعات اداری موجب کاهش ۱/۳ درصدی مصرف برق ساختمان می‌شود. بهینه‌سازی در تجهیزات و ماشین‌های اداری، راهکار صرفه‌جویی انرژی کم‌هزینه در ساختمان است که موجب کاهش ۲/۷ درصدی مصرف ساختمان می‌شود. راهکارهای صرفه‌جویی پرهزینه، شامل عایق‌کاری دیوارهای خارجی و سقف، دوجداره کردن پنجره‌ها با قاب «pvc» و بهینه‌سازی سامانه‌ی روشنایی ساختمان است، که عایق‌کاری دیوارهای خارجی و سقف ساختمان نیاز به سرمایه‌گذاری زیاد و بازگشت سرمایه طولانی داشته و موجب کاهش مصرف به ترتیب به میزان ۴/۶ درصد و ۳/۱ درصد مصرف می‌شود و توجیه اقتصادی ندارد. دوجداره کردن پنجره‌ها با قاب «pvc»، با سرمایه‌گذاری نه چندان زیاد، موجب کاهش مصرف ساختمان به میزان ۲۰/۱ درصد شده و دارای بازگشت سرمایه نزدیک است. بهینه‌سازی سامانه‌های روشنایی با سرمایه‌گذاری مناسب، موجب کاهش مصرف ساختمان به میزان ۷/۷ درصد گشته و دارای بازگشت سرمایه نزدیک است. بنابراین از میان کلیه راهکارهای صرفه‌جویی انرژی در این ساختمان، دوجداره کردن پنجره‌ها با قاب pvc و بهینه‌سازی سامانه‌های روشنایی با توجه به میزان صرفه‌جویی و سرمایه‌گذاری لازم و بازگشت سرمایه در اولویت هستند.

**مقدمه**

بخش ساختمان کشور، مصرف‌کننده بیش از ۴۰ درصد کل مصرف انرژی در کشور بوده و حدود ۳۰ درصد از درآمد کشور به تأمین انرژی مصرفی این بخش اختصاص داده شده است. لذا بررسی وضعیت مصرفی انرژی در این بخش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بالا بودن سهم قابل‌توجه از مصرف انرژی ساختمان در ایران و اهمیت موضوع بهینه‌سازی مصرف انرژی در این بخش، بی‌تردید نیازمند اتخاذ تصمیمات اساسی برای کاهش مصرف انرژی در بخش ساختمان است. ازآنجاکه در معماری عصر حاضر، سعی بر این است که ساختمان بتواند با توجه به الگوهای طراحی که در پیش می‌گیرد، نیازهای حرارتی ساکنین را تا حد امکان تأمین نماید، بنابراین اجرای راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ممیزی انرژی ساختمان‌ها می‌تواند بسیار راهگشا باشد. از سوی دیگر، ساختمان‌های اداری سهم قابل‌توجهی از این میزان مصرف را دارا بوده و با توجه به اینکه این نوع ساختمان‌ها باید به‌عنوان یک الگو و نمونه در کشور مطرح گردند، بهینه‌سازی مصرف انرژی فراهم کند. بنابراین انجام چنین پژوهشی در راستای بهینه‌سازی و ممیزی انرژی سرمایشی و گرمایشی ساختمان‌ها در کشوری همچون ایران لازم و کاربردی است.

ازاین‌رو ساختمان اداری نیروگاه حدیث مهر پارس، به عنوان یک نمونه از این ساختمان‌ها مورد ممیزی انرژی قرار گرفته تا ضمن بررسی وضعیت مصرف انرژی در این ساختمان، فرصت‌ها و پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی برآورد و راهکارهای مناسب جهت دستیابی به صرفه‌جویی انرژی در این ساختمان ارائه شود. در این گزارش، به سه موضوع بررسی وضعیت مصرف انرژی، شناسایی فرصت‌های صرفه‌جویی و بهبود مصرف انرژی در این ساختمان پرداخته می‌شود.

**روش کار**

مطابق با دستورالعمل‌های ارائه‌شده، فرآیند ممیزی انرژی در ساختمان به چهار مرحله اصلی تقسیم می‌شود. در مرحله اول لازم است که فرم‌ها و جداول استانداردی به‌منظور ثبت یا برداشت اطلاعات ساختمان تهیه شود. در مرحله دوم، ضریب بار ساختمان تعیین شده و در مرحله سوم، وضعیت ساختمان با وضعیت استاندارد مقایسه می‌شود. در مرحله آخر، فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی تعیین و از نظر اقتصادی ارزیابی می‌شوند.

ممیزی انرژی در ساختمان، تابعی از سطح علمی، تجربه، آگاهی و شناخت ممیز از فناوری‌های نوین و جدیدترین روش‌های بهینه‌سازی انرژی است. بر این اساس، ممکن است راهکارهای متفاوتی برای کاهش مصرف انرژی یک ساختمان توسط ممیزان انرژی ارائه شود، ولی مهم‌تر این است که روش‌های ثبت اطلاعات اولیه ساختمان و انجام محاسبات مربوطه یکسان باشند تا بدین ترتیب نتیجه‌گیری یکسانی در خصوص مصرف انرژی در ساختمان ارائه شود. در این گزارش، مراحل ممیزی انرژی و اهمیت آن در کاهش تلفات انرژی در ساختمان مطرح می‌شود و در ادامه به‌عنوان مطالعه موردی، ممیزی انرژی ساختمان اداری برق نیروگاه حدیث مهر پارس موردبررسی قرار می‌گیرد.

**مراحل انجام ممیزی**

مطابق با دستورالعمل‌های ارائه‌شده فرآیند ممیزی انرژی در ساختمان به چهار مرحله اصلی تقسیم می‌شود:

**مرحله اول**

در مرحله اول، لازم است تا فرم‌ها و جداول استانداردی جهت ثبت اطلاعات ساختمان تهیه شود. ممیز با داشتن چنین فرمی به‌صورت هدفمند در ساختمان حرکت می‌کند و با برنامه مشخص و از پیش تعیین شده، تمامی اطلاعات مفید و اثرگذار را در این فرم ثبت می‌نماید. تکمیل فرم‌ها و ثبت اطلاعات در بخش‌های اطلاعات عمومی ساختمان، اطلاعات ساکنین و مالکین،

سامانه‌ی سرمایش و گرمایش، وضعیت به‌کارگیری فضاهای مختلف و میزان تراکم ساکنین، کانال‌کشی و لوله‌کشی، تهیه نقشه‌های معماری و تأسیسات ساختمان، آب گرم مصرفی، مشخصات دیوارها، درب‌ها، پنجره‌ها، سقف و کف، سامانه روشنایی، ثبت اطلاعات انرژی مصرفی در سه سال گذشته، اطلاعات اقلیمی ساختمان و تمایل برای سرمایه‌گذاری ضروری است. در هنگام بازدید از ساختمان، علاوه بر جمع‌آوری اطلاعات ساختمان و تکمیل فرم‌های ممیزی لازم است میزان انرژی مصرفی ساختمان نیز تعیین شود تا بتوان وضعیت ساختمان را با شرایط استاندارد مقایسه و پتانسیل صرفه‌جویی را تعیین کرد.

**مرحله دوم**

برای دیواره‌ها و پنجره‌ها توان اتلافی مطابق با رابطه فوریه محاسبه می‌شود:

رابطه ۱ $$Q = UA\Delta T$$

ضریب بار حرارتی ساختمان(BLC [3])، در حقیقت مقدار بار حرارتی به ازای یک درجه اختلاف دمای داخل و خارج است. بار ساختمان از دو بخش انتقال حرارت از پوسته خارجی ساختمان و بار هوای نفوذی و تهویه تشکیل شده است. «BLC» را می‌توان به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم محاسبه نمود. در حالت مستقیم باید ضرایب انتقال حرارت، مساحت‌های اجزاء ساختمان و میزان هوای نفوذی محاسبه شوند. مقاومت مصالحی که معمولاً در ساختمان به‌کار می‌روند، در مراجع داده شده است. در روش غیرمستقیم، از میزان انرژی مصرفی بر مبنای دمای خارجی ساختمان برای تخمین «BLC» استفاده می‌شود. انرژی مصرفی ساختمان جهت گرمایش یا سرمایش، می‌تواند گاز طبیعی، نفت گاز یا انرژی الکتریکی باشد. نوع انرژی مصرفی در تعیین بار ساختمان تأثیری نخواهد داشت.

**روش مستقیم محاسبه «BLC»**

میزان انتقال حرارت در اثر هدایت از هر یک از لایه‌های تشکیل‌دهنده از پوسته خارجی ساختمان، به مساحت، ضخامت لایه‌های تشکیل‌دهنده و اختلاف دما بین دو طرف لایه بستگی دارد (قانون فوریه):

رابطه ۲ $$q = \sum_{i=1}^{N_H} \frac{A_i}{R_{t,i}}(T_i - T_o)$$

«BLC» به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

رابطه ۳ $$BLC = \sum_{i=1}^{N_H} \frac{A_i}{R_{t,i}}$$

برای محاسبه‌ی «BLC» علاوه بر مقدار انتقال حرارت برحسب (W/m.K) حاصل از جداره‌های پوسته خارجی ساختمان، باید بار حاصل از انتقال حرارت ناشی از هوای نفوذی و تهویه را نیز در نظر گرفت. مگر اینکه میزان هوای نفوذی، ناچیز و قابل صرفه نظر کردن باشد. به‌طورکلی انرژی موردنیاز برای گرمایش ساختمان، مجموع اتلاف حرارت از جداره‌های خارجی ساختمان و انرژی موردنیاز جهت گرمایش هوای نفوذی است:

رابطه ۴ $$Q = UA\Delta T + FP\Delta T + mc_p\Delta T$$

عبارت اول، مربوط به توان اتلافی برای دیواره‌ها و پنجره‌ها (مطابق با قانون فوریه)، عبارت دوم مربوط به کف ساختمان و عبارت سوم برای تهویه و هوای نفوذی (دبی جرمی هوا در گرمای ویژه) در نظر گرفته می‌شود. ضریب بار ساختمان، مجموع پارامترهای مذکور است که در رابطه زیر نشان داده شده است:

رابطه ۵ $$BLC = \sum_{j=1}^{N_H} U_{T,j} \times A_j + m \times C_p$$

**روش روز درجات گرمایش**

با استفاده از این روش، می‌توان بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان را تخمین زد. این روش بر آنالیز موازنه حرارت در ساختمان در حالت پایدار (هدایت، نفوذ، انرژی خورشیدی و تولیدی) استوار است. انرژی مصرفی بر اساس قانون اول ترمودینامیک به دست می‌آید:

رابطه ۶ $$q_H = BLC(T_i - T_o) - q_g$$

رابطه ۷ $$q_g = q_{sol} + q_{int} - q_{gard}$$

کل حرارت کسب‌شده ($q_g$) شامل حرارت کسب‌شده از حرارت تابش خورشید ($g_{sol}$)، حرارت کسب‌شده داخلی ($q_{int}$) و در بعضی موارد تلفات زمین ($q_{gard}$) است.

رابطه ۶ را می‌توان برای به دست آوردن دمای مبنای ساختمان (Tb) به‌صورت زیر مرتب کرد:

رابطه ۸ $$q_H = BLC\left[\left(T_t - \frac{q_g}{BLC}\right) - T_o\right] = BLC(T_t - T_O)$$

دمای مبنا، دمای درون ساختمان را بر اساس میزان دمایی که به دلیل کاهش بار گرمایشی ساختمان افزایش می‌یابد، تنظیم می‌کند. کاهش بار گرمایشی ساختمان در اثر تولید حرارت داخلی صورت می‌گیرد که معمولاً سه درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته می‌شود. درنتیجه، Tb در اکثر ساختمان‌ها ۱۸ درجه سانتی‌گراد است. با انتگرال‌گیری از بارهای گرمایشی، کل بار گرمایشی ساختمان محاسبه می‌شود. این انتگرال با مجموع بارهای حرارتی متوسط در بازه‌های کوچک (یک ساعت یا یک روز) تقریب زده می‌شود. اگر میانگین روزانه مورد استفاده قرار گیرد بار کل ساختمان به‌صورت زیر برآورد می‌شود. باید توجه داشت که تنها مقادیر مثبت $q_H$ در انتگرال‌گیری در نظر گرفته می‌شود.

رابطه ۹ $$q_H = 24\sum_{i=1}^{N_H} q_{H,i} = 24\,BLC\sum_{i=1}^{N_H}(T_b - T_o)^+$$

از معادله ۹ می‌توان DHH را به‌صورت تابعی از دمای خارج ساختمان و دمای مبنا به دست آورد:

رابطه ۱۰ $$DD_H(T_b) = \sum_{i=1}^{N_H}(T_b - T_{o,i})^+$$

هرچند که روش DDH با معادله ۱۰ بیان می‌شود، می‌توان برای محاسبه بار سرمایشی ساختمان نیز از آن استفاده کرد:

رابطه ۱۱
$$DD_C(T_b) = \sum_{i=1}^{N_C} (T_b - T_{o,i})^+$$

با ترسیم میزان مصرف انرژی ساختمان (گاز طبیعی، نفت گاز یا انرژی الکتریکی) برحسب روز درجات گرمایش (محور طول‌ها) و به دست آوردن خط رگرسیون، مصرف پایه ماهیانه و BLC ساختمان به دست می‌آید. شیب خط ترسیم‌شده برابر ضریب بار ساختمان و تقاطع خط با نمودار مصرف، نشان‌دهنده مصرف پایه ساختمان است.

**مرحله سوم**

اگر انتقال حرارت پوسته خارجی با $BLC_1$ و ضریب بار هوای نفوذی با $BLC_2$ نشان داده شود، مقدار $BLC_1$ از رابطه زیر به دست می‌آید:

رابطه ۱۲
$$BLC_1 = A_w \times U_w + A_R \times U_R + A_F \times U_F + A_P \times U_P + A_G \times U_W \times R_G + A_D \times U_D + A_{WB} \times U_{WB}$$

ضریب انتقال حرارت ساختمان ناشی از بار هوای تهویه از رابطه زیر به دست می‌آید:

رابطه ۱۳
$$BLC_2 = \rho Q C_p$$

هدف نهایی از انجام محاسبات، تعیین وضعیت ساختمان با توجه به ساختمان استاندارد است. برای درک این نکته توجه به رابطه زیر ضروری است:

رابطه ۱۴
$$BLC \leq \frac{BLC_1 + BLC_2}{\eta}$$

در صورت برقراری رابطه بالا الزامات مبحث ۱۹ رعایت شده و در غیر این صورت، مصرف انرژی ساختمان بیشتر از شرایط استاندارد است و لازم است که نسبت به انجام ممیزی اقدام شود. با مقایسه ضریب انتقال حرارت کل ساختمان با ضریب انتقال حرارت مرجع (روش کارکردی) و یا مقایسه مقاومت ساختمان با مرجع (روش تجویزی) نیز می‌توان به ضرورت انجام یا عدم انجام ممیزی پی‌برد.

**مرحله چهارم**

در این مرحله، باید راهکارهای مناسب برای ساختمان پیشنهاد و میزان کاهش احتمالی مصرف انرژی با اجرای راهکارهای اقتصادی برآورد شود. در ادامه هزینه اجرای هر یک از فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی برآورد و دوره بازگشت سرمایه با توجه به میزان کاهش انرژی مصرفی و هزینه سرمایه‌گذاری محاسبه شود. در نهایت باید راهکارهای صرفه‌جویی انرژی بر اساس اقدامات بدون هزینه، کم‌هزینه و پرهزینه دسته‌بندی شود.

## نتایج

### بازدید و جمع‌آوری اطلاعات

### وضعیت عمومی ساختمان اداری برق منطقه‌ای نیروگاه حدیث مهر پارس

برای دستیابی به اهداف پروژه ساختمان اداری نیروگاه حدیث مهر پارس با قدمت ۳۰ سال در استان فارس، شهرستان شیراز با مشخصات زیر انتخاب گردید:

تعداد طبقات: چهار طبقه

کاربری: اداری

سامانه سرمایش و گرمایش: کولرگازی و گرمکن یا بخاری برقی و نوع سوخت مصرفی: گاز طبیعی

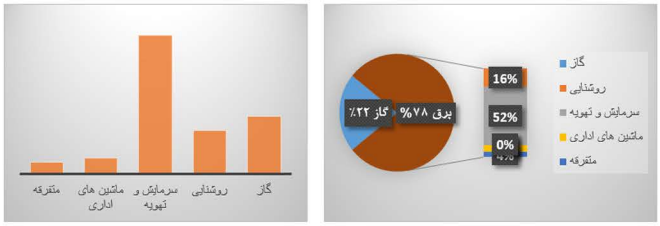
| جدول ۱: اطلاعات ساختمان | | | | |
|---|---|---|---|---|
| مساحت | ارتفاع هر طبقه | مساحت تحت گرمایش و سرمایش هر طبقه | حجم تحت گرمایش و سرمایش هر طبقه | متوسط تعداد کل ساکنین | متوسط ساعت حضور افراد در روز |
| ۴۷۰۰ | ۳ | ۳۹۰۰ | ۱۱۷۰۰ | ۹۵ | ۹ |

| جدول ۲: سیاهه معماری ساختمان | | |
|---|---|---|
| ردیف | شرح مورد | وضعیت |
| ۱ | ارتفاع سقف | نامناسب |
| ۲ | عایق‌کاری رطوبتی سقف | نامناسب |
| ۳ | رنگ عایق‌کاری سقف | روشن |
| ۴ | عایق‌کاری کف و دیوارها | ندارد |
| ۵ | درزبندی پنجره‌ها و درب‌ها | ندارد |
| ۶ | اتلاف گرمایی پنجره‌ها | زیاد |
| ۷ | وضعیت سایه‌بان پنجره‌ها | خوب |
| ۸ | فضای واسطه درب ورودی | متوسط |
| ۹ | سایه‌اندازی ساختمان‌های مجاور | ندارد |
| ۱۰ | درخت‌کاری اطراف ساختمان | خوب |

در ساختمان مذکور، ارتفاع سقف در طبقات سه متر بوده که بیش‌از حد استاندارد (۲/۵ متر) است و پنجره‌ها تک جداره و با قاب فلزی بوده است.

**تجهیزات مصرف‌کننده انرژی ساختمان**

برق و گاز، حامل‌های انرژی در دسترس ساختمان هستند که در این بخش کلیه تجهیزات مصرف‌کننده انرژی موجود در ساختمان اداری نیروگاه برق منطقه‌ای مورد بررسی قرار گرفت و ازنظر میزان انرژی مصرفی در پنج گروه تقسیم‌بندی شد. بر طبق برآورد انجام‌شده، وسایل سرمایشی حدود پنجاه و دو درصد مصرف برق ساختمان، روشنایی داخل شانزده درصد، ماشین‌های اداری شش درصد، متفرقه چهار درصد و گاز ۲۲ درصد را شامل می‌شود. تقاضای انرژی در بخش‌های مختلف در شکل یک آورده شده است:

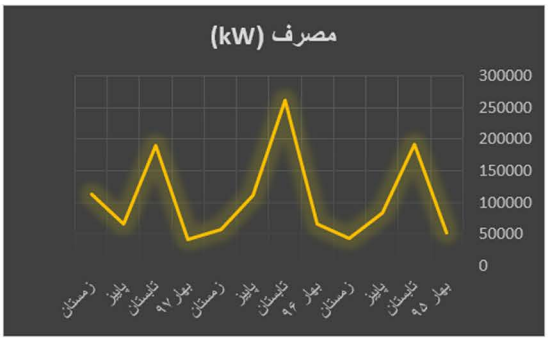



**شکل ۱. تقاضای انرژی در بخش‌های مختلف**

## تحلیل مصرف انرژی الکتریکی ساختمان

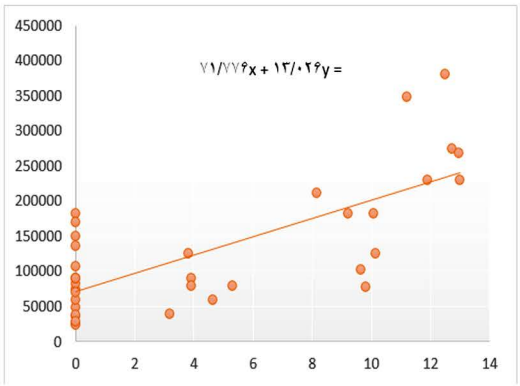
نتایج نشان می‌دهد که بیشترین میزان مصرف، به ترتیب در تیرماه و مردادماه (فصل گرم) و کمترین میزان مصرف ساختمان، در هر سه سال در فروردین‌ماه است.

با نگاهی کلی به آمار مصرف انرژی در ساختمان، طی سه سال مشخص می‌شود که مصرف انرژی الکتریکی در ماه‌های گرم سال به علت استفاده از سامانه‌های سرمایشی، بالا بوده و در ماه‌های سرد سال، مصرف ساختمان به میزان قابل‌توجهی کمتر می‌شود.



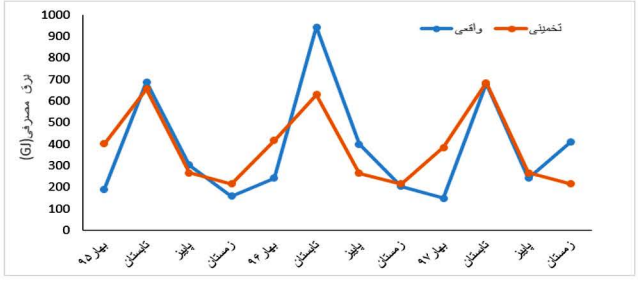

**شکل۲. تغییرات فصلی مصرف برق ساختمان**

به‌منظور بررسی دقیق‌تر، مصرف برق بر اساس ضریب بار ساختمان موردبررسی قرار گرفت. شیب خط ترسیم شده برابر ضریب بار ساختمان و تقاطع خط با نمودار مصرف، نشان‌دهنده مصرف پایه ساختمان است.




**شکل۳. مصرف برق ساختمان بر اساس روز درجات سرمایش**

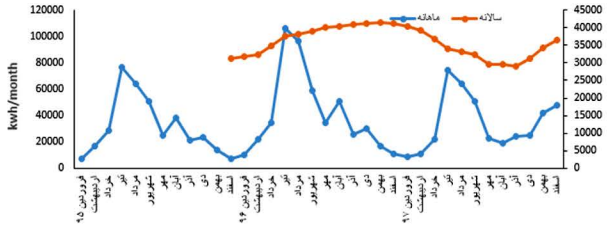
در شکل ۴، مصرف برآورد شده برق طی سه سال متوالی نشان داده شده است که در فصول گرم که از وسایل سرمایشی استفاده می‌شود و در فصول سرد که از بخاری برقی استفاده می‌شود، مصرف برق بیشتر از مقدار تخمین‌زده شده است.




**شکل۴. مصرف برآورد شده و واقعی مصرف گاز در دوره سه‌ساله**

## مصرف برق ساختمان

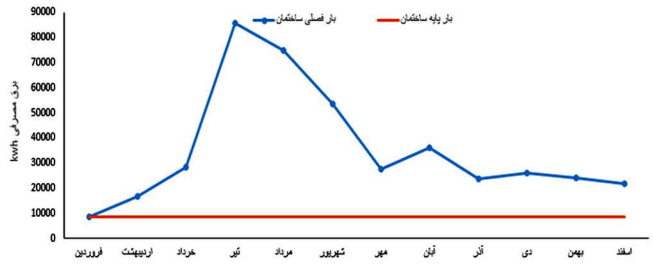
برای بررسی نحوه مصرف برق، از روش دوره‌ای ۱۲ ماهه استفاده کردیم که علاوه بر مصرف ماهانه، مصرف دوره‌ای سالانه را نیز نشان می‌دهد.




**شکل۵. تغییرات فصلی مصرف برق ساختمان**

همان‌طور که در شکل بالا مشاهده می‌شود، روند مصرف برق با توجه به ثابت بودن وسایل برقی مورداستفاده در ساختمان، تقریباً افزایشی است و دلیل عمده آن، استفاده بیشتر از کولرگازی به خاطر گرمای هوا و اضافه شدن نوبت‌کاری دوساعته است. بیشترین مصرف در تابستان ۹۶ بوده و دلیل آن گرمای بیش‌ازحد در تابستان آن سال گزارش شده، که با توجه به جدول میانگین دما در پیوست مشاهده می‌کنیم که در تیرماه ۹۶ برای اولین بار دمای شیراز به مرز ۵۰ درجه سانتی‌گراد نزدیک شده است.

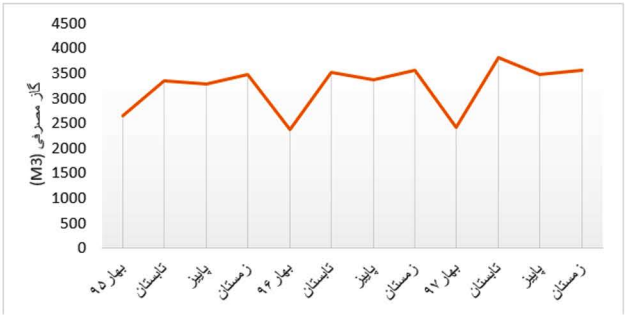
شکل ۶، نمودار برق مصرفی ماهانه در سه سال اخیر را نشان می‌دهد. مصرف برق در ساختمان تا نیمه‌های تابستان روند افزایشی داشته و پس‌ازآن کاهش یافته و به بار پایه نزدیک شده است.




**شکل۶. مصرف برق ساختمان بر اساس روز درجات سرمایش**

## مصرف گاز ساختمان

تغییرات فصلی مصرف گاز ساختمان، در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مصرف گاز در فصل بهار به دلیل تعطیلات نوروزی و مرخصی شیفتی کارکنان شرکت از سایر فصل‌ها کمتر است. با آغاز فصل بهار به‌صورت هماهنگ شده، هر هفت روز، تعدادی از کارکنان در شرکت حضور ندارند و همین امر سبب کاهش چشمگیر مصرف گاز شده است.

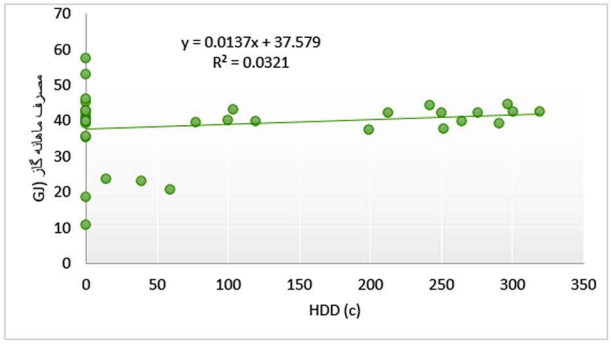



**شکل۷. تغییرات فصلی مصرف گاز ساختمان**

به‌منظور بررسی دقیق‌تر، مصرف گاز بر اساس ضریب بار ساختمان مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که در قسمت روش کار ذکر شد، ضریب بار حرارتی ساختمان(BLC)، در حقیقت مقدار بار حرارتی به ازای یک درجه اختلاف دمای داخل و خارج است. بار ساختمان از دو بخش انتقال حرارت از پوسته خارجی ساختمان و بار هوای نفوذی و تهویه تشکیل شده است. «BLC» را می‌توان به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم محاسبه نمود. در حالت مستقیم باید ضرایب انتقال حرارت، مساحت‌های اجزاء ساختمان و میزان هوای نفوذی محاسبه شوند. مقاومت مصالحی که معمولاً در ساختمان به‌کار می‌روند، در مراجع داده شده است. در روش غیرمستقیم، از میزان انرژی مصرفی بر مبنای دمای خارجی ساختمان برای تخمین «BLC» استفاده می‌شود. با ترسیم میزان مصرف انرژی ساختمان (گاز طبیعی، نفت گاز یا انرژی الکتریکی) برحسب روز درجات گرمایش (محور طول‌ها) و به دست آوردن خط رگرسیون، مصرف پایه ماهیانه و «BLC» ساختمان به دست می‌آید. شیب خط ترسیم‌شده، برابر ضریب بار ساختمان و تقاطع خط با نمودار مصرف، نشان‌دهنده مصرف پایه ساختمان است.

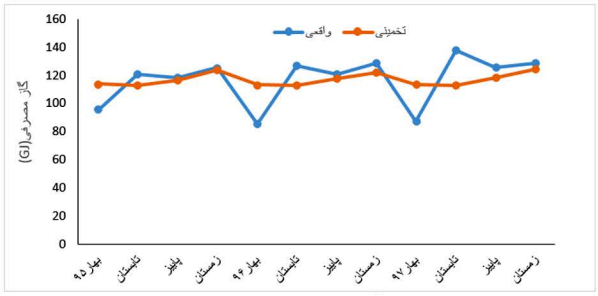
در مطالعه موردی انجام‌گرفته جهت تعیین دقیق میزان مصرف «BLC» برحسب روز درجات گرمایش، بار ساختمان از روش غیرمستقیم محاسبه شده است که نتایج در ادامه آورده شده است. ضریب تعیین خط رگرسیونی برای ساختمان اداری موردنظر ۰/۰۳ به دست آمده است که ظرفیت بالای گرمایی این ساختمان را نشان می‌دهد؛ بنابراین صرفه‌جویی قابل‌ملاحظه‌ای در مصرف انرژی گاز ساختمان نمی‌توان داشت. همچنین، کوچک بودن مقدار $R^2$ برای ساختمان، گویای ارتباط ناچیز گاز مصرفی این ساختمان با هوای بیرون بوده که درنتیجه شیب خط رگرسیونی (ضریب بار) آن هم کم است؛ چون از انرژی گاز در گرمایش استفاده نمی‌شود و صرفاً جهت گرم کردن غذای کارکنان و مصرف چای کارکنان کاربرد دارد.

عرض از مبدأ خط رگرسیونی نیز، مصرف پایه ساختمان را که مستقل از تغییرات هوای خارجی است نشان می‌دهد و بنابر نتایج به‌دست‌آمده، مصرف پایه ساختمان مسکونی موردنظر در طی این سه سال تقریباً ثابت بوده است.




**شکل۸. مصرف ماهانه گاز ساختمان بر اساس روز درجه گرمایش (غیرمستقیم)**

شکل ۹، مصرف برآورد شده گاز بر اساس روز، درجه گرمایش و مصرف واقعی آن را در سه سال متوالی نشان می‌دهد. در فصل بهار، مصرف واقعی گاز از مقدار تخمینی کمتر است و همان‌طور که قبلاً گفته شد دلیل آن مرخصی شیفتی کارکنان است. در فصل تابستان، به دلیل اضافه شدن شیفت کاری دوساعته و استفاده بیشتر از گاز جهت آماده‌سازی چای و گرم کردن غذا، مصرف واقعی از مصرف تخمینی بیشتر است و در پاییز و زمستان، مصرف واقعی تقریباً بر مصرف تخمینی منطبق است.




**شکل۹. مصرف برآورد شده و واقعی مصرف گاز در دوره سه‌ساله**

**منابع:**


* پروژ ه بهینه سازی و ممیزی انرزی ساختمان اداری شرکت برق منطقه ای خوزستان با همکاری سازمان بهره‌وری انرژی ایران(سابا) - ( سال ۸۵ ۱۳۸۴)
* رضاپور، ک- زربخش،م "مبانی صرفه جویی و اصول مدیریت انرژی" سابا.
* م، شفیع زاده "روش‌های کاربردی کاهش هزینه های انرژی " سابا.
* م، قانع "اولین قدم در ، ممیزی انرژی در ساختمان بهینه سازی انرژی "، پنجمین همایش بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان
* بابک، جوادی "بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها با استفاده از عایق و شیشه های مناسب در دو اقلیم مختلف کشور" پنجمین همایش بهینه سازی مصرف ، انرژی در ساختمان
* کیخاونی ت. (۱۳۸۸). ممیزی انرژی در ساختمان. هفتمین همایش ملی انرژی