مقاله مستخرج از پایان نامه

پایداری، توسعه و محیط زیست، دوره سوم، شماره۱، بهار ۱۴۰۱، صص ۱-۱۱

برآورد پتانسیل کاهش گازهای گلخانه ای از طریق بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمانی اداری در کلانشهر تهران

سعید شجری [۱]

آزیتا بهبهانی نیا* [۲]

behbahani@riau.ac.ir

اشکان عبدالی سوسن [۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۹ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۳**

چکیده

زمینه و هدف : مصرف انرژی در ساختمان های کشور در حدود دو تا چهار برابر متوسط مصرف انرژی در سایرکشورهای جهان می باشد. در بخش ساختمان، ساختمان های عمومی و دولتی هفتاد درصد مصرف این بخش از انرژی را به خود اختصاص می دهند. محدود بودن منابع انرژی وآثار زیان آور بر مصرف بی رویه آن، طرحی مناسب و بهینه را از دیدگاه مصرف انرژی ضروری می سازد. هدف از انجام این پژوهش بررسی و تغییر الگوی مصرف انرژی در ساختمان های اداری در راستای کاهش گازهای گلخانه ای می باشد.

روش بررسی: جهت انجام بهینه سازی در ساختمان مورد مطالعه میزان انرژی مصرفی و جزئیات مربوط به سیستم های گرمایشی، سرمایشی و روشنایی ساختمان منتخب از طریق بازدید های میدانی و به کمک لوکس متر اندازه گیری، برداشت و سنجیده شد. با استفاده از نرم افزار انرژی پلاس مصرف انرژی برای ساختمان مورد نظر که با توجه به بررسی های انجام شده درگروه ساختمان های با مصرف انرژی زیاد قرار دارد، شبیه سازی شد. مقادیر مربوط به میزان هدررفت انرژی، سطح آسایش و شاخص های مصرف انرژی در ساختمان منتخب نیز محاسبه گردید.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم وتحقیقات تهران، ایران

۲- استادیار گروه محیط زیست دانشکده کشاورزی و علوم پایه واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران

۳- استادیار گروه مهندسی انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم وتحقیقات تهران، تهران، ایران

یافته ها: نتایج نشان می دهد که با اقدامات بهینه سازی موثر در ساختمان مورد نظر میتوان به کاهش کربن دی اکسید تولیدی و کاهش مصرف انرژی بین ۱۴تا ۲۰درصد بصورت سالیانه دست یافت.

نتیجه گیری: بر طبق محاسبات انجام شده بطور میانگین ۵۰ درصد از مصرف انرژی سالیانه هدر می رود که میتوان این میزان را با انجام اقدامات ممیزی تا ۳۰ درصد کاهش داد و آسایش حرارتی که در برخی فصول خاص در ساختمان تا بیش از ۶۰ درصد محاسبه شده است را افزایش داد.

کلمات کلیدی: ممیزی انرژی،کاهش گازهای گلخانه ای ، آسایش حرارتی ،نرم افزار انرژی پلاس

J. Sus. Dev. & Env., Vol 3, No.1, Spring 2022, pp.1-11

Estimating the Potential of Reducing Greenhouse Gases by Optimizing Energy Consumption in Office Buildings in the Metropolis of Tehran

Saeed Shajari[1]
Azita Behbahaninia[2]*
behbahani@riau.ac.ir
Ashkan Ebdali Susan[3]

Received: November 20, 2021 Accepted: June 13, 2022

Abstract

Background and Aim: Energy consumption in the country's buildings is about two to four times the average energy consumption in other countries of the world. Also in the construction sector, public and government buildings account for 70% of this energy consumption. The limited energy resources and the effects of losses on its excessive consumption make a suitable and optimal plan necessary from the perspective of energy consumption. The purpose of this study is to investigate and change the pattern of energy consumption in office buildings in order to reduce greenhouse gases.

Methods: In order to perform optimization in the studied building, the amount of energy consumption and details related to the heating, cooling and lighting systems of the selected building were measured, collected and measured through field visits with the help of a luxury meter. In this study, using energy plus software, energy consumption for the building, which is in the group of buildings with high energy consumption, was simulated. It should be noted that the values of energy loss, comfort level and energy consumption indicators in the building. The selection was also calculated.

Results: The results show that effective optimization measures in the building can reduce carbon dioxide emissions and reduce energy consumption by 14 to 20 percent annually.

Conclusion: According to calculations, an average of 50% of annual energy consumption is wasted, which can be reduced to 30% by performing audit measures and thermal comfort, which is sometimes calculated to be more than 60% in certain seasons in the building increased.

Keywords: Energy audit, Greenhouse gas reduction, Thermal comfort, Energy Plus software

1- M.Sc. Graduate, Department of Environmental Engineering, Faculty of Environment and Natural Resources, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

2- Department of Environment, Faculty of Basic science and Agriculture, Islamic Azad University, Roudehen branch, Roudehen, Iran

3- Assistant Professor, Department of Energy Engineering, Islamic Azad University, Tehran Science and Research Branch, Tehran, Iran

مقدمه

امروزه آلودگی محیط زیست و گرمای جهانی حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی، افزایش قیمت حامل‌های انرژی و کاهش منابع انرژی، برای بشر مشکل‌آفرین شده است. محاسبه نشر CO_2 از ساختمان‌ها که ۵۰ درصد کل دی اکسیدکربن منتشر شده را تشکیل می‌دهند، رویکرد ساخت و ساز را به سوی کاهش مصرف انرژی تغییر داده‌است. (۱) تاثیر چشمگیر صرفه جویی درانرژی با طراحی معماری و انجام یک سری اقدامات به ظاهر ساده می تواند میزان قابل توجهی از مصرف انرژی را بکاهد (۲) در نتیجه می توان به بهینه سازی انرژی در ساختمان و کاهش تولید گازهای گلخانه ای دست یافت. محدود بودن منابع انرژی از یک سو ،مشکلات ایجاد شده حاصل از مصرف بی رویه سوخت های فسیلی از سویی دیگر و همچنین تعهد نامه های بین المللی مبنی بر کاهش تولید کربن دی اکسید کشورها را ملزم به کاهش و صرفه جویی در مصرف انرژی می کند. (۳) در ساختمان های تجاری ، مسکونی و اداری سالانه حدود ۲۰۰میلیون بشکه نفت خام برای تولید حرارت در سرما مصرف می شودکه اگر با روش های ممیزی در مصرف انرژی فقط ۱۰درصد صرفه جویی گردد، سالیانه حدود ۲۰میلیون بشکه نفت خام صرفه جویی می شود. (۴) مقاوم سازی ساختمان ها در برابر مصرف انرژی نقش مهمی در بهره وری انرژی دارد با توجه به اینکه مجموعه های اداری-خدماتی از فضا هایی هستند که بصورت مستمر در کلیه ایام سال مورد استفاده کاربران قرار می گیرند و همچنین حجم بالای ساعات کاریشان در شبانه روز و در فصول مختلف چه از نظر سرمایش و چه از نظر گرمایش همواره مورد توجه بوده و ایجاد شرایط مطلوب در داخل محیط داخلی ساختمان بسیار مهم است بنابراین یک طرح ممیزی منحصر به فرد چه از نظر میزان آسایش افراد و چه از نظر زیست محیطی بسیار قابل ملاحظه و کاربردی است(۵) ارزش انرژی که بصورت غیر اصولی در کشور مصرف می شود سالانه بیش از ۱۸میلیارد دلار است(۶) ، تداوم ساختمان هایی که از نظر مصرف انرژی بشدت پر مصرف و کم بازده باشند می تواند اثرات بشدت زیان باری بر جامعه و کشور از نظر اقتصادی و زیست محیطی تحمیل کند. (۷) وجود حساسیت های اجتماعی و اقتصادی در مورد استفاده بی رویه از انرژی در سال های اخیر به دلیل انواع آلودگی، افزایش دمای کره زمین، وابستگی کشورهای واردکننده نفت به کشورهای صادرکننده انرژی و محدود بودن منابع تجدیدناپذیر موجب شده کشورها بیش از پیش به دنبال راهکارهایی جهت بهینه سازی در تولید و مصرف انرژی در حوزه ساختمان باشند. (۸) در تحقیقی در زمینه پتانسیل انرژی یک ساختمان اداری در آب و هوای مدیترانه ای به کمک نرم افزار دیزاین بیلدر پارامترهای با تاثیر بیشتر نظیر جنس نما، سیستم های گرمایش و سرمایش، نسبت دیوارها مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد، این اقدامات منجر به کاهش سالانه ۳۳ درصد مصرف انرژی می گردد. (۹). نتایج تحقیقی نشان داد، در ساختمان های مسکونی با افزایش کارایی سیستم تهویه مطبوع و استفاده از پنکه سقفی با حسگرهای چشمی و رنگ سقف روشن منجر به کاهش ۴۷٪ مصرف انرژی می گردد(۱۰). Salem و همکاران(۲۰۲۰)؛ با تمرکز بر عملکرد انرژی و تحلیل هزینه برای مقاوم‌سازی ساختمان‌های انرژی نزدیک به صفر یک هتل معمولی در بریتانیا ابتدا مقدار مصرف انرژی در کل سال محاسبه شد و مشخص شد اگرچه هدف nZEBاز لحاظ فنی امکان پذیر است یک فاصله ۳۰ درصدی بین راه‌حل nZEBو راه‌حل هزینه بهینه وجود دارد. راه‌حل بهینه هزینه کاهش ۵۲ درصدی در مصرف انرژی اولیه را نشان می‌دهد(۱۱). در پژوهشی دیگر اللهیاری و همکاران(۱۳۹۹)؛ با تمرکز بر تدوین مدل مدیریت انرژی در بخش ساختمان با به کار گیری الگوریتم PSO (مطالعه موردی شهرستان بندرعباس) با استفاده از پرسشنامه و نظرات صاحبنظران پارامترهای موثر در بهینه سازی انرژی ساختمان نظام مهندسی بندرعباس شناسایی گردیدو متغیرهایی مانند جنس دیوار و سقف، مساحت و نوع پنجره ها، ضخامت عایق دیوار و سقف انتخاب شدند(۱۲، ۱۳) .با توجه به روند رو به رشد

مصرف کنونی با نرخ رشد ۵/۵ درصدی، می‌توان دریافت که به دلیل رشد میزان مصرف انرژی با نرخ بیش از رشد تولید انرژی در کشور، در آینده‌ای بسیار نزدیک میزان مصرف انرژی در کشور از میزان تولید آن فراتر رفته و کشور ما یکی از بزرگترین صادرکنندگان حامل‌های انرژی به وارد کننده انرژی تبدیل خواهد شد. این وضعیت تهدیدی جدی برای کشور محسوب می‌شود، چراکه وقوع چنین اتفاقی، به معنای قطع درآمدهای نفتی و گازی کشور از یک سو و نیاز کشور به پرداخت مبالغ هنگفت برای خرید سوخت مورد نیاز است(۱۴). از این رو مهمترین هدف اقدامات ممیزی در ساختمان های اداری کاهش مصرف انرژی در سطح کلان و تا حدودی نجات کشور از قطع درآمد های نفتی در آینده نزدیک است. انجام طرح ممیزی انرژی با استفاده از نرم افزار انرژی پلاس و محاسبات سطح آسایش حرارتی برای اولین بار در این ساختمان اداری انجام گرفت. تاکنون طرح ممیزی انرژی در ساختمان اداری مورد نظر انجام نشده بود. انجام این طرح و بررسی میزان مصرف انرژی و هدر رفت آن، استفاده از نرم افزار انرژی پلاس و تعیین حجم دی اکسید کربن تولیدی و تعیین سطح آسایش و راهکارهای کاهش مصرف انرژی از نوآوری این پژوهش است.

روش بررسی

جهت انجام بهینه سازی در ساختمان مورد مطالعه میزان انرژی مصرفی، جزئیات مربوط به سیستم های گرمایشی، سرمایشی، روشنایی، پلان های معماری و جزئیات قبوض مصرفی و سایر خواسته های نرم افزار انرژی پلاس برای ساختمان منتخب از طریق بازدید های میدانی اندازه گیری، برداشت و سنجیده شد. در این تحقیق با استفاده از نرم افزار انرژی پلاس مصرف انرژی برای ساختمان مورد نظرکه در گروه ساختمان های با مصرف انرژی زیاد قرار دارد، شبیه سازی شد و میزان و حجم کربن دی اکسید تولیدی اندازه گیری شد. لازم به ذکر است که مقادیر مربوط به میزان هدررفت انرژی ، سطح آسایش و شاخص های مصرف انرژی در ساختمان منتخب نیز محاسبه گردید.

داده های ورودی به نرم افزار

پس از انجام بازدید های میدانی و برداشت اطلاعات مربوط به ساختمان مورد نظر،جدول زیر پدید آمد.

جدول۱-اطلاعات میدانی برداشت شده از ساختمان منتخب

کاربری ساختمان: اداری	تعداد افراد شاغل:۵۰نفر	زیر بنا:۹۰۰متر مربع
وضعیت سیستم تهویه:مناسب	تعداد کامپیوتر:۴۰عدد	سن بنا:۱۹ سال
سیستم گرمایش شوفاژ+۳عدد بخاری برقی+۲عدد بخاری گازی	وضعیت عایق بندی موتورخانه ساختمان نیاز به ترمیم و بهسازی دارد	وضعیت سیستم هوشمند ساختمان از مدار خارج است.
تعداد طبقات:۲طبقه بالای همکف	سیستم روشنایی ساختمان از نوع لامپ های رشته ای قدیمی و قاب های سه زوجی فلوروسنت سه تایی با میزان ۱۵۴وات مصرف انرژی می باشد.	نسبت مساحت پنجره به دیوار:۱۷ درصد
تعداد یخچال:۹عدد	میانگین میزان روشنایی طبقات :۳۲۸ لوکس	ضریب عملکرد سیستم گرمایش:۰٫۶۵%
سیستم بازچرخانی آب در موتورخانه دارای هدررفت می باشد.	تعداد سماور برقی :۳عدد	ضریب عملکرد سیستم سرمایش:۰٫۴۵%
وضعیت درب ورودی بصورت مکانیکی	ساعت کاری ۷تا ۱۷	مجموع برق مصرفی سالیانه تجهیزات پرمصرف در ساختمان(kW): ۱۸۶۱۷
میزان تراکم:۱۷٫۵	دبی هوا:۰٫۶۶(m^3/s)	میزان روشنایی محوطه:۷۲۰ لوکس
میانگین مصرف گاز در سال(m^3) ۱۹۶۲۶	میانگین مصرف برق در سال(kW) ۵۳۰۳۳	دمای آب گرم مصرفی:۷۰(c°)

جدول۲-اطلاعات تکمیلی و داده های ورودی به نرم افزار انرژی پلاس

Terrain Type (محل قرار گیری ساختمان از نظر نوع منطقه) City	نوع فعالیت افراد ساکن در ساختمان Light office work/standing/walking	تهویه مرکزی ساختمان تهویه طبیعی
میانگین دمای داخل در فصول سرد وگرم سال ۳۰ و ۲۲ (c°)	Electric Equipment در ساختمان مقدار گرمایی که به ازای هر نفر تولید می شود ۲۰۰وات در نظر گرفته می شود.	سوخت سیستم سرمایش برقی است.
Miscellaneous (سایر تجهیزات خاص اداری در ساختمان): ۱۰,۴ وات بر متر مربع	Run Period control special days ۲۷ روز در سال روزهای تعطیل برای ساختمان تعریف می شود.	ضریب انتقال حرارت طبیعی برای سطوح داخلیTRAP
تعادل حرارتی در بخش های مختلف ساختمان Conduction Transfer Function	Other Equipment سایر تجهیزات اداری که با افزودن بخاری برقی برای ساختمان تکمیل شد.	انتخاب بازه شبیه سازی از یکم تیر ماه ۱۳۹۹لغایت ۱ام تیرماه ۱۴۰۰معادل ۲۰۲۰/۰۶/۲۱تا ۲۰۲۱/۰۶/۲۲
ضریب انتقال حرارت طبیعی برای سطوح خارجی DOE-2 :۱	سوخت سیستم گرمایشی ساختمان گاز طبیعی و در برخی موارد خاص در ساختمان برقی است.	Location and Climate دانلود فایل آب و هوایی مخصوص شهر تهران از سایت مخصوص انرژی پلاس برای ساختمان
دمای خاک (سطح زمین) بصورت پیش فرض برای ساختمان در تمام حالات ۱۸(c°)در نظر گرفته می شود	نحوه تابش آفتاب به ساختمان full interior and Exterior :۱	Sizing period design day اطلاعات سرد ترین و گرم ترین روز های سال که در فایل آب و هوایی موجود است.

جزئیات مصالح معرفی شده به نرم افزار و مورد استفاده در ساختمان منتخب

جدول۳-جزئیات مصالح مورد استفاده در ساختمان منتخب جهت معرفی به نرم افزار انرژی پلاس

المان ها	مشخصات مصالح
دیوارهای خارجی	100mm Brickwork outer + 200mm Concrete block
سقف	20mm Asphalt + 80mm Slab Concrete
کف	200mm Cast concrete
پنجره نوع۱	Double 2layers + Argon 7mm (Window gas type)
پنجره نوع ۲	Single wall window
درب ورودی	Electric automatic entrance door
دیوار های داخلی	10 mm white plaster+100mm Brickwork
درب های اتاق ها	5mm Wooden door
نما	15 mm brown travertine+Brick clay

یافته ها

جهت هدررفت انرژی در ساختمان مورد بررسی انجام ۶ گام ضروری است. ۱-محاسبه مساحت مفید A [۱]

۱-محاسبه سطح دیوار که برابر= طول*ارتفاع -مساحست پنجره ودر

۲-محاسبه ΔT (دمای بیشتر – دمای کمتر) (درجه سانتی گراد) (رابطه ۱)

۳-تعیین ضرایب انتقال حرارت مصالح به کمک مبحث۱۹مقررات ملی ساختمان[۱]

۴-مقاومت هدایت حرارتی u [۲]

$U=1/\sum R$ (رابطه ۲)

۵-مقاومت حرارتی کل عنصر $\sum R$ [۳]

$R=DX\div K \sum R$ [۴] (رابطه۳)

۶- محاسبه انرژی از دست‌رفته

$Q=U*A*\Delta T$ [۵] (رابطه۴)

به کمک روابط بالا و پس از انجام محاسبات میزان هدر رفت ساختمان مورد بررسی ۶۱درصد می باشد که به نسبت عدد بسیار بزرگی است و نیازمنده بازنگری و بهینه سازی بیشتر ساختمان را داراست. برای بدست آوردن رده مصرف انرژی ساختمان لازم است موارد ۵گانه زیر طی شود.گام اول -با توجه به وضعیت آب و هوایی شهر تهران از بین اقلیم های ۸گانه معرفی شده در استاندارد ملی ایران ،شهر تهران در اقلیم نیمه خشک قرار می گیرد. گام دوم- به کمک رابطه ۵ در زیر محاسبه می گردد.

$E_{actual} = ((\sum_i(Q_{Fi}\times HV_i\times 0.278)+Q_E \times F_c)/A_f$ [۶]

میزان مصرف انرژی سالیانه ساختمان های موجود بر حسب واحد زیر بنای مفید($kWh/m^2/year$) محاسبه می شود. گام سوم - محاسبه شاخص مصرف انرژی ایده آل ساختمان های موجود از بین ۸تیپ ساختمان غیر مسکونی معرفی شده در آیین نامه استاندارد ملی ایران. گام چهارم-تعیین نسبت انرژی ساختمان به کمک رابطه ۶ زیر محاسبه می گردد.

$R=E_{act} / E_{ideal}$

گام پنجم - شناسایی شاخص مصرف انرژی ساختمان های غیر مسکونی به کمک نسبت محاسبه شده انرژی در گام۴ام از بین شاخص های معرفی شده استاندارد ملی ایران. با توجه به روابط بالا،داده های برداشت شده از ساختمان منتخب و خروجی های نرم افزار، رده مصرف انرژی در ساختمان مورد نظرمحاسبه شد و در رده G می باشد که نیازمند افزایش اقدامات بهینه سازی درراستای کاهش میزان مصرف انرژی نیز می باشد. برای بررسی میزان مصرف انرژی، ابتدا میزان مصرف انرژی کل ساختمان منتخب با توجه به وضع موجود در سال از نرم افزار انرژی پلاس دریافت کرده و سپس با اعمال یک سری تغییرات جزئی مثل یکپارچه سازی تمام پنجره ها به حالت دوجداره، تغییر سیستم روشنایی به حالت کم مصرف و بهینه ، کاهش دمای آب گرم مصرفی هر ساختمان، افزایش دمای شروع به کار سیستم سرمایش و کاهش دمای شروع به کار سیستم گرمایش، مجددا از نرم افزار Run گرفته شد و تفاوت بررسی شد. قبل از انجام اقدامات ممیزی انرژی میزان انرژی کل مصرفی ساختمان منتخب ۱۴۱۸۳۱کیلووات ساعت بود که با انجام اقدامات فوق این میزان به عدد ۱۲۰۷۶۵کیلو وات ساعت رسید که بیش از۱۶ درصد کاهش مصرف انرژی مصرفی سالیانه را به همراه داشت. از دیگر مزایا استفاده از انرژی پلاس مشخص کردن میزان کربن دی اکسید تولیدی ساختمان می باشد. ابتدا نتایج میزان کربن دی اکسید تولیدی ساختمان منتخب در یک سال با شرایط فعلی از

۲-جدول ۷مقادیر هدایت حرارتی مبحث۱۹مقررات ملی ساختمان

۳- $R=Б\div\lambda$

۴- $\sum R=R1+R2+R3+...RN$

۵-بدون واحد و مقادیر ثابت و قابل برداشت از مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان

۶- انرژی از دست رفته در ساختمان بر حسب کیلو وات ساعت

۷-رابطه ۵ و ۶ شامل مواردزیر است

Q_{Fi} مجموع مصرف حامل انرژی که برای هر نوع سوخت ضریب خاصی دارد بر حسب کیلو وات ساعت:

HV_i ارزش حرارتی حامل انرژی:

Q_E مجموع میزان مصرف برق کیلوات ساعت:

F_c ضریب تبدیل برق به انرژی اولیه که بر طبق استاندارد آیین نامه عدد آن ۳,۷در نظر گرفته شده است:.

A_f زیر بنای مفید ساختمان متر مربع:

E_{act} شاخص مصرف انرژی سالیانه ساختمان بر حسب واحد زیر بنای موجود:

E_{idea} شاخص مصرف انرژی اولیه سالیانه ساختمان ایده آل:

خروجی های نرم افزار نشان داده شد و سپس با در نظر گرفتن روش های بهینه سازی، مجددا میزان کربن دی اکسید تولیدی در سال از نرم افزار خروجی گرفته شد تا میزان کاهش گاز های گلخانه ای در مقایسه با وضع موجود بررسی شود. از جمله روش های بهینه سازی می توان: به قرار دادن ترموستات و دماسنج در اتاق ها و محیط ، افزایش دمای شروع به کار دستی سیستم سرمایش از ۲۲درجه سانتی گراد به ۲۷درجه سانتی گراد و همچنین کاهش دمای شروع به کار دستی سیستم گرمایش از ۳۰درجه سانتی گراد به ۲۴درجه سانتی گراد، افزایش سطح پوشش کارمندان در فصول سرد سال ،کاهش دمای آب گرم مصرفی از ۷۰درجه سانتی گراد به ۵۰درجه سانتی گراد و حتی عددی پایین تر به نسبت فصل، بهبود وضع روشنایی ساختمان و تغییر سیستم روشنایی فلوروسنت دوتایی به لامپ های LED کم مصرف می توان اشاره کرد. میزان کربن دی اکسید سالانه تولیدی ساختمان مورد نظر با توجه به وضع موجود، پس از شبیه سازی اولیه ۱۲۶۹۵۱ تن می باشد که بعد از اعمال موارد فوق به نرم افزار و رندر گیری مجدد از آن این میزان با کاهش ۲۳ درصدی نسبت به حالت اول به عدد ۹۷۵۲۳تن در سال کاهش یافت. لازم به ذکر است که در این بخش از اعمال موارد با هزینه زیاد مثل عایقکاری های پیشرفته پوسته خارجی و داخلی یا ایجاد سایه بان ها و نما های هوشمند جلوگیری شده است. بدیهی است که استفاده از سایر روش های بهینه سازی که عموما نیازمند هزینه و تخصیص بودجه بیشتری نسبت به موارد فوق می باشد در میزان کاهش گاز های گلخانه ای بسیار مفید خواهد بود. همان طور که مشخص است در کل سال بیشترین میزان برق مصرفی در ساختمان مربوط به روشنایی است که متاسفانه به دلیل استفاده از لامپ های فلوروسنت ساده و دوتایی که بر طبق اطلاعات مربوط به روشنایی هر لامپ مصرف کننده ۱۵۶ وات انرژی الکتریکی می باشد و همچنین عدم استفاده از سنسور های حساس به حضور، سیستم کلید و پریز قدیمی، میزان برق مصرفی نسبت به لامپ های ال ای دی بیشتر است و هم میزان روشنایی این دسته از لامپ ها در پایین ترین حد نسبت به برق مصرفی در هم رده خود می باشد اما در سه ماه از سال در فصل تابستان میزان برق مصرفی برای سیستم سرمایش ساختمان از میزان برق مصرفی روشنایی پیشی می گیرد و میزان بالاتری را به خود اختصاص می دهد که این خود گواهی بر معیوب و قدیمی بودن سیستم روشنایی و سرمایش ساختمان مورد نظر است. همچنین عدم وجود درب برقی نیز باعث افزایش مصرف انرژی در حوزه های سرمایش و گرمایش می گردد.

نتایج مربوط به سطح آسایش حرارتی در ساختمان منتخب

آسایش حرارتی یک احساس ذهنی است که بیانگر رضایت مندی از شرایط مختلف محیط اطراف است. نارضایتی حرارتی نیز می تواند ناشی از احساس گرما یا سرما در کل بدن باشد که با شاخص های PMV(میانگین رای پیش بینی شده) و PPD (درصد نارضایتی حرارتی پیش بینی شده) نشان داده می شود. میزان PMV طی سه مرحله زیر محاسبه شد و در انتها میزان PPD به کمک مقدار PMV[1] محاسبه شد.

M نرخ متابولیک بر حسب (W/m^2) بین ۰,۸ تا ۴

W توان مکانیکی موثر بر حسب (W/m^2)

I_{Cl} عایق لباس بر حسب ($m^2.k/w$) بین ۰ تا ۲

f_{cl} فاکتور مساحت سطح لباس

t_a دمای هوا بر حسب (c°) بین ۱۰ تا ۳۰

$\bar{t}_r$ میانگین دمای تابشی بر حسب (c°) بین ۱۰ تا ۴۰

v_{ar} سرعت نسبی هوا (m/s) بین ۰ تا ۱

P_a فشار جزئی بخار بر حسب (pa) بین ۰ تا ۲۷۰۰

h_c ضریب انتقال حرارت جابه جایی بر حسب ($W/m^2.K$)

t_{cl} دمای سطح لباس (c°)

باید توجه داشته باشیم که :

۱ واحد متابولیک = ۱ met = ۵۸,۲ w/m^2

۱ واحد عایق لباس= ۱ clo = ۰,۱۵۵ $m^2.k/w$

جدول۴-میزان برق مصرفی به تفکیک موارد مصرفی ساختمان(kWh)

برق مصرفی به تفکیک موارد مصرفی	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
روشنایی عمومی	۴۸۳۶	۳۶۹۸	۳۵۴۹	۲۶۸۹	۵۶۸۹	۳۸۹۴	۳۹۶۵	۴۵۳۱	۲۹۸۷	۴۱۶۵	۴۹۸۷	۴۳۶۸
کامپیوتر+تجهیزات اداری	۱۲۰۳	۱۱۵۰	۱۰۶۷	۱۱۵۴	۱۲۶۵	۱۱۵۴	۱۳۶۵	۱۱۷۳	۱۳۷۴	۱۲۷۸	۱۴۴۸	۱۰۵۲
سرمایش	۰	۰	۱۲۰	۴۱۳	۶۸۹	۲۳۰۵	۴۵۶۴	۴۳۲۱	۳۶۰۲	۷۸۰	۸۹	۰
سایر تجهیزات برقی	۶۴۳	۷۵۶	۵۶۹	۵۸۰	۷۰۱	۸۵۲	۶۵۲	۷۴۵	۹۸۷	۱۰۰۳	۸۴۳	۷۶۲

$$PMV=(0.303.e^{-0.036.M}+0.028).\{(M-W)-3.05\times10^{-3}.[5733-6.99.(M-W)-P_a]-0.42[(M-W)-58.15]-1.7\times10^{-5}.M.(5867-P_a)-0.0014M(34-t_a)-3.96\times10^{-8}.f_{cl}.[(t_{cl}+273)^4-(t_r+273)^4]-f_{cl}.h_c.(t_{cl}-t_a)\}$$ (رابطه ۷)

$$t_{cl}=35.7-0.028.(M-W)-0.155.I_{cl}.\{3.96\times10^{-8}.f_{cl}.[(t_{cl}+273)^4-(t_r+273)^4]+f_{cl}.h_c.(t_{cl}-t_a)\}$$ (رابطه۸)

$$h_c=2.38\ .\ |t_{cl}-t_a|^{0.25} \quad , 2.38.|t_{cl}-t_a|^{0.25} > 12.1\sqrt{v}$$ (رابطه ۹)

$$h_c=2.38\ .\ |t_{cl}-t_a|^{0.25} \quad , 2.38.|t_{cl}-t_a|^{0.25} < 12.1\sqrt{v}$$ (رابطه ۱۰)

$$f_{cl}=1.0+1.29.I_{cl} \quad ,I_{cl}\leq0.078\ m^2.K/W$$ (رابطه ۱۱)

$$f_{cl}=1.05+0.645.I_{cl} \quad ,I_{cl}>0.078\ m^2.K/W$$ (رابطه ۱۲)

جدول۵-میزان PMV در هر فصل از سال برای ساختمان منتخب

ردیف	نام ساختمان	میانگین دمای هوا (c°)	میانگین دمای هوای تابشی(c°)	سرعت هوا (m/s)	میانگین رطوبت در بخش های مختلف ساختمان(٪)		نرخ متابولیک کار های اداری (W/m².K)	عایق لباس رسمی ادارات	دمای سطح لباس (c°)	میزان PMV(٪)	
					تابستان	زمستان				تابستان	زمستان
۱	ساختمان۱	۲۹,۹	۳۱,۲	۰,۱	۱۴	۲۶	۱,۲	۰,۷	۲۶	-۱,۱	-۰,۹۷

به کمک رابطه ۱۳نیز میزان PPD [۱] محاسبه می شود.

$$PPD=100-95.\exp(-0.03353.PMV^4-0.2179.PMV^2)$$ (رابطه ۱۳)

[۹] exp=عدد نپر به توان موارد داخل پرانتز $e^{(-0.03353.PMV4-0.2179.PMV2)}$

جدول۶- میزان نرخ PPDدر ساختمان منتخب

ردیف	نام ساختمان	مقدار PPD (٪)	
		تابستان	زمستان
۱	ساختمان ۱	۳۰,۵۱۳	۲۴,۸۷۳

بر طبق محاسبات بعمل آمده بر روی بیش از ۱۳۰۰ نفر و مطالب استاندارد ملی ایران مطلوب ترین میزان PMVمقدار ۰,۵ و ۰,۵- می باشد که بیش از ۹۰ درصد افراد از شرایط آسایش حرارتی رضایت دارند. از راهکارها و پیشنهادات، می توان به افزایش فرهنگ سازی و تشویق کارکنان مجموعه در زمینه صرفه جویی مصرف انرژی، ایجاد قوانین پوششی برای فصول سرد و گرم سال، نظافت و تمیز کردن لامپ ها و تجهیزات مربوط به روشنایی، تغییر الگوی خرید و انتخاب کالا با میزان مصرف انرژی A و B و عدم خرید کالاهای پرمصرف که هزینه ای هم برای سازمان مربوطه ایجاد نمی کند، اشاره کرد. موارد دیگر نیز شامل درز بندی تمامی بازشوها، درب ها و پنجره ها بصورت کامل، نصب درزگیر مخصوص پایین درب های اتاق ها، ایجاد سایه بان برای کولر های آبی که البته این موارد هزینه کمی در برخواهد داشت. از پیشنهادات با هزینه کم ولی نیازمند تکرار، تا سقف هزینه ۱۰میلیون ریال نسبت به سال ۱۴۰۰ می توان مواردی نظیر، سرویس های سالیانه سیستم سرمایش و گرمایش، تعویض پوشال های کولر های آبی، نشت یابی از سیستم گرمایش ساختمان در نظر گرفت. پیشنهادات با هزینه متوسط و نیازمند تکرار تا سقف هزینه ۱۰۰میلیون ریال، مجهز کردن رادیاتورها به شیر ترموستاتیک، بازدیدهای دوره ای نسبت به ترمیم عایق کاری لوله های آبگرم تأسیساتی ، جایگزینی پنجره های تک جداره با دوجداره با قاب UPVCاستاندار و آلومینیوم ترمال بریک. ازپیشنهادات با هزینه متوسط تا سقف هزینه ۱۰۰میلیون ریال - نصب سنسور حضور افراد در راه رو ها و بخش های کم تردد ساختمان، راه اندازی و وارد مدار کردن سیستم هوشمند ساختمان،تغییر سیستم روشنایی از فلوروسنت دوتایی به لامپ های ال ای دی کم مصرف.پیشنهادات با هزینه زیاد-بیش از ۱۰۰میلیون ریال می توان به عایق بندی کامل جداره ها -نصب و راه اندازی پمپ های زمین گرمایی-تغییر کامل سیستم گرمایش و سرمایش ساختمان با سیستم های نوین و کم مصرف اشاره کرد.

منابع

1- Bünning, F., Huber, B., Heer, P., Aboudonia, A., & Lygeros, J. (2020). Experimental demonstration of data predictive control for energy optimization and thermal comfort in buildings. Energy and Buildings, 211, 109792.

۲- زهری س، طاهباز م ، اعتصام ا .(۱۳۹۶)ارائه الگوی بهینه استقرار ساختمان ها در مجتمع های مسکونی ویلایی در شهر رشت با رویکرد بهره گیری بهینه از انرژی خورشید و باد. نشریه مدیریت شهری شماره ۴۷، ۳۲-۲۱

۳- اقتداری, ع, نصر ط, موحدخ, برزگر مروستی ز. (۱۳۹۹). بررسی میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی مسکن زمین‌پناه در مقایسه با مدل مستقر بر سطح زمین (مطالعه موردی: شهر شیراز) .مهندسی تونل و فضاهای زیرزمینی.,9(2), ۲۰۶-۱۸۵

۴- شرقی،ع, ن. (۱۳۹۷). نقش فرم سقف درصرفه جویی میزان انرژی گرمایشی با معیار اسایش حرارتی محیط زندگی. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست،ویرایش ۷،شماره۳،چاپ دوم

5- Leman, A. M., Sharif, H. Z., Krizou, A. N., Al-Tarawne, M. T. A., Subbiah, M., Al Farsi, M., & Irfan, A. R. (2020). Single Objective Optimization of Net Zero Energy Residential Building in Tropical Climate. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 864, No. 1, p. 012015). IOP Publishing

۶- بختیاری, و, فیاض, ر، (۱۳۹۹). قابلیت‌ها و محدودیت‌های ابزارهای بهینه سازی انرژی در مرحله طراحی معماری. نشریه انرژی ایران, ۲۲(۱), ۱۲۷-۱۵۰.

۷- مقررات ملی ساختمان ،مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان (صرفه جویی در مصرف انرژی)،نشر مرکز تحقیقات راه ،مسکن و شهرسازی ،ویرایش چهارم و ابتدای ۱۳۹۹

۸- حافظی فرد, ر،زارع‌پور احمدآبادی, ج، عباسی ه. (۱۳۹۹). شناسایی عوامل موثر در مصرف انرژی خانگی به کمک روش‌های داده‌کاوی. نشریه انرژی ایران, ۲۳(۱), ۲۵-۴۵.

9- Giouri, E. D., Tenpierik, M., & Turrin, M. (2020). Zero energy potential of a high-rise office building in a Mediterranean climate: Using multi-objective optimization to understand the impact of design decisions towards zero-energy high-rise buildings. Energy and Buildings, 209, 109666.

10- Joe, J., & Karava, P. (2019). A model predictive control strategy to optimize the performance of radiant floor heating and cooling systems in office buildings. Applied Energy, 245, 65-77.

11- Salem, R., Bahadori-Jahromi, A., M, A, G, P., & Cook, D. (2020). Energy performance and cost analysis for the nZEB retrofit of a typical UK hotel. Journal of Building Engineering, 31, 101403.

12- Allahyari, F,Behbahaninia,A,Rahami,H,(2019),Development of Model for Energy management in office buildings by neural networks case study:Bandar Abbas,International journal of environmental science and technology.

۱۳- الهیاری ف، بهبهانی نیا آ، رحامی ح،(۱۳۹۸)،تدوین مدل مدیریت انرژی در بخش ساختمان با به کار گیری الگوریتم PSO)مطالعه موردی شهرستان بندر عباس)، بیست و چهارمین همایش ملی انجمن متخصصان محیط زیست و چهاردهمین جشنواره توسعه سبز،تهران،
https://civilica.com/doc/1016361

۱۴- شاعری, ج, یعقوبی, م, وکیلی نژاد, ر.(۱۳۹۹). تأثیر شیشهٔ هوشمند الکتروکرومیک بر بار سرمایش ساختمان‌های اداری در اقلیم گرم و مرطوب، گرم و خشک و سرد ایران. نشریه مهندسی و مدیریت انرژی, ۱۰(۳), ۹۰-۹۹.