**Journal of Environmental Research**
Vol. 14, No. 28, Autumn & Winter 2024

**Journal Homepage: www.iraneiap.ir**
**Print ISSN: 2008-9597 Online ISSN 2008-9590**

# The Potential of Energy Saving and Its Financial and Economic Benefits in Office Buildings

**Document Type**
Research Paper

**Received**
2023/05/06

**Accepted**
2024/01/01

**Mohammad Reza Nazari[1], Hooman Liaghati[2], Azam Agha Mohammad Rabie Seraj[3]**

1. Assistant prof, Department of Environmental and Natural Resources Economics, Environmental Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
2. Professor, Department of Environmental and Natural Resources Economics, Environmental Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
3. MSC of Environmental Education, Environmental Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

DOI: 10.22034/eiap.2024.194612

## Abstract
Residential and non-residential buildings consume more than 40% of the country's total energy consumption and are considered one of the main energy consuming sectors in the country. Therefore, it seems that there are many potentials for saving energy consumption in this sector through the use of tools and solutions to reduce energy consumption, which attention can create significant economic and financial benefits from the point of view of reducing The pressure on the government budget, reducing air pollution and the resulting environmental challenges are also of great importance.

**Keywords:** Energy saving, Office building, Financial and economic benefits, Energy audit.

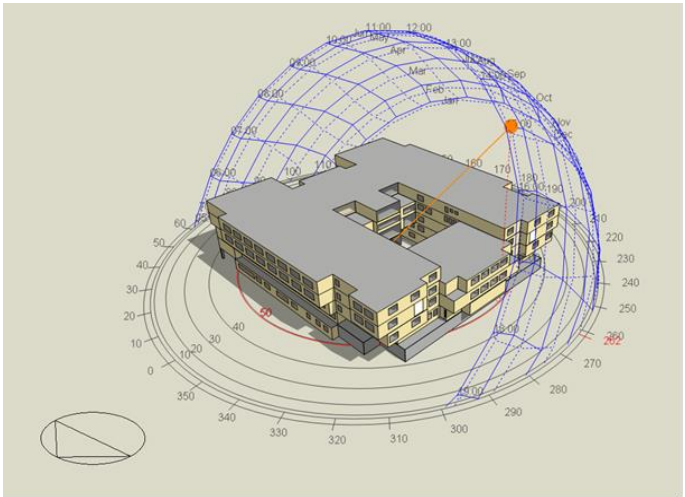
* Corresponding author: Email: mo_nazari@sbu.ac.ir

## Introduction

Today, due to issues such as ensuring energy security, the global increase of energy price and the adverse environmental consequences of the use of fossil fuels (e.g. accumulation of greenhouse gases and global warming), energy consumption management is more important than ever before, so that this issue has been placed as a serious need and approach in the agenda of advanced and developing countries (Mahtabi and Arjamand, 2016). In this regard, the creation and development of smart infrastructure for carbon-free industry is one of the essentials of this importance. According to the estimate of the International Energy Agency (IEA), about ٤٠ countries in the world pay subsidies to their citizens for the consumption of fossil fuels. The total amount of energy subsidies paid in the world in 2020 was a little over 181 billion dollars, and the majority of these subsidies were related to ٤ sources of energy, including gas, oil, electricity and coal. The ineffectiveness of paid subsidies and the negative effects of these policies on the one hand and the increase in global fuel and energy prices on the other hand, lead the macro policies of countries to make decisions and perform management measures to optimize energy consumption and reduce costs. With 35 billion dollars in energy subsidies, Iran has the highest payment for energy subsidies after China. The annual growth of energy consumption in the world is estimated between 1 and 2 percent, while the amount of this growth in Iran unfortunately varies between 5- 8 percent (Khodakarmi and Ghobadi, 2015).One of the main energy-consuming sectors is the construction sector, so that its global average share of the total energy consumption is about 37%, in the United States it is 35% (Lechner, 2014), in Japan it is 31% (Khodakarmi and Ghobadi , 2015) and it is estimated to be more than 40% in Iran, which unfortunately the intensity of its consumption in Iran is very high (about 3 times the world standards). Therefore, it seems that there are many potentials for saving energy consumption in this sector through the use of tools and solutions that reduce energy consumption, which attention can create significant economic and financial benefits from the point of view of reducing Pressure on the government budget, reduction of air pollution and the resulting environmental challenges are also of great importance. Energy optimization tools as a way to achieve the desired answer in the field of reducing energy consumption in buildings have been widely used in recent years at the global level (Bakhtiari and Fayaz, 2018) and various studies have been conducted in this field. Therefore the main goal of this research is to estimate the potential of reducing energy consumption and evaluate its financial and economic benefits in the administrative buildings of the 4th district of Tehran municipality.

## Material and methods

To achieve the goal of this research, we through an energy audit and identifying ways to reduce energy consumption in these buildings. For this purpose, by using Energy Plus (Design Builder) software, the amount of energy consumption in two municipal administrative buildings of Region 4 (central building number 1 and 2 parking lot) which are in the group of buildings with high energy consumption, was audited and then Action strategies to reduce energy consumption have been introduced and their potential to save energy consumption as well as the resulting financial benefits have been evaluated.



Building modeling using Design Builder software

## Results and discussion

According to the research results, insulating the roof and external walls of the building from the inside reduces the energy consumption of cooling and heating systems by about 10 and 15 percent, respectively, which are equivalent to saving 10,443 and 16,164 kilowatt hours of electricity and 9,489 and 14,898 cubic meters of gas (with financial benefits of 50,271,615 and 78,440,928 Rials) per year. Also, the results showed that by installing photovoltaic panels, it is possible to save 281,982 kilowatt hours of electricity consumption annually. Changing the contractual demand of Region 4 Municipality is another way to reduce energy costs (reducing the price of power) which can reduce the cost of paid bills to the amount of 168,848,520 rials annually. By installing the smart system, the operation of the burners and pumps is controlled according to the changes in the outside air temperature, thereby saving up to 40% in gas consumption while providing thermal comfort.

**Summary of the energy audit report of the central building number 1under proposed solutions**

| solutions | Reduction amount | | | Cost of solution (million-Rialls) | Amount of benefits (million Rialls) | | Pay-back period (year) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Water ($m^3$) | Power (kwh) | Gas($m^3$) | | financial | economical | |
| Roof insulation | 0 | 10443 | 9489 | 3473.82 | 50.271 | 333.3 | 69.1 |
| Wall insulation | 0 | 16164 | 14898 | 4288.375 | 78.44 | 519.5 | 54.6 |
| Photovoltaic panel | 0 | 281982 | 0 | 26797.3 | 591.3 | 2670.2 | 45.25 |
| Boiler intelligent control system | 0 | 0 | 21545 | 356.3 | 64.4 | 364.1 | 5.5 |
| Chiller intelligent control system | 0 | 108 | 0 | 493.2 | 226.5 | 1788.8 | 2.1 |
| Solar water heater | 0 | 0 | 6670 | 700 | 19.9 | 112.7 | 35,1 |
| Replacing fluorescent lamps with LED | 0 | 140496 | 0 | 2523.5 | 294.6 | 2326.9 | 8.5 |
| Use of consumption reducing valves | 10 | 0 | 0 | 50 | 95 | 380 | 0.5 |
| Use of eye flash tank | 25 | 0 | 0 | 1400 | 240 | 960 | 5.8 |

Paying attention to the losses related to the evaporation of water and dry combustion gases through the adjustment of the burner prevents the increase in the temperature of the chimney as well as the burning of the boiler blades and high fuel consumption. Also, by replacing coiled sources with plate heat exchanger, it is possible to save at least 30% in fuel consumption. It is worth noting that the presented figures of energy saving are only the amounts of financial benefits and environmental benefits resulting from the reduction in energy consumption and the subsequent reduction in the emission of greenhouse gases and air pollutants are not included in these evaluations. Therefore, if the environmental benefits due to energy saving are estimated, the total social benefits of the proposed solutions will be much higher. Due to the high economic and environmental costs caused by energy consumption in the country, today energy consumption management should be placed as a serious need and approach in the agenda of policy makers, planners and managers of various economic sectors.

## References

Mehtabi, M., & Arjamand, M. 2016. Environmental Evaluation of the effects of the unfavourable performance of engine houses on energy waste and air quality in cities. Science and Technology, 19th period, Special Paper No. 5. (In Persian)

Khodakarmi, J., & Ghobadi. J. 2015. Optimization of energy consumption in an office building equipped with an intelligent management system, Scientific Research Journal of Energy Engineering and Management, 6th year, 2nd issue, page 12-23. (In Persian)

Bakhtiari, V., & Fayaz, R. 2018. Capabilities and limitations of energy optimization tools in the design and architecture stage, journal of Iranian Energy, number 1, 22. pp: 150-127. (In Persian)

پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۱٤، شماره ۲۸، پاییز و زمستان ۱٤۰۲، از صفحه ۲۷۷ تا ۲۹۶

# برآورد پتانسیل کاهش مصرف انرژی و منافع مالی و اقتصادی آن در ساختمان‌های اداری

**محمدرضا نظری[۱]، هومان لیاقتی[۲]، اعظم آقا محمد ربیع سراج[۳]**

۱.استادیار گروه اقتصاد منابع‌طبیعی و محیط‌زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲.استاد گروه اقتصاد منابع‌طبیعی و محیط‌زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۳.دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، رشته آموزش محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱٤۰۲/۰۲/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱٤۰۲/۱۰/۱۱

**چکیده**

هدف این پژوهش برآورد پتانسیل کاهش مصرف انرژی و ارزیابی منافع مالی و اقتصادی آن در ساختمان‌های اداری شهرداری منطقه ۴ تهران از طریق ممیزی انرژی و شناسایی راه‌کارهای کاهش مصرف انرژی در این ساختمان‌هاست. برای این منظور با استفاده از نرم افزار انرژی پلاس مقدار مصرف انرژی در دو ساختمان اداری شهرداری منطقه ۴ تهران (ساختمان مرکزی شماره ۱ و ۲) مورد ممیزی قرار گرفته و سپس راه‌کارهای اقدام برای کاهش مصرف انرژی معرفی و پتانسیل آنها برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و همچنین منافع مالی ناشی از آن مورد ارزیابی قرار گرفته است. بر اساس نتایج پژوهش، عایق‌کاری سقف و دیوارهای خارجی از داخل، انرژی مصرفی سیستم‌های سرمایش و گرمایش را به ترتیب حدود ۱۰ و ۱۵ درصد کاهش می‌دهد. همچنین با نصب پنل‌های فتوولتائیک، سالانه می‌توان در مصرف برق شهری به مقدار ۲۸۱۹۸۲ کیلو وات ساعت صرفه‌جویی کرد. با نصب سامانه هوشمند، کارکرد مشعل‌ها و پمپ‌ها متناسب با تغییرات دمای هوای بیرون کنترل شده و بدین وسیله ضمن تامین شرایط آسایش حرارتی تا ۴۰ درصد در مصرف گاز صرفه جویی می‌گردد. با توجه به تلفات مرتبط با تبخیر آب و گازهای احتراق خشک از طریق تنظیم مشعل و جایگزینی منابع کویلدار با مبدل حرارتی صفحه‌ای، می‌توان دست کم تا ۳۰ درصد در مصرف سوخت صرفه‌جویی نمود. با توجه به هزینه بالای اقتصادی و محیط زیستی ناشی از مصرف انرژی در کشور، مدیریت مصرف انرژی باید به عنوان یک نیاز و رویکرد جدی در دستور کار سیاست‌گذاران، برنامه‌ریزان و مدیران بخش‌های مختلف اقتصادی قرار گیرد.

**کلید واژه‌ها:** صرفه جویی انرژی، ساختمان اداری، منافع مالی و اقتصادی، ممیزی انرژی

* نویسنده مسئول: Email: mo_nazari@sbu.ac.ir
DOI: 10.22034/eiap.2024.194612

## سرآغاز

امروزه به دلیل مسایلی نظیر تامین امنیت انرژی، افزایش جهانی قیمت حامل‌های انرژی و پیامدهای محیط زیستی نامطلوب کاربرد سوخت‌های فسیلی (انباشت گازهای گلخانه‌ای و گرمایش جهانی) مدیریت مصرف انرژی بیش از هر زمان دیگری قابل تامل و توجه است (Kamali Dehkordi et al., 2021)، به طوری که این موضوع به عنوان یک نیاز و رویکرد جدی در دستور کار کشورهای پیشرفته و در حال توسعه قرار گرفته است (Mahtabi & Arjmand, 2017). در این راستا، ایجاد و توسعه زیرساخت‌های هوشمند برای صنعت و اقتصاد کربن‌زدا، از ملزومات این مهم می‌باشد. طبق برآورد گزارش آژانس بین‌المللی انرژی (IEA) حدود ۴۰ کشور در جهان برای مصرف سوخت‌های فسیلی، به شهروندان خود یارانه پرداخت می‌کنند. مجموع یارانه انرژی پرداخت شده در جهان در سال ۲۰۲۰ میلادی، کمی بیش از ۱۸۱ میلیارد دلار بوده است که بخش عمده این یارانه‌ها مربوط به ۴ منبع انرژی شامل گاز، نفت، برق و زغال سنگ بوده و بیشترین سهم آن با ۹۰ میلیارد دلار مربوط به نفت و پس از آن به ترتیب مربوط به برق و گاز با ۵۲ و ۳۷ میلیارد دلار می‌باشد. ناکارایی یارانه‌های پرداختی و اثرات منفی این سیاست ها از یک سو و افزایش قیمت‌های جهانی سوخت و انرژی از سوی دیگر، سیاست‌های کلان کشورها را به سمت تصمیم‌گیری و انجام اقدامات مدیریتی بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش هزینه‌های مرتبط با آن بر اقتصاد ملی متمایل نموده است. ایران با ۳۵ میلیارد دلار یارانه انرژی پس از چین بیشترین میزان پرداخت برای یارانه‌های انرژی را دارا بوده می‌باشد. کشورهای عربستان، روسیه، هند، اندونزی، مصر، الجزایر، ونزوئلا و عراق نیز به ترتیب در جایگاه‌های سوم تا دهمِ این فهرست قرارگرفته‌اند. برآوردها نشان می‌دهد در سال ۱۳۹۷ مجموع یارانه پنهان بنزین، نفت گاز، برق و گاز طبیعی در ایران ۵۶/۹ میلیارد دلار بوده است پرداخت یارانه بالای انرژی در کشور در کنار سایر عوامل شدت مصرف انرژی در کشور را در بخش‌های مختلف اقتصادی به بیش از ۲-۵ برابر میانگین جهانی افزایش داده است. رشد مصرف انرژی در جهان سالانه بین ۱ تا ۲ درصد برآورد می‌شود در حالی که مقدار این رشد در ایران متاسفانه بین ۵-۸ درصد متغیر می‌باشد (Khodakarami & Ghobadi, 2016).

کاهش مصرف انرژی افزون بر صرفه‌جویی در هزینه‌های تحمیلی بر اقتصاد ملی مستقیما «باعث کاهش انتشار گازهای آلاینده که امروزه یکی از چالش‌های اصلی محیط‌زیست در ایران به ویژه در کلان شهر تهران است، می‌شود. بخش عمده برق مصرفی در کشور از سوخت‌های فسیلی حاصل می‌شود و توسط تجهیزاتی تولید می‌شود که عموما از راندمان تقریبا» پایینی (حدود ۳۵ درصد) برخوردارند. سوختن هر پوند زغال سنگ، گاز طبیعی یا نفت کوره مقدار قابل انتظاری از دی اکسیدکربن را تولید می‌کند. از این رو حفاظت از انرژی می‌تواند مستقیما موجب کاهش تولید آلاینده‌هایی مانند دی اکسید کربن، ذرات معلق، جیوه و ... شود. کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تأمین انرژی از سوخت‌های تجدیدپذیر و غیرفسیلی نیازمند سرمایه‌گذاری‌های کلان اقتصادی و به کارگیری فناوریهای نوین در حوزه‌های مختلف است. بهینه‌سازی مصرف انرژی، بهبود شدت انرژی، به کارگیری سوخت‌های پاک و تجدیدپذیر به جای سوخت‌های فسیلی آلوده و کاهش شدت کربن از جمله راه کارهای اساسی در حوزه کاهش انتشار یک کشور به شمار می‌روند (Tavakoli, 2019).

یکی از اصلی‌ترین بخش‌های مصرف‌کننده انرژی بخش ساختمان است به طوری که متوسط سهم جهانی آن از کل مصرف انرژی حدود ۳۷ درصد، در آمریکا ۳۵ درصد (Lechner, 2014)، در ژاپن ۳۱ درصد (Khodakarami & Ghobadi, 2016) و در ایران بیش از ۴۰ درصد برآورد می‌شود که متاسفانه شدت مصرف آن در ایران بسیار بالا (حدود ۳ برابر استانداردهای جهانی) است. لذا به نظر می‌رسد پتانسیل‌های زیادی برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی در این بخش از طریق به کارگیری ابزارها و راه‌کارهای کاهنده مصرف انرژی وجود دارد که توجه به آنها می‌تواند ضمن ایجاد منافع اقتصادی و مالی قابل توجه، از دیدگاه کاهش فشار بر بودجه دولت، کاهش آلودگی هوا و چالش‌های محیط زیستی ناشی از آن نیز از اهمیت بالایی برخوردار باشد. ابزارهای بهینه‌سازی انرژی به عنوان راهی در جهت رسیدن به پاسخ مطلوب در زمینه کاهش مصرف انرژی در ساختمان، در سال‌های اخیر در سطح جهانی کاربردهای وسیعی یافته (Bakhtiari & Fayaz, 2018) و مطالعات مختلفی در این زمینه انجام گرفته است (Karlsson & Roos, 2004; Hee et al., 2014; Alghoul & Hatab, 2016; Ezzeldin & Rees, 2013;

هدف نهایی در صرفه‌جویی در مصرف انرژی رسیدن به توسعه پایدار اقتصاد ملی، کاهش هزینه‌ها و بار مالی ناشی از آن بر اقتصاد ملی و همچنین حفاظت از محیطزیست در زمان فعلی و آینده است (Huang et al., 2012). در پژوهشی که توسط Huetras et al (2020) در اسپانیا با عنوان ارزیابی پتانسیل عملکرد دمای آسایشی تطبیق داده شده با استفاده از داده‌های تاریخی، برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها انجام شد، مشخص گردید که ساختمان‌ها مسئول ۵۶ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای در جو بوده و لذا با توجه به تغییرات آب و هوایی و تخریب محیطزیست ناشی از گرمایش جهانی زمین و نیز اسیدی شدن اقیانوس‌ها به دلیل انتشار مداوم گاز گلخانه‌ای، اقدامات اساسی علیه گازهای گلخانه‌ای ضروری است. Yilmaz (2018) در پژوهشی در ترکیه نشان داد که گرمایش آب با استفاده از انرژی خورشیدی در اماکن مسکونی یک بهینه‌سازی اقتصادی برای صرفه‌جویی در انرژی، بر اساس سود، هزینه و پیامدهای محیط زیستی است، به طوری که می‌توان با اجرای بهینه‌سازی، ضمن کاهش هزینه اولیه سیستم، مقدار ۱۲ درصد در مصرف سالانه انرژی صرفه‌جویی کرد. بر اساس برآوردهای انجام شده، پیش‌بینی گردیده که در صورت استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی لوله‌ای (لوله خلا) در شهرهای ترکیه، سالانه حدود ۳۰۰ مگاوات ساعت در مصرف انرژی صرفه جویی خواهد شد. Gheshlaghi Narimani (2010) در پژوهشی به بررسی انتقال حرارت توسط تشعشع، جابه‌جایی و هدایت برای پنجره‌های معمولی با شیشه‌های تک لایه و پنجرهای دوجداره پرداخته‌اند. آنها دریافته‌اند که میزان صرفه‌جویی با استفاده از پنجره دوجداره می‌تواند سهم بزرگی در حفظ منابع کنونی داشته باشد.

Zhang et al (2009) در مقاله‌ای تحت عنوان «استراتژی سبز برای به دست آوردن مزیت رقابتی درزمینه توسعه مسکن» به بررسی منافع و موانع استفاده از استراتژی‌های سبز در روند توسعه مسکن و مدیریت امکانات آن پرداخته‌اند. در این مطالعه عناصر سبز عمومی شناسایی شده و عناصر سبزی که در عمل اتخاذ شده ان، مانند سیستم خورشیدی،تکنولوژی بام سبز و پنجره عایق کاری- انرژی کم را برجسته می‌کند و همچنین موانع قابل توجهی که در استفاده از عناصر سبز وجود دارد نشان می‌دهد.

Ji et al (2020) به بررسی و ارزیابی تاثیر گواهی بهره‌وری انرژی ساختمان در کاهش مصرف انرژی در آپارتمان‌های کره جنوبی پرداختند. نتایج آنها نشان داد که گواهی بهره‌وری انرژی ساختمان، ابزار مهمی برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی در ساختمان‌ها و نیز کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در کره جنوبی می‌باشد. به طوری که شدت استفاده از گاز ۳/۵ تا ۲۶/۴ درصد در آپارتمان‌های دارای گواهینامه، کمتر از آپارتمان‌های بدون گواهینامه بوده است.

در مطالعه‌ای که توسط Najafpour (1399) تحت عنوان مدیریت هوشمند انرژی در ساختمان‌های اداری با استفاده از سیستم کنترل تردد انجام شد، سیستمی هوشمند جهت مدیریت همزمان مصرف انرژی و کنترل تردد در ساختمان‌های اداری ارایه شد که با ایجاد بستری امن برای رصد و کنترل تردد، امکان ارایه سرویس‌های جانبی دیگری نظیر سیستم ثبت قرار ملاقات و سیستم اعلام هشدار را فراهم ساخت. این سیستم از واحدهای مختلفی تشکیل شده است که هریک در بخشی از ساختمان، مثل ورودی اتاق‌کارمندان و اتاق مدیریت نصب می‌گردند و در هر لحظه با واحد پردازشگر مرکزی در ارتباط هستند. بررسی ها نشان داد که نصب این سیستم در مجموعه مورد بررسی در بازه یک هفته‌ای با ۲۹ درصد صرفه‌جویی در انرژی مصرفی و در بازه ۸ ساعته با ۱۸ درصد صرفه جویی با در نظر گرفتن افزایش سطح امنیت، اطمینان و رفاه کلی مجموعه همراه بود. Khodakarami & Ghobadi, (2016) پژوهشی را با عنوان بهینه سازی مصرف انرژی در یک ساختمان اداری مجهز به سیستم مدیریت هوشمند انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد، ساختمان‌های اداری در مقایسه با انواع دیگر کاربری‌ها، بزرگ‌ترین مصرف کننده انرژی در بخش ساختمان هستند، از این رو با ارایه راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی، ارتقای کارایی و اصلاح الگوی بهره‌برداری می‌توان با کاهش میزان انرژی مصرفی، آسایش مورد نظر را فراهم کرد. پژوهش مذکور با کمک نرم افزارهای شبیه‌سازی Design Builder و دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) و دستگاه‌های ثبت اطلاعات، پارامترهای کیفیت محیط داخل (دما، رطوبت و فشار هوا) و میزان انرژی مورد نیاز در یک ساختمان هوشمند، محاسبه و بررسی شده است. هدف اولیه مطالعه ارایه راهکارهای ساده و عملی کاهش مصرف انرژی و ایجاد شرایط آسایش کارکنان در یک ساختمان اداری بلندمرتبه پانزده طبقه در شهر تهران بود.

سپس راه‌کارهای عملی و ساده کاهش مصرف انرژی در چنین ساختمانی بررسی شد. یافته‌های حاصل از شبیه‌سازی نشان دادند که با برنامه‌ریزی مناسب در زمینه مصرف و مدیریت انرژی در ساختمان‌های اداری هوشمند، امکان کاهش بیش از ۳۵ تا ۴۰ درصد مصرف انرژی سالانه وجود داشته و بیشترین میزان صرفه جویی در بخش‌های سرمایش و روشنایی است.

منظور از بهینه‌سازی مصرف انرژی، انتخاب الگوها و اتخاذ و به‌کارگیری روش‌ها و سیاست‌هایی در مصرف انرژی است که از نقطه نظر اقتصاد ملی، مطلوب باشد و استمرار وجود و دوام انرژی و ادامه حیات و حرکت را تضمین کند. در همین راستا شهرداری تهران به عنوان اصلی‌ترین ارگان مدیریت شهری و با توجه به این که ساختمان‌های زیادی در اختیار دارد که هزینه‌های هنگفتی را بابت مصرف انرژی، به این مجموعه تحمیل کرده است، می‌تواند با اجرای طرح‌های جامع در زمینه بهینه سازی مصرف انرژی (تدوین دستورالعمل اجرایی بهینه سازی مصرف منابع (آب، برق، گاز) در کنار اجرای راه‌کارهای موثر باعث کاهش هزینه‌های مالی و اقتصادی و ارتقای کیفیت محیط‌زیست شهری گردد. البته هم اکنون طرح بهینه‌سازی مصرف انرژی در تعدادی از ساختمان‌های شهرداری در حال انجام است که اجرای این برنامه در سال‌های اخیر در ساختمان‌های شهرداری منجر به نتایج قابل توجهی شده است. از زمان اجرای پروژه تاکنون، اقدامات مختلف اجرایی، مدیریتی، مطالعاتی و همچنین آموزش‌های لازم به پرسنل در مجموعه ساختمانهای تحت پوشش پروژه در حال انجام می‌باشد. هدف اصلی این پژوهش برآورد پتانسیل کاهش مصرف انرژی و ارزیابی منافع مالی و اقتصادی آن در ساختمان‌های اداری شهرداری منطقه ۴ تهران است و اهداف جزیی آن نیز شامل :

- بررسی وضعیت موجود مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری مورد مطالعه
- ممیزی انرژی و تعیین مقادیر بهینه مصرف انرژی با توجه به پارامترهای مورد نظر
- ارزیابی پتانسیل صرفه جویی مصرف انرژی در ساختمان منتخب مورد بررسی
- ارایه راه‌کارهای موثر در صرفه جویی انرژی در ساختمان در راستای تغییر الگوی مصرف سوخت و انرژی در ساختمان‌های اداری برآورد منافع اقتصادی و مالی صرفه‌جویی مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری شهرداری منطقه ۴ شهرداری تهران می‌باشد.

## روش انجام پژوهش

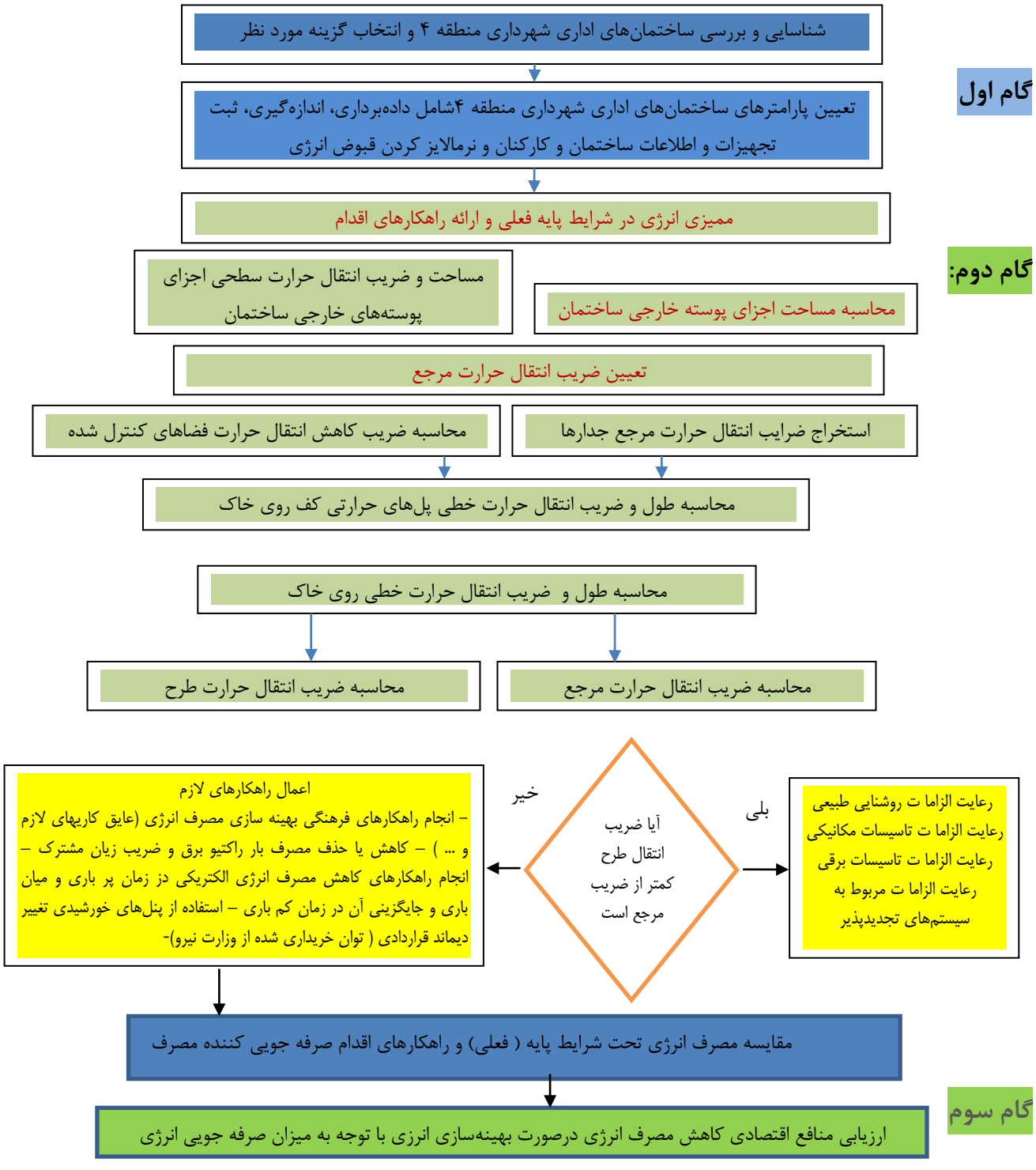
هدف این بخش از مطالعه، بیان روش‌شناسی مراحل مختلف پژوهش برای پاسخ‌گویی به اهداف ذکر شده است که به طور کلی مشتمل بر سه دو بخش مطالعات فنی ممیزی انرژی و مطالعات اقتصادی است. در بخش مطالعات ممیزی انرژی، ضمن تعیین پارامترهای ساختمان مورد مطالعه، داده‌برداری، اندازه‌گیری، تعیین ضرایب انتقال حرارت سطحی و اجزای پوسته داخلی، مقدار انرژی مصرفی و تلفات آن در شرایط پایه مورد برآورد قرار گرفته، سپس راه‌کارهای اقدام شناسایی شده برای کاهش مصرف انرژی معرفی و پتانسیل آنها برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی مورد ارزیابی قرار گرفته است. از مقایسه بین مقادیر مصرف انرژی تحت شرایط پایه (وضعیت فعلی ساختمان) و در شرایط اعمال راه‌کارهای کاهنده مصرف، مقدار کل صرفه جویی سالانه انرژی محاسبه می‌شود. در بخش مطالعات اقتصادی، با استفاده از خروجی‌های به دست آمده در مطالعات فنی ممیزی انرژی، و استفاده از روش‌های ارزشگذاری اقتصادی، کل منافع اقتصادی سالانه حاصل از اعمال راه‌کارهای عملیاتی کاهش مصرف انرژی برآورد شده است. مصرف انرژی در یک ساختمان تابع مجموعه‌ای از مؤلفه‌ها و ویژگی‌های آن است. بر این اساس الگوی این پژوهش با تأکید بر این عوامل به گونه‌ای تدوین شده است که به طور سیستمی همهٔ اجزا و مولفه‌های موثر بر مصرف انرژی مورد ممیزی قرار گیرد. در شکل (۱) مراحل و گام‌های عملیاتی روش‌شناسی پژوهش به تصویر کشیده شده است.

## انواع ممیزی انرژی

### ممیزی انرژی عبوری

در ممیزی عبوری به طور اجمالی روش‌های مناسب ممیزی انرژی در ساختمان‌های اداری بررسی می‌شود. این ممیزی شامل بررسی اجمالی تجهیزات جهت شناسایی گلوگاه‌های مصرف انرژی و ارایه راه‌کارهای ساده وکم هزینه است که صرفه‌جویی قابل توجهی را در هزینه عملیاتی ساختمان باعث می‌شوند. به عنوان نمونه این راهکارها می‌توانند شامل تنظیم نقطه دمای گرمایش، جایگزینی مبدل ها با مبدل‌های کویلدار صفحه‌ای،

عایق‌بندی لوله‌های بیرونی آب یا بخار گرم و تنظیم نسبت سوخت به هوا در بویلر، درزبندی، بررسی درجه حرارت محیط داخلی ساختمان باشد. مهمترین موارد قابل بررسی شامل تعیین میزان مصرف انرژی ساختمان بر واحد سطح، معرفی نواقص موجود و تنظیم نسبت سوخت به هوا در بویلر و ارایه نقطه نظرات جهت انجام اقدامات رفتاری صحیح کارکنان و اعمال مدیریت انرژی بصورت پوستر و روش‌های مشابه می‌باشد.




**شکل (۱): مراحل و گام‌های عملیاتی روش‌شناسی پژوهش**

## ممیزی انرژی مقدماتی

در ممیزی انرژی مقدماتی، منابع انرژی یک محل، مقدار انرژی عرضه شده و این که انرژی به چه میزان استفاده شده است را تعیین می‌کنند. همچنین نواحی که در آن صرفه‌جویی می‌تواند محقق گردد را شناسایی کرده، اندازه‌گیری‌هایی که باید انجام شود را توصیه می‌کنند، و یک ارزیابی مقدماتی از هزینه‌ها و صرفه‌جویی‌ها فراهم نماید. درستی ارقام معمولاً در حدود ۲۰درصد ± است.

## ممیزی انرژی جامع (تفصیلی)

ممیزی انرژی تفصیلی گسترده‌ترین و زمان‌برترین روش ممیزی انرژی در ساختمان می‌باشد که در آن از تجهیزات مختلف اندازه‌گیری مصارف انرژی در ساختمان برای شناسایی دقیق الگوی مصرف استفاده می‌شود. همچنین کارشناسان انرژی در این روش ممیزی انرژی از نرم افزارهای شبیه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان نیز بهره می‌گیرند. به طور کلی فرآیند اجرای ممیزی انرژی تفصیلی در ساختمان را می‌توان در چهار مرحله خلاصه نمود

۱. تحلیل داده‌های مربوط به معماری و تاسیسات ساختمان
۲. بازرسی ساختمان و جمع آوری اطلاعات مرتبط با مصرف انرژی
۳. تعیین خط استاندارد و محاسبه شاخص مصرف انرژی در ساختمان
۴. ارزیابی فنی و اقتصادی راهکارهای کاهش مصرف انرژی

در این روش باید فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی در سه دسته کم‌هزینه، سرمایه‌گذاری متوسط و پرهزینه طبقه‌بندی شوند و میزان مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی ساختمان بر حسب واحد (به ازای مترمربع زیربنای ساختمان) مشخص گردد و با مقدار استاندارد مطابق با مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان و همچنین استانداردها ملی ۱۴۲۵۴ (برچسب ساختمان) مشخص می‌گردد، ممیزی انرژی، در ساختمان به کاربری آن بستگی دارد. در ممیزی انرژی ساختمان، دو رویکرد بطور همزمان لحاظ می‌گردد، در رویکرد اول، انرژی‌بری کل ساختمان مورد بررسی قرار می‌گیرد و در رویکرد دوم، بخش‌های اصلی ساختمان مورد مطالعه و اندازه‌گیری قرار می‌گیرند.

## گام اول: شبیه‌سازی مقدار مصرف انرژی در شرایط پایه

این روش کارکردی را می‌توان برای تمامی ساختمان‌ها به کار برد، اما طراحی با آن نیازمند محاسبات انتقال حرارت پوسته خارجی ساختمان است. برای محاسبه عایقکاری ساختمان‌ها به روش کارکردی، ابتدا باید گروه ساختمان، از لحاظ میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی تعیین گردد. گروه ساختمان با توجه به عوامل ویژه اصلی (بند ۱۹-۲-۲، مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان) و بر اساس جدول مندرج در پیوست ۵ این مبحث تعیین می‌گردد. پس از آن باید میزان عایق‌کاری حرارتی ساختمان‌ها، با محاسبه ضریب انتقال حرارت طرح و مقایسه آن با ضریب انتقال حرارت مرجع از طریق مدل شبیه سازی تعیین شود.

## ضرایب انتقال حرارت مرجع

ضرایب انتقال حرارت مرجع عناصر پوسته خارجی بر اساس گروه ساختمان، نحوه استفاده از آن و مستقل یا غیر مستقل بودن ساختمان، در جداول (۱ و ۲) درج شده است:

برای تعیین ضریب انتقال حرارت مرجع ساختمان، لازم است ضرایب انتقال حرارت مرجع اجزای پوسته خارجی ساختمان با در نظر گرفتن گروه ساختمان (بند ۱۹-۲-۲)، نحوه استفاده از ساختمان (بند ۱۹-۲-۳-۲) و مستقل یا غیر مستقل بودن آن، از جداول بخش (۲-۱-۳-۱۹، مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان) استخراج گردد. در ضمن لازم است مقادیر اجزای پوسته خارجی ساختمان شامل مساحت خالص کل دیوارها، بام، کف مجاور هوا، در، پنجره و سطوح مجاور فضای کنترل نشده و محیط کف در تماس با خاک با توجه به ابعاد داخلی محاسبه گردد. پس از طی این مراحل، ضریب انتقال حرارت مرجع ساختمان از طریق رابطه زیر محاسبه می گردد.

$$\hat{H} = (A_W \times \hat{U}_W) + (A_R \times \hat{U}_R) + (A_F \times \hat{U}_F) + (P \times \hat{U}_P) + (A_G \times \hat{U}_G) + (A_D \times \hat{U}_D) + (A_{WB} \times \hat{U}_{WB})$$

در این رابطه، پارامترهای مورد استفاده به صورت جدول (۴) تعریف می‌شود.

**جدول (۱): ضرایب انتقال حرارت مرجع برای ساختمان‌های گروه یک (ملزم به صرفه‌جویی زیاد در مصرف انرژی)**

| عناصر ساختمانی | | ساختمان مستقل | ساختمان غیر مستقل با استفاده مداوم | ساختمان غیر مستقل با استفاده منقطع |
|---|---|---|---|---|
| دیوار | $\hat{U}_W$ | ۰/۵۸ | ۰/۶۷ | ۰/۹۲ |
| بام تخت یا شیب دار | $\hat{U}_R$ | ۰/۲۵ | ۰/۴۲ | ۰/۴۶ |
| کف در تماس با هوا | $\hat{U}_F$ | ۰/۳۸ | ۰/۴۲ | ۰/۴۶ |
| کف در تماس با خاک | $\hat{U}_P$ | ۱/۲۱ | ۱/۲۱ | ۱/۳۳ |
| جدار نورگذر | $\hat{U}_G$ | ۲/۲۵ | ۲/۲۵ | ۲/۸۳ |
| در | $\hat{U}_D$ | ۲/۹۲ | ۲/۹۲ | ۲/۹۲ |
| جدارهای مجاور فضای تهویه نشده | $\hat{U}_{WB}$ | ۰/۴۶ | ۰/۴۶ | ۰/۵۸ |

ماخذ: مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان

**جدول (۲): ضرایب انتقال حرارت مرجع عناصر ساختمانی برای ساختمان‌های گروه دو (ملزم به صرفه جویی متوسط در مصرف انرژی)**

| عناصر ساختمانی | | ساختمان مستقل | ساختمان غیر مستقل با استفاده مداوم | ساختمان غیر مستقل با استفاده منقطع |
|---|---|---|---|---|
| دیوار | $\hat{U}_W$ | ۰/۷۴ | ۰/۸۴ | ۱/۱۶ |
| بام تخت یا شیب دار | $\hat{U}_R$ | ۰/۳۲ | ۰/۵۳ | ۰/۵۸ |
| کف در تماس با هوا | $\hat{U}_F$ | ۰/۴۷ | ۰/۵۳ | ۰/۵۸ |
| کف در تماس با خاک | $\hat{U}_P$ | ۱/۵۲ | ۱/۵۳ | ۱/۶۸ |
| جدار نورگذر | $\hat{U}_G$ | ۲/۸۴ | ۲/۸۳ | ۳/۵۷ |
| در | $\hat{U}_D$ | ۳/۶۸ | ۳/۶۸ | ۳/۶۸ |
| جدارهای مجاور فضای تهویه نشده | $\hat{U}_{WB}$ | ۰/۵۸ | ۰/۵۸ | ۰/۷۴ |

ماخذ: مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان

**جدول (۳): ضرایب انتقال حرارت مرجع ساختمانی برای ساختمان‌های گروه سه (ساختمان‌های ملزم به صرفه جویی کم در مصرف انرژی)**

| عناصر ساختمانی | | ساختمان مستقل | ساختمان غیر مستقل با استفاده مداوم | ساختمان غیر مستقل با استفاده منقطع |
|---|---|---|---|---|
| دیوار | $\hat{U}_W$ | ۰/۸۵ | ۰/۹۸ | ۱/۳۴ |
| بام تخت یا شیب دار | $\hat{U}_R$ | ۰/۳۷ | ۰/۶۱ | ۰/۶۷ |
| کف در تماس با هوا | $\hat{U}_F$ | ۰/۵۵ | ۰/۶۱ | ۰/۶۷ |
| کف در تماس با خاک | $\hat{U}_P$ | ۱/۷۶ | ۱/۷۶ | ۱/۹۵ |
| جدار نورگذر | $\hat{U}_G$ | ۳/۲۹ | ۳/۲۸ | ۴/۱۴ |
| در | $\hat{U}_D$ | ۴/۲۶ | ۴/۲۶ | ۴/۲۶ |
| جدارهای مجاور فضای تهویه نشده | $\hat{U}_{WB}$ | ۰/۶۷ | ۰/۶۷ | ۰/۸۵ |

ماخذ: مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان

**جدول (۴): پارامترهای رابطه ضریب انتقال حرارت مرجع ساختمان**

| علامت اختصاری | شرح متغیر | واحد |
|---|---|---|
| $A_W$ | مساحت کل دیوارهای مجاور فضای خارج | $[m^2]$ |
| $\bar{U}_W$ | ضریب انتقال حرارت سطحی مرجع دیوارها | $[W/m^2 k]$ |
| $A_R$ | مساحت کل بام های تخت یا شیب دار مجاور فضای خارج | $[m^2]$ |
| $\bar{U}_R$ | ضریب انتقال حرارت سطحی مرجع بام تخت یا شیب دار | $[W/m^2 k]$ |
| $A_F$ | مساحت کل کف زیرین در تماس با هوای خارج | $[m^2]$ |
| $\bar{U}_F$ | ضریب انتقال حرارت سطحی مرجع کف زیرین در تماس با هوا | $[W/m^2 k]$ |
| $P$ | محیط کل کف زیرین در تماس با خاک، مجاور فضای خارج | $[m^2]$ |
| $\bar{U}_P$ | ضریب انتقال حرارت خطی مرجع کف زیرین در تماس با خاک | $[W/m^2 k]$ |
| $A_G$ | مساحت کل جداره های نورگذر مجاور خارج (سطوح شیشه و قاب) | $[m^2]$ |
| $\bar{U}_G$ | ضریب انتقال حرارت سطحی مرجع جدارهای نورگذر با قاب های آنها | $[W/m^2 k]$ |
| $A_D$ | مساحت کل درهای مجاور فضای خارج | $[m^2]$ |
| $\bar{U}_D$ | ضریب انتقال حرارت سطحی مرجع درها | $[W/m^2 k]$ |
| $A_{WB}$ | مساحت کل سطوح در تماس با فضای کنترل نشده | $[m^2]$ |
| $\bar{U}_{WB}$ | ضریب انتقال حرارت سطحی مرجع جدارهای در تماس با فضای کنترل نشده | $[W/m^2 k]$ |

**Source: Research Findings**

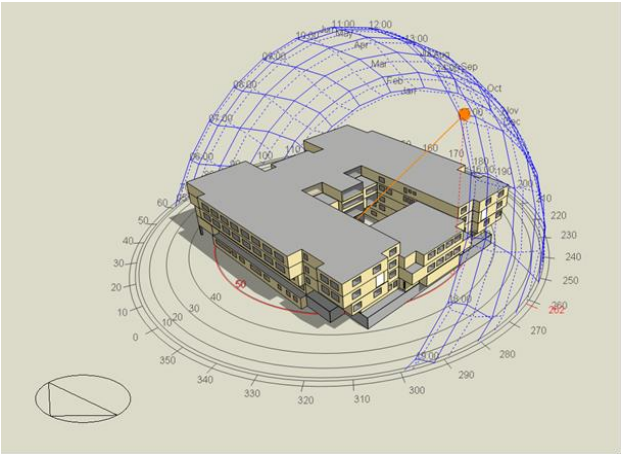
## ضریب انتقال حرارت ساختمان

برای تعیین ضریب انتقال حرارت ساختمان باید مجموع حاصل ضرب‌های مساحت اجزای مختلف پوسته در ضریب انتقال حرارت و ضریب کاهش انتقال حرارت متناظر هر کدام از آنها و همچنین مجموع حاصل ضرب‌های محیط پل‌های حرارتی در ضریب انتقال حرارت خطی و ضریب کاهش انتقال حرارت متناظر با آنها تعیین گردد. برای این منظور از رابطه زیر استفاده می‌شود که شرح متغیرهای آن در جدول (۵) گزارش شده است

$$H = \sum_{i=1}^{n}(A_{Wi} \times U_{Wi} \times \tau_i) + \sum_{i=1}^{n}(A_{Ri} \times U_{Ri} \times \tau_i) + \sum_{i=1}^{n}(A_{Fi} \times U_{Fi} \times \tau_i) + \sum_{i=1}^{n}(A_{Gi} \times U_{Gi} \times \tau_i) + \sum_{i=1}^{n}(A_{Di} \times U_{Di} \times \tau_i) + \sum_{i=1}^{n}(P_i \times \psi_i \times \tau_i)$$

## مرحلهٔ دوم: شبیه سازی مصرف انرژی تحت شرایط اعمال راه‌کارهای اقدام و محاسبه کل پتانسیل صرفه جویی مصرف انرژی – مدل‌سازی ساختمان

ساختمان مورد نظر با استفاده از نرم افزار دیزاین بیلدر به طور کامل مدل‌سازی شده است. در شکل (۲) نمایی از مدل Design Builder ساختمان‌ها نمایش داده شده است.



**شکل (۲): مدل‌سازی ساختمان با استفاده از نرم افزار** Design Builder

**جدول (۵): پارامترهای رابطه ضریب انتقال حرارت خطی و ضریب کاهش انتقال حرارت متناظر**

| علامت اختصاری | شرح متغیر | واحد |
|---|---|---|
| $A_{Wi}$ | مساحت خالص هر یک از دیوارهای مجاور خارج یا فضای کنترل نشده | $[m^2]$ |
| $U_{Wi}$ | ضریب انتقال حرارت سطحی متناظر با هر کدام از انواع دیوارها | $[W/m^2 k]$ |
| $A_{Ri}$ | مساحت خالص هر کدام از انواع بام تخت یا شیب دار مجاور خارج یا فضای کنترل نشده | $[m^2]$ |
| $U_{Ri}$ | ضریب انتقال سطحی حرارت متناظر با انواع بام تخت یا شیب دار | $[W/m^2 k]$ |
| $A_{Fi}$ | مساحت خالص هر کدام از انواع کف زیرین در تماس با هوای خارج یا کنترل نشده | $[m^2]$ |
| $U_{Fi}$ | ضریب انتقال حرارت سطحی متناظر با انواع کف زیرین در تماس با هوا | $[W/m^2 k]$ |
| $A_{Gi}$ | مساحت خالص انواع جدارهای نورگذر و قاب آنها، مجاور خارج با کنترل نشده | $[m^2]$ |
| $U_{Gi}$ | ضریب انتقال حرارت سطحی متناظر با انواع جدارهاغفی نور گذر | $[W/m^2 k]$ |
| $A_{Di}$ | مساحت خالص هر کدام از انواع درهای خارجی یا مجاور فضای کنرل نشده | $[m^2]$ |
| $U_{Di}$ | ضریب انتقال حرارت سطحی متناظر با انواع درهای خارجی | $[W/m^2 k]$ |
| $P_i$ | محیط انواع کف در تماس با خاک و پل های حرارتی | $[m]$ |
| $\psi_i$ | ضریب انتقال حرارت خطی متناظر با انواع کف در تماس با خاک و پل های حرارتی | $[W/mk]$ |
| $\tau_i$ | ضریب کاهش انتقال حرارت هر جدار | |

**Source: Research Findings**

## اعتبارسنجی (کالیبراسیون) مدل نرم‌افزاری ساختمان‌ها

برای اطمینان از صحیح بودن اطلاعات خروجی نرم افزار در بررسی وضعیت موجود، و در شرایط اعمال راه‌کارهای پیشنهادی نیاز است که مدل نرم‌افزاری ساختمان‌ها کالیبره باشد. به منظور کالیبره کردن مدل نرم افزاری ساختمان‌ها ابتدا اطلاعات ساختمان (ابعاد فضاها، تجهیزات انرژی بر، تعداد کارمندان، برنامه زمانی کارکرد تجهیزات وکارمندان، جنس جداره‌ها و پنجره‌ها و...) برداشت شده است. در مرحله بعد اطلاعات برداشت شده با دقت در مدل نرم افزاری وارد گردیده و در نهایت برای سنجش صحت مدل، نتایج خروجی آن با سوابق مصرف انرژی ساختمان‌ها (قبوض برق و گاز) مقایسه شده است. همخوانی نسبی نتایج خروجی نرم افزار با سوابق مصرف انرژی ساختمان (از لحاظ میزان و روند تغییرات) نشان‌دهنده صحت مدل نرم افزاری می‌باشد.

## مرحلهٔ سوم: برآورد کل منافع (ریالی) مالی و اقتصادی ناشی از صرفه جویی انرژی

در مرحله سوم، با توجه به نتایج مطالعات ممیزی انرژی انجام شده طبق روش‌شناسی ارایه شده در فوق، مقدار مصرف انرژی ساختمان‌های مورد مطالعه در شرایط پایه و تحت اجرای راه‌کارهای پیشنهادی با هم مقایسه شده و مقدار اختلاف محاسبه شده در انرژی مصرفی تحت این دو حالت، به عنوان پتانسیل کاهش مصرف انرژی (صرفه جویی انرژی) تلقی شده است. بدین ترتیب مقدار پتانسیل صرفه جویی سالانه انرژی برای هر یک از حامل‌های انرژی (برق، گاز و آب) مورد محاسبه قرار می‌گیرد. برای تعیین ارزش این حجم از صرفه جویی انرژی، مقدار پتانسیل صرفه جویی شده انرژی برای هر یک از حامل‌های انرژی در قیمت اقتصادی آنها (قیمت اقتصادی هر کیلووات ساعت برق، هر مترمکعب گاز خانگی، و هر مترمکعب آب) ضرب شده است. قیمت اقتصادی هر کیلووات ساعت برق و هر مترمکعب گاز خانگی معادل با قیمت‌های صادراتی آنها و برای هر متر مکعب آب معادل با قیمت تمام شده هر مترمکعب آب از دیدگاه اقتصاد ملی در نظر گرفته شده است.

## تعیین گونه‌بندی ساختمان بر اساس مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان

حداقل میزان صرفه‌جویی الزامی در مصرف انرژی که برای پوسته‌ی خارجی ساختمان مشخص شده است، به چهار عامل ویژه اصلی وابسته است. بر اساس این عوامل، ساختمان‌ها از نظر میزان صرفه‌جویی الزامی در مصرف انرژی به پنج طبقه به شرح جدول (۶) گروه‌بندی می‌شوند. عوامل تعیین‌کننده‌ی گروه ساختمان به قرار زیر است:

گونه‌بندی کاربری ساختمان (۱۹-۲-۲-۱)
گونه‌بندی نیاز سالانه انرژی گرمایی-سرمایی محل استقرار ساختمان (۱۹-۲-۲-۲)
گونه‌بندی سطح زیربنای مفید ساختمان (۱۹-۲-۲-۳)
گونه‌بندی شهر محل استقرار ساختمان (۱۹-۲-۲-۴)

گونه‌بندی کاربری ساختمان با توجه به بحث ۱۹-۲-۲-۱ و پیوست ۴ از مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان ،کاربری ساختمان مرکزی، منطقه ۴ شهرداری تهران از نوع ساختمان اداری یا تجاری بزرگ بوده در گروه «ب» قرار می‌گیرد(جدول ۶).

**جدول (۶): گروه‌بندی کاربری ساختمان‌ها طبق مبحث ۱۹-۲-۲-۱**

| | |
|---|---|
| **نوع کاربری الف** | مسکونی، بیمارستان، هتل، مهمانسرا، آسایشگاه، آزمایشگاه، مرکز تحقیقاتی، خوابگاه، زایشگاه، سردخانه |
| **نوع کاربری ب** | ایستگاه رادیو و تلویزیون، مرکز اصلی یا فرعی مخابرات، مرکز اصلی یا شعبه بانک، ایستگاه اصلی و مرکز کنترل مترو، بخش اداری ساختمان صنعتی، ساختمان آموزشی، خانه بهداشت، ساختمان پست و پلیس و آتشنشانی، مجتمع فنی-حرفه‌ای، سالن غذاخوری، دانشسرا و مرکز تربیت معلم، ساختمان آموزشی دانشگاهی، ساختمان اداری یا تجاری بزرگ، |
| **نوع کاربری ج** | اردوگاه جهانگردی، بنای یادبود، ترمینال فرودگاه بین‌المللی یا داخلی، استادیوم ورزشی سرپوشیده، فروشگاه، تعمیرگاه بزرگ، کارخانه صنعتی ( غیر از موارد ذکر شده در کاربری د )، نمایشگاه، باشگاه، تئاتر، سینما، سالن اجتماع و کنفرانس |
| **نوع کاربری د** | انبار، تعمیرگاه کوچک، کارگاه کوچک، کارخانه صنعتی اتوماسیون‌سازی، نورد و ذوب فلزات، سیلو و مشابه آنها، پارکینگ در طبقات، آشیانه حفاظتی هواپیما، ساختمان ایستگاه وسیله نقلیه زمینی، ساختمان میدان‌های میوه و تره بار، ایستگاه فرعی مترو و ترمینال راه آهن، پناهگاه، ساختمان کشتارگاه |

ماخذ: مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان

با توجه به بحث ۱۹-۲-۲-۳ و ۱۹-۲-۲-۲ از مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، گونه‌بندی سطح زیربنای مفید ساختمان مناطق مختلف کشور از نظر سطح نیاز انرژی گرمایشی-سرمایشی سالانه، به سه گونه به شرح ذیل تقسیم‌بندی می‌شوند:
مناطق دارای نیاز سالانه انرژی کم
مناطق دارای نیاز سالانه انرژی متوسط
مناطق دارای نیاز سالانه انرژی زیاد
با توجه به پیوست ۳ از مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان که در جدول (۷) نشان داده شده است، شهر تهران جزء گونه‌بندی جغرافیایی با نیاز انرژی متوسط گرمایشی محسوب می‌شود.
با توجه به بحث ۱۹-۲-۲-۳ از مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، سطح زیربنای مفید ساختمان‌ها به دو دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند:
ساختمان‌های دارای زیربنای مفید کمتر یا مساوی ۱۰۰۰ مترمربع
ساختمان‌های دارای زیربنای مفید بیش از ۱۰۰۰ مترمربع
ساختمان مرکزی، منطقه ۴ شهرداری تهران دارای زیربنای مفید بیش‌تر از ۱۰۰۰ متر مربع می‌باشند.
با توجه به بحث ۱۹-۲-۲-۴ از مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمـان، شهرها به دو دسته شهرهای بزرگ و شهرهای کوچک تقسیم می‌شوند:

- شهرهای بزرگ: مراکز استان‌ها و شهرهای دارای بیش از یک میلیون نفر جمعیت.
- شهرهای کوچک: شهرهایی با جمعیت کمتر از یک میلیون نفر که مرکز استان نیستند.

با توجه به این که شهر تهران مرکز استان تهران و کشور ایران می‌باشد، جزء شهرهای بزرگ محسوب می‌شود.
با توجه به بحث ۱۹-۲-۲-۵ از مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، ساختمان‌ها از نظر الزام صرفه‌جویی در مصرف انرژی به گروه‌های چهارگانه‌ی زیر تقسیم می‌شوند:
گروه ۱: ساختمان‌های ملزم به صرفه‌جویی زیاد در مصرف انرژی
گروه ۲: ساختمان‌های ملزم به صرفه‌جویی متوسط در مصرف انرژی
گروه ۳: ساختمان‌های ملزم به صرفه‌جویی کم در مصرف انرژی
گروه ۴: ساختمان بدون نیاز به صرفه جویی در مصرف انرژی
با توجه به مباحث ۱۹-۲-۲-۱ الی ۱۹-۲-۲-۵ و پیوست ۵ از مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان که در جدول (۸) نشان داده شده است، ساختمان مرکزی منطقه ۴ شهرداری تهران در گروه ۲ یعنی ساختمان‌های ملزم به صرفه‌جویی متوسط در مصرف انرژی قرار می‌گیرد.

**جدول (۷): گونه‌بندی جغرافیایی نیاز انرژی گرمایی- سرمایی سالانه محل استقرار ساختمان طبق مبحث (۱۹-۲-۲-۲)**

| شماره | نام شهر | نیاز انرژی | نیاز غالب حرارتی | |
|---|---|---|---|---|
| | | | کرمایش | سرمایش |
| ۷۲ | تاکستان | متوسط | * | |
| ۷۳ | تبریز | زیاد | * | |
| ۷۴ | تربت حیدریه | متوسط | * | |
| ۷۵ | تفرش | متوسط | * | |
| ۷۶ | تکاب | زیاد | * | |
| ۷۷ | تهران | متوسط | * | |
| ۷۸ | جاسک | زیاد | | * |
| ۷۹ | جزیره ابوموسی | زیاد | | * |

ماخذ: مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان

**جدول (۸): گروه بندی ساختمان از نظر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی مبحث ۱۹-۲-۲-۴**

| گروه بندی کاربری ساختمان | نیاز انرژی گرمایی- سرمایی محل جغرافیایی ساختمان | شهرهای بزرگ | | شهرهای کوچک | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | زیربنای کمتر از ۱۰۰۰ متر مربع | زیربنای بیش از ۱۰۰۰ متر مربع | زیربنای کمتر از ۱۰۰۰ متر مربع | زیربنای بیش از ۱۰۰۰ متر مربع |
| | زیاد | گروه ۱ | گروه ۱ | گروه ۲ | گروه ۲ |
| نوع الف | متوسط | گروه ۲ | گروه ۲ | گروه ۳ | گروه ۳ |
| | کم | گروه ۳ | گروه ۳ | گروه ۴ | گروه ۴ |
| | زیاد | گروه ۲ | گروه ۱ | گروه ۲ | گروه ۲ |
| نوع ب | متوسط | گروه ۳ | گروه ۲ | گروه ۳ | گروه ۳ |
| | کم | گروه ۴ | گروه ۳ | گروه ۴ | گروه ۴ |
| | زیاد | گروه ۲ | گروه ۲ | گروه ۲ | گروه ۲ |
| نوع ج | متوسط | گروه ۳ | گروه ۳ | گروه ۳ | گروه ۳ |
| | کم | گروه ۴ | گروه ۴ | گروه ۴ | گروه ۴ |
| | زیاد | گروه ۴ | گروه ۴ | گروه ۴ | گروه ۴ |
| نوع د | متوسط | گروه ۴ | گروه ۴ | گروه ۴ | گروه ۴ |
| | کم | گروه ۴ | گروه ۴ | گروه ۴ | گروه ۴ |

ماخذ: مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان

ساختمان مرکزی شهرداری منطقه ۴ تهران را که به عنوان ساختمان نمونه مورد بررسی در این مطالعه انتخاب شده است. این ساختمان دارای سه طبقه روی طبقه همکف و یک طبقه در زیر زمین می‌باشد. همچنین این ساختمان، (ساختمان مرکزی شماره یک) که در طبقات دوم و سوم با دو پل در ظلع غربی بنا به ساختمان شماره دو یا به عبارتی ساختمان پارکینگ متصل شده است. ساختمان کنتورهای گاز، برق و آب مجزا دارد و لذا به صورت مجزا نیز مورد ممیزی قرار می‌گیرد. زیربنای مفید تقریبی ساختمان برابر ۱۰۵۸۴ m2 می‌باشد. هسته‌ی اصلی جداره‌ی دیوار خارجی سفال، هسته اصلی سقف طبقات تیرچه بلوک

سفالی و پنجره‌های مورد استفاده نیز دوجداره و با قاب آلومینیم می‌باشند. هر چهار نمای ساختمان با هوای آزاد در ارتباط است. در این ساختمان برای تامین بارهای حرارتی مورد نیاز از دو دیگ آب گرم و برای تامین بارهای برودتی از چهار یک چیلر تراکمی استفاده شده است. هم‌چنین به منظور تامین آب گرم مصرفی مورد نیاز از دو مبدل صفحه‌ای استفاده شده است.

## نتایج و یافته‌های پژوهش

تحلیل و بررسی مصارف انرژی الکتریکی یکی از اقدامات لازم در فرایند ممیزی انرژی ساختمان، در دوره‌های مختلف مصرف می‌باشد. تجهیزات مصرف‌کننده انرژی موجود در فضاهای اداری ساختمان مرکزی، منطقه ۴ شهرداری تهران در پنج گروه:

۱. تجهیزات اداری پرکاربرد
۲. تجهیزات اداری متفرقه
۳. تجهیزات آشپزخانه ای
۴. تجهیزات تهویه، سرمایش و گرمایش
۵. سرورهای کامپیوترهای مرکزی، مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

کامپیوتر (PC)، مانیتور، پرینتر، پرینتر سه کاره، اسکنر، لپ تاپ، فکس و دستگاه کپی جزء تجهیزات اداری پرکاربرد در نظر گرفته شده‌اند. در ساختمان مرکزی منطقه ۴ شهرداری تهران، کامپیوتر، پرینتر و اسکنر به ترتیب با تعداد ۲۸۵، ۹۴ و ۳۲ بیشترین تکرار را دارند. لذا پارامترهای برق مصرفی ساختمان توسط ثبات (دستگاه پاور آنالایزر) در بازه‌های زمانی معمولا یک دقیقه‌ای، ثبت و بررسی می‌شوند. این تحلیل شامل بررسی تغییرات مصرف انرژی الکتریکی و پارامترهای کیفیت توان از قبیل اضافه ولتاژ، افت ولتاژ، نامتعادلی ولتاژ و جریان، ضریب قدرت، نمودارهای هارمونیکی و ... در یک بازه اندازه‌گیری می‌باشد. یکی از پارامترهای قابل بررسی در قبوض برق، پارامترهای مرتبط به ضریب زیان، جریمه راکتیو و توان راکتیو می‌باشد. با توجه به محدوده ضریب قدرت که حداقل مجاز آن ۰/۹ می‌باشد، جهت اعمال هزینه انرژی راکتیو در قبوض برق نیاز به محاسبه ضریب قدرت می‌باشد. ضریب زیان تعیین کننده هزینه راکتیو است. در بیشتر ادوار سال‌های ۹۷ و ۹۸ ضریب قدرت کمتر از ۰/۹ و در محدوده مجاز بوده و مجموعا ۱۱۰ میلیون ریال در سه سال به عنوان جریمه راکتیو در قبوض برق منظورگردیده است. با تغییر دیماند قراردادی شهرداری منطقه ۴ علاوه بر کاهش هزینه‌های جاری در قبوض برق ناشی از بهای قدرت پرداختی در هر دوره، در صورت کاهش دیماند قراردادی مشترک به صورت دایمی، بخشی از هزینه تامین برق در دو حالت انشعاب موجود و انشعاب درخواستی نیز بر اساس هزینه‌های عمومی برقراری انشعاب به حساب مشترک منظور می‌گرددو کاهش هزینه برق سالیانه حدود ۱۶۸۸۶۸۵۲۰ ریال خواهد بود. جهت برآورد پتانسیل صرفه‌جویی انرژی و منافع اقتصادی و مالی آن تحت راه‌کارهای پیشنهادی بهینه‌سازی انرژی نتایج بررسی‌های مربوط به ویژگی‌های ساختمان مورد مطالعه، پارامترها و ویژگی‌های آن، تجهیزات اداری، غیر اداری، موتوخانه‌ها، پمپاژها و ... و همچنین روند مصرف برق، گاز و آب در این ساختمان مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل از شبیه‌سازی مقدار کاهش مصرف انرژی (صرفه‌جویی) تحت هر یک از راهکار پیشنهادی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی ارایه گشته و ضمن محاسبه منافع اقتصادی و مالی ناشی از آن، تحلیل فایده به هزینه نیز برای اجرای هر یک از راهکارها انجام شده است.

جهت محاسبه بازگشت سرمایه از دیدگاه مصرف‌کننده از حدود تعرفه میانگین برق و گاز در کل استفاده شده است که برای برق برابر ۲۰۹۷ ریال و برای گاز برابر ۲۹۹۰ ریال می‌باشد. مطالعات اقتصادی از دیدگاه ملی نیز محاسبه شده است. نرخ در نظر گرفته شده برای محاسبه میزان صرفه جویی از دیدگاه ملی بر این اساس است که هزینه تمام شده برای تولید برق بدون در نظر گرفتن یارانه‌ی محاسبه گردد. به همین منظور برای محاسبه هزینه برق مصرفی از دیدگاه ملی از قیمت نفت خام بر اساس FOB خلیج فارس استفاده شده است. قیمت هربشکه نفت خام بر اساس FOB خلیج فارس ۵۱/۵ دلار می‌باشد که با توجه به اینکه هر بشکه نفت معادل ۱۶۹۹/۱ کیلووات می‌باشد، هزینه هر کیلووات ساعت برابر ۰/۰۳ دلار می‌شود. با در نظر گرفتن راندمان ۳۷ درصد برای نیروگاه، قیمت هر کیلووات برق برابر ۰/۰۸۲ دلار می‌شود که در صورتی که نرخ دلار را ۲۵۰/۰۰۰ ریال در نظر بگیریم هزینه هر کیلووات ساعت برق از دیدگاه ملی برابر ۱۶۵۶۲ ریال محاسبه می‌شود.

برای محاسبه هزینه گاز از نظر دیدگاه ملی نیز با استفاده از سایت اینترنتی ارانیکا، قیمت هر میلیون بی تی یو گاز طبیعی که معادل ۲۸/۷۶ متر مکعب گاز طبیعی می‌باشد برابر ۲/۴۳ دلار می‌باشد. بر همین اساس هزینه هر مترمکعب گاز طبیعی از دیدگاه ملی برابر ۱۶۹۰۰ ریال می‌باشد. در جداول (۹ و ۱۰) پتانسیل صرفه‌جویی در مصرف انرژی تحت هر یک از

راه‌کارهای پیشنهادی و همچنین ارزش منافع مالی و اقتصادی ناشی از آنها به تفکیک برای هر یک از دو ساختمان مورد بررسی گزارش شده است.

**جدول (۹): خلاصه گزارش ممیزی انرژی ساختمان شماره ۱ Source: Research Findings**

| راهکار ارائه شده | میزان کاهش | | | هزینه راهکار (هزار ریال) | میزان بازگشت سرمایه از نظر مصرف کننده (هزار ریال) | میزان بازگشت سرمایه با دیدگاه ملی (هزار ریال) | دوره بازگشت سرمایه از نظر مصرف کننده |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | مصرف آب (درصد) | مصرف برق (کیلو وات ساعت) | مصرف گاز (متر مکعب) | | | | |
| عایق‌کاری سقف | ۰ | ۱۰۴۴۳ | ۹۴۸۹ | ۳۴۷۳۸۸۲۰ | ۵۰۲۷۱/۶ | ۳۳۳۲۵ | ۶۹ سال و ۱ ماه |
| عایق‌کاری دیوار | ۰ | ۱۶۱۶۴ | ۱۴۸۹۸ | ۴۲۸۸۳۷۵ | ۷۸۴۴۰/۹ | ۵۱۹۴۸۴/۴ | ۵۴ سال و ۸ ماه |
| پنل فتوولتائیک | ۰ | ۲۸۱۹۸۲ | ۰ | ۲۶۷۹۲۳۰۵ | ۵۹۱۳۱۶/۲ | ۴۶۷۰۱۸۵/۹ | ۴۵ سال و ۳ ماه |
| سیستم کنترل هوشمند دیگ | ۰ | ۰ | ۲۱۵۴۵ | ۳۵۶۲۶۲ | ۶۴۴۱۹/۶ | ۳۶۴۱۱۰/۵ | ۵ سال و ۶ ماه |
| سیستم کنترل هوشمند چیلر | ۰ | ۱۰۸۰۰۷ | ۰ | ۴۹۳۲۴۶ | ۲۲۶۴۹۰/۷ | ۱۷۸۸۱۱/۹ | ۲ سال و ۲ ماه |
| آبگرمکن خورشیدی | | ۰ | ۶۶۷۰ | ۷۰۰۰۰۰ | ۱۹۹۴۳/۳ | ۱۱۲۷۲۳ | ۳۵ سال و ۱ ماه |
| تعویض کل لامپ‌های فلورسنت T8 و T10 ساختمان با لامپ T8 LED | ۰ | ۱۴۰۴۹۶ | ۰ | ۲۵۲۳۵۲۰ | ۲۹۴۶۲۰/۱ | ۲۳۲۶۸۹۴/۷ | ۸ سال و ۶ ماه |
| استفاده از شیرهای کاهنده مصرف | ۱۰ | ۰ | ۰ | ۵۰۰۰۰ | ۹۵۰۰۰ | ۳۸۰۰۰۰ | ۰ سال و ۶ ماه |

**جدول (۱۰): خلاصه گزارش ممیزی انرژی ساختمان شماره ۲ (پارکینگ) Source: Research Findings**

| راهکار ارائه شده | میزان کاهش | | | هزینه راهکار (هزار ریال) | میزان بازگشت سرمایه از نظر مصرف کننده (هزار ریال) | میزان بازگشت سرمایه با دیدگاه ملی (هزار ریال) | دوره بازگشت سرمایه از نظر مصرف کننده |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | مصرف آب (درصد) | مصرف برق (کیلو وات ساعت) | مصرف گاز (متر مکعب) | | | | |
| عایق‌کاری سقف | ۰ | ۲۵۸۳۹ | ۲۷۰۳۷ | ۲۵۷۳۲۰۰ | ۱۳۵۰۲۵ | ۸۸۴۸۷۰/۸ | ۱۹ سال و ۱ ماه |
| عایق‌کاری دیوار | ۰ | ۶۶ | ۸۰۷۱ | ۱۳۴۰۰۵۵/۴ | ۲۴۲۷۰/۷ | ۱۳۷۴۹۲/۹ | ۱۷ سال و ۱ ماه |
| پنل فتوولتائیک | ۰ | ۸۳۸۲۰ | ۰ | ۸۶۳۲۵۹۳ | ۱۷۵۷۷۰/۵ | ۱۳۸۸۲۶۶/۸ | ۶ سال و ۲ ماه |
| جایگزینی مبدل حرارتی به جای منابع کویل‌دار | ۰ | ۰ | ۱۲۹۱ | ۷۵۰۰۰ | ۳۸۶۰/۱ | ۲۱۸۱۷/۹ | ۱۹ سال و ۵ ماه |
| سیستم کنترل هوشمند دیگ | ۰ | ۰ | ۱۸۱۵۴ | ۳۵۶۲۶۲ | ۵۴۲۸۰/۵ | ۳۰۶۸۰۲/۶ | ۶ سال و ۶ ماه |
| کنترل هوشمند چیلر | ۰ | ۰ | ۲۹۱۰۹ | ۴۹۳۲۴۶ | ۶۱۰۴۱/۶ | ۴۸۲۱۰۳/۳ | ۸ سال و ۱ ماه |
| آبگرمکن خورشیدی | ۰ | ۰ | ۴۱۲۵ | ۴۰۰۰۰۰ | ۱۲۳۳۳/۸ | ۶۹۷۱۲/۵ | ۳۲ سال و ۵ ماه |
| تعویض لامپ‌های فلورسنت T8 و T10 ساختمان با لامپ LED | ۰ | ۵۵۹۰۹ | ۰ | ۹۲۶۵۱۰ | ۱۱۷۲۴۱/۲ | ۹۲۹۶۴/۸ | ۷ سال و ۱۱ ماه |

## بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق از نرم افزار انرژی پلاس مصرف انرژی برای ساختمان‌های اداری (مرکزی و پارکینگ) شهرداری منطقه ۴ که در گروه ساختمان‌های با مصرف زیاد انرژی قرار دارد، استفاده شده است. این نرم افزار، یک شبیه‌سازی جامع انرژی از ساختمان را در اختیار محقق به منظور کاربرد در مدل‌های انرژی

قرار می‌دهد. استفاده از انرژی پلاس توسط متخصصین بخش ساختمان و انرژی، سبب بهینه‌سازی برای استفاده کمتر از انرژی خواهد بود. ضمن تعیین پارامترهای ساختمان مورد مطالعه، روش داده برداری، اندازه گیری ضرایب انتقال حرارت سطحی و اجزای پوسته داخلی ساختمان، مقدار انرژی مصرفی و تلفات آن در شرایط پایه مورد برآورد قرار گرفته و سپس راه‌کارهای اقدام شناسایی شده برای کاهش مصرف انرژی معرفی و پتانسیل آنها برای صرفه جویی در مصرف انرژی مورد ارزیابی قرار گرفته است. از مقایسه بین مقدار مصرف انرژی تحت شرایط پایه (وضعیت فعلی ساختمان) و در شرایط اعمال راه‌کارهای کاهنده مصرف، مقدار کل صرفه جویی سالانه انرژی محاسبه شده است. در بخش مطالعات اقتصادی، با استفاده از خروجی‌های بدست آمده در مطالعات ممیزی انرژی، استفاده از روش‌های ارزشگذاری اقتصادی، کل منافع اقتصادی سالانه حاصل از اعمال راه‌کارهای عملیاتی کاهش مصرف انرژی برآورد شده است.

مطابق شبیه‌سازی صورت گرفته با عایق‌کاری سقف از داخل، مجموع انرژی سیستم سرمایش و گرمایش ۹/۹ درصد کاهش یافته است که این راهکار موجب صرفه جویی ۱۰۴۴۳ کیلووات ساعت در مصرف برق و ۹۴۸۹ متر مکعب در مصرف گاز شده است. طبق شبیه‌سازی عایق‌کاری دیوار خارجی از داخل انرژی سیستم سرمایش و گرمایش ۱۵/۵درصد کاهش و ۱۶۱۶۴ کیلو وات ساعت صرفه جویی برق و ۱۴۸۹۸ متر مکعب صرفه جویی گاز صورت خواهد پذیرفت. عایق کاری دیوار با پلی اورتان و پوشش PVC از داخل هزینه ۴۲۸۸۳۷۵۰۰۰ ریال و درآمد صرفه‌جویی حاصله از دیدگاه مصرف‌کننده ۷۸۴۴۹۲۸ ریال و از دیدگاه ملی ۵۱۹۴۸۴۳۶۸ ریالی در پی خواهد داشت.

با تغییر دیماند قراردادی شهرداری منطقه ۴ علاوه بر کاهش هزینه‌های جاری در قبوض برق ناشی از بهای قدرت پرداختی در هر دوره، در صورت کاهش دیماند قراردادی مشترک به صورت دایمی، بخشی از هزینه تامین برق در دو حالت انشعاب موجود و انشعاب درخواستی نیز بر اساس هزینه‌های عمومی برقراری انشعاب به حساب مشترک منظور می‌گردد و کاهش هزینه برق سالیانه حدود ۱۶۸۸۶۸۵۲۰ ریال خواهد بود. با نصب پنل فتوولتائیک (۴۸۴ عدد پنل) ۳۰۰ واتی با راندمان ۱۶ درصد سالانه ۲۸۱۹۸۲ کیلو وات ساعت معادل ۲۰ درصد از برق مصرفی تولید و طبق برآورد سال ۱۴۰۰ درآمد صرفه‌جویی از دیدگاه مصرف کننده ۵۹۱۳۱۶۲۵۴ ریال و از دیدگاه ملی ۴۶۷۰۱۸۸۴ ریال خواهد بود. با عایق‌کاری دیوار خارجی از داخل، مجموع انرژی سیستم سرمایش و گرمایش ۱۵/۵ درصد کاهش یافته که این راهکار موجب صرفه جویی ۱۶۱۶۴ کیلووات ساعت در مصرف برق و ۱۴۸۹۸ متر مکعب در مصرف گاز و درآمد صرفه جویی حاصله با دیدگاه مصرف کننده ۷۸،۴۴۰،۹۲۸ (ریال) می‌گردد. جهت کاهش مصرف آب با کاهش سرعت جریان و توان مصرفی الکتروپمپ با استفاده از درایو و تغییر دور الکتروپمپ و کاهش دبی سیستم می‌توان دبی عبوری از دیگ‌ها را تا مقدار مناسب آن کاهش داد. با استفاده از مبدلهای حرارتی به جای منابع دوجداره و کویل دار می‌توان دست کم تا ۳۰ درصد در مصرف سوخت صرفه جویی کرد. با توجه به تلفات مرتبط با تبخیر آب و گازهای احتراق خشک که بیشترین سهم اتلاف حرارت را دارند لازم است با تنظیم مشعل از افزایش دمای دودکش و نیز سوختگی پره‌های دیگ و مصرف بالای سوخت کاست. برای کاهش دمای دودکش شیر برقی مشعل تنظیم و پره‌های معیوب تعویض و برای کاهش تبخیر آب دیگ‌های چگالشی استفاده شود. همچنین تلفات تابشی و جابه‌جایی نسبت به تلفات گازهای احتراق خشک و تلفات تبخیر آب (به دلیل همیشگی بودن آن) که در طول شبانه روز قابل توجه است را می‌توان با ارتقا عایق‌کاری به حداقل رساند. یکی دیگر از راهکارهای کاهش مصرف انرژی استفاده از آبگرمکن خورشیدی با صرفه جویی ۴۷/۱ درصدی انرژی و ۶۶۷۰ (مترمکعب)صرفه جویی در مصرف گاز است. با نصب سامانه هوشمند، کارکرد مشعل‌ها و پمپ‌ها، متناسب با تغییرات دمای هوای بیرون کنترل و به این وسیله شرایط آسایش حرارتی در داخل ساختمان تامین می شود همچنین تا ۴۰ درصد در مصرف گاز ساختمان صرفه جویی و درآمد صرفه جویی حاصله با دیدگاه مصرف کننده ۶۴،۴۱۹،۵۵۰ (ریال) می‌گردد. همچنین با اجرای برخی از راه‌کارهای فرهنگی بهینه‌سازی مصرف انرژی و آب در ساختمان‌های اداری از طریق آموزش به کاربران و کارکنان و رعایت اصولی آنها به اهداف اثرگذار صرفه جویی در انرژی در کوتاه مدت دست یافت که می‌توان به برخی از آن اشاره کرد. لازم است کامپیوتر، پرینتر، اسکنر، دستگاه کپی و سایر وسایل اداری را تنها هنگامی روشن کردکه به آن نیاز است و از روشن گذاشتن این وسایل بدون آن که ضرورتی داشته باشد جدا خودداری شده و از خاموش بودن وسایل اداری به ویژه دستگاه کپـی، اسکنـر و پرینتـر پیش از تـرک محل کار اطمینان حاصل

گردد.

## منابع


Alghoul, S. K., & Hatab, A. M. 2016. Building Energy Efficiency: Optimization of Building Envelope Using GreyBased Taguchi. Journal of Multidisciplinary Engineering, Science and Technology, 3, 6192-7. (In Persian)

Bagheri, V., & Nejad Ebrahimi, A. 2016. Energy optimization in building facade design with an emphasis on value engineering approach, case study: Omid commercial-residential complex of Mashhad, scientific research quarterly of geography, regional planning, ۸th year, Number ۲. (In Persian)

Bakhtiari, V., & Fayaz, R. 2018. Capabilities and limitations of energy optimization tools in the design and architecture stage, journal of Iranian Energy, number 1, 22. pp: 150-127. (In Persian)

Bienvenido-Huertas, D., Rubio-Bellido, C., Farinha, F., Oliveira, M. J., & Pérez-Ordóñezc, J. L. 2020. Evaluating the potential of adaptive comfort approach using historic data to reduce energy consumption in buildings in southern Spain, Build Environ, 185.

Ezzeldin, S., & Rees, S.J. 2013. The potential for office buildings with mixed-mode ventilation and low energy cooling systems in arid climates. Energy Build, 65:368–381.

Gheshlaghi, Z., & Narimani, R. 2010. The role of glass and windows in optimizing energy consumption in buildings. Energy consumption optimization conference, Tehran, Iran. (In Persian)

Hee, W. J., Alghoul, M. A., Bakhtyar, B., Elayeb, O., Shameri, M. A., Alrubaih, M. S., & et al. 2015. The role of .window glazing on daylighting and energy saving in buildings .Renew Sustain Energy Rev, 42, 323–343.

Huang, Z., Yuan, H., & Shen, L. 2012. Contribution of promoting the green residence assessment scheme to energy saving. Energy Policy, 51, 374-381.

Ji, C., et al. 2021. Evaluation of the Effect of a Building Energy Efficiency Certificate in Reducing Energy Consumption in Korean Apartments. Energy and Buildings, vol. 206, no. 1.

Kamali Dehkordi, P., Ghobishadi, A. K., & Abdolahi. F. 2021. Economic and environmental effects of energy consumption in high-consuming countries of the world (evidence of vector autoregression with non-linear panel distribution breaks), Iranian Energy Economy Journal, Volume 10 , No. 38, page 195-214. (In Persian)

Karlsson, J., & Roos, A. 2004. Evaluation of window energy rating models for different houses and European .climates, Solar Energy. 76, 71-77.

Khodakarmi, J., & Ghobadi, J. 2015. Optimization of energy consumption in an office building equipped with an intelligent management system, Scientific Research Journal of Energy Engineering and Management, 6th year, 2nd issue, page 12-23. (In Persian)

Lechner, N. 2014. Heating, cooling, lighting: Sustainable: design methods for architects. Alabama, the United States .John wiley & sons.

Mahtabi, M., & Arjamand, M. 2016. Environmental Evaluation of the effects of the unfavourable performance of engine houses on energy waste and air quality in cities. Science and Technology, 19th period, Special Paper No. 5. (In Persian)

Najafpour, V. 2019. Smart Energy Management in Office Buildings Using Traffic Control System", Scientific Journal of Iran Energy, Volume 33, Number 1, Pages 141-160. (In Persian)

Tavakoli, A. 2018. Analysis of factors affecting the emission of greenhouse gases (GHDs) and the potentials of reducing emissions in Iran, Energy Economics Studies Quarterly, (In Persian)

Yılmaz, İbrahim Halil. 2018. Residential Use of Solar Water Heating in Turkey: A Novel Thermo-Economic Optimization for Energy Savings, Cost Benefit and Ecology. Journal of Cleaner Production, 204, pp. 511–524.

Zhang, X., Mao, X., & Abourizk. s. 2009. Developing a knowledge management system for improved value engineering practices in the construction industry. Journal of Automation in construction, 18: 777-789.