مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و پنجم، شماره ده، دی ماه ۱۴۰۲ (۱۷۲-۱۵۵)

مدل‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری تحت سناریوهای چندگانه

(مطالعه موردی: ساختمان مرکزی شهرداری منطقه ۵ تهران)

مریم گنجینه [۱]

فرزام بابایی سمیرمی [۲*]

F.babaei@srbiau.ac.ir

علی محمدی [۲]

سیدعلیرضا میرزاحسینی [۲]

محمد رضا تابش [۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱/۲۹ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۱۴**

چکیده

زمینه و هدف: مدیریت محیط‌زیستی انرژی در ساختمان‌ها راه‌حلی خلاقانه برای ایجاد ساختمان‌های دوستدار محیط‌زیست بوده که روشی مقرون به صرفه است. تحقیق حاضر با هدف مدل‌سازی مصرف انرژی در ساختمان اصلی شهرداری منطقه ۵ تهران، به منظور تعیین نوع و نحوه مصرف انرژی انجام گرفته است.

روش بررسی: این تحقیق در بازه زمانی سال ۱۴۰۱-۱۳۹۹ انجام شده است. روش انجام پژوهش حاضر، روش آمیخته (کمی و کیفی) از نوع اکتشافی و به لحاظ روش اجرا از نوع کتابخانه‌ای و میدانی، به لحاظ خروجی‌ها از نوع کاربردی و به لحاظ ماهیتی از نوع عملی است. در گام نخست براساس داده‌های آماری اخذ شده از مدیریت شهرداری منطقه ۵ تهران و نیز برداشت‌های میدانی و تهیه چک لیست‌های سنجشی اقدام به شناسایی وضعیت موجود سایت مطالعاتی(ساختمان اصلی شهرداری منطقه ۵) گردید. برای مدل‌سازی از نرم‌افزارDesign Builder استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که ضریب بار هوای نفوذی برابر با W/K ۳۱۳۲/۵ می‌باشد. بیشترین حرارت دریافتی مربوط به حرارت خورشید ناشی از تابش ورودی از پنجره‌های ساختمان است. رنگ قرمز و آبی نیز مربوط به بار محسوس گرمایش و سرمایش ساختمان است. بیشترین پرت انرژی در فصول گرم و سرد مربوط به سقف و شیشه ساختمان می‌باشد. روشنایی۵۴ درصد نقاط بیشتر از حد استاندارد و ۲ درصد نقاط دارای روشنایی کمتر از استاندارد و ۴۴ درصد نقاط دارای روشنایی در محدوده استاندارد است.

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه مدیریت محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- عضو هیات علمی گروه مدیریت محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

*(مسوول مکاتبات)

بحث و نتیجه‌گیری: یافته‌ها حاکی از آن است که وضعیت روشنایی (بر اساس توان نصب شده بر واحد سطح) این ساختمان بیشتر از استانداردهای جهانی است که می‌توان آن را بدون تاثیری در شرایط آسایش داخل داشته باشد تا حدی کاهش داد. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، نواقص و کمبودهای ساختمان از دیدگاه انرژی قابل‌ملاحظه هستند. به‌طوری‌که میانگین ضریب انتقال حرارت دیوارها ۲/۵ برابر مقدار استاندارد مبحث ۱۹ است و میانگین ضریب انتقال حرارت پنجره‌ها ۱/۷ برابر مقدار استاندارد مبحث ۱۹ می‌باشد. همچنین میانگین ضریب انتقال حرارت سقف ۲/۲ برابر مقدار استاندارد مبحث ۱۹ است.

واژه‌های کلیدی: مصرف بهینه انرژی، مدل‌سازی مصرف، شاخص مصرف انرژی، سایبان متحرک، پنل فتوولتائیک.

J. Env. Sci. Tech., Vol 25, No.10, January, 2024

Modeling energy consumption in office buildings under multiple scenarios
(Case study: Central building of Tehran Municipality, District 5)

Maryam Ganjineh [1]
Farzam Babaei Semiromi [2 *]
F.babaei@srbiau.ac.ir
Ali Mohammadi [2]
Seyed Alireza Mirzahosseini [2]
Mohammad Reza Tabesh[2]

Admission Date: July 5, 2022 Date Received: April 18, 2022

Abstract

Background and Objective: The present study was conducted with the aim of modeling energy consumption in the main building of Tehran Municipality, District 5, and in order to determine the type and manner of energy consumption.

Material and Methodology: In order research was conducted in the period of 1400-1402. The method of conducting the present research is a mixed method (quantitative and qualitative) of exploratory type and in terms of implementation method of library and field type, in terms of outputs it is of applied type and in terms of nature it is of practical type. In the first step, based on the statistical data obtained from the administration of the 5th district of Tehran, as well as field observations and the preparation of assessment checklists, the existing condition of the study site (the main building of the 5th district municipality) was identified. Design Builder software was used for modeling.

Findings: he results showed that the load factor of infiltrated air is equal to W/K 3132.5. The most received heat is related to the heat of the sun caused by the incoming radiation from the windows of the building. The red and blue colors are related to the heating and cooling load of the building. The most energy waste in hot and cold seasons is related to the roof and glass of the building. The brightness of 54% of the points is more than the standard, 2% of the points have less than the standard, and 44% of the points have the brightness within the standard range.

Discussion and Conclusion: Finally, indicate that the lighting condition (based on the power installed per surface unit) of this building is more than the global standards, which can be reduced to some extent without affecting the comfort conditions inside. So that the average heat transfer coefficient of walls is 2.5 times the standard value of topic 19 and the average heat transfer coefficient of windows is 1.7 times the standard value of topic 19. Also, the average heat transfer coefficient of the roof is 2.2 times the standard value of topic 19.

1- Ph.D. Student, Department of Environmental Management, Faculty of Natural Resources and The Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2- Department of Environmental Management, Faculty of Natural Resources and The Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. *(*Corresponding Author*)

Keywords: energy efficiency, consumption modeling, energy consumption index, movable canopy, photovoltaic panel.

مقدمه

یکی از علل مهم تبدیل شدن بحث انرژی به بحران محیط‌زیستی در جهان این بوده است که طی ۱۰۰ سال گذشته، کره زمین به‌طور غیرطبیعی حدود ۰/۷۴ درجه سلسیوس گرم‌تر شده که این موضوع دانشمندان را نگران کرده است. در سال‌های اخیر تعدادی از گرم‌ترین سال‌های تاریخ به ثبت رسیده‌اند. این مسئله باعث روند نگران‌کننده ذوب شدن یخچال‌های قطبی و خطر بالقوه غیرقابل‌سکونت شدن سیاره زمین در قرن‌های آینده شده است. دانشمندان بخش زیادی از علل گرمایش زمین را انتشار گازهای گلخانه‌ای براثر فعالیت‌های صنعتی انسانی می‌دانند. بر اساس مطالعه اخیر مجله نیچر، اگر بشریت بخواهد تا سال ۲۱۰۰ گرمایش جهانی را زیر گرمای ۱/۵ درجه سانتی‌گراد برساند، باید تا سال ۲۰۶۰ انتشار گازهای گلخانه‌ای را در جو زمین متوقف کند. پس از مطرح‌شدن این دو بحران، در سراسر جهان استانداردها و مقررات مختلف در حوزه صرفه‌جویی در حوزه‌های گوناگون ازجمله صنعت ساختمان تدوین شدند. (۱).

طبق گزارش آژانس بین‌المللی انرژی (EIA[1])، بخش ساختمان، بیش از ۳۰ درصد مصرف انرژی جهان و بیش از ۵۵ درصد مصرف برق جهان را به خود اختصاص داده است. همچنین، این صنعت دارای سهم ۴۰ درصدی در انتشار گاز کربن دی‌اکسید در جهان است. این اعداد در سال‌های اخیر روند رو به افزایشی داشته‌اند که انرژی و محیط‌زیست سیاره زمین را با خطر بالقوه جدی مواجه کرده است. شایان‌ذکر است ۸۰٪ مصرف انرژی مربوط به دوره بهره‌برداری از ساختمان است (۲). پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد تا سال ۲۰۴۰ مصرف انرژی در جهان ۴۸ درصد نسبت به میزان مصرف انرژی در سال ۲۰۱۲ افزایش خواهد یافت و کماکان آسیا در سال ۲۰۴۰ بیشترین مصرف‌کننده انرژی است. در این میان بیش از ۵۰ درصد از انرژی جهان در بخش صنعت استفاده خواهد شد (۳).

ایران بیش از ۲/۵ برابر میانگین مصرف جهانی انرژی مصرف می‌کند. شاخص شدت مصرف انرژی ایران ۰/۶۳ درصد است و بعد از ایران، روسیه و عربستان سعودی به ترتیب با شاخص شدت انرژی ۰/۵۳ و ۰/۵۱ درصد بالاترین مقدار شاخص شدت انرژی را به خود اختصاص داده‌اند. طبق آخرین آمار، ایران نهمین مصرف‌کننده انرژی در دنیا شناخته‌شده و این مصرف انرژی معادل ۳/۴ میلیون بشکه نفت خام است (۴).

ارتقای بهره‌وری انرژی شهرها صرفاً به ذخیره انرژی کمک نمی‌کند، بلکه منجر به توسعه بودجه شهرها و بهبود خدمات‌رسانی و افزایش رقابت در این عرصه نیز می‌گردد. ازآنجاکه بخش بزرگ برق تولیدی در کشور توسط نیروگاه‌های حرارتی تولید می‌شود، مصرف بالای انرژی الکتریکی به معنای مصرف زیاد سوخت‌های غیرقابل‌تجدید فسیلی می‌باشد. مصرف برق ساختمانی در ایران در طی ۱۰ سال گذشته، ۲ برابر شده است. بر اساس داده‌های آماری وزارت نیرو، مصرف سرانه انرژی در ایران سه برابر کشورهای صنعتی است و قسمت‌های بسیار زیادی از این اختلاف ناشی از تلفات انرژی در بخش ساختمان است (۵). شدت مصرف انرژی در ایران، ۳ برابر میانگین جهانی است. مصرف سرانه انرژی در ایران، به ازای هر نفر بیش از ۵ برابر مصرف سرانه کشوری همانند اندونزی (با ۲۲۵ میلیون نفر جمعیت)، ۲ برابر چین (با یک میلیارد و ۳۰۰ میلیون نفر جمعیت) و ۴ برابر کشور هند (با یک میلیارد و ۱۲۲ میلیون نفر جمعیت) است. بررسی سرانه مصرف انرژی در ایران طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۱ میلادی، نشان از افزایش ۲۵ درصدی در این سال‌ها دارد (۶).

در حال حاضر، چالش و مشکل اصلی مدیریت انرژی در ساختمان‌های زیرمجموعه شهرداری تهران، وجود بیش از ۱۰۰۰ ساختمان اداری در وسعتی حدود ۱۰۰۰ هکتار و مصرف بالای منابع می‌باشد. این در حالی است که در فضاهای مذکور، روزانه بالغبر ۶۰ هزار نفر در اوج ساعات مصرف انرژی (از ساعت ۷ صبح تا ۵ بعدازظهر) بدون هیچ‌گونه دستورالعمل مشخصی مشغول مصرف انرژی هستند که البته در این زمینه بانک اطلاعاتی

1- Energy International Agency

مشخصی هم وجود ندارد. ازاین‌رو، تهیه بانک داده با شاخص‌های مشخص مصرف منابع انرژی و پایش آن‌ها به‌عنوان یکی از خلأهای اطلاعاتی در شهرداری تهران مطرح است.

بنابراین، هدف اصلی این تحقیق مدل‌سازی مصرف انرژی در یک سایت مطالعاتی (پایلوت) بر اساس چند سناریوی مختلف (وضعیت فعلی و بهینه) و مقایسه جنبه‌های گوناگون آن است تا از این گذر بتوان نسبت به تدوین راهکارهای منتسب به‌منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری اقدام نمود.

مبانی نظری و پیشینه تحقیق

در سالیان اخیر، مطالعات متعددی در خصوص بهینه‌سازی مصرف انرژی در کشور صورت گرفته است. ازجمله حسامی (۳)؛ به تبیین اثربخشی اجرای مصوبه اصلاح الگوی مصرف انرژی و منابع در ساختمان‌های شهرداری تهران پرداخت. نتایج این بررسی نشان داد که اجرای برنامه مذکور، موجب کاهش مصرف انرژی و منابع در سال‌های ۹۶ و ۹۷ گردیده است. این کاهش به شکل ۳ درصد در مصرف سرانه آب، ۹ درصد در مصرف سرانه برق و ۵ درصد در مصرف سرانه گاز بوده است. همچنین، حسامی؛ در مقاله‌ای با عنوان «اثربخشی اجرای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری» اقدامات اجرایی در راستای کاهش مصرف انرژی را بررسی کرد و به این نتیجه رسید که کاهش مصرف انرژی در مناطقی که اقداماتی اجرایی در راستای کاهش مصرف انجام‌شده بود، عملی و امکان‌پذیر بود (۴). محرمی و همکاران؛ نیز در یک تحقیق کاربردی، با عنوان «ساختمان‌های هوشمند و بهره‌وری انرژی و امنیت در توسعه پایدار» با استفاده از شاخص‌هایی در راستای مدیریت انرژی و مدیریت امنیت محیط اقدام به ارائه چندین طرح نمودند (۴). نتایج این تحقیق در راستای جلوگیری از آسیب‌هایی است که انسان به دلیل مشکلاتی از قبیل مشغله ذهنی، کمبود فرصت یا خطاهای انسانی نتوانسته با آن مقابله کند و منجر به حوادث و ... می‌شود. خدیوی و همکاران (۵)؛ در مقاله‌ای با عنوان «بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک ساختمان اداری مجهز به سیستم مدیریت انرژی» اقدام به شناسایی ۷ شاخص مؤثر بر مصرف انرژی نمودند و با استفاده از نرم‌افزار تخصصی Design builder در یک ساختمان اداری بلندمرتبه ۱۵ طبقه در تهران، داده‌های موجود را شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که در صورت صرفه‌جویی در وسایل سرمایشی و گرمایشی امکان کاهش بیش از ۳۵ تا ۴۰ درصد مصرف انرژی سالانه میسر خواهد بود. نیک‌مقدم حجتی و همکاران (۶)؛ در تحقیقی با عنوان «ساختمان‌های هوشمند؛ انتخابی کارآ در بهره‌وری انرژی» از طریق مطالعات کتابخانه‌ای عنوان داشتند که ایران بیشترین شدت مصرف انرژی را در جهان به خود اختصاص داده است. همچنین بخش‌های غیرمولد بیشترین میزان مصرف انرژی (حدود ۴۰ درصد) را به خود اختصاص داده‌اند. درخشان و همکاران؛ اقدام به ممیزی انرژی در ساختمان نمودند و پارامترهای مؤثر را سنجش کردند. سهم و میزان تأثیر هر یک از عناصر انرژی در اتلاف آن به درصد و به‌صورت جداگانه مشخص گردید (۷). بر این اساس، راهکارهای انرژی در سه سطح راهکارهای کم‌هزینه، هزینه متوسط و پرهزینه طبقه‌بندی شدند. وریج کاظمی و همکاران؛ عوامل بازدارنده اجتماعی بهره‌وری مصرف انرژی در ساختمان اداری در ایران را بررسی کردند (۸). سماواتی؛ مدیریت انرژی در ساختمان‌های هوشمند را با تغذیه منابع تجدید پذیر بررسی نمود و مشخص گردید که با به‌کارگیری الگوریتم مدیریت انرژی در یک ساختمان با تغذیه منابع تجدید پذیر، حدود ۲۸ درصد در هزینه برق ساختمان صرفه‌جویی می‌شود (۹). مونیکا سالویا[1] و همکاران (۲۰۲۱)؛ روش‌های ارتقای سیاست‌گذاری برای ارتقای بهره‌وری انرژی در ساختمان‌های مربوط به شهرداری را بررسی کردند. در این تحقیق آن‌ها بر روی سیاست‌گذاری عمومی در زمینه مدیریت انرژی متمرکز شدند. نتایج بیانگر آن بوده است که جنبه‌های فنی و مهندسی و مدیریتی به‌طور یکپارچه می‌باید به کار گرفته شوند (۱۰).

روش بررسی

این تحقیق به لحاظ رویکرد، از نوع اکتشافی و به لحاظ روش اجرا از نوع کتابخانه‌ای و میدانی، به لحاظ خروجی‌ها از نوع کاربردی و به لحاظ ماهیتی از نوع عملی است. در گام نخست بر اساس

1- Monica Salvia

داده‌های آماری اخذشده از مدیریت شهرداری منطقه ۵ تهران و نیز برداشت‌های میدانی و تهیه چک‌لیست‌های سنجشی اقدام به شناسایی وضعیت موجود سایت مطالعاتی (ساختمان اصلی جدید شهرداری منطقه ۵) گردید.

برای مدل‌سازی از نرم‌افزار Design Builder (نسخه 4.2.0.0.054) استفاده‌شده است. این نرم‌افزار بر پایه مشخصات کالبدی ساختمان، ساکنان، تجهیزات، سیستم‌های مکانیکی و الکتریکی آن، و همچنین داده‌های آب و هوایی سالانه ساعت‌به‌ساعت محل استقرار ساختمان، می‌تواند متغیرهای متعددی را در ارتباط با مصرف انرژی ساختمان در هر زمان از سال محاسبه و به تعبیر دقیق‌تر پیش‌بینی نماید. نمونه‌هایی از این متغیرها دمای هوای فضاها، دمای سطوح، انتقال حرارت از سطوح کدر و شفاف و همچنین بارهای گرمایی و سرمایی لازم جهت حفظ دما یا شرایط آسایش حرارتی موردنظر در ساختمان هستند که نتایج، هم به‌صورت عددی و هم به‌صورت نمودار قابل‌ارائه هستند (۱۶). داده‌های آب و هوایی لازم نیز بر اساس گزارش‌های دوره‌ای هواشناسی تهران وارد نرم‌افزار گردیده است. سایت مطالعاتی در این تحقیق، ساختمان جدید شهرداری منطقه ۵ است که از مجموعه ساختمان‌های شهرداری تهران در خیابان آیت اله کاشانی، نرسیده به بزرگراه ستاری واقع است. این ساختمان که در سال ۱۳۸۹ ساخته‌شده و دارای زیربنای ۹۷۳۸ مترمربع بوده و عمده کاربری آن اداری است، شامل ساختمان جدید متشکل از ۶ طبقه زیرزمین، همکف و ۵ طبقه روی همکف و ساختمان قدیمی ۳ طبقه و یک طبقه زیرزمین می‌باشد. تعداد افراد استفاده‌کننده از ساختمان‌ها ۷۶۰ نفر و ساعت کار معمول ساختمان از ساعت ۸ تا ۱۶ اعلام‌شده است، البته در بسیاری از بخش‌ها کارکنان در شیفت شب حضور دارند. درصدهای مختلف کاربری ساختمان عبارتند از: ۷۰٪ اداری، ۵٪ انبار، ۱۵٪ راهرو، ۱۰٪ سرویس است. نوع غالب انرژی مصرفی جهت گرمایش: گاز طبیعی و نوع غالب انرژی مصرفی جهت سرمایش: گاز طبیعی می‌باشد. پلان ساختمان مستطیل شکل بوده و سقف آن از نوع مسطح و شیب‌د ار است. گستردگی اصلی ساختمان در جهت شرقی - غربی بوده و ورودی اصلی ساختمان رو به غرب است.

نتایج

در گام نخست، کالبد ساختمان موردبررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. در این قسمت ابتدا تیپ بندی دیوارها، موقعیت و مصالح به‌کاررفته در دیوار که به‌وسیله آن‌ها ضریب انتقال حرارت یک تیپ دیوار به دست می‌آید، آورده شده است. یک تیپ دیوار شامل دیوارهایی است که ازنظر موقعیت و ضریب انتقال حرارت و ضعیت م شابهی دا شته با شند. مثلاً اگر دو دیوار یک ضریب انتقال حرارت داشته باشند هر دو دارای موقعیت کنترل‌شده باشند در یک تیپ قرار می‌گیرند. در این قسمت مصالح عمده به‌کاررفته در دیوار و مقاومت حرارتی یا ضریب هدایت حرارتی م صالح، چگالی و ضخامت تقریبی آن‌ها با توجه به ضخامت کل دیوار آورده می‌شود و توسط آن‌ها ضریب انتقال حرارت سطحی کل (U) محا سبه می شود، سپس مساحت تمام دیوارهایی که در یک تیپ واحد قرار می‌گیرند باهم جمع شده و در قسمت مساحت دیوار آورده می‌شود.

بر ا ساس مبحث نوزدهم، ساختمان جدید شهرداری منطقه ۵ دارای مشخصات زیر است:

۱ ـ نوع کاربری ساختمان: ب

۲ ـ نیاز انرژی گرمایی ـ سرمایی: متوسط

۳ ـ وضعیت شهر: بزرگ

۴ ـ زیربنای ساختمان: بیش از ۱۰۰۰ مترمربع

۵- نوع انرژی مصرفی: غیربرقی

با توجه به موارد بالا و جدول ۱، ساختمان در گروه ۲ قرار می‌گیرد. مطابق جدول ۱ ضریب بار جداره تئوری ساختمان عبارت است از:

$$BLC_1 = ۸۲۸۲,۴ \ W/K$$

جدول ۱- ضریب بار ساختمان مطابق وضعیت موجود

Table 1. Building load factor according to the existing situation

نام عنصر ساختمانی	A (m^2)	U ($W/m^2\,^oC$)	U × A
دیوارهای بیرونی	۱۰۳۲/۹	۲/۲	۲۲۲۸/۲
دیوارهای کنترل نشده	۳۷۹/۸	۱/۸	۶۵۸/۱
پنجره‌های بیرونی	۵۳۴/۲	۵/۸	۳۰۹۸/۶
درب‌های کنترل نشده	۱۴۹/۳	۲/۴	۳۶۰/۵
سقف	۵۵۳/۱	۰/۸	۴۶۳/۳
سقف کنترل نشده	۷۰/۶	۰/۹	۶۲/۳
کف کنترل نشده	۲۰۶/۳	۱/۴	۲۹۵/۲
کف در تماس با هوا	۴۲۲/۳	۲/۶	۱۰۸۹/۳
مجموع			۸۲۸۲/۴

توضیح: در جدول ۱ ضریب انتقال حرارت در عناصر کنترل نشده پس از اعمال ضریب کاهش ارائه‌شده است. در کف‌هایی که به‌صورت محیطی نشان داده‌شده‌اند، اعداد مربوط به محیط برحسب (m) و ضریب انتقال حرارت به‌صورت خطی W/m.C آورده شده است. منظور از مساحت عنوان‌شده در جدول فوق مساحت خالص می‌باشد. ضریب انتقال حرارت در مورد کف کنترل نشده، مقدار نرمال انتقال حرارت برای کل کف کنترل نشده است.

مطابق جدول ۱، ضریب بار جداره‌های ساختمان جهت رعایت مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان به‌قرار زیر می‌باشد.

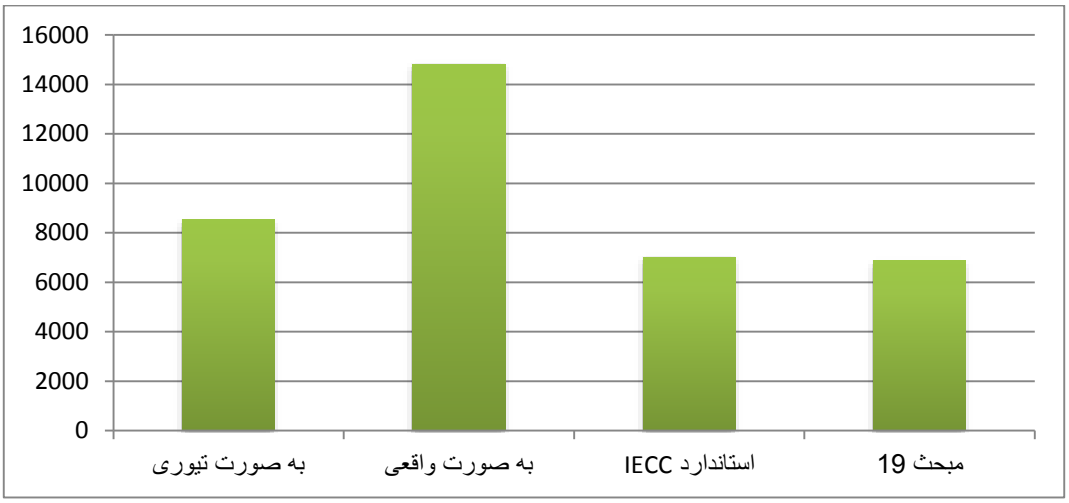
$$BLC_1 = ۳۷۳۲,۲\ W/K$$

به‌منظور تعیین ضریب بار هوای تهویه، لازم است تا میزان هوای تازه برای هر فضا مشخص شود. مبحث چهاردهم مقررات ملی ساختمان با عنوان تأسیسات گرمایی، تعویض هوا و تهویه مطبوع حداقل هوای تازه لازم برای فضاهای مختلف بر اساس افراد، واحد سطح و هر اتاق ارائه کرده است. این مقدار برای هر فرد ۱۰ لیتر بر ثانیه است.

مطابق با فرمول:

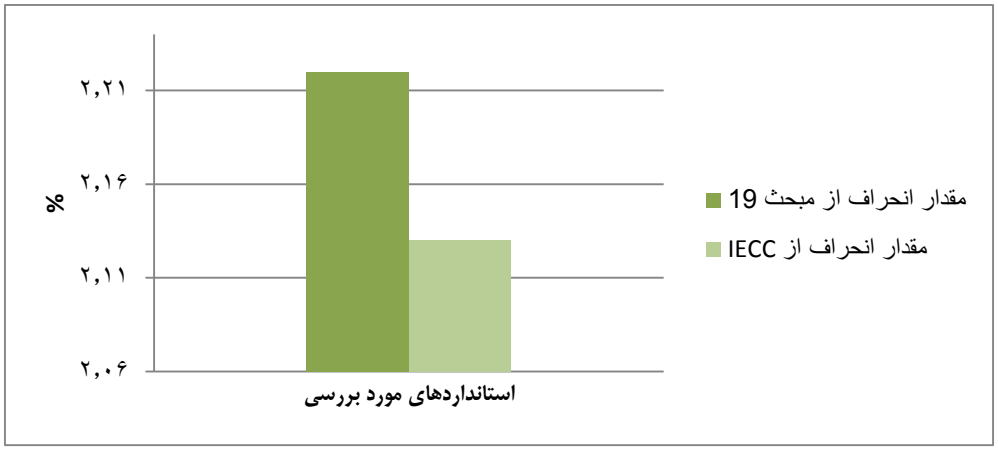
$$BLCS= \rho.Q.CP$$
$$\rho = 1.200\ Kg/m3$$
$$CP = 1.004\ Kj/kg°K$$

و با توجه به این‌که تعداد نفرات استفاده‌کننده از ساختمان ۷۶۰ نفر اعلام‌شده است، ضریب بار هوای نفوذی برابر با W/K ۳۱۳۲,۵ محاسبه می‌شود. شکل ۱ و ۲ مقایسه ضریب بار ساختمان در حالت فعلی با استانداردهای منتخب را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نمودار مقایسه ضریب بار ساختمان

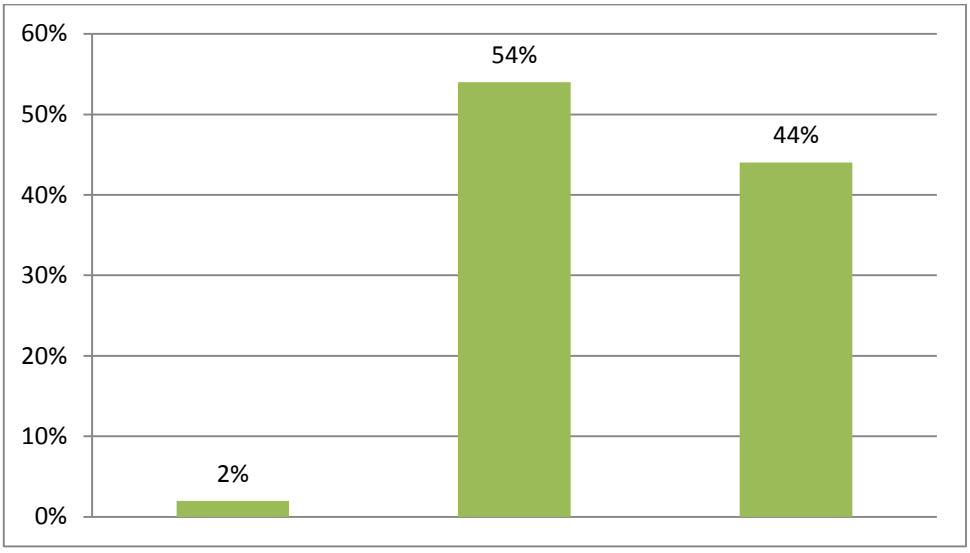
Figure1.Building load factor comparison chart



شکل ۲- نمودار مقایسه انحراف مصرف انرژی از استاندارد حالت موجود (درصد)

Figure 2. Comparison chart of deviation of energy consumption from the current state standard (percentage)

به دلیل تعداد بالای چراغ‌ها و تنوع آن‌ها و همچنین برای اثبات تعداد ذکرشده، به تفکیک هر اتاق نوع روشنایی‌ها برداشت‌شده است. تجزیه‌وتحلیل نتایج اندازه‌گیری روشنایی ساختمان در شکل ۳ ارائه‌شده است.



محدوده استاندارد بیشتر از استاندارد کمتر از استاندارد

شکل ۳- نمودار مقایسه درصد تطبیق روشنایی با استاندارد ازنظر تعداد نقاط

Figure 3. Comparison chart of the percentage of brightness matching with the standard in terms of the number of points

درمجموع می‌توان عنوان نمود که در این ساختمان، غالباً از گاز طبیعی جهت تأمین گرمایش، سرمایش و تأمین آبگرم موردنیاز استفاده می‌شود و از برق جهت سرمایش، روشنایی و تجهیزات الکتریکی ساختمان استفاده می‌گردد. میزان مصرف انرژی در بخش‌های مختلف محاسبه گردیده و در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- میزان مصرف انرژی در بخش‌های مختلف ساختمان

Table 2. The amount of energy consumption in different parts of the building

	گرمایش	آبگرم	سرمایش	روشنایی	تجهیزات برقی	تجهیزات گازی
میزان انرژی مصرفی (*Kwh/year*)	۹۵۹۰۲۷	۴۱۴۷۳۸	۵۴۷۳۴۲	۱۴۰۸۵۲	۳۸۵۹۵۲	۱۷۶۳۰
درصد از کل	۳۸	۱۷	۲۲	۶	۱۶	۱

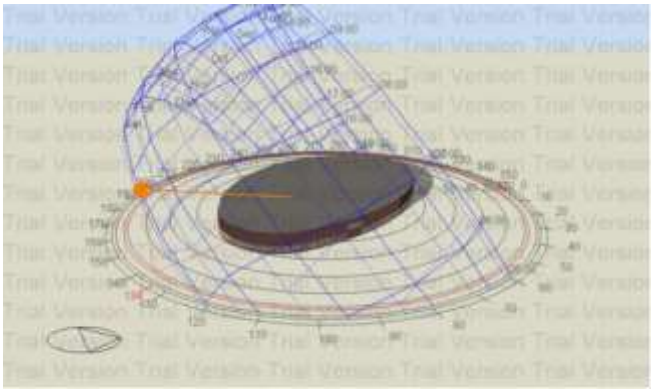
- **مدل‌سازی مصرف انرژی در حالت فعلی**

در شبیه‌سازی میزان مصرف انرژی در این ساختمان تعداد افراد، تعداد تجهیزات، سیستم روشنایی و همچنین برنامه زمانی عملکرد آن‌ها مطابق باحالت فعلی شهرداری منطقه ۵ در نظر گرفته‌شده است. سایر موارد بر اساس تمپلیت‌های استاندارد نرم‌افزار دیزاین بیلدر انتخاب‌شده است. ضریب انتقال حرارت برای دیوار خارجی ۰/۵۷۳ $\frac{W}{m^2.K}$ و برای سقف ۰/۵۴۲ $\frac{W}{m^2.K}$ است. مصالح در نظر گرفته‌شده برای دیوار خارجی و سقف مطابق با شرایط واقعی است.

در خصوص پنجره ساختمان نیز بر اساس تیمپلت استاندارد نرم‌افزار، پنجره دوجداره و از نوع شفاف و فریم از جنس UPVC انتخاب‌شده است که اتفاقاً با وضعیت فعلی ساختمان مطابقت دارد. این پنجره از دوجدار ۳ میلی‌متری شیشه و ۱۳ میلی‌متر هوا تشکیل‌شده است. دمای آسایش ساختمان در فصل سرد سال

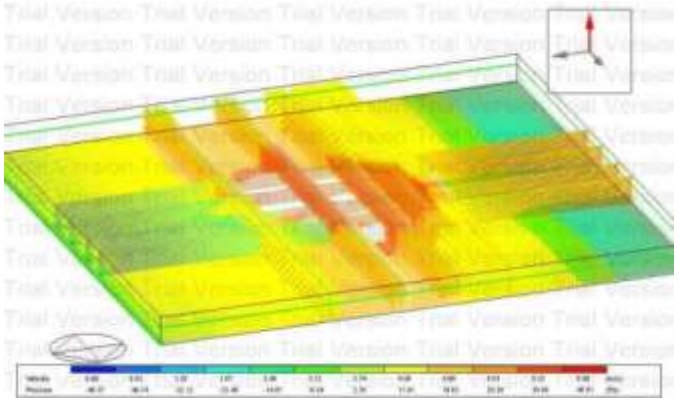
معادل ۲۳ درجه سانتی‌گراد و در فصل گرم سال نیز ۲۵ درجه

سانتی‌گراد در نظر گرفته‌شده است.



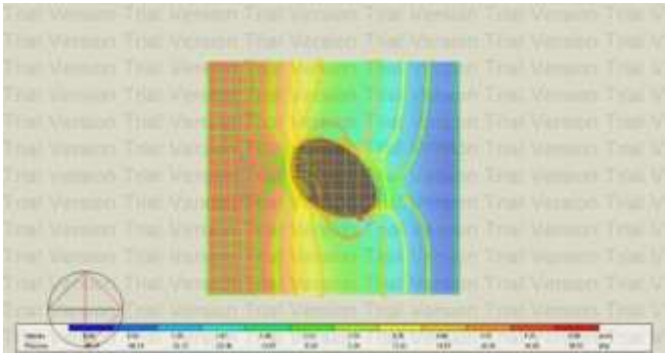
شکل ۴- مسیر حرکت خورشید نسبت به بنا

Figure 4. The path of the sun towards the building



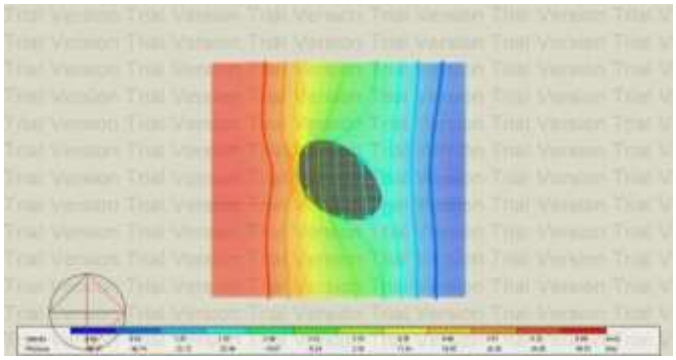
شکل ۵- حرکت باد و فشار به حجم

Figure 5. Wind movement and pressure to volume



شکل ۶- حرکت باد در مسیر حجم اصلی

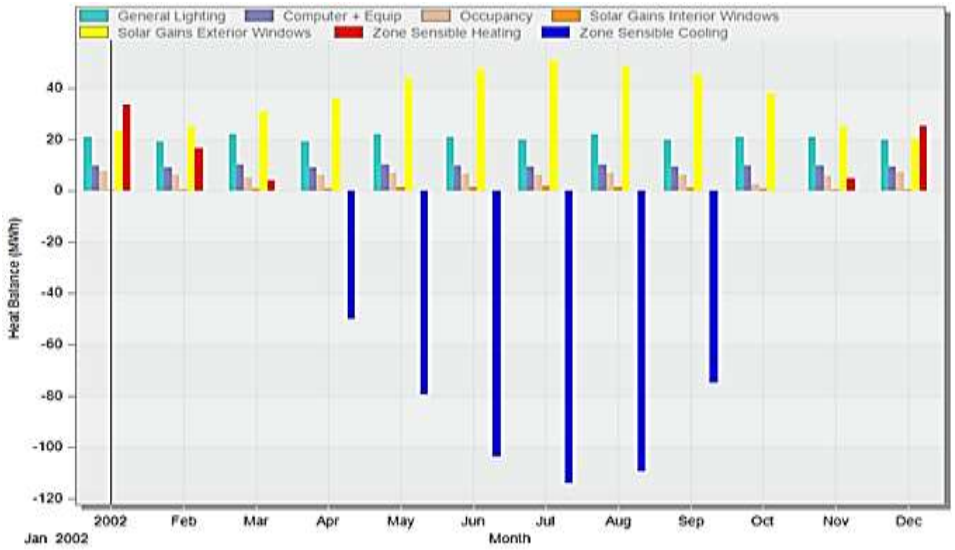
Figure 6. Wind movement in the direction of the main volume



شکل ۷- مسیر فشار به حجم اصلی

Figure 7. Path of pressure to the main volume

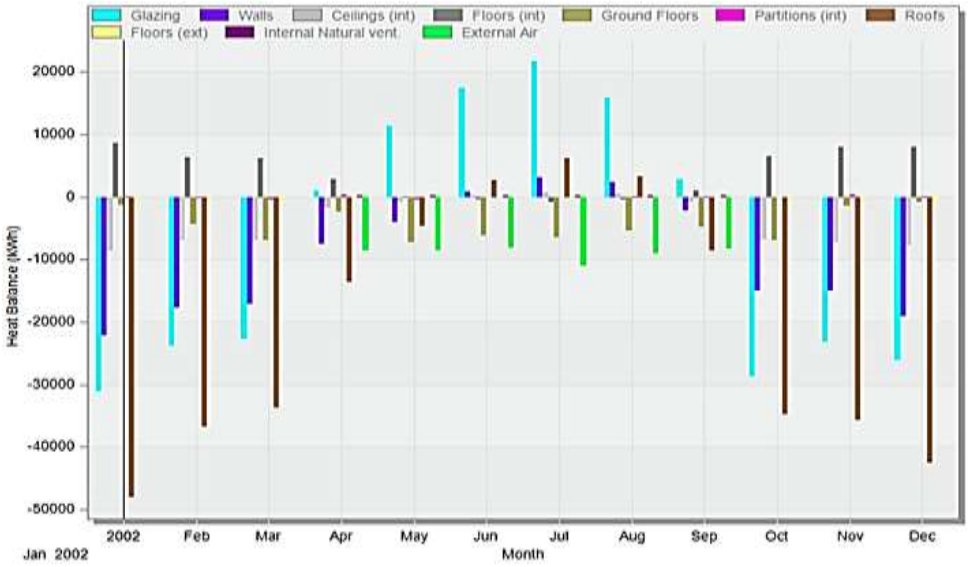
پس از شبیه‌سازی با استخراج نتایج، حرارت دریافتی از طریق قسمت‌های مختلف ساختمان مشابه شکل ۸ است. این حرارت دریافتی در ماه‌های گرم موجب افزایش نیاز بار برودتی ساختمان و در ماه‌های سرد، موجب کاهش نیاز بار حرارتی ساختمان خواهد شد. این حرارت توسط سیستم روشنایی، تجهیزات الکتریکی، حضور افراد و تابش ورودی از طریق پنجره داخلی و خارجی خواهد بود. بیشترین حرارت دریافتی مربوط به حرارت خورشید ناشی از تابش ورودی از پنجره‌های ساختمان است. رنگ قرمز و آبی نیز مربوط به بار محسوس گرمایش و سرمایش ساختمان است.



شکل ۸- نمودار بارهای داخلی (منبع: نگارنده)

Figure 8. Diagram of internal loads

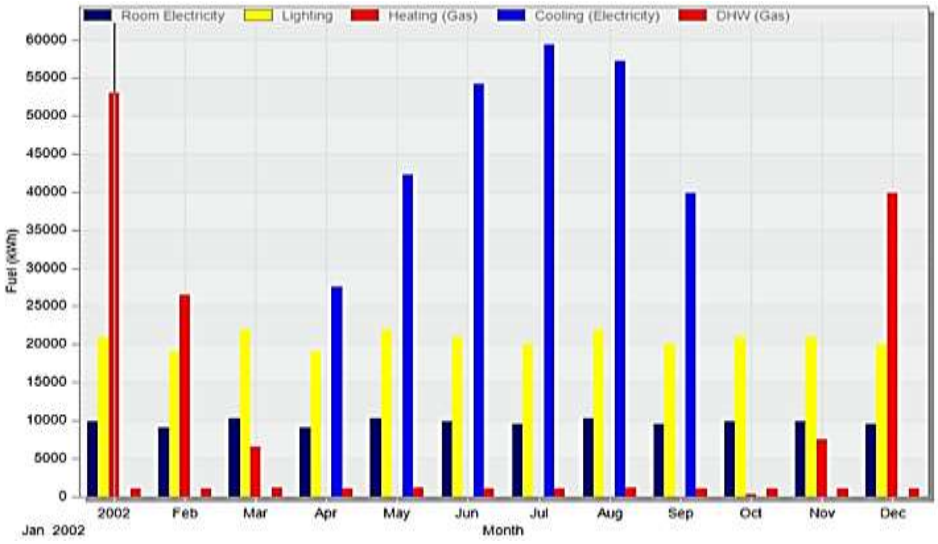
در شکل ۹ نحوه انتقال حرارت از جدارهای مختلف ساختمان بررسی‌شده است. در این تصویر انتقال حرارت از طریق شیشه، دیوار خارجی، سقف، سقف پیلوت و کف مرتبط با زمین قرارگرفته است. اعداد مثبت به معنای دریافت حرارت توسط آن قسمت می‌باشد و اعداد منفی به معنای از دست دادن حرارت خواهد بود. به‌عنوان‌مثال در فصول گرم حرارت عمده‌ای از طریق شیشه وارد فضای ساختمان می‌گردد.



شکل ۹- نمودار وضعیت انتقال حرارت سطوح در وضعیت فعلی

Figure 9. Diagram of the state of heat transfer of the surfaces in the current state

تفکیک مصارف برق با توجه به نوع کاربری به‌صورت ماهانه مطابق شکل ۱۰ می‌باشد. این مصارف مربوط به تجهیزات الکتریکی، سیستم سرمایش، سیستم گرمایش، آب گرم مصرفی و روشنایی می‌باشد. بیشترین برق مصرفی مربوط به سیستم سرمایش ساختمان در طول سال است.



شکل ۱۰- نمودار تفکیک مصارف (منبع: نگارنده)

Figure 10. Typical consumption chart

- **مدل‌سازی مصرف انرژی در حالت بهینه**

ازآنجاکه بخشی از ساختمان موردمطالعه نسبتاً جدید است و تمامی اجزای کالبدی آن تکمیل‌شده و مورد بهره‌برداری قرارگرفته است، لذا مدل‌سازی مربوطه در این بخش صرفاً شامل اجزا و عناصری می‌گردد که در شرایط فعلی قابل‌تغییر و یا اصلاح می‌باشند. منظور از حالت بهینه در نظر گرفتن فرضیات ذیل می‌باشد:

- استفاده از سایبان هوشمند (متحرک) برای پیشگیری از هدر رفت انرژی

- نصب پنل‌های فتوولتائیک به روی پشت‌بام ساختمان برای تأمین برق موردنیاز

مدل‌سازی در شرایط استفاده از سایبان هوشمند(متحرک)

در این حالت به‌منظور جلوگیری از ورود تابش زیاد به داخل فضا در فصول گرم و جلوگیری از Over Heating و همچنین کمک به گرمایش ساختمان در فصول سرد از پرده‌کرکره متحرک استفاده‌شده است. این سایبان بر اساس شدت تابش داخل و همچنین دمای آسایش تنظیم‌شده در فضای داخل عمل می‌کند. یعنی اگر تابش ورودی به ساختمان از حدی فراتر رود پرده‌کرکره فعال می‌شود. همچنین این سایبان تابش را در حدودی کنترل می‌کند تا باعث ازدیاد دمای داخل نشود.

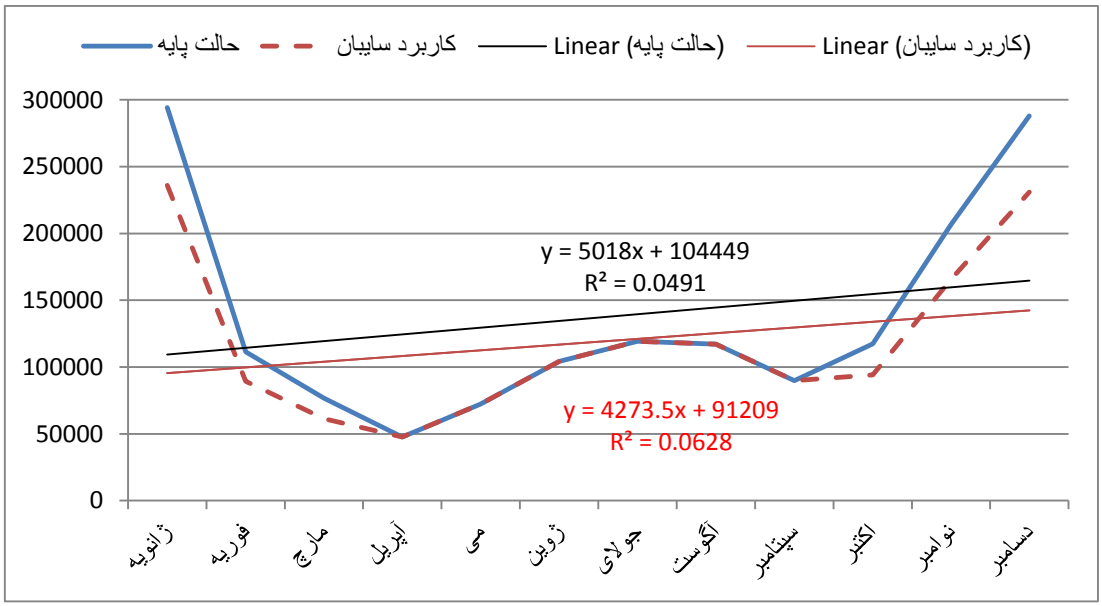
مطابق جدول ۳ با استفاده از سایبان هوشمند انرژی سرمایش و گرمایش نسبت به ساختمان در حالت پایه ۱۲ درصد کاهش‌یافته است.

جدول ۳- نتایج مربوط به مدل‌سازی بر اساس استفاده از سایبان هوشمند

Table 3. Modeling results based on the use of smart canopy

حالت	انرژی سیستم گرمایش kWh	انرژی سیستم سرمایش kWh	انرژی کل kWh	درصد صرفه‌جویی گرمایش	درصد صرفه‌جویی سرمایش	درصد صرفه‌جویی کل
حالت پایه	۱۰۹۴۳۰۲	۵۵۰۴۸۶	۱۶۴۴۷۸۸	-	-	-
سایبان	۱۰۹۳۸۶۵	۴۴۱۴۹۰	۱۴۴۷۴۱۴	۴٪	۱۹٪/۸	۱۲٪

با توجه به نتایج، حرارت دریافتی در فصول گرم با توجه به‌شدت زیاد تابش و همچنین به دلیل جلوگیری از افزایش دمای داخل توسط سیستم هوشمند سایبان کاهش‌یافته است. با توجه به مجموع انرژی سرمایش و گرمایش در هر دو حالت مطابق شکل ۱۱، بار برودتی موردنیاز ساختمان در طول فصول گرم کاهش‌یافته است.

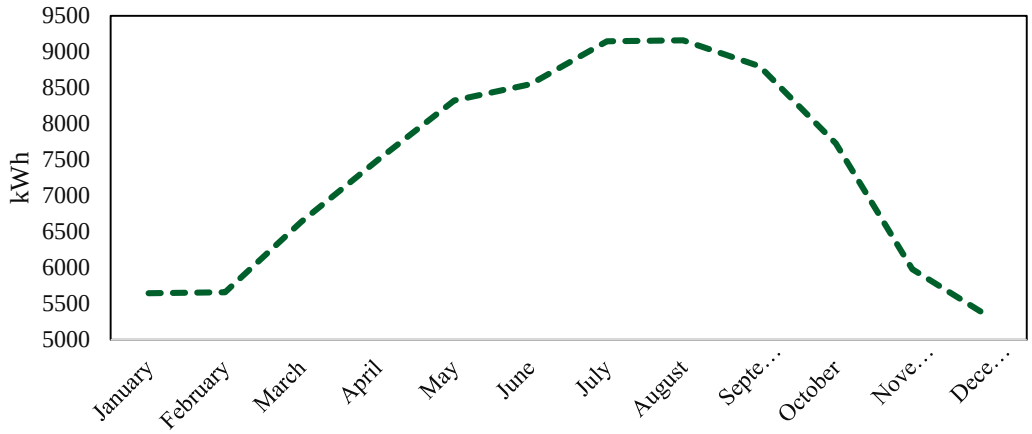


شکل ۱۱- نمودار انرژی مصرفی سیستم گرمایش و سرمایش ساختمان شهرداری منطقه ۵ (منبع: نگارنده)

Figure 11. Diagram of the energy consumption of the heating and cooling system of the municipal building of Region 5

مدل‌سازی در شرایط استفاده از پنل فتولتائیک

به منظور تأمین بخشی از برق مصرفی ساختمان استفاده از ۱۸۰ عدد پنل ۲ مترمربعی در سقف ساختمان به‌عنوان پیش‌فرض در نظر گرفته‌شده است. مجموع مساحت این پنل‌ها ۳۶۰ مترمربع بوده و راندمان این پنل‌ها ۱۵ درصد می‌باشد. این پنل‌ها رو به سمت جنوب و با شیب ۳۱ درجه در نظر گرفته می‌شوند. این تعداد پنل می‌تواند ۸۸۴۳۷ کیلووات ساعت برق در طول سال تولید نماید. پروفیل برق تولیدی ساختمان در طول سال مطابق شکل ۱۲ می‌باشد.

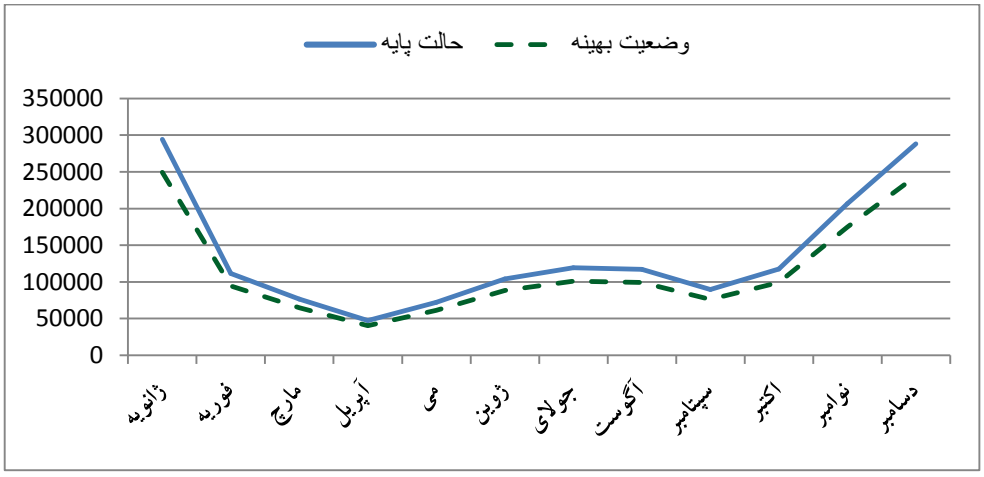


شکل ۱۲- نمودار برق تولیدی توسط پنل‌های فتوولتائیک فرضی برای ساختمان شهرداری منطقه ۵ (منبع: نگارنده)

Figure 12. Diagram of electricity produced by hypothetical photovoltaic panels for the municipal building of Region 5

مدل‌سازی در حالت بهینه (استفاده هم‌زمان از پنل‌ها و سایبان هوشمند)

در این حالت تمامی راهکارهای بررسی‌شده در ساختمان به‌صورت هم‌زمان اجرا گردیده است. این راهکارهای شامل سایبان هوشمند و استفاده از پنل‌های فتولتائیک است. مقایسه مجموع انرژی سیستم سرمایش و گرمایش بین حالت پایه (وضعیت فعلی) و حالت بهینه مطابق شکل ۱۳ است



شکل ۱۳-نمودار مقایسه مجموع انرژی سرمایش و گرمایش موردنیاز در ۲ حالت پایه و بهینه برای ساختمان شهرداری منطقه ۵ تهران (منبع: نگارنده)

Figure 13. Comparison chart of total cooling and heating energy required in 2 basic and optimal modes for Tehran District 5 Municipal Building

در ادامه خلاصه نتایج مطابق جدول ۴ است.

جدول ۴- خلاصه نتایج مدل‌سازی بر اساس وضعیت بهینه برای ساختمان شهرداری منطقه ۵ تهران

Table 4. Summary of the modeling results based on the optimal situation for the municipal building of the 5th district of Tehran

	تابش ورودی kWh	انرژی سیستم سرمایش kWh	انرژی سیستم گرمایش kWh	انرژی کل kWh
ژانویه	۳۸۵۸۲	۰	۲۴۹۳۰۱	۲۴۹۳۰۱
فوریه	۳۷۷۱۹	۰	۹۴۳۰۷	۹۴۳۰۷
مارس	۴۴۷۱۷	۰	۶۴۸۵۱	۶۴۸۵۱
آوریل	۳۰۵۱۸	۴۰۲۹۶	۰	۴۰۲۹۶
می	۳۵۶۳۰	۶۱۲۳۵	۰	۶۱۲۳۵
ژوئن	۳۸۰۲۲	۸۸۲۹۰	۰	۸۸۲۹۰
جولای	۴۰۶۲۳	۱۰۱۰۵۶	۰	۱۰۱۰۵۶
اوت	۳۹۵۱۹	۹۹۳۱۵	۰	۹۹۳۱۵
سپتامبر	۳۸۶۹۰	۷۶۰۷۰	۰	۷۶۰۷۰
اکتبر	۵۶۰۰۶	۰	۹۹۴۸۴	۹۹۴۸۴
نوامبر	۴۱۹۰۹	۰	۱۷۴۹۵۱	۱۷۴۹۵۱
دسامبر	۳۵۱۴۲	۰	۲۴۳۹۸۰	۲۴۳۹۸۰

مطابق جدول ۵ در حالت بهینه، انرژی سرمایش و گرمایش نسبت به ساختمان در حالت پایه ۱۵/۳ درصد کاهش‌یافته است.

جدول ۵- نتایج نهایی مدل‌سازی بر اساس حالت بهینه و مقایسه باحالت پایه (وضعیت فعلی)

Table 5. The final results of modeling based on the optimal state and comparison with the base state (current state)

حالت	انرژی سیستم گرمایش kWh	انرژی سیستم سرمایش kWh	انرژی کل kWh	درصد صرفه‌جویی گرمایش	درصد صرفه‌جویی سرمایش	درصد صرفه‌جویی کل
حالت پایه	۱۰۹۴۳۰۲	۵۵۰۴۸۶	۱۶۴۴۷۸۸	-	-	-
حالت بهینه (سایبان و پنل)	۱۰۸۱۱۷۰	۴۲۹۳۷۹	۱۳۹۳۱۳۵	۸٪/۶	۲۲٪	۱۵٪/۳

بحث

نتایج این تحقیق بیانگر آن بوده است که گرمایش ساختمان توسط ۱۲۸ عدد فن‌کوئل (که توسط ۲ دیگ موجود در موتورخانه مرکزی به‌صورت اصلی و ۲ عدد بخاری‌برقی و ۵ عدد اسپیلت به‌صورت کمکی) تأمین‌شده است. سرمایش ساختمان توسط ۲ عدد هواساز و ۱۲۸ عدد فن‌کوئل (که توسط ۲ عدد چیلر موجود در موتورخانه مرکزی تغذیه می‌گردند) به‌صورت اصلی و ۵ عدد اسپیلت به‌صورت کمکی تأمین می‌شود. آبگرم مصرفی ساختمان توسط ۱ عدد مخزن آبگرم موجود در موتورخانه تأمین می‌شود. همان‌طور که از یافته‌های تحقیق مشخص‌شده است روشنایی ۵۴ درصد نقاط در محدوده استاندارد است و ۲ درصد نقاط دارای روشنایی بیشتر از حد استاندارد و ۴۴ درصد نقاط دارای روشنایی کمتر از حد استاندارد است. مجموعاً ۹۰ نوع دستگاه الکتریکی در این ساختمان مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. همان‌طور که از نتایج موجود استنباط می‌گردد، وضعیت روشنایی (بر اساس توان نصب‌شده بر واحد سطح) این ساختمان بیشتر از استانداردهای جهانی است که می‌توان آن را بدون تأثیری در شرایط آسایش داخل داشته باشد تا حدی کاهش داد.

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، نواقص و کمبودهای ساختمان از دیدگاه انرژی عبارتند از:

۱- میانگین ضریب انتقال حرارت دیوارها ۲/۵ برابر مقدار استاندارد مبحث ۱۹ است.

۲- میانگین ضریب انتقال حرارت پنجره‌ها ۱/۷ برابر مقدار استاندارد مبحث ۱۹ است.

۳- میانگین ضریب انتقال حرارت سقف ۲/۲ برابر مقدار استاندارد مبحث ۱۹ است.

از سوی دیگر، بر اساس مدل‌سازی صورت گرفته مشخص می‌گردد که کل برق مصرفی ساختمان در طول یک سال ۱۰۷۴۱۴۶ کیلووات ساعت بوده که پنل‌ها می‌توانند ۸۸۴۳۷ کیلووات ساعت در طول سال تولید کنند. بر این اساس، پنل‌ها توانایی تولید ۸/۲۳ درصد از برق موردنیاز ساختمان را دارا می‌باشند. بیشترین پرت حرارتی در فصول سرد مربوط به سقف و شیشه ساختمان می‌باشد. نتایج و خروجی‌های این تحقیق با بسیاری از تحقیقات پیشین نظیر ۳، ۴، ۵، ۱۴ کاملاً همخوانی دارد.

جمع‌بندی

میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری شهرداری تهران (منطقه ۵) در شرایط فعلی با استانداردهای ملی و بین‌المللی تفاوت نسبتاً زیادی دارد. از سوی دیگر، با تمهیدات و رعایت ملاحظات خاص به‌ویژه استفاده از سایبان متحرک برای پنجره‌ها و همچنین به‌کارگیری پنل‌های فتوولتائیک می‌توان تا حد زیادی نسبت به صرفه‌جویی و مدیریت در مصرف انرژی و نیز بهره‌مندی از انرژی پاک در این‌گونه ساختمان‌ها اقدام نمود. در این میان آموزش و ارتقاء آگاهی‌های زیست‌محیطی یکی از مهم‌ترین اصول مدیریت انرژی است.

References

1. Ebrahimi Naghani, Peyman, etemad. Alireza, Simulation of building energy and heat load in Design Builder, 2022. (In Persian)
2. Darabi. Mohammed Hossein, Optimizing the energy consumption of buildings using building information modeling and the feasibility of using renewable energy in energy supply (Case study, Tehran). 2021. (In Persian)
3. Hasami. Zohra, 2019, the effectiveness of the implementation of the resolution to modify the pattern of energy and resource consumption in Tehran municipality buildings, Shahr Economy Quarterly, Volume 9, Number 1, pp 48-52. (In Persian)
4. Hasami. Zohra, 2017, entrepreneurship workshop to optimize energy consumption and environment, Environmental Management and Sustainable Development Center of

Tehran Municipality, Sharif University of Technology. Tehran. (In Persian)

5. Khedive. Samira, Abbaspur. Majid, Karbasi. Abdul Reza, 2016, evaluation of the implementation of energy management measures in the domestic and commercial sectors in metropolises using the SWOT method, Environmental Science and Technology Quarterly, 18th volume, Special issue number 2, p 11. (In Persian)
6. Zarbakhsh. Mohammad Hassan, 2013, the need to optimize energy consumption in the second country with gas resources and the fourth country with oil resources in the world and the second oil exporting country, OPEC, www. saba.org.ir/saba content/image/2013/ 11/4806 orig. Environmental Protection Organization, 2018, Translation of the Paris Sustainable Development Goals document, Tehran, p 112. (In Persian)
7. Samavati. Elham, 2015, energy management of Smart building by feeding renewable resources, Scientific and promotional quarterly of renewable and new energies, third year, the first number, pp 45-50. (In Persian)
8. Shabanzadeh. Hadi, Javan. Afshin, 2003, Energy efficiency standards and labels, handbook for lighting fixtures and equipment, Tehran University Publications, p 36.
9. Tartar. Mohamad, Marefat. Mahdi, 2013, New solutions to reduce energy consumption in buildings through modification of the external shell, mechanical engineering, Number 61, Year 22. (In Persian)
10. Ghafari Jabari. Shahla, Ghafari Jabari. Shiva, Salehi. Elham, 2012, Housing design solutions to optimize energy consumption in Tehran, Journal of energy planning and policy research, second year, Number 51, pp 132-155. (In Persian)
11. Fazli. Abdul Reza, Heidary. Shahin, 2012, Optimizing energy consumption in residential areas of Tehran using the Rotterdam energy planning approach, Energy planning and policy research, first year, Number 3, pp 83-96. (In Persian)
12. Verij Kazemi. Mohamad, 2016, Providing operational solutions to optimize energy consumption and energy management in Iranian residential and office buildings, The second national conference of the future building, Tehran.
13. Chen, S., Zhang, G., Xia, X., Setaung, S., Shi, S. 2020. A review of internal and external influencing factors on energy efficiency design of buildings, Energy & Buildings 216.
14. Economidou, A.M., V. Todeschi, P. Bertoldi a, D. D'Agostino a, P. Zangheri a, L. Castellazzi, 2020, Review of 50 years of EU energy efficiency policies for building.
15. 15-Mariano-Hernandez, D., Hernandez- Calejo, L., Zorita-Lamadrid, A., Duque-Perez, O., Santos-Garcia, F. 2021. A review of strategies for building energy management system: Model predictive control, demand side management, optimization, and fault detect & diagnosis, Journal of Building Engineering 33 (2021) 10169.
16. Mariano-Hern, D., Andez, L. Hernandez-Callejo, A. Zorita-Lamadrid, O. Duque-Perez, F. Santos García, 2020, A review of strategies for

building energy management system: Model predictive control, demand side management, optimization, and fault detect & diagnosis.

17. Salvia. M., Simoes, S.G., Herrando, M., Cavar, M., Cosmi, G. 2021. Improving policy making and strategic planning competencies of public authorities in the energy management of municipal public buildings: The PrioritEE toolbox and its application in five mediterranean areas, Renewable and Sustainable Energy Reviews 135 (2021).