Amirkabir Journal of Civil Engineering

Amirkabir J. Civil Eng., 53(2) (2021) 141-144
DOI: 10.22060/ceej.2020.16361.6200

Evaluating the Economic and Environmental Impacts of Smart Management Systems for Cooling and Heating Systems in Building: Case study of Office Building in Tehran

Gholamreza Heravi[1,*], Milad Rostami[1], Maryam Shekari[2]

[1] School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
[2] Pishrun Energy Company, Tehran, Iran

ABSTRACT: Considering the increasing rate of energy consumption and its environmental detrimental effects, as well as considering the use of non-renewable energy sources such as fossil fuels, energy management issues have become more important. Given the 40% share of the building industry's total energy consumption, as well as the 80% share of energy consumed during the operation period, attention to the areas of energy management and optimization during the operation period of the buildings can have a major impact on buildings' energy performance. In this research, through identifying building energy management tools and studying previous studies, and assessing the effects of building energy management systems, the economic and environmental impacts of using building energy management systems on the annual energy consumption in an office building in Tehran as a case study has been investigated. The results indicate a 32 percent reduction in energy consumption and a significant reduction in the release of the environmental pollutants in smart mode compared to the base mode. Moreover, considering the social costs associated with the emitted pollutants as well as the return period, it has been attempted to identify the factors contributing to the economic justification of using smart heating and cooling systems. According to the results, the use of smart energy management systems can be considered an effective step in optimizing and managing energy consumption in the construction sector.

Review History:
Received: 5/18/2019
Revised: 1/10/2020
Accepted: 7/2/2020
Available Online: 7/13/2020

Keywords:
Building management system
Smart building
Energy consumption management
Demand response management
Energy consumption optimization

1- INTRODUCTION

Increasing energy consumption, globally, in addition to making economic challenges, has led to detrimental environmental impacts, especially in developing countries [1]. In most of developing countries such as Iran, due to the high share of non-renewable energy sources such as fossil fuels, addressing the issue of energy management is so critical based on its destructive environmental impacts [2]. Moreover, in Iran, the building sector is one of the primary sources of energy consumption. As a result, it is crucial to address energy management strategies, such as the development of smart heating and cooling systems in the building sector [3].

In recent years, due to the growing use of smart energy management systems in the building sector, some studies are conducted to assess the impact of using smart energy management systems. King and Morgan (2007) showed that the productivity of the building energy consumption, as well as the energy consumption costs, are significantly affected by smart building energy management systems such as smart heating and cooling systems [4]. Rocha et al. (2014) examined the effects of energy pricing policies on the development of smart energy management systems in the building sector [5]. Furthermore, Aslam et al. (2017) investigated the capabilities of reducing energy consumption in smart buildings using genetic algorithms and different energy pricing scenarios [6].

In the present study, it is tried to evaluate the environmental and economic effects of smart heating and cooling systems in a non-residential building as a case study. In addition to evaluating the environmental and economic impacts, by calculating the social costs of pollutant emissions and evaluating the payback period, it is attempted to identify and evaluate the factors affecting the economic feasibility of using smart heating and cooling systems in the building sector.

2- METHODOLOGY

The methodology of this research is comprising of the following stages:

1. *Library studies and identifying smart heating and cooling systems components:* at this stage, it is tried to review the recently conducted studies in the field of using smart energy management systems in the building sector. Moreover, based on the current infrastructural and economic conditions of Iran, it is tried to identify the available components for smart heating and cooling systems.

2. *Case study*: to identify the economic and environmental impacts of using smart heating and cooling systems, a two-story building with an area of 6700 m^2 is

*Corresponding author's email: heravi@ut.ac.ir

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to Amirkabir University Press. The content of this article is subject to the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-NC 4.0) License. For more information, please visit https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.

Table 1. Annual water and energy consumption in the base and smart modes

Energy source	Base mode	Smart mode	Improvement (%)
Natural gas (m^3)	140,040	94,894	32.2
Electricity (KWh)	660,067	626,656	5.1
Water (m^3)	3,572	3,139	12.1

Table 2. The economic effects of using smart technologies

Energy source	Base mode (million Rials)	Smart mode (Million Rials)	Improvement (%)
Natural gas	490	332	32
Electricity	660	627	5
Water	1150	959	17

Table 3. Pollutant emission of natural gas and electricity consumption [7]

Pollution	NO_X	SO_X	CO_2	CO	CH	SPM
Natural gas (gr/m^3)	2.05	0.04	560.2	0.33	0.12	0.29
Electricity (gr/KWh)	0.906	0.906	598.3	0.001	0.024	0.088

studied in Tehran, the capital and largest city of Iran.

3. *Evaluating the economic and environmental impacts:* At this stage, considering the average reduction in the annual energy consumption, the economic and environmental impacts of using smart heating and cooling equipment are evaluated. The use of smart devices will have direct and indirect economic effects that are addressed in the current study.

4. *Interpreting the results*: at this stage, it is tried to evaluate the challenges and obstacles toward the use of smart heating and cooling systems and identify the possible solutions for their development.

3- RESULTS AND DISCUSSION

After developing the smart heating and cooling systems on a non-residential building, the annual energy and water consumption in both base and smart modes are shown in Table 1.

Based on the results of implementing smart heating and cooling systems (Table 1), in the first step, the economic effects are evaluated (Table 2).

In addition to identifying the economic impacts of developing smart heating and cooling system (Table 2), it is tried to evaluate the environmental impacts. In this regard, it is tried to identify the emission units for both natural gas and electricity consumption (Table 3).

Based on Tables 2 and 3, the environmental impacts of using smart heating and cooling systems are shown in Table 4.

As shown in Table 4, using smart heating and cooling the pollutant emission reduced significantly.

In addition to evaluating the environmental impact of using smart heating and cooling systems, it is tried to identify the impact of using smart heating and cooling systems on the social costs of pollutant emissions (Table 5).

Table 4. Environmental effects of using smart technologies in Iran

Different modes	NO_X	SO_X	CO_2	CO	CH	SPM
Base mode (kg)	885	603	473,368	47	33	99
Smart mode (kg)	762	571	428,087	32	26	83
Improvement (%)	14	6	10	32	22	16

Table 5. Social costs saving of the pollutant emissions [8]

Pollution type	NO_X	SO_X	CO_2	CO	CH	SPM
Cost unit[1]	885	603	473,368	47	33	99
Social saving[2]	762	571	428,087	32	26	83

[1]Thousands of Rials/ton

[2]Thousands of Rials

As depicted in Table 5, considering the social costs of pollutant emissions, the annual cost savings of using smart heating and cooling systems increased by about 30%.

After identifying the direct and indirect economic effects of using smart heating and cooling systems, through calculating Net Present Value (NPV), the payback period is calculated (Eq. 1).

$$NPV = \frac{CF_i}{(1+i)^t} \quad (1)$$

Where, CF_i is the annual cost saving, i is the interest rate, and t is the year number. The payback period is about three years, based on the calculated NPV.

The most critical challenges toward the use of smart heating and cooling systems are (1) additional initial costs, (2) low energy tariffs, and (3) uncertainties about the environmental and economic effects of using smart heating and cooling systems.

As a result, the possible solutions for the development of smart heating and cooling systems could be categorized into (1) using domestic products, (2) considering the social costs of pollutant emissions, (3) replacing the current energy tariffs with real tariffs (eliminating the energy subsidies).

4- CONCLUSION

It can be concluded that using smart heating and cooling systems, in addition to reducing the total energy consumption, maximum energy demand, and costs of energy consumption, by reducing the repair and maintenance costs, it leads to a justifiable process for returning the initial required investments. This issue could solve one of the major challenges of using smart heating and cooling systems.

Considering the challenges, obstacles, and identifying possible solutions for the development of smart heating and cooling systems could lead to a practical solution toward achieving sustainability in the building sector during the operational period in Iran.

REFERENCES

[1] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, C. Pout, A review on buildings energy consumption information, Energy and buildings, 40(3) (2008) 394-398.

[2] F. Barbir, T.N. Veziroğlu, H.J. Plass Jr, Environmental damage due to fossil fuels use, International journal of hydrogen energy, 15(10) (1990) 739-749.

[3] M. Rostami, A. Khademvatani, M. Omidali, Forecasting Electricity Demand in Iran: The application of a Hybrid Dynamic Partial Adjustment and ARIMA Model, Journal of Applied Economics Studies in Iran (AESI)7(25) (2018) 177-199.

[4] D.E. King, M.G. Morgan, Customer-focused assessment of electric power microgrids, Journal of Energy Engineering, 133(3) (2007) 150-164.

[5] P. Rocha, A. Siddiqui, M. Stadler, Improving energy efficiency via smart building energy management systems: A comparison with policy measures, Energy and Buildings, 88 (2015) 203-213.

[6] S. Aslam, Z. Iqbal, N. Javaid, Z.A. Khan, K. Aurangzeb, S.I. Haider, Towards efficient energy management of smart buildings exploiting heuristic optimization with real time and critical peak pricing schemes, Energies, 10(12) (2017) 2065.

[7] M.o.E.o.I.R.o. Iran, Detailed statistics of Iran's power industry, in, 2018, December 12.

[8] Khodadad, F., Akaberi, M., Mousavi, Y., Khosravinejad, A., 2016. Calculating the Social Costs of Carbon Dioxide Emissions in Different Provinces of Iran. epprjournal.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Gh. Heravi, M. Rostami, M. Shekari, Evaluating the Economic and Environmental Impacts of Smart Management Systems for Cooling and Heating Systems in Building: Case study of Office Building in Tehran, Amirkabir J. Civil Eng., 53(2) (2021) 141-144.

DOI: 10.22060/ceej.2020.16361.6200

This page intentionally left blank

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۳ شماره ۲، سال ۱۴۰۰، صفحات ۶۰۷ تا ۶۲۶
DOI: 10.22060/ceej.2020.16361.6200

ارزیابی اثرات اقتصادی و زیست‌محیطی سیستم‌های مدیریت هوشمند سرمایش و گرمایش در ساختمان: مطالعه‌ی موردی ساختمان اداری در شهر تهران

غلامرضا هروی[۱،*]، میلاد رستمی[۱]، مریم شکاری[۲]

[۱] دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
[۲] مدیر نظارت، شرکت پیشران انرژی، تهران، ایران

خلاصه: با توجه به روند افزایشی مصرف انرژی در سطح جهان و آثار مخرب زیست‌محیطی ناشی از آن و با توجه به به‌کارگیری منابع تجدیدناپذیر انرژی نظیر سوخت‌های فسیلی، توجه به بحث مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی اهمیت بیشتری یافته است. با توجه به سهم ۴۰ درصدی صنعت ساختمان از کل مصرف انرژی و همچنین سهم ۸۰ درصدی انرژی مصرفی دوره بهره‌برداری از کل انرژی مصرفی در طول چرخه حیات ساختمان، توجه به حوزه‌های مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی در طول دوره بهره برداری ساختمان‌ها می تواند تاثیرات عمده‌ای بر بهبود مصرف انرژی داشته باشد. در پژوهش حاضر ضمن شناسایی ابزارهای مدیریت هوشمند انرژی سیستم های سرمایش و گرمایش ساختمان و مطالعه پژوهش‌های پیشین و ارزیابی تاثیرات به‌کارگیری ابزارهای مدیریت مصرف انرژی ساختمان، تاثیرات اقتصادی و زیست‌محیطی به‌کارگیری این ابزارها بر روی میزان مصرف انرژی سالیانه در یک ساختمان اداری در شهر تهران به عنوان مطالعه موردی بررسی شده‌است. نتایج به‌دست آمده نشان دهنده کاهش ۳۲ درصدی میزان انرژی مصرفی و همچنین کاهش قابل توجه انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی در حالت هوشمند در مقایسه با حالت پایه است. علاوه بر آن با در نظر گرفتن هزینه های اجتماعی ناشی از انتشار آلاینده های زیست محیطی و همچنین دوره بازگشت سرمایه سعی شده‌است تا عوامل موثر در توجیه پذیری اقتصادی به‌کارگیری سامانه های مدیریت هوشمند سیستم های سرمایش و گرمایش مشخص شود. ، به‌کارگیری فناوری‌های مدیریت هوشمند انرژی ساختمان می‌تواند به عنوان گام موثری در زمینه بهینه‌سازی و مدیریت مصرف انرژی در بخش ساختمان شناخته شود.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۲۸
بازنگری: ۱۳۹۸/۱۰/۲۰
پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۱۲
ارائه آنلاین: ۱۳۹۹/۰۴/۲۳

کلمات کلیدی:
سیستم مدیریت هوشمند ساختمان
ساختمان هوشمند
مدیریت مصرف انرژی
مدیریت پاسخ به تقاضا
بهینه‌سازی مصرف انرژی

۱- مقدمه

افزایش روز افزون مصرف انرژی علاوه‌بر قلمداد شدن به‌عنوان چالش اقتصادی، موجب بروز بحران‌های زیست‌محیطی در جوامع توسعه یافته و به خصوص در حال توسعه شده‌است [۱]. در کشورهای در حال توسعه نظیر ایران با توجه به سهم بالای منابع انرژی تجدید ناپذیر نظیر سوخت‌های فسیلی، پرداختن به مقوله مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی به دلیل آثار مخرب زیست‌محیطی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۲]. صنعت ساختمان با توجه به سهم حدود ۴۰ درصدی خود از میزان مصرف انرژی کشور، یکی از تاثیرگذار ترین حوزه‌های مصرف انرژی بوده، که توجه به آن می‌تواند سهم به‌سزایی در تغییر وضعیت موجود در راستای دست یابی به توسعه پایدار ایفا نماید [۳]. در صنعت ساختمان بیش از ۸۰ درصد مصارف انرژی مختص به دوره بهره‌برداری است که خود نشان دهنده اهمیت توجه به مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی در این دوره است [۴]. همچنین با توجه به آمارهای سال‌های اخیر، حدفاصل سال های ۱۳۵۸ تا ۱۳۸۳ میزان مصرف انرژی در ایران ۸/۷ برابر شده‌است. علاوه‌بر آن میزان تولید انرژی متناسب با این رشد مصرف ۹/۴ برابر شده‌است. این افزایش در حالی است که تعداد مشترکین بهره مند از انرژی تنها ۵/۵ برابر شده، که نشان دهنده روند افزایشی الگوی

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: heravi@ut.ac.ir

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید.

مصرف انرژی در کشور ایران است [۵]. علاوه‌بر آن در کشور ایران بخش خانگی و اداری بیشترین سهم را در میزان مصرف انرژی به خود اختصاص داده است که این خود نشان‌دهنده‌ی اهمیت پرداختن به روش‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی دوره‌ی بهره‌برداری در بخش مسکونی و اداری است [۶].

امروزه با گسترش بیش از پیش فناوری‌های نوین در حوزه‌ی صنعت ساختمان، به‌کارگیری فناوری‌های هوشمند با سرعت بیشتری گسترش یافته است، به نحوی که در کشورهای اروپایی به‌کارگیری فناوری‌های هوشمند در ساختمان‌های تجاری پس از سال ۲۰۱۸ و همچنین ساختمان‌های مسکونی پس از سال ۲۰۲۰ الزامی شده‌است [۷]. علاوه‌بر آن با توجه به رویکرد ۲۰-۲۰-۲۰ در کشورهای اروپایی، سعی در دستیابی به کاهش ۲۰ درصدی در مصرف انرژی و همچنین جایگزینی منابع انرژی تجدیدناپذیر با منابع انرژی تجدیدپذیر تا سال ۲۰۲۰ شده‌است [۸]. دلیل توجه به به‌کارگیری این فناوری‌های نوین را می توان علاوه‌بر آثار قابل توجه آن در کاهش میزان مصرف انرژی در حوزه‌ی کاهش آثار زیست‌محیطی ناشی از کاهش میزان مصرف انرژی دانست چرا که در کشورهایی نظیر ایران بخش عمده انرژی های تامین شده در آن از منابع انرژی‌های تجدید ناپذیر تامین می گردد و این موضوع خود نشان‌دهنده‌ی وجود ارتباط مستقیم بین میزان مصرف انرژی سالانه و میزان آلاینده های منتشر شده در سطح کشور است. در نتیجه با توجه به اهمیت آثار زیست محیطی چرخه حیات ساختمان در کشور ایران و سهم قابل توجه آن از کل میزان انرژی مصرفی و آلاینده منتشر شده در سطح کشور در راستای توسعه به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند ساختمان، گام‌هایی در راستای توسعه کاربرد این تجهیزات برداشته شده‌است که از جمله آن می توان به موارد اشاره شده در مباحث ۱۳ و ۱۹ مقررات ملی ساختمان اشاره نمود [۹]. مدیریت مصرف انرژی با استفاده از ابزارهای هوشمند، زمینه‌های مختلفی را در بر می‌گیرد که از جمله مهم ترین آن‌ها مدیریت پاسخ به تقاضا است [۱۰]. مدیریت پاسخ به تقاضا را می‌توان به مجموعه‌ای از فعالیت‌ها که توسط ابزارهای هوشمند انجام شده و در نهایت منجر به تغییر در منحنی مصرف ساختمان می گردد، اطلاق نمود [۱۱]. هدف از به‌کارگیری ابزارهای مدیریت مصرف انرژی در زمینه مدیریت پاسخ به تقاضا کاهش میزان تقاضاهای بیشینه و تسطیح منحنی مصرف انرژی است، که از طریق آن میزان مصرف حالت بیشینه کاهش می‌یابد [۱۰]. بهینه‌سازی میزان مصرف انرژی با استفاده از ابزارهای هوشمند با وجود سابقه کم، گسترش بسیاری در سال‌های اخیر داشته است. نخستین بار ایده سیستم‌های مدیریت هوشمند انرژی ساختمان از دانشگاه میشیگان ایالات متحده آمریکا آغاز شد که در سال ۱۹۹۵ در همان کشور در دانشگاه آریزونا اجرایی گردید [۱۲]. در حوزه‌ی بهینه‌سازی مصرف انرژی، هدف کاهش میزان سطح نهایی مصرف انرژی از طریق کاهش و یا حذف اتلاف‌های انرژی توسط به‌کارگیری ابزارهای مختلف نظیر ابزار های مدیریت هوشمند مصرف انرژی است. در نتیجه ابزارهای هوشمند با مدیریت، نظارت، ثبت وقایع، و کنترل عملکرد سیستم های مصرف کننده انرژی الگوی مصرف انرژی در ساختمان را اصلاح می کنند [۱۳].

هدف این پژوهش، ارزیابی تاثیرات زیست‌محیطی و اقتصادی به‌کارگیری سامانه های مدیریت هوشمند سیستم‌های سرمایش و گرمایش یک ساختمان اداری در طول دوره بهره‌برداری است. در این راستا ضمن شناسایی و مطالعه پژوهش‌های پیشین در این زمینه، با توجه به هزینه‌های تمام شده تولید انرژی و همچنین آلاینده‌های منتشر شده ناشی از تولید انرژی، و همچنین با بررسی یک مطالعه موردی در زمینه به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند سیستم های سرمایشی و گرمایشی ساختمان در ساختمان‌های اداری در شهر تهران، تاثیرات به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند انرژی ساختمان در زمینه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی بررسی شده‌اند. علاوه‌بر ارزیابی آثار اقتصادی و زیست محیطی ناشی از کاهش میزان مصرف انرژی با توجه به اهمیت پرداختن به آثار زیست محیطی ناشی از مصرف انرژی با محاسبه هزینه های اجتماعی ناشی از انتشار آلاینده های زیست محیطی و همچنین ارزیابی دوره بازگشت سرمایه سعی شده‌است تا عوامل تاثیرگذار بر اقتصادی بودن به‌کارگیری سامانه های مدیریت هوشمند سیستم های سرمایش و گرمایش مشخص و ارزیابی شود. با توجه به نتایج به‌دست آمده در نظر گرفتن هزینه های غیر ملموس انتشار آلاینده ها (هزینه های اجتماعی) و همچنین در نظر گرفتن قیمت تمام شده تولید انرژی بدون اعمال یارانه های دولتی نشان دهنده قابلیت های اقتصادی به‌کارگیری سامانه های مدیریت هوشمند سیستم های سرمایش و گرمایش علاوه‌بر آثار زیست‌محیطی آن‌ها بوده است.

۲- پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر با توجه به رشد بکارگیری فناوری‌های هوشمند در صنعت ساختمان، تلاش‌های بسیاری در جهت ارزیابی تاثیرات به‌کارگیری این فناوری‌ها شده‌است. این فناوری‌ها با وجود سابقه اندک، با توجه به قابلیت‌های متعدد در حوزه‌های مدیریت هوشمند ساختمان [۱۴]، توسعه پایدار [۳]، و همچنین ارتقای معیارهای آسایش و رفاه ساکنان [۱۵]، بسیار مورد توجه بوده‌اند. از جمله کاربردهای این فناوری‌ها می‌توان به معماری هوشمند [۱۶]، سازه‌های هوشمند [۱۷]، و همچنین به‌کارگیری ابزارهای هوشمند مدیریت مصرف انرژی ساختمان [۳] اشاره نمود. به‌کارگیری ابزارهای هوشمند مدیریت انرژی ساختمان در دو حوزه مدیریت مصرف انرژی و حوزه بهینه‌سازی مصرف انرژی دسته بندی می شود. که البته با توجه به گسترده بودن زمینه مدیریت مصرف انرژی در پژوهش حاضر، مدیریت پاسخ به تقاضا به عنوان یکی از مهم ترین زمینه‌های مدیریت مصرف انرژی بررسی شده‌است. در ادامه به بررسی مطالعات انجام شده در این حوزه‌ها پرداخته شده‌است:

۲-۱- مدیریت و بهینه سازی مصرف انرژی

به‌طور کلی می‌توان حوزه‌های مدیریت هوشمند مصرف انرژی را در قالب مواردی نظیر به‌کارگیری مصالح هوشمند [۱۸]، کنترل و مدیریت دقیق توزیع منابع انرژی [۱۹]، و همچنین به‌کارگیری ابزارهای هوشمند مدیریت مصرف انرژی [۱۰] دسته‌بندی نمود. در سال‌های اخیر پژوهش‌های متعددی در زمینه مدیریت مصرف انرژی با استفاده از ابزارهای مدیریت هوشمند ساختمان انجام شده‌است.

در این راستا کینگ[1] و مورگان[2] در سال ۲۰۰۷ نشان دادند که بهره‌وری کل سیستم و کاهش میزان هزینه‌ها تحت تاثیر به‌کارگیر ابزارهای مدیریت هوشمند انرژی ساختمان می‌تواند با مدیریت تقاضای کاربران حاصل شود [۲۰]. همچنین در برخی از پژوهش‌های انجام شده با هدف بهینه‌سازی هزینه انرژی دوره بهره‌برداری از ابزارهایی نظیر الگوریتم‌های بهینه سازی و همچنین شبیه سازی استفاده شده‌است. در این راستا ژو[3] و همکاران در سال ۲۰۰۸ با به‌کارگیری شبیه‌سازی مونت‌کارلو به ارزیابی تاثیرات به‌کارگیری سیستم مدیریت پاسخ به تقاضا پرداختند و مجموعه‌ای از مدل های مدیریت بیشینه مصرف و همچنین استراتژی‌های مقابله با رشد مصرف را با مدل‌های شبیه‌سازی شده ارائه دادند [۲۱]. در سال ۲۰۰۹ باقری و تفرشی به ارائه سیستم‌های مدیریت انرژی و سیستم برنامه‌ریزی بهینه پرداختند. آن‌ها مجموعه‌ای از تصمیمات بهینه از جمله استفاده از ژنراتورها برای تولید برق، برنامه‌ریزی سیستم‌های ذخیره‌سازی هوشمند و مدیریت انرژی را تحت عنوان مناسب ترین روش‌های حداکثر کردن منافع اقتصادی معرفی کردند [۲۲]. محمد و کویوو[4] در سال ۲۰۱۰ یک فرمول عمومی برای تعیین استراتژی بهینه‌سازی هزینه‌ها در سیستم‌های مدیریت هوشمند انرژی ارائه کردند که شامل هزینه‌های مصرف انرژی، هزینه‌های راه اندازی، هزینه‌های تعمیر، و هزینه‌های عملیاتی و نگهداری بود [۲۳]. استادلر[5] و همکاران در سال ۲۰۱۱ استفاده از تکنوژی پاسخ به تقاضا را به جهت بهینه کردن میزان هزینه‌های ناشی از انرژی و میزان انتشار گازهای گلخآن‌های در طول چرخه حیات بررسی کردند [۲۴] .روخا[6] و همکاران در سال ۲۰۱۴ تاثیر سیاست‌های قیمت‌گذاری انرژی بر روی میزان بهره‌وری انرژی در دو حال ساده و حالت استفاده از ابزارهای مدیریت هوشمند ساختمان بررسی کردند. علاوه‌بر آن، تاثیر این سیاست ها بر میزان بهبودهای ناشی از استفاده از این سیستم در میزان کاهش نیاز بیشینه و همچنین میزان کاهش آلاینده‌های تولید شده را بررسی نمودند [۱۴]. در سال ۲۰۱۵ برهمن[7] و همکاران با ترکیب بحث‌های مدیریت پاسخ به تقاضا و ابزارهای هوشمند ذخیره سازی انرژی، به بررسی مسائل مربوط به مدیریت بهینه مصرف انرژی پرداختند. در این خصوص آن‌ها به ارزیابی یک مساله بهینه‌سازی شده برای سه مطالعه موردی متفاوت با هدف کمینه ساختن هزینه‌ها پرداختند و در نهایت با استفاده از یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه، میزان کاهش انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی را بررسی نمودند [۲۵]. علاوه‌بر آن در برخی از پژوهش‌های اخیر به به‌کارگیری همزمان سیستم‌های مدیریت هوشمند انرژی و مدل‌های برنامه‌ریزی مصرف پرداخته شده‌است. در سال ۲۰۱۶ ما[8] و همکاران به بررسی مدل‌های برنامه‌ریزی مصرف انرژی برای مدیریت پاسخ به تقاضا

1 King
2 Morgan
3 Zhou
4 Koivo
5 Stadler
6 Rocha
7 Brahman
8 Ma

در ساختمآن‌های مسکونی با استفاده از ابزارهای مدیریت هوشمند پرداختند. آن‌ها ابزارهای مصرف کننده انرژی را به دو گروه ابزارهای با قابلیت تغییر زمان آغاز به کار و ابزارهای با قابلیت تغییر مصرف انرژی تقسیم نمودند و به ارائه استراتژی برنامه‌ریزی مصرف انرژی با توجه به حفظ معیارهای آسایش پرداختند [۲۶]. در سال ۲۰۱۶ موون[1] و همکاران برنامه‌ریزی مدیریت پاسخ به تقاضای انرژی ساختمآن‌های مسکونی با تجهیزات چند منظوره و با استفاده از شبکه هوشمند را برای زمان‌بندی مصرف انرژی در ساختمآن‌های مسکونی بررسی کردند. تلاش آن‌ها در جهت بهینه‌سازی هزینه مصرف انرژی همراه با ثابت نگه داشتن معیارهای آسایش بود، که نهایتا الگوریتم زمان‌بندی مصرف بهینه انرژی تجهیزات مختلف به منظور برنامه‌ریزی در جهت دست‌یابی به میزان مصرف نزدیک به حالت مطلوب را ارائه نمودند [۲۷].

کاهش میزان مصرف انرژی با توجه به محدودیت‌های تامین منابع انرژی تجدیدناپذیر به عنوان یکی از اصلی ترین چالش‌های حال حاضر کشورها شناخته می‌شود [۲۸]. علاوه‌بر آن در کشورهای در حال توسعه به دلیل سهم پایین منابع انرژی تجدیدپذیر، کاهش میزان مصرف انرژی می‌تواند تاثیرات بسزایی را در کاهش میزان آلاینده‌های منتشر شده داشته باشد. در سال های اخیر پژوهش‌های متعددی در زمینه به‌کارگیری ابزارهای هوشمندسازی به جهت کاهش میزان مصرف انرژی شده‌است. برخی از آن‌ها به بررسی قابلیت بهینه‌سازی مصرف انرژی سیستم‌های روشنایی و حرارتی پرداخته اند. در این راستا در سال ۲۰۰۹ دلانی[2] و همکاران به بررسی قابلیت افزایش بهره‌وری سیستم‌های روشنایی با به‌کارگیری سنسورهای کنترل هوشمند پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها کاهش ۵۰ تا ۷۰ درصدی مصرف انرژی سیستم‌های روشنایی را نشان داد [۲۹]. در سال ۲۰۱۰ لو[3] و همکاران به‌کارگیری توامان ترموستات‌های هوشمند و سنسورهای تشخیص حضور با هدف بهینه‌سازی مصرف انرژی بررسی نمودند. نتایج پژوهش آن‌ها کاهش ٪۳۴ میزان انرژی مصرفی ابزارهای تامین کننده گرمایش را نشان داد [۳۰]. همچنین در سال‌های اخیر پژوهش‌های متعددی به بررسی قابلیت‌های بهینه سازی، نحوه به‌کارگیری الگوریتم‌های مختلف بهینه سازی و همچنین آثار اقتصادی و زیست محیطی به‌کارگیری ابزارهای هوشمند بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان پرداخته‌اند. در سال ۲۰۱۲ وانگ[4] و همکاران سیستم‌های کنترل چند منظوره با کمک بهینه‌سازی هوشمند را مورد بررسی قرار دادند. هدف پژوهش آن‌ها دست‌یابی به بالاترین سطح معیارهای آسایش، با حداقل میزان مصرف انرژی با کمک شبیه‌سازی و در قالب مطالعات موردی بوده است [۳۱]. آن‌ها در سال ۲۰۱۲ به بررسی آثار زیست‌محیطی به‌کارگیری کنترل هوشمند ساختمان پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان‌دهنده کاهش ۱۱ درصدی آثار زیست محیطی بود [۳۲]. در سال ۲۰۱۶ شیخ[5] و همکاران به ارزیابی سیستم‌های کنترل و مدیریت چندهدفه[6] برای ساختمآن‌های هوشمند با هدف مصرف انرژی بهینه پرداختند. آن‌ها سیستم کنترل چند منظوره در ترکیب با بهینه‌سازی هوشمند را توسعه دادند و با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک چندهدفه و الگوریتم ژنتیک چندهدفه ترکیبی یک مدل شبیه سازی شده مدیریت و کنترل موثر میزان مصرف انرژی و همچنین سطح آسایش کاربران ارائه کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان‌دهنده بهبود ٪۸,۱ سطح رضایت کاربران بود [۳۳]. در سال ۲۰۱۷ اسلام[7] و همکاران چگونگی مدیریت کارآمد انرژی در ساختمآن‌های هوشمند با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی با در نظر گرفتن الگوهای قیمت‌گذاری را بررسی نمودند. آن‌ها به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک را پیشنهاد نمودند که ضمن در نظر گرفتن الگوهای هزینه، با ادغام یک سیستم ذخیره‌سازی انرژی، سعی در بهینه‌سازی هزینه تمام شده مصرف انرژی می‌نماید [۳۴].

با توجه به قابلیت‌های به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند ساختمان نظیر کاهش مصرف انرژی و آلاینده‌های منتشر شده و همچنین افزایش میزان سطح رفاه ساکنین در عین کاهش میزان مصرف انرژی نیاز به ارزیابی دقیق آثار اقتصادی و زیست‌محیطی به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند ساختمان از جمله ابزار های مدیریت هوشمند سیستم های سرمایشی و گرمایشی در کشور ایران نیز بیش از پیش احساس می‌گردد. در این راستا ارزیابی میزان تاثیرات به‌کارگیری این ابزار ها بر میزان هزینه مصرف انرژی و همچنین ارزیابی قابلیت به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند سیستم های سرمایشی و گرمایشی می تواند در جهت گسترش به‌کارگیری این

1 Moon
2 Delaney
3 Lu
4 Wang
5 Shaikh
6 Multi-Objective control
7 Aslam

فناوری ها تاثیرات قابل ملاحظه داشته باشد.

در نهایت می توان نتایج پژوهش‌های انجام شده در سال های اخیر در حوزه به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند ساختمان را در قالب جدول ۱ بیان نمود.

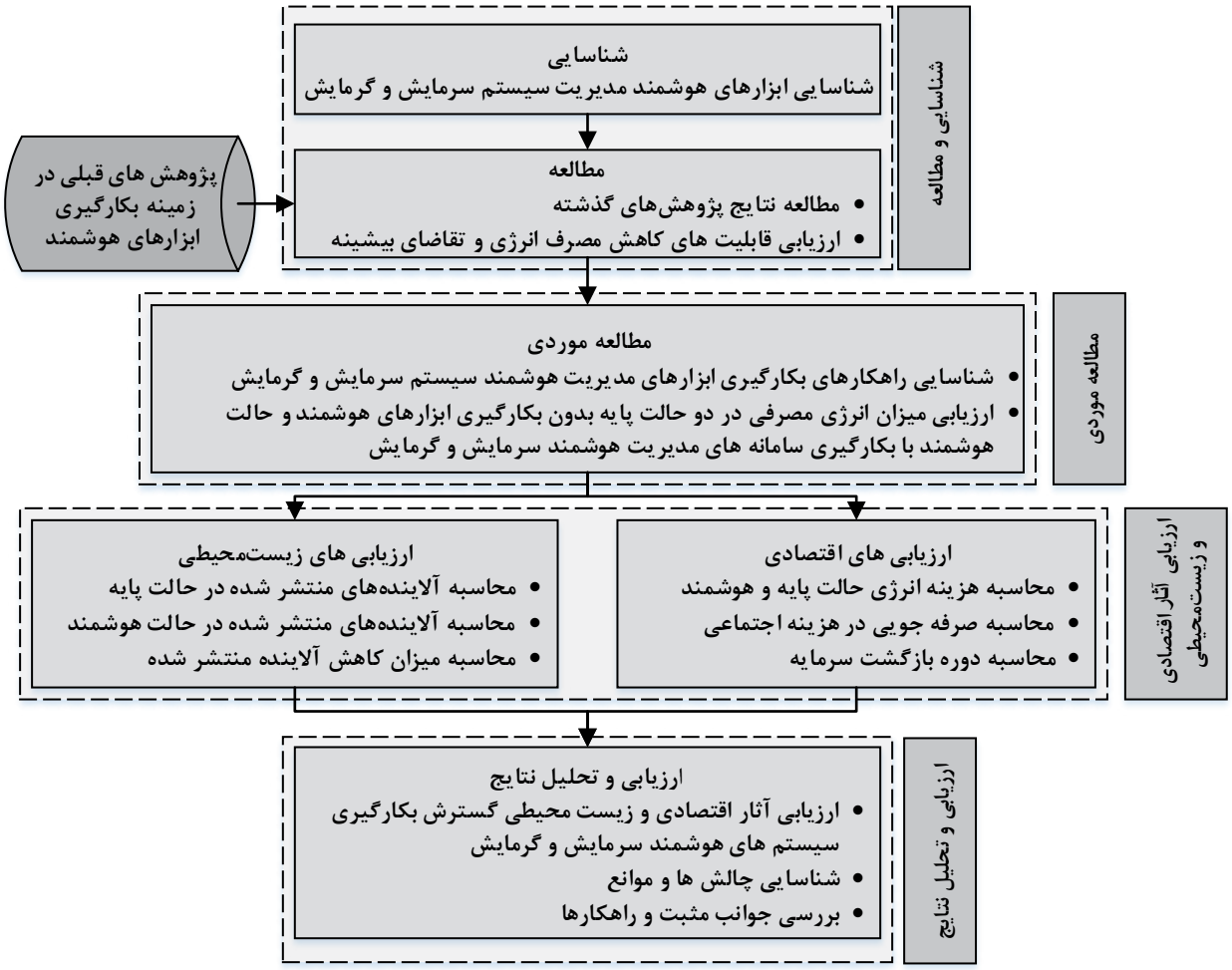
۳- روش‌شناسی پژوهش

با توجه به نیاز کشور ایران به کاهش میزان مصرف انرژی و حرکت به سوی توسعه پایدار با توجه به اطلاعات ارائه شده در قسمت‌های قبل، در پژوهش حاضر سعی بر بررسی آثار اقتصادی و زیست‌محیطی

جدول ۱. پژوهش‌های انجام شده در زمینه مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی

Table 1. Conducted research on energy management and optimization

کشور	نوع ساختمان	اهداف	نتایج	مراجع
آمریکا	تمامی ساختمان‌ها	بهینه‌سازی هوشمند انرژی بدون کاهش سطح رفاه	کاهش ۹٪ مصرف انرژی	[۳۱]
آمریکا	اداری	به‌کارگیری سیستم کنترل چند منظوره به جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی	کاهش ۱۱٪ مصرف انرژی	[۳۲]
آمریکا	تمامی ساختمان‌ها	شناسایی راه حل‌های تجاری برای مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی	کاهش ۳۷٪ مصرف انرژی	[۳۵]
ایرلند	اداری	ارزیابی تاثیرات به‌کارگیری سنسورها در میزان مصرف انرژی سیستم روشنایی	کاهش ۵۸٪ مصرف انرژی	[۲۹]
آمریکا	اداری	کاهش میزان مصرف انرژی سیستم‌های تهویه هوشمند به همراه ثبات معیارهای آسایش	کاهش ۲۰٪ مصرف انرژی	[۳۶]
مالزی	مسکونی	بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان با به‌کارگیری الگوریتم‌های بهینه‌سازی	کاهش ۳۱ ٪ مصرف انرژی	[۳۳]
هلند	اداری	ارائه یک سیستم نظارت و کنترل محیط اداری	کاهش ۱۰٪ مصرف انرژی	[۳۷]
هند	مسکونی	کمینه کردن مصرف انرژی در طول زمآن‌های اوج مصرف	کاهش ۲۱٪ مصرف بیشینه	[۳۸]
کانادا	ساختمان مسکونی	کمینه کردن میزان تقاضای زمان‌های اوج مصرف	کاهش ۲۵ تا ۴۰٪ مصرف بیشینه	[۳۹]
کانادا	ساختمان مسکونی	بررسی تاثیرات اعمال تغییرات قیمت بر مبنا مدل تصمیم گیری مارکوف	کاهش ۱۳٪ مصرف بیشینه	[۴۰]
ایتالیا	مسکونی	به‌کارگیری مدیریت آنلاین تقاضا به جهت تغییرات پیشبینی نشده تقاضا	کاهش تقاضای بیشینه	[۴۱]
هلند	مسکونی	ارزیابی تاثیرات به‌کارگیری ابزارهای هوشمند مدیریت مصرف انرژی	کاهش ۳۰٪ تقاضای بیشینه	[۱۳]
کانادا	مسکونی	کاهش میزان تقاضای بیشینه سیستم‌های گرمایشی ساختمان‌های مسکونی	کاهش ۵۲٪ تقاضای بیشینه	[۴۲]
کره	مسکونی	کمینه سازی تقاضا در زمان‌های اوج مصرف سیستم‌های سرمایشی	کاهش ۳۰٪ تقاضای بیشینه	[۴۳]
انگلستان	تجاری و مسکونی	کاهش میزان مصرف بیشینه	کاهش ۱۷٪ تقاضای بیشینه	[۴۴]

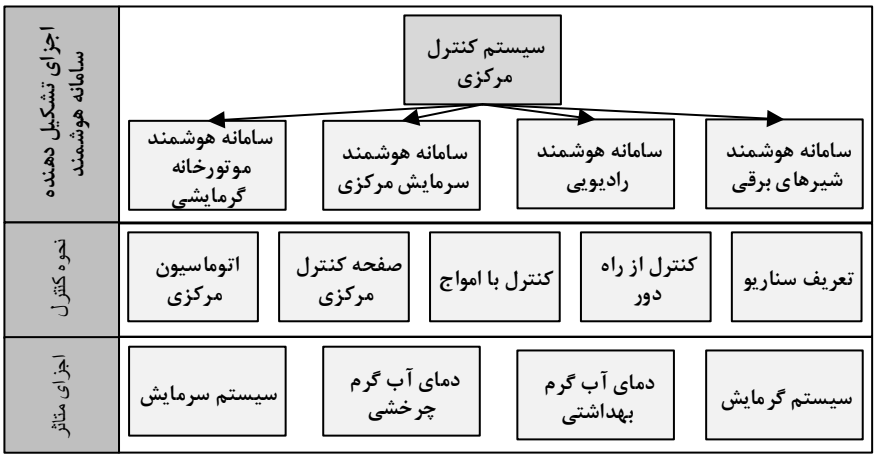


شکل ۱. روندنمای روش پژوهش

Fig. 1. Research framework

ناشی از به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند انرژی شده‌است. مراحل پژوهش حاضر در قالب مراحل نشان داده شده در شکل ۱ ارائه شده‌اند.

با توجه به شکل ۱ در گام نخست با شناسایی و مطالعه، تجهیزات مدیریت هوشمند سیستم‌های سرمایش و گرمایش شناسایی و ارائه می گردند. علاوه‌بر آن با بررسی پژوهش های انجام شده در داخل ایران در این حوزه خلاصه نتایج این پژوهش ها بررسی می گردد. سپس در قالب مطالعه موردی ضمن به‌کارگیری سیستم های مدیریت هوشمند انرژی ساختمان، راهکارهای اجرایی اتخاذ شده به جهت کاهش میزان انرژی مصرفی شناسایی و دسته‌بندی می‌گردند. علاوه‌بر آن با بررسی منحنی‌های عملکرد تجهیزات گرمایشی موتورخانه، تاثیرات به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند مصرف انرژی ساختمان بر کاهش میزان مصرف نهایی و مصرف در زمآن‌های بیشینه ارزیابی می‌گردد. با محاسبه میزان انرژی مصرفی سالیانه در دو حالت پایه و حالت هوشمند، میزان کاهش مصرف انرژی محاسبه می‌گردد تا در گام بعد ضمن شناسایی میزان آلاینده‌های منتشر شده به ازای هر واحد انرژی مصرفی، آثار زیست‌محیطی ناشی از به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند مصرف انرژی شناسایی می‌شود. همچنین با توجه به نتایج به‌دست آمده ضمن محاسبه هزینه های اجتماعی ناشی از انتشار آلاینده های زیست محیطی، دوره بازگشت سرمایه با توجه به هزینه های ناشی از کاهش مصرف انرژی بر مبنای قیمت تمام شده و همچنین هزینه های اجتماعی ناشی از انتشار آلاینده‌ی محاسبه شده و دوره بازگشت سرمایه محاسبه شده با پژوهش های گذشته مقایسه و ارزیابی گردد. در نهایت، نتایج به‌دست آمده از مراحل قبل، با توجه به نیازهای روز کشور در زمینه مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی، چالش‌ها، موانع، و همچنین جوانب مثبت و راهکارهای



شکل ۲. نمونه‌ای از ابزارهای هوشمند به‌کارگرفته شده در پژوهش حاضر

Fig. 2. Example of the smart tools used in the present study

گسترش به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند انرژی ساختمان در داخل کشور نیز مورد ارزیابی و تحلیل قرار می‌گیرد.

۴- شناسایی و مطالعه

با توجه به افزایش سالانه‌ی تقاضای انرژی، برخی پژوهشگران بر این باورند که تا سال ۲۰۳۰ میزان سهم بخش ساختمان از مصرف انرژی به ۵۵ درصد خواهد رسید [۴۵]. مطابق با روند جهانی شکل گرفته در سال‌های اخیر در کشور ایران نیز بر میزان تقاضای انرژی بخش ساختمان افزوده شده‌است [۴۶]. با توجه به هزینه‌های بالای ایجاد زیرساخت به جهت تولید انرژی بیشتر و همچنین کندتر شدن روند سرمایه‌گذاری در این زمینه، به‌کارگیری فناوری‌ها و استراتژی‌های مدیریت و کاهش مصرف انرژی راه حل مناسبی به جهت مقابله با چالش کمبود انرژی خواهد بود. فناوری‌های هوشمند با توجه به قابلیت‌های ویژه خود در جهت نظارت، کنترل، و همچنین مدیریت مصرف انرژی قابلیت‌های فراوانی را در جهت کنترل و کاهش میزان تقاضا ایجاد نموده‌اند. در همین جهت ابتدا ابزارهای مدیریت هوشمند مصرف انرژی ساختمان شناسایی و دسته‌بندی می‌شوند و در گام بعد پژوهش‌های مرتبط با به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند ساختمان و همچنین نتایج حاصل شده ارزیابی می‌گردد.

شناسایی ابزارهای مدیریت هوشمند سیستم های سرمایش و گرمایش

در سال‌های اخیر تعریف‌های متنوعی از یک ساختمان هوشمند مطرح شده‌است که به‌طور کلی می‌توان آن‌ها را در قالب تعریف مقابل خلاصه نمود: «ساختمان هوشمند»، ساختمانی است که از فرایندهای خودکار برای کنترل عملیات‌های ساختمان از قبیل سرمایش، گرمایش، تهویه، تهویه مطبوع، روشنایی، امنیت، و دیگرسیستم‌ها به جهت افزایش سطح اطمینان و رفاه ساکنین، افزایش کارآیی، استفاده هرچه بهتر از منابع انرژی، و بهینه‌سازی فضاها در راستای به حداقل رساندن آثار زیست‌محیطی و اقتصادی با حفظ سطح رفاه ساکنین استفاده نماید [۴۷]. اجزای تشکیل دهنده یک ساختمان با سامانه های مدیریت هوشمند سیستم های سرمایش و گرمایش از اجزای مختلفی تشکیل شده‌است، در شکل ۲ این تجهیزات همراه با زمینه‌های کاربرد و همچنین روش‌های کنترل آن‌ها مشخص شده‌اند.

با توجه به موارد مطرح شده در شکل ۲، در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی، با به‌کارگیری ابزارهایی نظیر سامانه های هوشمند سرمایش مرکزی و همچنین ایجاد ارتباط میان این سنسورها و سیستم‌های مصرف‌کننده انرژی از طریق ایجاد سیستم کنترل هوشمند، سعی در کاهش اتلاف‌های انرژی شده‌است که منجر به کاهش میزان مصرف انرژی ساختمان بدون کاهش در میزان سطح رفاه ساکنان می‌گردد. علاوه‌بر آن با به‌کارگیری سیستم‌های هوشمند زمان‌بندی مرکزی، قابلیت ایجاد مدیریت پاسخ به تقاضا در سیستم ایجاد می‌گردد که در این حالت با استفاده از سیستم زمانبندی هوشمند ، قابلیت انتقال برخی مصارف زمان بیشینه مصرف، به زمان کمینه مصرف و یا تنظیم مصرف تجهیزات پرمصرف انرژی بر روی حالت کمینه مصرف در طول زمان‌های اوج مصرف ایجاد می‌گردد. این کار ضمن کاهش میزان مصرف بیشینه، موجب کاهش میزان هزینه مصرف انرژی با توجه به

اختلاف نرخ مصرف انرژی در زمآن‌های بیشینه مصرف و زمآن‌های کمینه مصرف خواهد شد.

مطالعه نتایج پژوهش‌های گذشته در ایران

در ایران نیز در مورد بررسی تاثیرات به‌کارگیری ابزارهای هوشمند مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی، پژوهش‌هایی انجام شده‌است. از جمله آن‌ها می‌توان به بررسی تاثیرات به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند انرژی در میزان مصرف انرژی تجهیزات سرمایشی و گرمایشی [۴۸-۵۱] اشاره نمود. برخی از این پژوهش ها به بررسی فواید، تاثیرات، و همچنین چگونگی دسترسی و کنترل امکانات در ساختمان هوشمند پرداخته اند [۵۰]. همچنین برخی از آن‌ها به بررسی لایه های مختلف سیستم های مدیریت هوشمند ساختمان پرداخته اند و تجهیزاتی که قابلیت کنترل توسط سیستم های هوشمند را دارند در لایه های مختلف دسته بندی نموده اند [۴۸]. علاوه‌بر آن در برخی از مطالعات حوزه‌های تاثیرپذیر از به‌کارگیری سیستم های مدیریت هوشمند ساختمان دسته بندی شده است که در آن تاسیسات مکانیکی با قابلیت بهبود عملکرد تا سقف ۲۵ درصد بیشترین تاثیرپذیری را به خود اختصاص داده است که خود نشان‌دهنده قابلیت قابل توجه سامانه های مدیریت هوشمند سیستم های سرمایش و گرمایش در کاهش میزان مصرف انرژی ساختمان در طول دوره بهره برداری است [۴۹]. در همین راستا برخی پژوهش ها به بررسی تاثیرات به‌کارگیری سامانه های هوشمند در بخش موتورخانه میزان مصرف گاز در ساختمان را به میزان ٪۲۲/۵ کاهش دادند [۵۱].

علاوه‌بر مطالب بیان شده، پژوهش‌هایی در خصوص میزان گسترش به‌کارگیری ابزارهای هوشمند در سال‌های اخیر و همچنین پیشبینی میزان گسترش آن در سال‌های آتی انجام شده‌است [۵۲]. جمع بندی نتایج حاصل از این پژوهش‌ها نشان‌دهنده گسترش به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند انرژی ساختمان است. به‌طور کلی می‌توان عوامل موثر در به‌کارگیری تجهیزات مدیریت هوشمند مصرف انرژی ساختمان را در قالب مواردی نظیر میزان هوشمندسازی ساختمان در سال‌های گذشته، میزان بافت فرسوده در سطح شهر، برخورداری خانوارها از تسهیلات و امکانات، و روند سالخوردگی سن افراد دسته‌بندی نمود [۵۳]. با توجه به پژوهش‌های اخیر، می‌توان پیش‌بینی نمود که به‌طور متوسط تا سال ۲۰۲۰ میزان به‌کارگیری ابزارهای هوشمند مدیریت مصرف انرژی ساختمان به میزان ٪۱۷ خواهد بود [۵۳و ۵۴]

۵- مطالعه‌ی موردی

در پژوهش حاضر به جهت ارزیابی میزان آثار اقتصادی و زیست‌محیطی به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند سیستم های سرمایش و گرمایش ساختمان، یک ساختمان اداری دو طبقه با مساحت زیربنای حدود ۶۷۰۰ متر مربع در شهر تهران مورد مطالعه قرار گرفت. مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمآن‌های اداری در مقایسه با ساختمآن‌های مسکونی به دلیل وجود چالش‌های مختلف از اهمیت بیشتری برخوردار است.

راهکارهای هوشمند به‌کارگرفته شده در این ساختمان به جهت کاهش میزان مصرف انرژی سالیانه به شرح زیر است:

- نصب و به‌کارگیری سامانه کنترل هوشمند سیستم گرمایشی موتورخانه مرکزی (سیستم گرمایشی از نوع آبگرم بوده است و شامل کنترل هوشمند مشعل دیگ‌ها، پمپ‌های آبگرم چرخشی ساختمان و پمپ‌های آبگرم بهداشتی).
- نصب و به‌کارگیری سامانه کنترل هوشمند سیستم سرمایشی موتورخانه مرکزی (شامل کنترل هوشمند عملکرد چیلرهای تراکمی، پمپ‌های ساختمان، پمپ‌های برج خنک کن و فن برج خنک کن).
- نصب و به‌کارگیری سیستم هوشمند کنترل فن‌کوئل‌های ساختمان (ساختمان شامل ۱۲۷ فن‌کوئل بوده و کنترل فن‌کوئل‌ها از نظر دمایی و زمان کارکرد صورت می پذیرد).
- جداسازی فضاهایی که به صورت دائم استفاده می‌شوند از فضاهایی که تنها در ساعات خاصی کاربرد دارند و تجهیز این فضاها به سیستم‌های سرمایش و گرمایش مجزا.

علاوه‌بر قابلیت بالای ساختمآن‌های اداری در بهبود عملکرد اقتصادی و زیست محیطی با به‌کارگیری سیستم های مدیریت هوشمند گرمایش و سرمایش و همچنین با توجه به این که در کشورهای اروپایی نیز که در این زمینه پیشرو هستند گسترش به‌کارگیری سامانه های هوشمند در دو مرحله انجام شده و به‌کارگیری این سامانه ها در ساختمآن‌های اداری و غیر مسکونی به عنوان گام

شکل ۳. نمونه تجهیزات مدیریت هوشمند مدیریت سیستم‌های سرمایش و گرمایش ساختمان در مطالعه موردی

Fig. 3. Samples of smart heating and cooling management equipment in the case study

اول شناخته شده‌است [۷]، در نتیجه در این پژوهش نیز سعی شد تا بر روی ساختمانی با کاربری اداری تمرکز گردد و مطالعه کاربری های دیگر می تواند به عنوان مطالعات آتی شناخته شود.

همچنین ابزارهای به‌کارگرفته‌شده در پژوهش حاضر شامل مواردی نظیر سامانه کنترل هوشمند سرمایش و گرمایش، کنترل هوشمند موتورخانه، کنترل رادیویی فن‌کوئل‌ها، شیر برقی، کنترل هوشمند هواساز، و همچنین کنترل هوشمند چیلر تراکمی است که برخی از آن‌ها مطابق شکل ۳ ارائه شده‌است.

مطابق با شکل ۳، سامانه مربوط به کنترل هوشمند موتورخانه گرمایشی که با شماره ۱ مشخص شده‌است امکان کنترل خودکار سیستم گرمایشی مرکزی ساختمان (اعم از دیگ‌ها، پمپ‌ها و دمای آبگرم بهداشتی ارسالی به ساختمان) را فراهم می‌سازد. به کمک این سامانه، کارکرد مشعل‌ها و پمپ‌ها، متناسب با تغییرات دمای هوای بیرون کنترل می‌شود تا به این وسیله شرایط آسایش حرارتی در داخل ساختمان تامین شود. این سامانه از یک میکروکنترلر و چند سنسور تشکیل شده‌است. به کمک سنسور دمای هوای بیرون، دمای ساعات مختلف روز دریافت و برای اعمال فرمان توسط دستگاه کنترلی ثبت می‌شود. همچنین سنسورهایی در مسیر آبگرم ارسالی به شوفاژ و یا فن‌کوئل‌ها قرار می‌گیرند که متناسب با فرمان دستگاه و نیاز ساختمان آبگرم ارسالی به پایانه‌های حرارتی را کنترل نماید.

سامانه مربوط به کنترل هوشمند سیستم سرمایش مرکزی که با شماره ۲ مشخص شده‌است امکان کنترل خودکار تجهیزات سیستم سرمایشی مرکزی ساختمان اعم از چیلرهای تراکمی، پمپ‌ها و برج‌های خنک کن را فراهم می‌سازد. به کمک سامانه‌های کنترل هوشمند سیستم سرمایش مرکزی، کارکرد کمپرسور چیلرها، پمپ‌های چیلدواتر و فن برج‌های خنک کن متناسب با تغییرات دمای هوای بیرون کنترل می‌شود تا به این وسیله شرایط آسایش حرارتی در داخل ساختمان تامین شود. علاوه‌بر آن به‌کارگیری این سامانه قابلیت تنظیم ساعات کاری سیستم سرمایشی را ایجاد می کند.

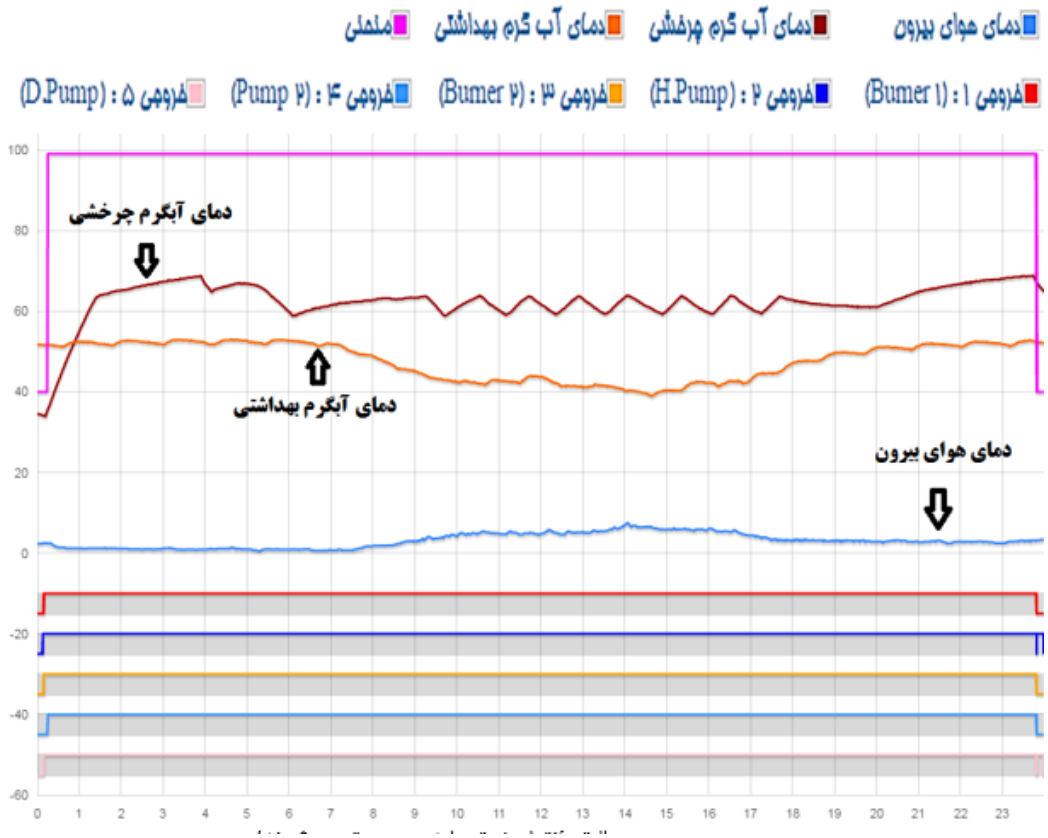
سامانه مربوط به کنترل هوشمند رادیویی که در شکل ۳ با شماره ۳ مشخص شده‌است متشکل از ۲ جزء فرستنده مرکزی که داخل ساختمان نصب می گردند و گیرنده‌های متعدد بوده که امکان کنترل

روشنی یا خاموشی ۵۰۰ نقطه (فن‌کوئل یا کولر گازی) را بنا بر دمای مورد نظر یا تنظیمات مورد نیاز فراهم می سازد. گیرنده‌ها با توجه به اینکه کاملاً مستقل از هر زیرساختی، قابل خاموش و روشن شدن بوده و با توجه به توان مصرف کننده‌های مختلف در ساختمان در دو نوع از نظر توان راه اندازی شده و به بهره برداری رسیده اند.

سامانه شیر های برقی که در شکل ۳ با شماره ۴ نشان داده شده‌است به جهت تنظیم دمای آبگرم شوفاژ های موجود در ساختمان استفاده شده‌است و علاوه‌بر تنظیم دمای آب گرم زمان مورد نیاز برای دستیابی به این دما را کاهش می دهد.

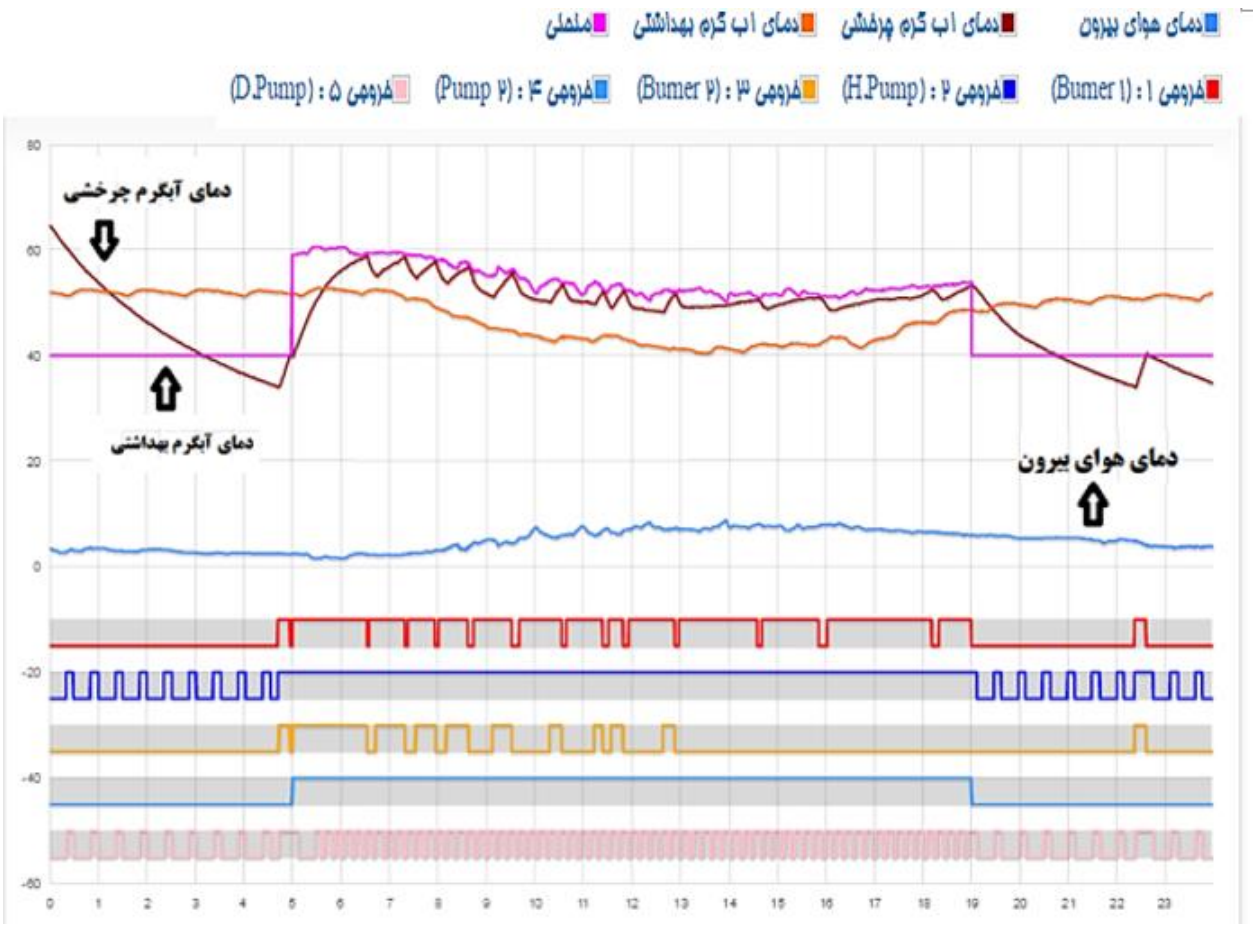
به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند ساختمان علاوه‌بر کاهش میزان انرژی مصرفی باعث کاهش میزان مصرف انرژی حالت‌های بیشینه می‌گردد. عامل اصلی کاهش میزان مصرف انرژی تغییر الگوی مصرف با استفاده از سنسورهای هوشمند جهت حذف اتلاف‌های انرژی است. به جهت مقایسه تاثیرات به‌کارگیری تجهیزات مدیریت هوشمند مصرف انرژی ساختمان بر میزان تقاضای انرژی روزانه، نمودار عملکرد دمایی یک روز از سیستم گرمایشی ساختمان در دو حالت پایه و هوشمند مطابق شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده‌است.

با توجه به شکل‌های ۴و ۵ به‌کارگیری سامانه های مدیریت سیستم های سرمایش و گرمایش در درجه نخست باعث کاهش میزان زمان در حال انجام کار پمپ های ساختمان شده‌است. این موضوع از مقایسه منحنی های عملکردی پمپ ها در شکل های ۴ و ۵ به صورت محسوس قابل مشاهده است به نحوی که در حالت عدم به‌کارگیری سیستم های هوشمند سرمایش و گرمایش (شکل ۴) پمپ های مربوط به سامانه های مختلف به صورت دائم مشغول به کار هستند اما در حالت به‌کارگیری سامانه های مدیریت هوشمند تجهیزات سرمایشی و گرمایشی (شکل ۵) نحوه عملکرد پمپ ها تغییرات قابل توجهی داشته و در زمان های عدم نیاز، فعالیت آن‌ها قطع شده‌است. علاوه‌بر آن، با توجه به نمودارهای مربوط به دمای آبگرم ها در حالت به‌کارگیری تجهیزات هوشمند (شکل ۵) دمای آبگرم و بر اساس دمای هوای بیرون تنظیم شده‌است به نحوی که



شکل ۴. نمودار عملکرد دمایی در حالت پایه

Fig. 4. Temperature performance diagram in base mode



شکل ۵. نمودار عملکرد دمایی در حالت هوشمند

Fig. 5. Temprature performance diagram in smart mode

دمای آب گرم چرخشی در زمان‌هایی که دمای هوا افزایش یافته به صورت کنترل خودکار کاهش یافته است. علاوه‌بر آن در حالت هوشمند دمای آب گرم بهداشتی در زمان های عدم بهره برداری از ساختمان کاهش یافته که این امر خود باعث کاهش زمان در حال کار موتور خانه و کاهش میزان مصرف انرژی و انشار آلاینده می گردد.

به‌کارگیری سیستم مدیریت هوشمند مصرف انرژی، ضمن کاهش میزان مصرف انرژی از طریق کاهش زمان‌های فعالیت تجهیزات گرمایشی باعث کاهش میزان مصرف بیشینه انرژی می‌گردد. در این راستا در ساختمان هوشمند با به‌کارگیری سنسورهای هوشمند کنترل دمای محیط بیرون ساختمان و تنظیم عملکرد روزانه موتورخانه بر اساس نتایج سنسورهای کنترل دمایی و همچنین قابلیت ایجاد برنامه زمانی از پیش تعیین شده برای سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی قابلیت کاهش اتلاف‌های انرژی در ساختمان ایجاد می‌گردد. در نهایت با به‌کارگیری سیستم مدیریت هوشمند مصرف انرژی ساختمان میزان مصرف سالیانه انرژی در مقایسه با حالت پایه (بدون به‌کارگیری سیستم مدیریت هوشمند مصرف انرژی ساختمان) در عین حفظ میزان سطح رفاه کاربران کاهش می‌یابد.

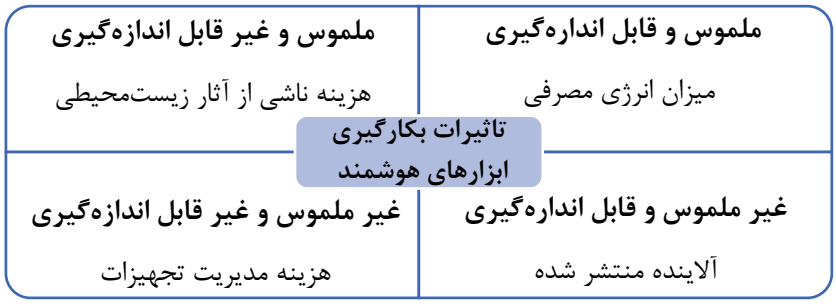
میزان مصارف انرژی در حالت پایه (بدون به‌کارگیری تجهیزات مدیریت هوشمند مصرف انرژی ساختمان) و حالت هوشمند در جدول ۲ ارائه شده‌است.

مطابق جدول ۲ میزان مصرف سالیانه گاز کاهش قابل توجهی داشته اما میزان برق مصرفی ساختمان با توجه به سهم ۷۰ درصدی بار پایه از میزان کل برق مصرفی بهبود کمتری را در مقایسه با میزان صرفه‌جویی در میزان گاز مصرفی از خود نشان داده است. علاوه‌بر موارد ارائه شده در جدول ۲، میزان صرفه‌جویی در میزان آب مصرفی برج‌های خنک کننده در دوره سه ماهه به‌کارگیری سیستم‌های سرمایشی برابر با ۱۲/۱٪ بوده‌است. که علت این امر نیز کاهش زمآن‌های مصرف سیستم سرمایشی در دوره بهره‌برداری است.

جدول ۲. میزان مصرف سالیانه آب و انرژی در حالت‌های پایه و هوشمند

Table 2. Annual water and energy consumption in base and smart modes

شرح	مصرف حالت پایه	مصرف حالت هوشمند	درصد صرفه جویی
گاز (متر مکعب)	۱۴۰۰۴۰	۹۴۸۹۴	۳۲/۲٪
برق (کیلووات ساعت)	۶۶۰۰۶۷	۶۲۶۶۵۶	۵/۱٪
آب (متر مکعب)	۳۵۷۲	۳۱۳۹	۱۲/۱٪



شکل ۶. دسته‌بندی آثار به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند انرژی ساختمان

Fig. 6. Categorizing the effects of using smart building energy management tools

همچنین لازم به ذکر است که میزان مقادیر مصرفی ارائه شده برابر با مقدار واقعی مصرف در ساختمان مذکور و بر اساس جمع میزان مصرف دوره‌های مختلف از طریق قرائت کونتور های برق، گار، و آب و همچنین قبوض صادر شده به‌دست آمده است. همچنین میزان مصرف آب با توجه به این که در پژوهش حاضر تمرکز بر ارزیابی تاثیرات به‌کارگیری سامانه های هوشمند سرمایش و گرمایش است تنها به طول دوره مصرف سه ماهه گرم سال که عمده مصرف آب مربوط به سیستم سرمایش بوده، معطوف شده‌است تا نشان دهنده آثار ناشی از به‌کارگیری سامانه های هوشمند سرمایش مرکزی بر روی میزان آب مصرفی باشد و از در نظر گرفتن سایر ماهها صرف نظر شده‌است.

۶- ارزیابی آثار اقتصادی و زیست‌محیطی

در این مرحله با توجه به میانگین کاهش مصرف انرژی با به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند ساختمان، آثار اقتصادی و زیست‌محیطی به‌کارگیری این ابزارها ارزیابی می‌شود. به‌کارگیری ابزارهای هوشمند با توجه به کاهش میزان مصرف انرژی تاثیرات مستقیم و غیرمستقیم بر روی میزان هزینه‌های ناشی از انرژی در طول دوره بهره‌برداری خواهد داشت. به‌طور کلی می توان آثار به‌کارگیری تجهیزات هوشمند را در قالب ۴ گروه مطابق شکل ۳ دسته‌بندی نمود.

با توجه به شکل ۶، به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند ساختمان علاوه‌بر آثار قابل اندازه‌گیری نظیر میزان انرژی مصرفی و همچنین میزان آلاینده منتشر شده، دارای آثار غیر قابل اندازه‌گیری نظیر میزان هزینه انتشار کربن[1] و همچنین تاثیر در میزان هزینه دوره نگهداری تاسیسات سرمایشی، گرمایشی اشاره کرد. در سال‌های اخیر، بیشتر توجه بر روی آثار قابل انداره گیری بوده‌است [۵۵] و کمتر به ایجاد چارچوبی جهت ارزیابی آثار غیر قابل انداره‌گیری مصرف انرژی توجه شده‌است. در نتیجه در نظر گرفتن آثار غیر ملموس مصرف انرژی نظیر هزینه های اجتماعی انتشار آلاینده های زیست محیطی و همچنین در نظر گرفتن هزینه تمام شده تامین انرژی به جای هزینه پرداخت شده توسط مصرف کننده که سهم قابل توجه آن از طریق یارانه های دولتی پرداخت می شود باعث ایجاد یک دیدگاه واقع بینانه تر در خصوص آثار اقتصادی به‌کارگیری این تجهیزات خواهد شد. با توجه به نتایج حاصل شده از جدول ۲ و همچنین میزان هزینه تمام شده تولید هر واحد انرژی، آثار اقتصادی به‌کارگیری تجهیزات

1 Carbon Cost Effect

جدول ۳. آثار اقتصادی به‌کارگیری فناوری‌های هوشمند

Table 3. The economic effects of using smart technologies

شرح	هزینه حالت پایه (میلیون ریال)	هزینه حالت هوشمند (میلیون ریال)	درصد کاهش
گاز	۴۹۰	۳۳۲	۳۲٪
برق	۶۶۰	۶۲۷	۵٪
مجموع	۱۱۵۰	۹۵۹	۱۷٪

جدول ۴. میزان انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی ناشی از نیروگاه‌های حرارتی در سال ۱۳۹۶ (تن) [۵۶]

Table 4. Environmental pollutant emission from thermal power plants in 2017 (ton)

نوع سوخت	میزان سوخت*	NO_X	SO_X	CO_2	CO	CH	SPM
نفت کوره	۳۶۵۷۰۰۰	۱۸۲۸۵	۱۷۴۲۶۳/۴	۱۰۸۹۰۵۴۶	۱۳/۵	۱۴۶۲/۸	۳۶۵۷
گازوئیل	۴۶۴۱۴۱۹	۲۴۱۳۵/۴	۷۳۹۸۴/۲	۱۲۲۹۰۴۷۸	۱۸/۶	۱۴۸۰/۶	۴۶۲۲/۹
گاز	۶۶۰۵۷۶۸۲	۲۰۶۱۰۰	۳۹۶/۳	۱۴۰۹۰۱۰۳۶	۳۳۰/۳	۳۸۹۷/۴	۱۵۸۵۳/۸
مجموع	۷۴۳۵۶۱۰۱	۲۴۸۵۲۰/۴	۲۴۸۶۴۳/۹	۱۶۴۰۸۲۰۶۰	۳۶۲/۴	۶۸۴۰/۸	۲۴۱۳۳/۷

*میزان مصرف سوخت برای نفت کوره و گازوئیل بر حسب هزار لیتر و برای گاز بر حسب هزار متر مکعب است.

مدیریت هوشمند مصرف انرژی ساختمان شناسایی می‌گردد (جدول ۳).

بر اساس جدول ۳ میزان صرفه‌جویی اقتصادی سالیانه به‌کارگیری ابزارهای مدیریت انرژی ساختمان برابر با ۱۷ درصد بوده که خود در صورت خروج قیمت انرژی از حالت تکلیفی می‌تواند آثار قابل توجهی داشته باشد.

بر اساس آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه مدیریت راهبردی، تنها ۱۸/۲٪ ظرفیت نیروگاه‌های تولید برق ایران از نوع برق آبی، اتمی، و یا تجدید پذیر هستند و مابقی نیروگاه‌ها از نوع بخاری، گازی، دیزلی و سوخت ترکیبی هستند و از میان نیروگاه‌های فعال با منابع انرژی تجدیدناپذیر ۷۹٪ با استفاده از گاز و ۱۴٪ با استفاده از نفت به عنوان سوخت مصرفی فعالیت می‌کنند [۵۶]. جدول ۴ میزان آلاینده‌های منتشر شده در سال ۱۳۹۶ را بر اساس میزان سوخت مصرفی در نیروگاه‌های کشور نشان می‌دهد [۵۶].

با توجه به مطالب ارائه شده در جدول ۴ می‌توان نتیجه‌گیری نمود که کاهش میزان مصرف انرژی در کشور منجر به ایجاد آثار زیست‌محیطی متنوع خواهد شد. در نتیجه پیش از محاسبه آثار

جدول ۵. میزان آلاینده منتشر شده به ازای تولید هر کیلووات ساعت انرژی (گرم برکیلووات) [۵۶]

Table 5. Pollutant emission per Kilowatt hour of the produced energy (gr/KWh)

NO_X	SO_X	CO_2	CO	CH	SPM
۰/۹۰۶	۰/۹۰۶	۵۹۸/۳	۰/۰۰۱	۰/۰۲۴	۰/۰۸۸

زیست محیطی ناشی از به‌کارگیری تجهیزات مدیریت هوشمند سیستم‌های سرمایش و گرمایش نیاز است تا میزان آلاینده منتشر شده به ازای هر واحد انرژی مصرف شده با توجه به پژوهش‌های انجام شده در سال‌های اخیر میزان متوسط آلاینده‌های منتشر شده بر حسب کیلووات ساعت انرژی تولید شده مشخص شده‌است که مطابق جدول ۵ است [۵۶].

همچنین میزان آلاینده منتشر شده به ازای هر متر مکعب گاز مصرفی نیز با توجه به یافته‌های پژوهش‌های اخیر مطابق جدول ۶ است [۵۶].

در نتیجه می‌توان آثار زیست‌محیطی ناشی از به‌کارگیری ابزارهای هوشمند در مجموع مطالعه موردی را در قالب جدول ۷ ارائه نمود.

جدول ۶. میزان آلاینده منتشر شده به ازای مصرف هر متر مکعب گاز شهری (گرم بر متر مکعب) [۵۶]
Table 6. Pollutant emission per cubic meter of consumed natural gas (gr/m3)

SPM	CH	CO	CO_2	SO_X	NO_X
۰.۲۹	۰.۱۲	۰.۳۳	۵۶۰.۲	۰.۰۴	۲.۰۵

جدول ۷. میزان آثار زیست‌محیطی به‌کارگیری فناوری‌های هوشمند در کشور ایران (کیلوگرم)
Table 7. Environmental effects of using smart technologies in Iran (kg)

SPM	CH	CO	CO_2	SO_X	NO_X	شرح
۹۹	۳۳	۴۷	۴۷۳۳۶۸	۶۰۳	۸۸۵	آلاینده منتشر شده حالت پایه
۸۳	۲۶	۳۲	۴۲۸۰۸۷	۵۷۱	۷۶۲	آلاینده منتشر شده حالت هوشمند
٪۱۶	٪۲۲	٪۳۲	٪۱۰	٪۶	٪۱۴	درصد بهبود

جدول ۸. هزینه های اجتماعی انتشار گاز های گلخانه ای به ازای واحد انتشار آلاینده (هزار ریال بر تن آلاینده) [۵۷]
Table 8. Social costs of grenhous gas emissions per unit of pollutant emissions (thousand of rials per ton)

SPM	CH	CO	CO_2	SO_X	NO_X	نوع آلاینده
۵۱۶۰۰۰	۲۵۲۰۰	۲۲۵۰۰	۱۲۰۰	۲۱۹۰۰۰	۷۲۰۰۰	هزینه انتشار

با توجه به نتایج حاصل شده در جدول ۷ می‌توان نتیجه‌گیری نمود که به‌کارگیری ابزارهای هوشمند با توجه به قابلیت کاهش مصرف انرژی، منجر به کاهش عمده آثار مخرب زیست‌محیطی ناشی از تولید انرژی می‌گردد. البته لازم به ذکر است که این آثار می تواند با توجه به نوع بهره برداری، موقعیت جغرافیایی ساختمان، عادات رفتاری ساکنین، و همچنین تغییر سیاست های انرژی تغییرات داشته باشد. لذا نتایج مشخص شده در جدول ۷ که به نحوی نتایج تعمیم یافته مطالعه ساختمان اداری در پژوهش حاضر به عنوان مطالعه موردی است صرفا جهت برآوردی کلی با دقت نسبی از آثار به‌کارگیری سیستم‌های مدیریت هوشمند سرمایش و گرمایش در سطح کلان بوده تا بتوان صرفا از تاثیرات احتمالی گسترش به‌کارگیری این تجهیزات دیدی کلان داشت و بیش از در نظر گرفتن آن به عنوان نتایجی دقیق جنبه آشکارسازی قابلیت های به‌کارگیری سیستم های مدیریت هوشمند ساختمان را دارد. در نتیجه از جمله مهم ترین پژوهش های مورد نیاز در حوزه به‌کارگیری فناوری های هوشمند را می توان ارزیابی این آثار در انواع کاربری های مختلف و همچنین در نظر گرفتن سایر سامانه ها و تجهیزات مرتبط با این حوزه دانست.

علاوه‌بر موارد اشاره شده در قسمت های گذشته، از جمله مهم ترین آثار به‌کارگیری سامانه های مدیریت هوشمند تجهیزات مصرف کننده انرژی کاهش هزینه کربن در طول دوره بهره برداری است. همان طور که در شکل ۶ نیز به آن اشاره شده‌است هزینه کربن در گروه هزینه های ملموس ولی غیر قابل اندازه گیری دسته بندی می گردد. علت چالش برانگیز بودن محاسبه هزینه کربن پیچیدگی فرآیند ارزش گذاری بر روی کالا های زیست محیطی به دلیل دشواری محاسبه قیمت واقعی آن‌ها است. مهم ترین روش های محاسبه میزان هزینه کالا های زیست محیطی در حوزه اقتصادی دو روش اولویت اعلام شده[1] و ترجیح آشکار[2] است که البته روش دوم بیشتر مورد توجه قرار گرفته شده‌است. بر اساس برخی از پژوهش های انجام شده در محاسبه میزان هزینه‌های اجتماعی ناشی از انتشار گازهای گلخانه ای میزان هزینه ناشی از انتشار هر کدام از گازهای گلخانه ای محاسبه شده‌است که مطابق جدول ۸ است (هزینه های ارائه شده در جدول ۸ بر اساس قیمت روز ارز تبدیل شده).

1 Stated Preference
2 Revealed Preference

جدول ۹. میزان صرفه جویی در هزینه اجتماعی انتشار آلاینده های زیست محیطی (هزار ریال)
Table 9. Social costs saving of the pollutant emissions (thousand of rials)

نوع آلاینده	NO_X	SO_X	CO_2	CO	CH	SPM	جمع کل
میزان صرفه‌جویی	۸۸۵۶	۷۰۰۸	۵۴۳۳۷	۳۳۸	۱۷۷	۸۲۵۶	۷۸۹۷۲

با توجه به هزینه های اجتماعی انتشار گازهای گلخانه ای ارائه شده در جدول ۸، میزان کل صرفه جویی در هزینه اجتماعی انتشار آلاینده های گلخانه ای برای یک دوره زمانی یک ساله مطابق جدول ۹ است.

با توجه به جدول ۹ میزان صرفه جویی هزینه اجتماعی ناشی از کاهش انتشار آلاینده های زیست محیطی حدود ۸۰ میلیون ریال در سال برآورد شده‌است که با توجه به میزان صرفه جویی اقتصادی ناشی از کاهش میزان مصرف (مطابق جدول ۳ برابر با ۱۹۱ میلیون ریال) میزان کل صرفه جویی در هزینه سالانه بهره برداری ساختمان به ۲۷۱ میلیون ریال رسیده که نشان‌دهنده افزایش ٪۳۰ میزان صرفه جویی اقتصادی ناشی در نظر گرفتن هزینه اجتماعی ناشی از انتشار گازهای گلخانه ای است.

در نهایت پس از ارزیابی آثار اقتصادی ناشی از کاهش میزان مصرف انرژی و همچنین آثار اقتصادی ناشی از کاهش هزینه های اجتماعی ناشی از انتشار آلاینده های زیست محیطی، مناسب خواهد بود تا باتوجه به ارزش زمانی، صرفه جویی های انجام شده در دوره بازگشت سرمایه پروژه ارزیابی گردد. به جهت انجام این کار مطابق رابطه ۱ میزان ارزش زمانی پول محاسبه می گردد. در این محاسبات فرض شده تا میزان صرفه جویی سالانه در سال های مختلف همان مقدار محاسبه شده در سال نخست باشد و در بدبینانه ترین حالت قیمت حامل های انرژی افزایشی نداشته باشد. علاوه‌بر آن نرخ تورم نیز در دو سال مورد ارزیابی (سال های ۹۶ و ۹۷) بر اساس آمار مرکز آمار به ترتیب برابر با ٪۹/۶ و ٪۲۷ در نظر گرفته [۵۸] و برای سال ۹۸ نیز نرخ تورمی برابر با سال ۹۸ فرض شده‌است.

$$NPV = \frac{CF_i}{(1+i)^t} \qquad (۱)$$

در رابطه‌ی ۱، NPV برابر با ارزش زمانی میزان صرفه جویی اقتصادی انجام شده، CF_i برابر با میزان جریان صرفه جویی در هر بازه زمانی، i میزان نرخ تورم سالیانه، و t برابر با گام زمانی است.

در نهایت بر اساس رابطه ۱ میزان ارزش زمانی صرفه جویی های اقتصادی انجام شده برابر است با:

$$NPV = \frac{271,000,000}{(1+0.096)^1} + \frac{271,000,000}{(1+0.27)^2} + \frac{271,000,000}{(1+0.27)^3} \simeq 550,000,000$$

بر اساس نتایج به‌دست آمده می توان دوره‌ی بازگشت سرمایه را بر اساس هزینه پیاده سازی (حدود ۵۳۰ میلیون ریال در سال ۱۳۹۶) سامانه های مدیریت هوشمند سرمایش و گرمایش حدود ۳ سال در نظر گرفت. البته این مقدار بدون در نظر گرفتن میزان تاثیرات به‌کارگیری این تجهیزات بر میزان استهلاک و هزینه تعمیر و نگهداری تجهیزات موتورخانه است که در نظر گرفتن آن می تواند آثار اقتصادی به‌کارگیری این سامانه ها را بهبود بخشد. البته علت وجود تفاوت در میزان تاثیر به‌کارگیری سامانه های هوشند در میزان کاهش هزینه های ناشی از تعمیر و نگهداری به دلیل تفاوت در سن تجهیزات (در ساختمان هایی ساخته شده که به سامانه های مدیریت هوشمند سیستم های سرمایش و گرمایش تجهیز شده) و سایر متغیر های تاثیرگذار از جمله پیاده سازی این سیستم ها بر روی ساختمان های در حال ساخت یا ساخته شده و نوع تجهیزات سرمایشی و گرمایشی دانست.

نکته قابل توجه در نتایج به‌دست آمده کاهش میزان دوره بازگشت سرمایه با در نظر گرفتن میزان هزینه های اجتماعی ناشی از انتشار آلاینده های زیست محیطی است به نحوی که در مقایسه با یکی از پژوهش های اخیر که به تخمین دوره بازگشت به‌کارگیری تجهیزات مختلف مدیریت هوشند ساختمان پرداخته است، دوره بازگشت سرمایه بین ۶ تا ۱۰ سال را برای به‌کارگیری این تجهیزات پیشبینی کرده است [۵۹]. در نتیجه می توان عوامل اثرگذار در توجیه پذیر بودن به‌کارگیری سامانه‌های مدیریت هوشمند سیستم های سرمایش و گرمایش را در موارد زیر خلاصه نمود:

- **به‌کارگیری تجهیزات بومی:** با توجه به وجود نسخه مشابه داخلی تجهیزات مورد نیاز برای هوشمند سازی سیستم های سرمایش

و گرمایش و وجود اختلاف قیمت قابل توجه بین نسخه داخلی و نمونه مشابه خارجی توجه به به‌کارگیری سامانه های تولید داخل می تواند هزینه تمام شده هوشمند سازی را تا حد قابل توجهی کاهش دهد.

• **در نظر گرفتن هزینه های اجتماعی:** با توجه به تاثیرات قابل توجه به‌کارگیری سامانه های مدیریت هوشمند سیستم‌های سرمایش و گرمایش در کاهش میزان آلاینده های زیست محیطی، در نظر گرفتن صرفه‌جویی های اقتصادی صورت گرفته ناشی از کاهش آثار مخرب زیست محیطی (آثار اقتصادی غیر ملموس) می تواند تاثیرات قابل توجهی در توجیه پذیری اقتصادی به‌کارگیری این سامانه ها داشته باشد. از این رو در صورت توجه بیشتر به هزینه های اجتماعی ناشی از به‌کارگیری سامانه های مختلف و در نظر گرفتن توصیه ها و الزامات مربوط به این حوزه در استاندارد ها و آیین نامه های مربوط به حوزه انرژی می تواند تاثیرات قابل توجهی در گسترش به‌کارگیری این سامانه ها داشته باشد.

• **در نظر گرفتن هزینه تمام شده انرژی:** با توجه به این که سهم قابل توجهی از هزینه انرژی از طرف دولت و در قالب یارانه پرداخت می گردد هزینه مصرف انرژی برای مصرف کنندگان به مراتب مقداری کمتر از هزینه واقعی تامین انرژی است. در نتیجه در نظر گرفتن هزینه تمام شده تامین انرژی و اصلاح قانون های مرتبط با قیمت گذاری حامل های انرژی می تواند نقش قابل توجهی در توجیه پذیری به‌کارگیری ابزارهای کاهنده میزان مصرف انرژی نظیر سامانه های مدیریت هوشمند سیستم های سرمایش و گرمایش خواهد داشت. این موضوع اگرچه در نگاه اول موجب افزایش هزینه های ناشی از مصرف انرژی می دهد اما با توجه به کاهش قابل توجه هزینه های جانبی می تواند تاثیرات قابل توجهی در کاهش آثار اقتصادی مصرف انرژی داشته باشد.

۷- ارزیابی و تحلیل نتایج

با وجود تمامی مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی بیان شده در خصوص به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند ساختمان، وجود چالش‌هایی در مسیر به‌کارگیری این ابزارها مانع از گسترش مناسب ابزارهای هوشمند شده‌است. در این بخش ضمن ارزیابی تاثیرات به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند انرژی در سطح کلان، به ارزیابی و بررسی چالش‌های به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند انرژی ساختمان پرداخته می‌شود.

• ارزیابی تاثیرات در سطح کلان

با توجه به روند صعودی به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند انرژی ساختمان و همچنین افزایش اختلاف هزینه تمام شده تولید انرژی با هزینه پرداخت شده توسط مصرف کنندگان، به‌کارگیری و گسترش این فناوری‌ها در سطح گسترده امری اجتناب ناپذیر بوده و می‌تواند زمینه مناسبی برای سرمایه‌گذاری‌های آینده باشد. از سوی دیگر با توجه به رشد روزافزون توجه به مسائل زیست‌محیطی، و همچنین با توجه به آثار متفاوت زیست‌محیطی کاهش آلاینده‌های منتشر شده علاوه‌بر آثار ملموس نظیر کاهش میزان انتشار گازهای گلخآن‌های، منجر به آثاری اقتصادی و همچنین اجتماعی خواهد شد که اندازه‌گیری و برآورد آن‌ها می‌تواند به عنوان موضوعاتی برای مطالعات آینده مطرح گردد.

• بررسی چالش‌ها

به‌طور کلی می‌توان چالش‌های به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند مصرف انرژی ساختمان را در قالب موارد زیر دسته بندی نمود:

اعمال هزینه‌های اضافه در مرحله‌ی ساخت و تجهیز: مهم‌ترین چالش به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند ساختمان هزینه‌ی اولیه‌ی خرید و نصب این تجهیزات است. با توجه به توسعه این ابزارها و همچنین شناسایی قابلیت‌های اقتصادی این ابزارها انتظار می‌رود که در درازمدت با توجه به قابلیت بازگشت سرمایه در این تجهیزات، این چالش مرتفع گردد.

پایین بودن قیمت انرژی برای مصرف‌کننده: اعمال قیمت‌های تکلیفی در راستای ثابت نگه داشتن قیمت انرژی برای مصرف کننده نهایی از جنبه‌های مختلف مانع از گسترش به‌کارگیری تجهیزات مدیریت هوشمند ساختمان شده‌است. به‌کارگیری قیمت‌های تکلیفی از یک سو باعث کم توجهی مصرف کنندگان به مقوله صرفه‌جویی و بهینه‌سازی مصرف انرژی شده و از سوی دیگر با تخصیص منابع مالی دولت و دستگاه‌های اجرایی به حوزه تامین انرژی، مانع از سرمایه‌گذاری بخش‌های دولتی در زمینه گسترش به‌کارگیری این ابزارها می‌گردد. به نحوی که با توجه به روند افزایشی ما به التفاوت

قیمت تمام شده انرژی تولیدی و قیمت تکلیفی مشخص شده از سوی دولت، در صورت ادامه یافتن این روند امکان بروز چالش‌های فراوانی در زمینه تامین منابع مورد نیاز وجود خواهد داشت [۴۶].

عدم اطمینان از آثار اقتصادی و زیست‌محیطی: به دلیل گسترش محدود سیستم‌های مدیریت مصرف انرژی ساختمان در کشور سهولت دستیابی و همچنین پایین بودن هزینه مصرف انرژی، قابلیت‌های اقتصادی به‌کارگیری سیستم‌های مدیریت هوشمند مصرف انرژی کم‌تر مورد توجه بوده است. علاوه‌بر آن به دلیل عدم وجود میزان محدودیت برای تولید آلاینده قابلیت‌های به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند انرژی در زمینه زیست محیطی نیز کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بدیهی است در آینده با تغییر هزینه مصرف انرژی و همچنین ایجاد محدودیت برای تولید آلاینده، به‌کارگیری سیستم‌های مدیریت هوشمند مصرف انرژی نظیر سامانه های مدیریت هوشمند سیستم های سرمایشی و گرمایشی از اهمیت بیشتری برخوردار گردد.

• بررسی جوانب مثبت و راهکارها

همان‌طور که پیش از این بررسی شد چالش های متعددی پیش روی گسترش به‌کارگیری تجهیزات مدیریت هوشمند سیستم های گرمایش و سرمایش قرار گرفته است. اما همان طور که در این مقاله نیز به آن پرداخته شد به‌کارگیری این تجهیزات دارای نکات مثبتی است که می تواند در صورت اتخاذ شدن تدابیر مطلوب موجب گسترش به‌کارگیری این سیستم ها در سطح گسترده گردد. از جمله مهم ترین نقاط مثبت به‌کارگیری این تجهیزات کاهش میزان مصرف انرژی در دوره بهره برداری است که خود علاوه‌بر آثار قابل توجه زیست محیطی باعث کاهش هزینه مصرف انرژی در دوره بهره برداری می گردد. علاوه‌بر آن با توجه به ساز و کار این سامانه ها در کاهش و حذف اتلاف های تجهیزات گرمایش و سرمایش باعث کاهش مدت زمان در حال کار سیستم های سرمایش و گرمایش شده که این خود باعث کاهش هزینه های ناشی از استهلاک تجهیزات و کاهش هزینه های تعمیر و بهره برداری خواهد شد.

در نهایت می توان موثرترین راهکارها را در حوزه گسترش به‌کارگیری این تجهیزات ایجاد الرامات قانونی همانند برخی از کشورهای اروپایی و همچنین ایجاد سیاست های جدید در حوزه قیمت گذاری انرژی در جهت تشویق به‌کارگیری سیستم های هوشمند چه در ساختمان‌های اداری و تجاری و چه در ساختمان‌های مسکونی و همچنین ایجاد امکانات مورد نیاز برای بومی سازی هر چه بیشتر و گسترش تولید این تجهیزات در داخل کشور دانست.

۸- نتیجه‌گیری

با توجه به رشد نگران‌کننده‌ی مصرف انرژی، برطرف نمودن میزان تقاضای رو به افزایش و همچنین مواجهه با آثار زیست‌محیطی ناشی از این میزان انرژی مصرفی جزو چالش‌های حال حاضر تمامی کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه است. با توجه به سهم عمده صنعت ساختمان در میزان مصرف انرژی توجه به مقوله مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان می‌تواند تاثیرات بالقوه‌ای بر روی چالش کمبود منابع تامین انرژی داشته باشد. در پژوهش حاضر ضمن معرفی ابزارهای مدیریت هوشمند سیستم های سرمایش و گرمایش ساختمان سعی در ارزیابی آثار اقتصادی و زیست‌محیطی به‌کارگیری آن‌ها در زمینه‌های مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی شده‌است. در گام اول ضمن شناسایی ابزارهای مدیریت هوشمند سیستم های سرمایشی و گرمایشی، پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند ساختمان و همچنین میزان گسترش به‌کارگیری ابزارها ارزیابی شد، سپس با بررسی تاثیرات به‌کارگیری تجهیزات مدیریت هوشمند ساختمان بر روی یک ساختمان اداری دو طبقه با متراژ زیربنای حدود ۶۷۰۰ متر مربع قابلیت‌های به‌کارگیری این تجهیزات و همچنین آثار اقتصادی و زیست‌محیطی آن‌ها ارزیابی شده‌است. علاوه‌بر آن ضمن محاسبه میزان صرفه جویی در هزینه های اجتماعی ناشی از کاهش میزان انتشار آلاینده و همچنین محاسبه دوره بازگشت سرمایه با توجه به در نظر گرفتن هزینه تمام شده تولید انرژی و همچنین صرفه جویی های ناشی از کاهش میزان هزینه های اجتماعی عوامل موثر در کاهش میزان دوره بازگشت سرمایه و توجیه پذیری اقتصادی به‌کارگیری این سامانه ها شناسایی و ارزیابی شد. در نهایت می‌توان بیان نمود که به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند ساختمان ضمن کاهش میزان مصرف انرژی، میزان تقاضای بیشینه، و در نتیجه آن کاهش هزینه مصرف انرژی، با کاهش هزینه تعمیرات و نگهداری تجهیزات سرمایشی و گرمایشی ساختمان منجر به دستیابی به یک روند توجیه‌پذیر بازگشت سرمایه می‌شوند که خود موجب برطرف نمودن یکی از عمده ترین چالش‌های به‌کارگیری

ابزارهای مدیریت هوشمند ساختمان می‌گردد. توجه به چالش‌ها، موانع، و راه‌های گسترش به‌کارگیری ابزارهای مدیریت هوشمند انرژی ساختمان و بر طرف نمودن موانع می تواند منجر به برداشتن گامی اساسی در راستای دستیابی به اهداف توسعه پایدار در کشور گردد که از جمله مهم‌ترین نیازهای حال حاضر کشور است.

مراجع

[1] Pérez-Lombard, J. Ortiz, C. Pout, A review on buildings energy consumption information, Energy and buildings, 40(3) (2008) 394-398.

[2] F. Barbir, T.N. Veziroğlu, H.J. Plass Jr, Environmental damage due to fossil fuels use, International journal of hydrogen energy, 15(10) (1990) 739-749.

[3] P.H. Shaikh, N.B.M. Nor, P. Nallagownden, I. Elamvazuthi, T. Ibrahim, A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 34 (2014) 409-429.

[4] T. Ramesh, R. Prakash, K. Shukla, Life cycle energy analysis of buildings: An overview, Energy and buildings, 42(10) (2010) 1592-1600.

[5] M.H. Amjadi, M. Nezamabadi-Pour, M.M. Farsangi, Estimation of electricity demand of Iran using two heuristic algorithms, Energy Conversion and Management, 51(3) (2010) 493-497.

[6] M. Rostami, A. Khademvatani, M. Omidali, Forecasting Electricity Demand in Iran: The application of a Hybrid Dynamic Partial Adjustment and ARIMA Model, Journal of Applied Economics Studies in Iran (AESI)7(25) (2018) 177-199. [In Persian].

[7] H. Koukkari, L. Brangança, Review on the European strategies for energy-efficient buildings, International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development, 2(1) (2011) 87-99.

[8] L. Stankeviciute, P. Criqui, Energy and climate policies to 2020: the impacts of the European “20/20/20” approach, International Journal of Energy Sector Management, 2(2) (2008) 252-273.

[9] H. Rashidi Aghdam, L. Yarmohammadi, H. Malakooti, Studying Variety of Intelligent Control System Techniques in Hospitals for Optimization of Energy Consumption, 11(21) (2017) 57-63.

[10] P. Palensky, D. Dietrich, Demand side management: Demand response, intelligent energy systems, and smart loads, IEEE transactions on industrial informatics, 7(3) (2011) 381-388.

[11] B. Chai, J. Chen, Z. Yang, Y. Zhang, Demand response management with multiple utility companies: A two-level game approach, IEEE Transactions on Smart Grid, 5(2) (2014) 722-731.

[12] F.K. Aldrich, Smart homes: past, present and future, in: Inside the smart home, Springer, 2003, pp. 17-39.

[13] B. Asare-Bediako, P.F. Ribeiro, W.L. Kling, Integrated energy optimization with smart home energy management systems, in: Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe), 2012 3rd IEEE PES International Conference and Exhibition on, IEEE, 2012, pp. 1-8.

[14] P. Rocha, A. Siddiqui, M. Stadler, Improving energy efficiency via smart building energy management systems: A comparison with policy measures, Energy and Buildings, 88 (2015) 203-213.

[15] L. Wang, Z. Wang, R. Yang, Intelligent multiagent control system for energy and comfort management in smart and sustainable buildings, IEEE transactions on smart grid, 3(2) (2012) 605-617.

[16] J.A. Barbosa, C. Araújo, R. Mateus, L. Bragança, Smart interior design of buildings and its relationship to land use, Architectural Engineering and Design Management, 12(2) (2016) 97-106.

[17] M. Morales-Beltran, P. Teuffel, Towards smart building structures: adaptive structures in earthquake and wind loading control response–a review, Intelligent Buildings International, 5(2) (2013) 83-100.

[18] D. Minoli, K. Sohraby, B. Occhiogrosso, IoT considerations, requirements, and architectures for smart buildings—Energy optimization and next-generation building management systems, IEEE Internet of Things Journal, 4(1) (2017) 269-283.

[19] Y. Agarwal, B. Balaji, R. Gupta, J. Lyles, M. Wei, T. Weng, Occupancy-driven energy management for smart building automation, in: Proceedings of the 2nd ACM workshop on

2009, pp. 61-66.

[30] J. Lu, T. Sookoor, V. Srinivasan, G. Gao, B. Holben, J. Stankovic, E. Field, K. Whitehouse, The smart thermostat: using occupancy sensors to save energy in homes, in: Proceedings of the 8th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, ACM, 2010, pp. 211-224.

[31] Z. Wang, L. Wang, A.I. Dounis, R. Yang, Multi-agent control system with information fusion based comfort model for smart buildings, Applied Energy, 99 (2012) 247-254.

[32] Z. Wang, L. Wang, Occupancy pattern based intelligent control for improving energy efficiency in buildings, in: Automation Science and Engineering (CASE), 2012 IEEE International Conference on, IEEE, 2012, pp. 804-809.

[33] P.H. Shaikh, N.B.M. Nor, P. Nallagownden, I. Elamvazuthi, T. Ibrahim, Intelligent multi-objective control and management for smart energy efficient buildings, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 74 (2016) 403-409.

[34] S. Aslam, Z. Iqbal, N. Javaid, Z.A. Khan, K. Aurangzeb, S.I. Haider, Towards efficient energy management of smart buildings exploiting heuristic optimization with real time and critical peak pricing schemes, Energies, 10(12) (2017) 2065.

[35] R. Yang, L. Wang, Multi-objective optimization for decision-making of energy and comfort management in building automation and control, Sustainable Cities and Society, 2(1) (2012) 1-7.

[36] V.L. Erickson, A.E. Cerpa, Occupancy based demand response HVAC control strategy, in: Proceedings of the 2nd ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Building, ACM, 2010, pp. 7-12.

[37] I. Georgievski, V. Degeler, G.A. Pagani, T.A. Nguyen, A. Lazovik, M. Aiello, Optimizing energy costs for offices connected to the smart grid, IEEE Transactions on Smart Grid, 3(4) (2012) 2273-2285.

[38] C. Bharathi, D. Rekha, V. Vijayakumar, Genetic algorithm based demand side management for smart grid, Wireless Personal Communications, 93(2) (2017) 481-502.

[39] S. Bahrami, V.W. Wong, An autonomous demand response program in smart grid with foresighted users, in: Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2015 IEEE embedded sensing systems for energy-efficiency in building, ACM, 2010, pp. 1-6.

[20] D.E. King, M.G. Morgan, Customer-focused assessment of electric power microgrids, Journal of Energy Engineering, 133(3) (2007) 150-164.

[21] M. Zhou, Y. Gao, G. Li, Study on improvement of available transfer capability by demand side management, in: Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, 2008. DRPT 2008. Third International Conference on, IEEE, 2008, pp. 545-550.

[22] A. Bagherian, S.M. Tafreshi, A developed energy management system for a microgrid in the competitive electricity market, in: PowerTech, 2009 IEEE Bucharest, IEEE, 2009, pp. 1-6.

[23] F.A. Mohamed, H.N. Koivo, System modelling and online optimal management of microgrid using mesh adaptive direct search, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 32(5) (2010) 398-407.

[24] M. Stadler, A. Siddiqui, C. Marnay, H. Aki, J. Lai, Control of greenhouse gas emissions by optimal DER technology investment and energy management in zero-net-energy buildings, European Transactions on Electrical Power, 21(2) (2011) 1291-1309.

[25] F. Brahman, M. Honarmand, S. Jadid, Optimal electrical and thermal energy management of a residential energy hub, integrating demand response and energy storage system, Energy and Buildings, 90 (2015) 65-75.

[26] K. Ma, T. Yao, J. Yang, X. Guan, Residential power scheduling for demand response in smart grid, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 78 (2016) 320-325.

[27] S. Moon, J.-W. Lee, Multi-residential demand response scheduling with multi-class appliances in smart grid, IEEE transactions on smart grid, 9(4) (2018) 2518-2528.

[28] K. Amasyali, N.M. El-Gohary, A review of data-driven building energy consumption prediction studies, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81 (2018) 1192-1205.

[29] D.T. Delaney, G.M. O'Hare, A.G. Ruzzelli, Evaluation of energy-efficiency in lighting systems using sensor networks, in: Proceedings of the First ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Buildings, ACM,

role of building management system (BMS) in reducing energy consumption and building costs, in: 1st International Conference on Human, Architecture, Civil Engineering and City Tabriz, Iran, 2015. [In Persian].

[50] E. Baneshi, M.H. Mehraban, Investigate the performance of smart buildings and building management system, in: International Conference on Research in Science and Technology, Kualalampur, Malaysia, 2015.

[51] M. Emamgholizadeh, M. Salari, Optimization of Energy Consumption in an Administrative Building by Calculating the Impact of External Components and Automating the Powehouse, Geography, Civil, and Urban Management Studies, 3(1) (2017) 102-111.

[52] M. , Y. Baffalio, A. Duplan, B. Ferrand, Smart Home: Hope or hype, Greenwich Consulting, (2013).

[53] E.M. Smith, D.R. Sewell, P.T. Golden, System and method for energy management, in, Google Patents, 2004.

[54] Smart Home Statistics: Home Automation is the Future, in 2020, January 5, https://innotechtoday.com/smart-home-statistics/.

[55] M.o.E.o.I.R.o. Iran, Iran Energy Balance Sheet, in, 2018, December 12. [In Persian].

[56] M.o.E.o.I.R.o. Iran, Detailed statistics of Iran's power industry, in, 2018, December 12. [In Persian].

[57] Khodadad, F., Akaberi, M., Mousavi, Y., Khosravinejad, A., 2016. Calculating the Social Costs of Carbon Dioxide Emissions in Different Provinces of Iran. epprjournal. [In Persian].

[58] ISC. Iran, Iran Statistical center, in, 2019, https://www. amar.org.ir/[In Persian].

[59] A. Mashayekhi, Automated decision making framework of appropriate construction alternatives, considering life cycle energy consumption of conventional residential buildings and impact of smart buildings: using Building Information Modeling, Msc thesis, August, (2017). [In Persian].

International Conference on, IEEE, 2015, pp. 205-210.

[40] S. Bahrami, V.W. Wong, J. Huang, An online learning algorithm for demand response in smart grid, IEEE Transactions on Smart Grid, 9(5) (2018) 4712-4725.

[41] A. Barbato, G. Carpentieri, Model and algorithms for the real time management of residential electricity demand, in: Energy Conference and Exhibition (ENERGYCON), 2012, pp. 701-706.

[42] M. Kummert, M.-A. Leduc, A. Moreau, Using MPC to reduce the peak demand associated with electric heating, in: Model predictive control in buildings workshop, 2011.

[43] K.-h. Lee, J.E. Braun, Model-based demand-limiting control of building thermal mass, Building and Environment, 43(10) (2008) 1633-1646.

[44] S.D. Ramchurn, P. Vytelingum, A. Rogers, N. Jennings, Agent-based control for decentralised demand side management in the smart grid, in: The 10th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems-Volume 1, International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems, 2011, pp. 5-12.

[45] F. Umbach, Global energy security and the implications for the EU, Energy policy, 38(3) (2010) 1229-1240.

[46] M.S. Khani, E. Fallahi, M. Baneshi, Modeling for Energy Supply Management in Iran Based on Technical, Economic and Environmental Criteria, Journal of Iranian Energy Economics, 18(5) (2016) 29-60. [In Persian].

[47] C. Kühnel, T. Westermann, F. Hemmert, S. Kratz, A. Müller, S. Möller, I'm home: Defining and evaluating a gesture set for smart-home control, International Journal of Human-Computer Studies, 69(11) (2011) 693-704.

[48] R. Shahri, H. Zamani, M. Hameli, Investigation of building management system, in: 2nd National Conference on Architecture and Sustainable Urban Landscape, 2015. [In Persian].

[49] M. Komasi, H. Darvishi, S. Moheb Zandi, Investigate the

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

Gh. Heravi, M. Rostami, M. Shekari, Evaluating the Economic and Environmental Impacts of Smart Management Systems for Cooling and Heating Systems in Building: Case study of Office Building in Tehran, Amirkabir J. Civil Eng., 53(2) (2021) 607-626.

DOI: 10.22060/ceej.2020.16361.6200