Journal of Iranian Architecture & Urbanism
(JIAU)
Homepage: https://www.isau.ir/

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Assessing the Feasibility of Using Office Building Envelope Optimization Solutions in Temperate Regions of Iran; A Case Study of Zero Energy Buildings in Similar Climates *

Fatemeh Yarmohammad [1], **Fatemeh Mehdizadeh Saradj** [2] **

[1] *Ph.D. Candidate in Architecture, Department of Architecture, Faculty of Engineering, Tehran North Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.*
[2] *Professor, School of Architecture and Environmental Design, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.*

ARTICLE INFO

Article History:

Received	2020/05/24
Revised	2020/08/29
Accepted	2021/01/06
Available Online	2022/12/31

Keywords:

Buildings Envelope
Energy Consumption
Carbon Dioxide Emission
Renewable Energy
Time and Cost

Use your device to scan and read the article online

Number of References
69

Number of Figures
14

Number of Tables
5

Extended ABSTRACT

BACKGROUND AND OBJECTIVES: Air pollution and excessive energy consumption are two crises that seriously threaten metropolises today and endanger the health of society and energy sources in the future. Nearly half of the world's non-renewable energy resources have been consumed. An energy shortage is inevitable because more than 40% of energy consumption is in the construction sector. The average energy consumption of buildings in Iran is more than 2.5 times the world average, and big cities suffer from air pollution, which is often caused by fossil fuels. More than 98% of the energy in Iran is consumed as oil and gas products, which account for 26.4% of carbon dioxide emissions. The buildings are designed and built in such a way that they do not retain the cold and heat that is provided with exorbitant costs. The heat exchange occurs quickly due to the un-insulated outer envelope (walls, roof, and floor) and un-insulated cooling and heating facilities, which leads to an increase in energy consumption by heating and cooling systems. The energy consumption research in the recent decade comprises sustainable, zero-energy, and zero-carbon buildings. The annual energy consumption of these buildings is nearly zero, and they do not produce carbon pollutants. Considering the non-use of carbon dioxide-producing energies and renewable energy supply, zero-carbon buildings can effectively reduce air pollution in big cities. This research aims to identify and explain the design principles of European zero-energy office building envelopes to reduce energy consumption and carbon emissions. Then it will evaluate the feasibility of using the solutions above in cities with similar climates in Iran.

METHODS: At first, the principles and solutions of reducing energy consumption, reducing carbon dioxide emissions, and using renewable energies that directly or indirectly affect the design of the building envelope have been identified and specified. Then, to reduce energy consumption, carbon dioxide emission, and the use of renewable energy, 34 examples of office buildings in temperate European regions have been examined, and the most applied methods for designing their envelopes have been identified. Then, the most widely used solutions identified for the feasibility of implementation for office buildings in areas with similar climates in Iran have been weighted by the Shannon entropy method and ranked according to the combined weight of application, feasibility, or based on some parameters such as cost, ease of implementation during construction and after construction, the need for skilled labor and specialized equipment, execution time, the produced energy and payback period of the investment.

FINDINGS: The results of the research show that the most employed solutions are related to the use of photovoltaic panels, thermal insulation of the walls, the use of natural ventilation, attention to the dimensions and position of the windows, the use of daylight, the use of materials with suitable thermal capacity, the use of greenhouse and atrium, and the use of green wall and roof.

CONCLUSION: The results of this article indicate the most effective principles and common solutions for the envelope design of zero-energy buildings in Iran with

© 2022, JIAU. All rights reserved.

https://dx.doi.org/10.30475/isau.2022.225316.1384

OPEN ACCESS

* This article is derived from the first author`s doctoral thesis entitled "Feasibility study of using building envelope optimization solutions in temperate regions of Iran by using the example of zero energy buildings implemented in similar climates", supervised by the second author, at Islamic Azad University Tehran North branch.

** Corresponding Author:
Email: *mehdizadeh@iust.ac.ir*
Phone: +98(21)73228249

Extended ABSTRACT

climates similar to the European climate. The combined use of these solutions in the design of envelopes can greatly reduce energy consumption and carbon dioxide emissions in the short term. Due to the novel nature of the construction and operation of zero energy buildings in Iran and the lack of experience in obtaining the productivity and energy efficiency of these buildings using various solutions so far, using the experiences of advanced countries and the feasibility of implementing those solutions is indispensable to achieve an optimal and appropriate design and the highest energy efficiency of the buildings in Iran shortly. Therefore, the results of this research can effectively help designers in this field.

.....

HIGHLIGHTS:

- Identifying solutions for optimizing the office buildings envelope in temperate regions by using examples of zero-energy buildings.
- Analyzing feasibility and prioritizing solutions based on parameters such as cost, ease of construction, need for skilled labor and specialized equipment, construction time, amount of energy production and payback period of the investment by using Shannon entropy.
- Identifying the most used solutions with the priority of using photovoltaic panels, thermal insulation, natural ventilation, dimensions and position of windows, natural light, thermal capacity materials, atrium, green wall and roof.

ACKNOWLEDGMENTS:

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for profit sectors.

CONFLICT OF INTEREST:

The authors declared no conflicts of interest.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Journal of Iranian Architecture & Urbanism (JIAU). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Yarmohammad, F.; Mehdizadeh Saradj, F., (2022). Assessing the Feasibility of Using Office Building Envelope Optimization Solutions in Temperate Regions of Iran; A Case Study of Zero Energy Buildings in Similar Climates. *Journal of Iranian Architecture & Urbanism*., 13(2): 175-195.

https://dx.doi.org/10.30475/isau.2022.225316.1384
https://www.isau.ir/article_167173.html

نشریه علمی معماری و شهرسازی ایران. دوره ۱۳. شماره ۲. صفحات ۱۹۵-۱۷۵. پاییز و زمستان ۱۴۰۱

نشریه علمی معماری و شهرسازی ایران
(JIAU)
https://www.isau.ir/

مقاله علمی- پژوهشی

امکان‌سنجی استفاده از راهکارهای بهینه‌سازی پوسته ساختمان‌های اداری در مناطق معتدل ایران با بهره‌گیری از نمونه بناهای صفر انرژی اجرا شده در اقلیم‌های مشابه*

فاطمه یارمحمد [۱]، فاطمه مهدیزاده سراج [۲و**]

۱. دانشجوی دکترای معماری، گروه معماری، دانشکده فنی و مهندسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲. استاد، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

مشخصات مقاله

تاریخ ارسال ۱۳۹۹/۰۳/۰۴
تاریخ بازنگری ۱۳۹۹/۰۶/۰۸
تاریخ پذیرش ۱۳۹۹/۱۰/۱۷
تاریخ انتشار آنلاین ۱۴۰۱/۱۰/۱۰

واژگان کلیدی

پوسته ساختمان‌ها
مصرف انرژی
انتشار دی‌اکسیدکربن
انرژی‌های تجدیدپذیر و قابلیت‌اجرا

چکیده

انتشار بیش از حد گاز دی‌اکسیدکربن اثرات سوئی را بر محیط‌زیست گذاشته است حدود ۴۰ درصد از مصرف انرژی و ۳۰ درصد انتشار دی‌اکسیدکربن توسط ساختمان‌ها صورت می‌گیرد. این در حالی است که تاثیر بسزای پوسته ساختمان را در تبادل حرارتی و مصرف انرژی و در پی آن انتشار گاز دی‌اکسیدکربن نمی‌توان نادیده انگاشت، این مقاله به بررسی راهکارهای طراحی پوسته ساختمان‌های صفر انرژی با رویکرد کاهش مصرف انرژی، انتشار دی‌اکسیدکربن و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به تفکیک در دو دهه اخیر پرداخته است. سپس ۳۴ نمونه ساختمان اداری در مناطق معتدل اروپایی بررسی و پرکاربردترین راهکارهای طراحی پوسته‌های آن شناسایی شده است. نهایتاً پرکاربردترین راهکارهای شناسایی شده جهت امکان‌سنجی قابلیت اجرا برای ساختمان‌های اداری در اقلیم مشابه در ایران بر اساس پارامترهایی چون هزینه، سهولت اجرا در زمان ساخت و سهولت نگهداری پس از ساخت بنا، نیاز به نیروی کار ماهر و تجهیزات تخصصی، زمان اجرا، میزان تولید انرژی و بازگشت سرمایه با استفاده از آنتروپی شانون وزن‌دهی و برحسب وزن ترکیبی حاصل از کاربرد و قابلیت اجرا رتبه‌بندی شده است. روش تحقیق استفاده شده از نوع توصیفی تحلیلی بوده و از ابزارهایی چون بهره‌گیری از نتایج تحقیقات پیشین، بررسی نمونه‌های موردی و مقایسه تطبیقی نیز استفاده شده است. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهند پرکاربردترین راهکارها به ترتیب مربوط به استفاده از صفحات فتوولتائیک، عایق‌کاری حرارتی جداره‌ها، استفاده از تهویه طبیعی، توجه به ابعاد و موقعیت پنجره‌ها، استفاده از نور روز، استفاده از مصالح با ظرفیت حرارتی مناسب، استفاده از گلخانه و آتریوم و استفاده از دیوار و بام سبز می‌باشد. استفاده توامان این راهکارها در طراحی پوسته‌ها می‌تواند بیشترین بهره‌وری را به جهت کاهش مصرف انرژی و کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن در کوتاه مدت داشته باشد.

نکات شاخص

- شناسایی راهکارهای بهینه‌سازی پوسته ساختمان‌های اداری در مناطق معتدل با بهره‌گیری از نمونه بناهای صفرانرژی اجرا شده.
- تحلیل قابلیت اجرا و اولویت‌بندی راهکارها بر اساس پارامترهای هزینه، سهولت اجرا، نیاز به نیروی کار ماهر و تجهیزات تخصصی، زمان اجرا، میزان تولید انرژی و بازگشت سرمایه با استفاده از آنتروپی‌شانون .
- شناسایی پرکاربردترین راهکارها با اولویت استفاده از صفحات فتوولتائیک، عایقکاری حرارتی، تهویه طبیعی، ابعاد و موقعیت پنجره‌ها، نور طبیعی، مصالح با ظرفیت حرارتی مناسب، آتریوم، دیوار و بام سبز.

نحوه ارجاع به مقاله

یارمحمد، فاطمه و مهدیزاده سراج، فاطمه. (۱۴۰۱). امکان‌سنجی استفاده از راهکارهای بهینه‌سازی پوسته ساختمان‌های اداری در مناطق معتدل ایران با بهره‌گیری از نمونه بناهای صفر انرژی اجرا شده در اقلیم‌های مشابه، *نشریه علمی معماری و شهرسازی ایران*، ۱۳(۲)، ۱۷۵-۱۹۵.

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده نخست با عنوان «طراحی نمای ساختمان‌های اداری با استفاده از سیستم‌های خورشیدی در جهت کاهش آلاینده‌ها» می‌باشد که به راهنمایی نویسنده دوم در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال انجام گرفته است.

** نویسنده مسئول
تلفن: ۰۰۹۸۲۱۷۳۲۲۸۲۴۹
پست الکترونیک: mehdizadeh@iust.ac.ir

مقدمه

آلودگی هوا و مصرف بی رویه انرژی دو بحرانی است که امروزه کلان‌شهرها را به شدت تهدید می‌کنند. از طرفی سلامت جامعه را به خطر انداخته و از سوی دیگر با بحران کمبود انرژی در آینده مواجه می‌سازد. نزدیک به نیمی از منابع انرژی برگشت‌ناپذیر جهان مصرف شده است. با توجه به این‌که بیش از ۴۰٪ مصرف انرژی در بخش ساختمانی است (Nasrollahi, 2011)، کمبود و مضیقه در بخش انرژی امری اجتناب‌ناپذیر است. میانگین مصرف انرژی ساختمان‌ها در ایران بیش از ۲/۵ برابر متوسط مصرف جهانی می‌باشد (Nasrollahi, 2011)، و شهرهای بزرگ دارای آلودگی هوایی بالایی می‌باشند که غالبا ناشی از مصرف انرژی‌های فسیلی است. بیش از ۹۸٪ از مصرف انرژی ساختمان‌ها در ایران از محصولات نفتی و گازی تأمین می‌گردد و این بخش در ایران حدود ۲۶/۴ درصد از انتشار دی‌اکسیدکربن را به خود اختصاص داده است (Ministry of Energy, 2015). ساختمان‌های ما به گونه‌ای طراحی و ساخته شده‌اند که سرما و گرمایی که با هزینه‌های گزاف تامین می‌شود را حفظ نکرده و به واسطه عایق نبودن پوسته خارجی (دیوارها، سقف و کف) و عایق نبودن تاسیسات سرمایشی و گرمایشی ساختمان، تبادل و پرت حرارتی به سرعت صورت گرفته و منجر به افزایش مصرف انرژی توسط سیستم‌های حرارتی و سرمایشی می‌شود (Wali Allahi et al., 2010). از تحقیقات دهه‌های اخیر در زمینه کنترل مصرف انرژی می‌توان به رویکردهای ساختمان‌های پایدار، ساختمان‌های صفر انرژی و ساختمان‌های صفر کربن اشاره کرد. مصرف انرژی سالیانه این ساختمان‌ها صفر بوده و آلاینده‌های کربنی تولید نمی‌کنند. با توجه به عدم استفاده ساختمان‌های صفرکربن از انرژی‌های تولیدکننده دی‌اکسیدکربن و تامین انرژی از انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند نقش موثرتری در کاهش آلودگی هوای کلان شهرها ایفا کنند. در سال‌های اخیر، ZCB [1] (ساختمان‌های با انتشار سالیانه کربن خالص صفر و به حداقل رسانی انتشار گازهای گلخانه‌ای) به عنوان یک روش نوآورانه برای کاهش اثرات منفی بخش ساختمان پدید آمده است. چندین کشور اهداف نظارتی برای ZCB تعیین کرده‌اند. به عنوان مثال، انگلستان هدف بلندپروازانه‌ای برای تمام خانه‌های جدید جهت رسیدن به صفرکربن از سال ۲۰۱۶ درنظر گرفته و قصد دارد انتشار کربن را حداقل ۸۰ درصد تا سال ۲۰۵۰ نسبت به سال ۱۹۹۰ کاهش دهد (CLG, 2007).

شورا و پارلمان اروپا در ضوابط عملکرد انرژی در ساختمان [2]، تعیین کردند که تا دسامبر سال ۲۰۲۰ تمام ساختمان‌های جدید، «نزدیک به صفر انرژی» (بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر به منظور قطع ارتباط با شبکه انرژی سراسری) شوند (EPBD, 2010). وزارت انرژی آمریکا نیز هدف رسیدن به خانه‌های صفرکربن را تا سال ۲۰۲۰ و ساختمان‌های تجاری صفرکربن را تا سال ۲۰۲۵ تعیین کرد (IEA, 2010). تاکنون مطالعات زیادی که نشان‌دهنده مزایای ZCB می‌باشد، صورت گرفته است. همچنین تحقیقات متعددی جهت ارائه طرح و راه حل‌های فنی برای رسیدن به ZCB انجام شده است (Hui, 2010; UK Building Regulations and EU Directives, 2014; Osmani & O'Reilly, 2009).

وانگ و همکاران (Wang et al., 2009) نیز استراتژی‌های طراحی ممکن را برای رسیدن به ZCB تحت شرایط آب و هوایی کاردیف مقایسه کرده‌اند (Mabna, 2013). در ایران اما ساختمان‌های صفر انرژی به دلیل هزینه بالای ساخت و عمر کوتاه ساختمان‌ها هنوز توسعه نیافته است. بازگشت سرمایه این ساختمان‌ها به طور متوسط ۱۰ سال می‌باشد و این درحالی است که عمر مفید متوسط ساختمان‌ها در ایران ۱۵ سال می‌باشد (Khoshnoud Zargar, 2016). از دیگر دلایل عدم توسعه احداث این ساختمان‌ها در ایران می‌توان به شرایط متفاوت اقلیمی، اقتصادی، اجتماعی و کالبدی و پایین بودن قیمت حامل‌های انرژی اشاره کرد که با کاهش جدی منابع انرژی تجدیدناپذیر و سوخت‌های فسیلی، آلودگی‌های زیست‌محیطی و افزایش قیمت‌های حامل انرژی در سال‌های اخیر، ناگزیر به رفع موانع و توسعه رویکرد صفرانرژی در صنعت ساختمان می‌باشیم. از آنجاکه بیشترین مصرف انرژی مربوط به ساختمان‌ها بوده و بیشترین هدررفت انرژی از طریق پوسته و نمای بناها صورت می‌گیرد (Sabori et al., 2014).

این تحقیق با هدف شناسایی و تبیین اصول طراحی پوسته‌های ساختمان‌های صفرانرژی اروپا با کاربری اداری در جهت کاهش مصرف انرژی و انتشار کربن و امکان‌سنجی استفاده از راهکارهای مذکور در شهرهای دارای اقلیم مشابه در ایران صورت گرفته است. در ابتدا اصول و راهکارهای کاهش مصرف انرژی و کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیرکه به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم در طراحی پوسته ساختمان‌ها تاثیرگذار می‌باشند، شناسایی و مشخص شده است. سپس با بررسی ۳۴ نمونه موردی از ساختمان‌های اداری انرژی‌صفر واقع در اقلیم معتدل اروپایی، میزان بهره‌گیری از این راهکارها در سه دسته کاهش مصرف انرژی، کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن و استفاده از انرژی های تجدید پذیر در جهت رسیدن به صفرانرژی بررسی شده است. نهایتاً نتایج این مقاله به تبیین موثرترین اصول و راهکارهای مشترک ارائه شده جهت طراحی پوسته‌ی ساختمان‌های صفرانرژی که دارای قابلیت اجرا و پیاده‌سازی در اقلیم مشابه در ایران می‌باشند، می‌پردازد. باتوجه به اینکه کشور ما در آغاز گرایش به این رویکرد قرار دارد، نتایج تحقیق می‌تواند راهنمایی موثر برای طراحان در زمینه انرژی و ساختمان باشد.

مرور ادبیات

پوسته‌ها به عنوان مفصل درون و بیرون ساختمان نقشی تعیین‌کننده در کنترل تبادل حرارتی دارند. اقدامات انجام شده در این زمینه عمدتاً مرتبط با بخش بسته سطوح جانبی بنا و یا بازشوهای تعبیه شده در آن به جهت برقراری اتصال درون و بیرون می‌باشد. هدف اصلی این اقدامات کاهش مصرف انرژی در ساختمان می‌باشد. اقدامات دیگری با استفاده از مصالح، تکنولوژی و فناورهای روز به جهت کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر صورت می‌گیرد. نتایج مطالعات، استفاده از راهکارهای متعدد در پوسته بناها به شرح ذیل می‌باشد:

راهکارهای طراحی پوسته‌ها جهت کاهش مصرف انرژی

* کاهش تبادل حرارتی پوسته‌ها

کاهش تبادل حرارتی پوسته‌ها که منجر به کاهش مصرف انرژی ساختمان می‌شود، به روش‌های ذیل امکان‌پذیر می‌باشد:

۱. دوجداره نمودن پوسته ساختمان‌ها

نماهای دو پوسته علاوه بر افزایش آسایش حرارتی و بصری قادر به کاهش دفع گرما در زمستان و جذب آن در تابستان می‌باشند (Salehi, 2011; Poirazis & Blomsterberg, 2008). شکل ۱ میزان کاهش سالانه مصرف انرژی با استفاده از نمای دوپوسته را نمایش می‌دهد.

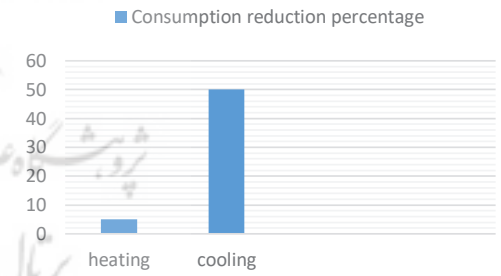

Fig. 1. The amount of reduction in annual heating and cooling energy consumption in the building using a double-layer facade (Zulfaqari et al., 2014)

۲. عایق‌کاری حرارتی پوسته‌ها

عایق‌کاری جداره‌های خارجی ساختمان، می‌تواند ۳۵ تا ۵۵ درصد از اتلاف حرارت ناشی از سقف، کف و دیوارهای مجاور فضای آزاد را کاهش دهد. انتخاب روش مناسب عایق‌کاری ساختمان نیازمند توجیه فنی و اقتصادی می‌باشد و به عوامل مختلفی نظیر وضعیت جداره، هزینه عایق‌کاری، نمای خارجی ساختمان و ...، بستگی دارد (Zulfiqari et al., 2014). شکل ۲، میزان اتلاف انرژی از بخش‌های مختلف ساختمان را نشان می‌دهد. جنس و ضخامت جداره‌های خارجی ساختمان، میزان عایق‌کاری حرارتی، نوع پنجره‌ها، میزان درزگیری ساختمان و نوع بهره‌برداری از ساختمان از جمله عواملی هستند که می‌توانند تا ۵۰ درصد از اتلاف انرژی حرارتی و برودتی در ساختمان جلوگیری نمایند (Abedi et al., 2014). عایق‌کاری می‌بایست در سطوح بیرونی پوسته‌ها مانند سقف، دیوارها، شیشه‌ها وکف‌ها جهت جلوگیری از تلفات گرمایشی و سرمایشی ساختمان اجرا شود (Turkjezi & Taqavi, 2013). میزان عایق‌کاری با توجه به اقلیم‌های مختلف متغیر بوده و بستگی به درجه حرارت محیط خارج ساختمان و مقدار مقاومت حرارتی عایق دارد (Moham-mad, 2013). دو عامل ضخامت و ضریب هدایت حرارتی عایق در میزان بهره‌وری عایق‌ها نقش دارند (Yildiz & Durmas, 2011). استفاده از عایق‌کاری مضاعف برای ساختن اجزای پوسته ساختمان اگرچه نهایتاً منجر به کاهش مصرف انرژی می‌شود، اما انرژی اولیه بیشتری برای تهیه مواد عایق آن مورد نیاز است که این خود منجر به افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن در فرآیند تولید مواد می‌شود (Amani et al., 2010). در این راستا، مواد عایق با ظرفیت حرارتی بالاتر عملکرد بهتری را در طول تابستان ارائه می‌دهند و بر انتقال حرارتی دوره‌ای و تغییر زمان حرارتی اجزای نمای ساختمان تأثیر می‌گذارند، همچنین اجرای عایق با ضخامت ۲۰۰ میلیمتر به خصوص در مناطق سردسیر دارای بهره‌وری انرژی بالایی می‌باشد (Paoletti et al., 2017).

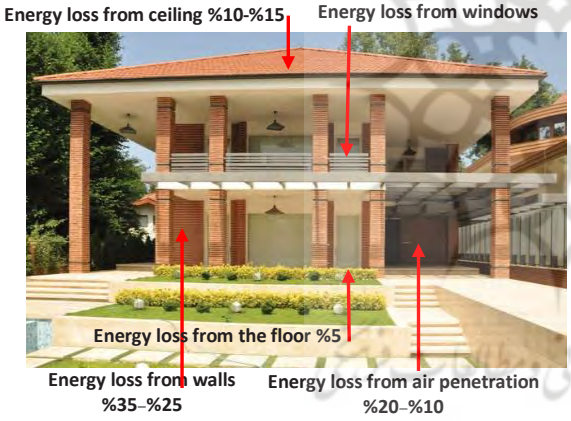

Fig. 2. Energy loss from different parts of the building (Packmangroup, 2015)

۳. انتخاب مصالح مناسب جهت پوسته‌ها

استفاده از مصالح ساختمانی با ظرفیت حرارتی مناسب با توجه به کاربری آن، به صرفه‌جویی در مصرف انرژی کمک می‌کند. در انتخاب و بکارگیری مصالح و اجزای ساختمانی مناسب بایستی موارد زیر را مد نظر قرار داد:

- تحلیل هر جبهه از بنا با توجه به حرکت خورشید و استفاده از مصالح مناسب.
- استفاده از مصالح کارآمد از لحاظ انرژی و تابع استاندارد ساختمان و متناسب با کاربری فضا.
- بکارگیری مصالح مناسب از لحاظ رنگ و بافت برای جذب و دفع تابش خورشید در فصول گرم و سرد. استفاده از رنگ‌های روشن جهت نمای مناطق دارای اقلیم گرم و خشک و رنگ‌های تیره جهت اقلیم سرد مناسب می‌باشد.

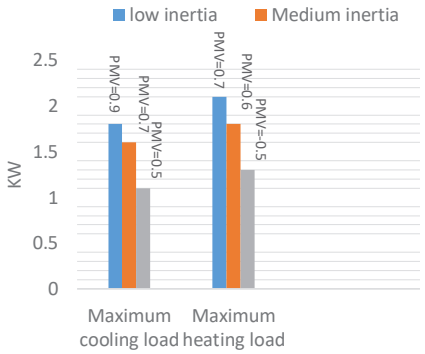

Fig. 3. Maximum thermal load for different values of thermal inertia in Tehran, thermal comfort model (PMV)

روز، جنس و سطح جدار نورگذر را در کاهش تبادل حرارتی بهینه کرد (Ghiabaklou, 2010; De Luca et al., 2018).

۶. دو یا سه‌جداره نمودن پنجره‌ها

نتایج به دست آمده از تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که استفاده از پنجره‌های دوجداره و سه‌جداره به جای پنجره‌های یک لایه به طور متوسط می‌تواند بار گرمایشی ساختمان را به ترتیب حدود ۱۷ و ۳۹ درصد کاهش دهد. کاربرد پنجره‌های دو جداره به منظور کاهش تلفات انرژی حرارتی و درزبندی پنجره ها و درها نقش موثری درکاهش نفوذ هوا و پیشگیری از تلفات هوا دارند (Turkjezi, 2014). باید به این نکته توجه داشت که درزهای ساختمان کاملاً گرفته شوند و درزبندی پنجره‌ها رعایت شود (Ghiabaklou, 2010). نسبت کمتر مساحت بازشو به مساحت دیوارها و استفاده از پنجره‌های سه‌جداره پر شده از گاز آرگون، دارای بهره‌وری انرژی و صرفه اقتصادی بالا به خصوص برای مناطق سردسیر می‌باشد (Pikas et al., 2014).

۷. کاهش نفوذ هوای ناخواسته از طریق ایجاد پیش‌فضا در ورودی

نتایج شبیه‌سازی مطلایی (Motalaie, 2014) نشان می‌دهند با طراحی پیش‌فضایی مانند هشتی در ساختمان، می‌توان مصرف انرژی را حداقل تا ۱۲ درصد کاهش داد و این نشان‌دهنده اهمیت طراحی صحیح ورودی‌های ساختمان می‌باشد.

۸. کاهش نسبت مساحت پوسته خارجی به حجم ساختمان

مساحت پوسته خارجی ساختمان دارای رابطه همبستگی خطی با ضریب انتقال حرارتی آن می‌باشد و هرچه این مساحت در سطوح افقی و عمودی بیشتر شود، ضریب انتقال حرارتی و پرت حرارتی ساختمان بیشتر خواهد بود (Loukaidoua et al., 2017). تزیینات نما، پیش‌آمدگی‌ها، فرورفتگی‌ها و دیگر حفره‌های معماری نیز در افزایش ضریب انتقال حرارتی نما موثر می‌باشند. بدین‌ترتیب، چنانچه شکل مطلوب ساختمان با ضریب کم فشردگی انتخاب شود، کمترین هدررفت گرما در زمستان و

- استفاده از مصالح بومی و هماهنگ و همساز با محیط.
- استفاده از مصالح مقاوم و عایق در برابر سرما، گرما و رطوبت.
- مصالح مصرفی درساختمان باید درطبیعت تجدیدپذیر باشند و امکان بازیافت مجدد داشته باشند.
- به کارگیری مصالح ضریب انتقال حرارت پایین، مقاومت حرارتی بالا، جرم حرارتی بالا و نفوذپذیری پایین.
- استفاده از مصالح یکدست از لحاظ کارکرد به منظور ایجاد تعادل حرارتی.
- استفاده از مصالح با واکنش‌دهی مناسب نسبت به تغییرات دما در فصول مختلف سال (Turkjezi & Taqavi, 2013).
- استفاده از مصالح هوشمند و مواد تغییر فازدهنده (PCM) در نما.

بکاربردن مواد تغییرفازدهنده (PCM) در ساختمان‌ها تاثیر قابل توجهی بر بهبود شرایط آسایش حرارتی و کاهش مصرف انرژی را به همراه دارد. مواد تغییر فاز دهنده، موادی هستند که مازاد انرژی حرارتی محیط اطراف خود را در زمان عدم نیاز بر پایه گرمای نهان ذوب و انجماد در خود ذخیره می‌کنند و در زمان نیاز، دوباره به محیط باز می‌گردانند. گارسیا (Gracia, 2019) ۶۰۰ نمونه سازه ساختمانی با مواد تغییرفازدهنده را شبیه‌سازی نمود و به این نتیجه رسید که سیستم‌های دارای مواد تغییر فازدهنده با طراحی بهینه و مطلوب (دمای ذوب PCM در ۲۲ درجه سانتیگراد) و کنترل بهینه (h0 در ۰۰:۲۸ و h1 در ۰۷:۴۰) می‌توانند تا ۳۷۹ درصد بار سرمایشی ساختمان را در مقایسه با سازه‌های ساختمانی بدون مواد تغییرفاز دهنده کاهش دهد.

۴. اینرسی حرارتی مناسب جداره‌های ساختمان با توجه به کاربری

نتایج تحقیقات نشان می‌دهند که استفاده از اینرسی حرارتی بیشتر با وجود کاهش سطح آسایش حرارتی در برخی از ساعات، با کاهش نوسان دما در طول شبانه روز در مجموع آسایش بهتری را برای افراد به‌ویژه در مناطق گرمسیر ایجاد کرده و مصرف انرژی سالیانه و ماکزیمم بارهای حرارتی را کاهش می‌دهد (Ching, 2012; Turkjezi, 2014). به عنوان نمونه شکل ۳ ماکزیمم بار حرارتی به ازاء مقادیر مختلف اینرسی حرارتی در شهر تهران را نشان می‌دهد.

۵. بهینه‌سازی جنس و سطح جدار نورگذر

استفاده از نور روز ضمن تامین نور طبیعی مورد نیاز فضا و افزایش سلامت بهره‌برداران منجر به کاهش مصرف انرژی و افزایش بهره‌وری انرژی می‌شود، با استفاده مناسب از نورگیر سقفی، تعداد و مساحت مناسب بازشوها و استفاده از پنجره‌هایی با شیشه سه‌جداره می‌توان علاوه بر تامین روشنایی

حداقل جذب گرما در تابستان را فراهم می‌کند (Ma-bna, 2013). همچنین کاهش نسبت سطح پوسته خارجی ساختمان به حجم مفید و نسبت سطح بام به سطح مفید ساختمان و نسبت سطح بازشوها در پوسته خارجی (در و پنجره) به سطح مفید ساختمان از جمله مقررات ملی ساختمان در ایران می‌باشد (Appendix 15, topic 19 of the National Building Regulations).

۹. استفاده از لایه‌های هوا

استفاده از لایه‌های هوای بسته به دلیل ضریب هدایت بسیار کم و ارزان بودن سیستم، روشی مناسب جهت عایق‌بندی حرارتی نمای ساختمان می‌باشد. نتایج تحقیق ژانگ و یانگ (Zhang et al., 2018) نشان می‌دهد هرچه ضخامت لایه هوا بیشتر باشد، انتقال حرارت همرفت ضعیف‌تر می‌شود. وقتی ضخامت لایه زیر ۲۰ میلی‌متر باشد، ضخامت فزاینده منجر به کاهش قابل توجهی در انتقال حرارت می‌شود. اما هنگامی که ضخامت بیش از ۲۰ میلی‌متر باشد، انتقال حرارت کمی تحت تأثیر ضخامت قرار می‌گیرد. ضخامت مطلوب لایه هوای عایق، بسته به شرایط آب و هوایی ۰۲ تا ۰۳ میلی‌متر است.

*** بهینه‌سازی ظرفیت حرارتی جداره‌ها**

هرچه ظرفیت حرارتی جداره‌های خارجی بنا بیشتر باشد، حرارت با سرعت کمتری از خارج به طرف داخل انتقال می‌یابد. در نتیجه، سطوح داخلی با تأخیر بیشتری به حداکثر دمای خود نسبت به سطوح خارجی می‌رسند. این زمان تأخیر باعث می‌شود در ساعاتی که هوا در حداکثر درجه حرارت است، حرارت نفوذ کرده در دیوارهای خارجی در همان جا ذخیره شود و هنگام عصر و شب که هوا نسبتاً خنک است، از آن خارج گردد. ظرفیت حرارتی مصالح در فصل زمستان و به‌ویژه در اقلیم سرد، دامنه‌ی نوسان دمای هوای داخلی آن را کاهش می‌دهد و در فصل تابستان در اقلیم گرم و خشک ظرفیت حرارتی علاوه بر آنکه در کاهش تبادل حرارت هوای داخلی و خارجی مؤثر است، در جهت حرکت حرارت نیز تأثیر می‌گذارد. باید به این نکته توجه داشت که ظرفیت حرارتی زیاد در مناطقی که مشکل گرمای هوای داخلی معمولاً در شب ها نیز وجود دارد مانند مناطق مرطوب ساحلی مناسب نمی‌باشد (Mohammad, 2013). بهینه‌سازی ظرفیت حرارتی جداره‌های ساختمان به روش‌های ذیل امکان‌پذیر می‌باشد:

۱. بهره‌گیری از ضخامت و ارتفاع متناسب جرزها و سقف‌ها

در هر فضا با توجه به نیاز ساکنان به گرمایش و سرمایش در فصول مختلف، میزان ضخامت پوسته‌ها و سقف‌ها جهت تعیین ظرفیت حرارتی مناسب مشخص می‌شود (Turkjezi, 2014).

۲. استفاده از ظرفیت حرارتی خاک با بردن بخشی از بنا به زیر زمین

۳. استفاده از مصالح ساختمانی با ظرفیت حرارتی مناسب

استفاده از مصالح مناسب برای جداره‌های خارجی ساختمان به عنوان یکی از ساده‌ترین و موثرترین راه‌های کاهش بارهای گرمایش و سرمایش ساختمان محسوب می‌شود که می‌تواند فراهم کننده صرفه‌جویی در مصرف انرژی، با هزینه‌های نسبتاً کم باشد. جرم حرارتی مصالح مورد استفاده در ساختمان نیز نقش اساسی در تعدیل دمای داخل ساختمان دارد (Motalaie, 2014).

۴. استفاده از مصالح فلزی با بازتاب مناسب خورشیدی و ارزش حرارتی مناسب در نما و کفپوش بام (Sharifian, Ghazi and Jahani, 2015).

*** کنترل مصرف انرژی**

کنترل مصرف انرژی به روش‌های ذیل امکان‌پذیر می‌باشد:

۱. بهینه‌سازی ابعاد، سطح و حجم ساختمان به منظور کاهش مصرف انرژی

۲. فراهم سازی قابلیت ذخیره‌ی انرژی در ساختمان

۳. استفاده از گیاهان در بام و نما (سطوح افقی و عمودی پوسته‌ها) به منظور بهبود و تلطیف هوا

نتایج تحقیقات نشان می‌دهند استفاده از دیوارها و بام‌های سبز موجب تلطیف هوا (در مقیاس میکروکلیما) و کاهش آلودگی هوا و نهایتاً بهبود محیط‌زیست ساکنان شهر می‌گردد (Razavian et al., 2010).

۴. رعایت استانداردهای کاهش مصرف انرژی در ساختمان مطابق مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان

۵. استفاده از سیستم مدیریت انرژی ساختمان(EMS)

راهکارهای طراحی پوسته‌ها جهت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر

*** راهکارهای طراحی پوسته‌ها جهت استفاده از انرژی تجدیدپذیر خورشید**

۱. کشیدگی و جهت‌گیری ساختمان

کشیدگی و جهت‌گیری ساختمان تاثیر بسزایی در کسب انرژی حرارتی خورشید و استفاده از روشنایی طبیعی برای ساختمان دارد. در ساختمان‌های صفر انرژی کوشیده می‌شود ساختمان در یک یا حداکثر دو طبقه ساخته شود و در مقابل ساختمان را بر روی زمین گسترده می‌کنند و امکان استفاده از انرژی خورشید و روشنایی حاصل از آن در طول روز افزایش می‌یابد (Shiravi Khozani, 2013). با توجه به اینکه زاویه تابش خورشید در نقاط مختلف کره زمین بسته به مختصات جغرافیایی آن نقطه متفاوت

می‌باشد، لذا جهت‌گیری ساختمان در هر نقطه از کره زمین برای جذب حداکثر انرژی خورشیدی نیز متفاوت می‌باشد.

۲. استفاده از سیستم‌های غیرفعال خورشیدی

تکنولوژی سیستم غیرفعال از نور خورشید بدون استفاده از سیستم‌های مکانیکی بهره می‌برد. این تکنولوژی نور خورشید را به گرمای قابل استفاده در آب، هوا و جرم حرارتی تبدیل می‌کند، که باعث جابجایی هوا برای تهویه یا استفاده بعدی می‌شود. از انواع این سیستم‌ها می‌توان دریافت مستقیم، دیوار ترومب، آتریوم، اتاقک‌های شیشه‌ای چسبیده به بنا (گلخانه‌ها)، دیوار سنگین، پدیده ترموسیفون و بالکن‌های شیشه‌ای را نام برد (Perlova et al., 2015; CLG, 2007).

۳. استفاده از گردآورهای خورشیدی حرارتی در پوسته‌ی ساختمان

با متراکم‌تر شدن شهرها و افزایش ارتفاع ساختمان‌ها، سطوح عمودی پوسته‌ها متناسب با سطح زیر بنا افزایش می‌یابد، لذا جدارهای عمودی ساختمان، از بیشترین ظرفیت برای استفاده از انرژی خورشیدی در ساختمان‌های آینده برخوردار می‌باشند. تلفیق و یکپارچه‌سازی سیستم‌های خورشیدی نظیر گردآورهای حرارتی با عناصر تشکیل‌دهنده ساختمان نظیر دیوار، بام و سایبان ضمن آن‌که تمامیت و یکپارچگی معماری و اجزای آن را حفظ می‌کند، می‌تواند صرفه اقتصادی کاربرد این سیستم‌ها را افزایش داده و در مجموع کارایی و بهره‌وری انرژی را در ساختمان بهبود بخشد (Heydari et al., 2015). شکل ۴ بازدهی این گردآورها را در دماهای مختلف نشان می‌دهد.

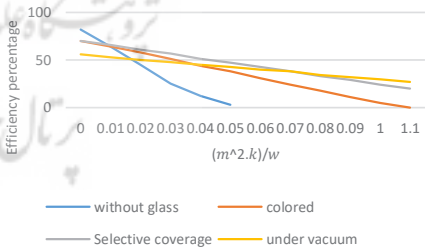

Fig. 4. Efficiency of conventional collectors for different temperatures of the heat transfer fluid
(Heydari et al., 2015)

۴. نقش پنجره‌ها در جذب انرژی خورشیدی

پنجره‌ها نه تنها روشنایی را منتقل می‌کنند، بلکه درانتقال گرما به داخل و یا خارج ساختمان نیز دارای نقشی موثر می‌باشند. براین اساس توجه به نوع، جنس و محل قرار گرفتن آن‌ها، در کاهش انتقال حرارت ناخواسته بسیار موثر است (Hadian-pour, 2014). قرار دادن پنجره‌ها در قسمت جنوبی ساختمان، آسان‌ترین و ارزان‌ترین روش انتقال انرژی گرمایی خورشید به درون منازل در فصل زمستان است. میزان انرژی تابشی دریافتی توسط پنجره‌های جنوبی در طول روز، بیشتر از مقداری است که آن‌ها در طی شب از دست می‌دهند (Hadianpour, 2014). طبق نتایج مطالعات لوکایدو و همکاران (Loukaidoua et al., 2017)، متوسط ضریب انتقال حرارتی بهینه برای پنجره‌های خارجی ساختمان ۱,۶۷ $W/(m^2*K)$ تعیین شده است.

۵. استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی جهت گرمایش و تامین آبگرم مصرفی ساختمان

(Rezamanesh & Nazari Azar, 2014).

۶. استفاده از سیستم‌های سرمایش خورشیدی

(Rezamanesh & Nazari Azar, 2014)

۷. استفاده از دستگاه‌های آب شیرین‌کن جهت تامین آب مناسب آشامیدنی

این دستگاه‌ها توسط آینه‌هایی نور خورشید را روی مخازن آب متمرکز می‌کنند تا کار تبخیر را انجام دهد.

۸. استفاده از سیستم‌های خورشیدی فتوولتاییک جهت تامین انرژی الکتریکی (برق ساختمان)

۹. استفاده از سلول‌های خورشیدی به عنوان شیشه پنجره

امروزه سلول‌های خورشیدی حتی می‌توانند به عنوان شیشه‌ی پنجره بکار برده شوند. این سلول‌ها این قابلیت را دارند که بین ۸۰ تا ۹۰ درصد نور خورشید را از خود عبور دهند و این کیفیت باعث می‌شود که پنجره‌های مجهز به سلول‌های خورشیدی بتوانند به خنک ماندن هوای داخل خانه در تابستان کمک کنند و همچنین ساختمان را زیباتر و انرژی الکتریسیته‌ی موردنیاز ساختمان را تهیه کنند (Rezamanesh & Nazari Azar, 2014).

۱۰. استفاده از مزایای گردش هوا با استفاده از سیستم‌های خورشیدی

اصل کلی در طراحی ساختمان‌های خورشیدی فراهم آوردن شرایط مطلوب جهت گردش هوا در ساختمان می‌باشد.

۱۱. ذخیره انرژی با استفاده از سیستم‌های خورشیدی

جهت افزایش بازده استفاده از انرژی خورشیدی و ذخیره انرژی حرارتی به منظور استفاده در شب، از مخازن هوای گرم با مصالحی که دارای ظرفیت حرارتی بالایی هستند استفاده می‌شود (Rezamanesh & Nazari Azar, 2014).

۱۲. استفاده بهینه از نور طبیعی، تامین روشنایی و کنترل نفوذ نور خورشید

باید توجه داشته باشیم که مهمترین منبع طبیعی نور، خورشید است و روشنایی روز یکی از منابع مهم تامین انرژی نورانی می‌باشد، بنابراین در صورتی که امکان استفاده از روشنایی روز برای یک بنا وجود داشته باشد، لازم است اصول زیر جهت

استفاده بهینه در طراحی بنا مورد توجه قرار گیرند (Appendix 15, topic 19 of the National Building Regulations):

- استفاده از نورطبیعی از طریق روزنه‌ها و بازشوها.

- طراحی بنا باید به‌گونه‌ای باشد که پنجره‌های اصلی عمدتا درسمت جنوب تعبیه شده و در برخی مناطق با توجه به اقلیم می‌توانند در سمت جنوب غربی و جنوب شرقی ساختمان نیز قرار گیرند. بیشترین تاثیر درصد سطوح بازشو به سطح نما در نماهای مختلف ساختمان‌های صفر انرژی به ترتیب در نماهای شرقی (غربی)، جنوب، و شمال می‌باشد. افزایش درصد سطوح بازشو به سطح نما در نماهای شرقی (غربی) و جنوبی، مصرف انرژی سرمایشی ساختمان را بیش از مصرف انرژی گرمایشی افزایش می‌دهد. مناسب‌ترین درصد سطوح بازشو به سطح نما جهت دستیابی به بیشترین ذخیره‌سازی انرژی در ساختمان‌های صفر انرژی مناطق سردسیر در نمای شرقی مابین ۱۰ تا ۱۵درصد، نمای جنوبی، ۱۰ تا ۲۲,۵ درصد می‌باشد و در نمای شمالی چنانچه شرایط نور و تهویه ساختمان اجازه دهد می‌بایست کاهش یابد (Fenga et al., 2017).

- پنجره‌ها باید تا نزدیکی سقف ادامه داشته باشند.

- مساحت پنجره‌ها باید برای نورگیری، مکان کافی داشته باشد. نسبت مساحت پنجره به مساحت اتاق، بسته به نیاز و میزان دقت و ظرافت کار متفاوت است، به عنوان مثال برای اماکن اداری و مسکونی ۲۵-۲۰ درصد می‌باشد.

- ارزش پنجره‌های شمالی یک سوم پنجره‌های جنوبی و ارزش پنجره‌های شرقی و غربی نصف آن‌ها است (Alizadeh, 2012).

- استفاده از عناصر الحاقی همچون ایوان‌ها و سایبان‌ها بر روی پنجره‌ها به منظورکنترل نفوذ نور خورشید. دی‌لوکا و همکاران (De Luca et al., 2018) بر روی نقش سایبان‌ها بر بهره‌وری انرژی ساختمان‌های اداری کشور استونی (از کشورهای اروپایی) مطالعه کرده‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد سایبان‌های ثابت در نماهای شرقی و غربی می‌توانند ۴۰ تا ۵۰ درصد در مصرف انرژی تاسیسات سرمایشی ساختمان موثر باشد. این میزان در نمای جنوبی به دلیل کمتر بودن زاویه تابش خورشیدی در فصل بهار و پاییز کمتر می‌باشد که با نصب سایبان متحرک، بهینه‌سازی در کلیه نماهای ساختمان میسر می‌شود.

- بکارگیری سایبان جهت کاهش جذب حرارت خورشید در تابستان و جلوگیری از تلفات انرژی باد. به عنوان مثال در شهر تهران در فصل تابستان کوچکترین وسایل سایه‌کننده در سمت جنوب جوابگو است ولی در جهت غرب تعبیه سایبان‌های عمودی در کنار پنجره و پرده‌هایی در جلو پنجره ضروری می‌باشد. عملاً بهتر است در سمت غرب ساختمان، نورگیرها کوچک باشند و یا هیچ نورگیری وجود نداشته باشد (Amani, 2010).

- استفاده از بازشوهای هوشمند. تکنولوژی شیشه‌های هوشمند به گونه‌ای است که پوسته ساختمان را همزمان از لحاظ تامین نور و حرارت بهینه می‌کند. با استفاده از این تکنولوژی می‌توان از سطوح شیشه‌ای در ابعاد وسیع ضمن کنترل بهینه نور و حرارت در ساختمان فارغ از اقلیم و جهت‌گیری بنا بهره‌مند شد(Favoino et al., 2015).

- استفاده ازکفسازی مناسب در طراحی کف بام و تراس‌ها به منظور دفع و جذب تابش خورشید.

- استفاده از لوله‌های خورشیدی. با استفاده از این روش با انتقال نور خورشید (بدون انتقال گرما و اشعه ی ماوراء بنفش UV) به داخل ساختمان در طول روز از نور خورشید برای سیستم روشنایی می‌توان استفاده نمود. با استفاده از لوله‌های خورشیدی از انتشار ۱,۴ میلیون تن گازهای آلاینده در سال جلوگیری خواهد شد (Nasrollahi, 2011). شکل ۵ نحوه عملکرد لوله‌های نوری را نشان می‌دهد.

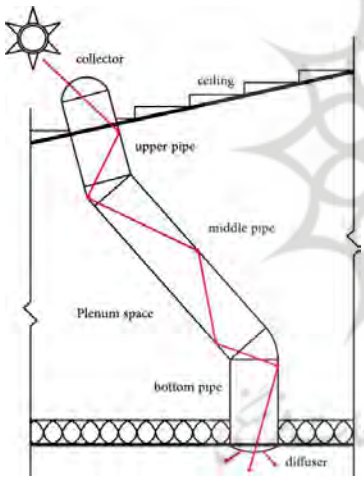

Fig. 5. How the optical tube works
(Fakhari & Heydari, 2013)

- استفاده از داکت‌های آیینه‌ای. با ایجاد داکت درون ساختمان راه ورود نور به فضاهای داخلی با تعبیه صفحات آیینه‌گون درون آن ایجاد شده و نور را به این فضاها هدایت می‌کند. این داکت‌ها به دو شیوه عمودی و افقی قابل اجرا می‌باشند. شکل ۶ نحوه عملکرد داکت‌های آیینه‌ای را نشان می‌دهد.

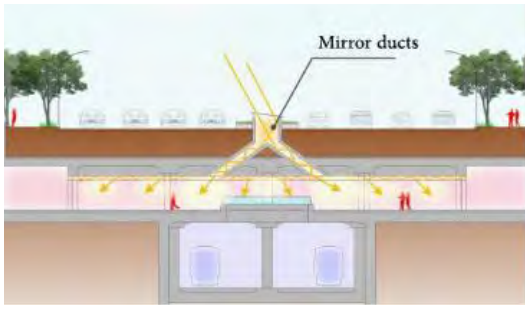

Fig. 6. How mirror ducts work (Mayhoub, 2013)

*** راهکارهای طراحی پوسته‌ها جهت استفاده از انرژی آب**

۱. ذخیره سازی آب باران و استفاده از آن در ساختمان

ذخیره و استفاده از آب باران سهم بسزایی در صرفه جویی آب مورد نیاز و صرفه جویی انرژی جهت آبرسانی خواهد داشت (Rezamanesh & Nazari Azar, 2014).

*** راهکارهای طراحی پوسته ها جهت کنترل و بهره گیری از انرژی باد و هوا**

۱. استفاده از بادشکن در پوسته‌ی ساختمان در قالب طراحی المان، پوسته مجزا و یا مصالح.

۲. استفاده از بادگیر و بهبود عملکرد آن از طریق کانال درون زمینی.

استفاده از بادگیر به منظور تهویه طبیعی هوای داخل ساختمان در فصول بهار و پاییز در کلان شهرها مناسب می‌باشد. همچنین بهره‌گیری از کانال‌های زیرزمینی خشک و مرطوب تاثیر بسزایی در بهبود کارایی بادگیرها وکاهش دمای ورودی به ساختمان دارد (Sadeghi, 2016).

۳. استفاده از گلخانه جهت تامین هوای تازه در دوره گرمایش ساختمان

گلخانه‌ها علاوه بر داشتن قابلیت ایجاد سایه و تهویه در فصول گرم سال، می‌توانند به عنوان منبعی برای ذخیره گرما (پدیده گلخانه‌ای) در فصول سرد سال نیز مورد استفاده قرار گیرند. همچنین قابلیت جلوگیری از هدر رفت انرژی گرمایی از داخل ساختمان را نیز دارند (Fayaz & Muntaser Kohsari, 2013).

۴. استفاده از دودکش خورشیدی (استفاده توامان از انرژی خورشیدی و باد)

دودکش خورشیدی یکی از سیستم‌های غیرفعال است که با استفاده از انرژی خورشیدی، تهویه مورد نیاز ساختمان را فراهم می‌سازد. هوا در دودکش بوسیله انرژی خورشیدی گرم می‌شود و به دلیل پدیده اثر دودکشی به سمت بالا حرکت می‌کند. تحقیقات سوداپورن و بوندیت (Sudaporn & Bundit, 2009) نشان می‌دهد که دودکش خارجی بسته به دمای محیط و میزان تابش خورشیدی می‌تواند دمای داخل را ۱ تا ۳,۵ درجه کاهش دهد (Fakhari & Heydari, 2013).

راهکارهای طراحی پوسته‌ها جهت کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن

برخی از راهکارهای طراحی پوسته جهت کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن با راهکارهای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند تولید برق سبز از طریق فتوولتاییک‌ها، استفاده از توربین‌های بادی و استفاده از آب باران مشترک می‌باشد.

*** راهکارهای طراحی پوسته‌ها جهت استفاده از معماری سبز**

۱. استفاده از بام‌ها و دیوارهای سبز

استفاده از پوسته‌های سبز شامل بام‌ها و دیوارهای سبز و اکسیژن ساز علاوه بر بهبود کارآیی انرژی ساختمان‌ها در جلوگیری از انتشار ذرات معلق در هوا و آلودگی نقش دارند (Razavian et al., 2010). از مقایسه مصرف انرژی در ساختمان‌های معمولی و سبز در شکل ۷ می‌توان به تاثیر معماری سبز در کاهش مصرف انرژی پی برد.

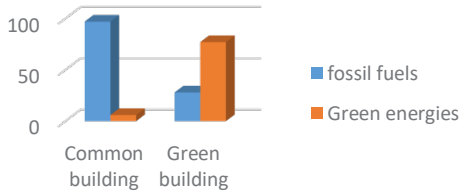

Fig. 7. Comparison of energy consumption in common and green buildings (Zarghami & Adibi, 2015)

۲. استفاده از گلخانه و آتریوم

گلخانه‌ها مثل یک گردآور خورشیدی، انرژی حرارتی را کسب نموده و حرارت کسب شده در روز را برای شب ذخیره می‌نمایند. می‌توان از آن برای گرم کردن سایر قسمت‌های ساختمان استفاده کرد. آتریوم‌ها نیز که در میان ساختمان قرار می‌گیرند، تاثیر بسزایی در کاهش مصرف انرژی ساختمان دارند. مطالعات انجام شده بر روی ساختمانی پنج طبقه دارای آتریوم در سانتیاگو نشان داده است که تابش خورشید در فضای آتریوم می‌تواند باعث کاهش ۷۱ ٪ نیاز سرمایشی ساختمان و در نتیجه کاهش مصرف انرژی شود. البته این امر بستگی زیادی به فرم ساختمان و نوع شیشه‌های به کار برده شده نیز دارد (Moosavi et al., 2014).

عملکرد گلخانه و آتریوم، دیوارها و بام‌های سبز به گونه‌ای است که علاوه بر کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن به دنبال کاهش مصرف انرژی، به دلیل استفاده از گیاهان طی فرآیند فتوسنتز، دی‌اکسیدکربن هوا را جذب و به اکسیژن تبدیل می‌کنند. همچنین برگ درختان با جذب سایر مواد شیمیایی مانند اکسیدهای نیتروژن، آمونیوم تولید شده در هوا، بخشی از دی‌اکسیدگوگرد و ازن که در تولید آلودگی و اثرات گلخانه‌ای نقش موثری دارند را از محیط پالایش می‌کنند (Vernos, 2015).

*** استفاده از مصالح بومی و قابل بازیافت**

استفاده از مصالح بومی به دلیل تجدیدپذیر بودن و بازگشت به چرخه محیط زیست، عدم نیاز به مصرف انرژی به هنگام تولید، عدم نیاز به حمل و نقل طولانی و انطباق با اقلیم تاثیر بسزایی در کاهش مصرف انرژی و آلودگی محیط زیست دارد (Akrami & Alipour, 2016).

*** استفاده از حسگرهای هشدار دهنده دی‌اکسیدکربن**

گازهای مونوکسیدکربن و دی‌اکسیدکربن، گازهای سمی و خطرناکی بوده که حضور آن در فضا جز با استفاده از حسگرهای آن، امکان‌پذیر نمی‌باشد. استفاده از این حسگرها به بهره‌برداران ساختمان کمک می‌کند تا از وجود این گاز به موقع مطلع شده و نسبت به رفع آن اقدام نمایند.

روش تحقیق

هدف این تحقیق پاسخگویی به سه پرسش اصلی تحقیق شامل: ۱- شناسایی راهکارهای طراحی پوسته‌ها درجهت کاهش مصرف انرژی، کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر؛ ۲- شناسایی پرکاربردترین راهکارهای طراحی پوسته‌های ساختمان‌های صفر انرژی با کاربری اداری و در اقلیم معتدل اروپایی؛ ۳- امکان‌سنجی قابلیت اجرای این راهکارها در نمونه‌ها و اقلیم مشابه در ایران، می‌باشد. پوسته ساختمان‌ها به عنوان متغیر وابسته و مصرف انرژی، انتشار دی‌اکسیدکربن و انرژی‌های تجدیدپذیر متغیرهای مستقل در این تحقیق می‌باشند. روش تحقیق، توصیفی- تحلیلی بوده و از روش‌ها و ابزارهایی چون مطالعات کتابخانه‌ای، نمونه موردی و مقایسه تطبیقی استفاده شده و میزان اهمیت و بهره‌گیری از پارامترهای طراحی پوسته‌ها در کاهش مصرف انرژی، انتشار دی‌اکسیدکربن و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر با استفاده از روش‌های آماری و استدلال منطقی سنجیده شده است. جامعه آماری شامل ساختمان‌های موفق انرژی‌صفر با کاربری اداری و در اقلیم معتدل اروپایی در دو دهه اخیر می‌باشد که به دلیل تعداد محدود این ساختمان‌ها و اعمال دو فیلتر کاربری اداری و موقعیت قرارگیری در قاره اروپا، تعداد ۳۴ ساختمان به شرح جدول ۱ شناسایی و میزان بهره‌گیری از این راهکارها در سه دسته کاهش مصرف انرژی، کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در جهت رسیدن به انرژی‌صفر با استفاده از جدول توزیع فراوانی مشخص و پرکاربردترین راهکارها اولویت‌بندی شده است. با استفاده از نتایج مطالعات، راهکارهای طراحی پوسته ساختمان‌ها جهت رسیدن به اهداف تحقیق در سه گروه دسته‌بندی می‌شوند: ۱- کاهش مصرف انرژی؛ ۲- کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن؛ ۳- استفاده از انرژی تجدیدپذیر خورشید. هر دسته شامل راهکارهای متعددی بوده که در شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰، نشان داده شده که مستقیماً در کاهش مصرف انرژی، کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نقش دارند. جهت استفاده از این راهکارها در پوسته ساختمان‌های ایران نیازمند امکان‌سنجی و بررسی قابلیت اجرای آن در کشور می‌باشیم. در کشور ایران تاکنون تنها یک ساختمان انرژی صفر با کاربری پژوهشی

Table 1. Examples of zero energy and zero carbon buildings

Name of the building	Location	Climate	Function	Foundation (m^2)	Name of the building	Location	Climate	Function	Foundation (m^2)
SOM	France	moderate	administrative	7000	Lajon	Italy	moderate	administrative	755
Zero energy administration	Germany	Moderate to warm	administrative	1335	Benasco Scientific Center	Spain	moderate to warm	administrative research	1800
Solar XXI	Portugal	Moderate	administrative	1500	The central building of Solon Company	Germany	moderate to warm	administrative	32715
Sirse	Spain	Moderate	administrative	1743	Selvis	Germany	moderate to warm	administrative	4000
Marche Kempthall	Switzerland	moderate to warm	administrative	1550	Acciona	Spain	Oceanic temperate	administrative	2591
Administrative Villach,	Austria	moderate to warm	administrative	292	Mediterranean Sizzle	Spain	Mediterranean temperate	administrative	1070
Rainbow office center	Italy	moderate	administrative	6000	PSA	Spain	Mediterranean temperate	administrative	1114
ASMA Solar Academy	Germany	moderate to warm	Administrative - Research	1400	S. Choartez Hatmon	Spain	Mediterranean temperate	administrative	2566
Eterium	Germany	moderate to warm	administrative	3667	Isophoton headquarters	Spain	Mediterranean temperate	administrative	2500
Ex-Post	Italy	Moderate	administrative	2857	Andalusian Energy Agency	Spain	Mediterranean temperate	administrative	5800
Green Tower 8	Poland	moderate to warm	administrative	11660	Regional government	Spain	Continental Temperate		62976
Island Central Office Building	France	Moderate	Administrative	4083	ED7 Saimet	Spain	Continental Temperate	administrative	2047
Inerpos	France	Moderate	Administrative	739	Sai M.	Spain	Continental Temperate	administrative	2727
Elitis Tower	France	Moderate	Administrative	4567	Sener	Spain	Oceanic temperate	administrative	5620
Green office building	France	Moderate	Administrative	21807	Berdo Foundation	Spain	Oceanic temperate	administrative	1405
Kraftwerk B	Switzerland	moderate to warm	Administrative	1403	Federal	Germany	moderate to warm	administrative	40,000
Energy Plus	Germany	moderate to warm	Administrative	7890	Federal Environmental Agency	Germany	moderate to warm	administrative	40,000

اداری در شهر کرج با اقلیم معتدل، احداث و بهره‌برداری شده است. عدم توسعه احداث ساختمان‌های صفرانرژی در ایران همچون کشورهای اروپایی تاکنون به دلایل شرایط متفاوت اقلیمی، اقتصادی، اجتماعی و کالبدی و پایین بودن قیمت حامل‌های انرژی می‌باشد که با کاهش جدی منابع انرژی تجدیدناپذیر و سوخت‌های فسیلی، آلودگی‌های زیست‌محیطی و افزایش قیمت حامل‌های انرژی در سال‌های اخیر، ناگزیر به رفع موانع و توسعه رویکرد صفرانرژی در صنعت ساختمان می‌باشیم. امکان‌سنجی استفاده از راهکارهای مذکور در شهرهای دارای اقلیم مشابه در ایران در قالب پارامترهایی چون هزینه، سهولت اجرای کار قبل و بعد از ساخت بنا، نیاز به نیروی کار ماهر، نیاز به تجهیزات و ماشین آلات تخصصی، زمان اجرا، میزان تولید انرژی و بازگشت سرمایه بررسی و برحسب قابلیت اجرای راهکارها بر اساس پارامترها، با استفاده از آنتروپی شانون وزن‌دهی، و نهایتا برحسب وزن ترکیبی حاصل از کاربرد و قابلیت اجرا رتبه‌بندی شده است.

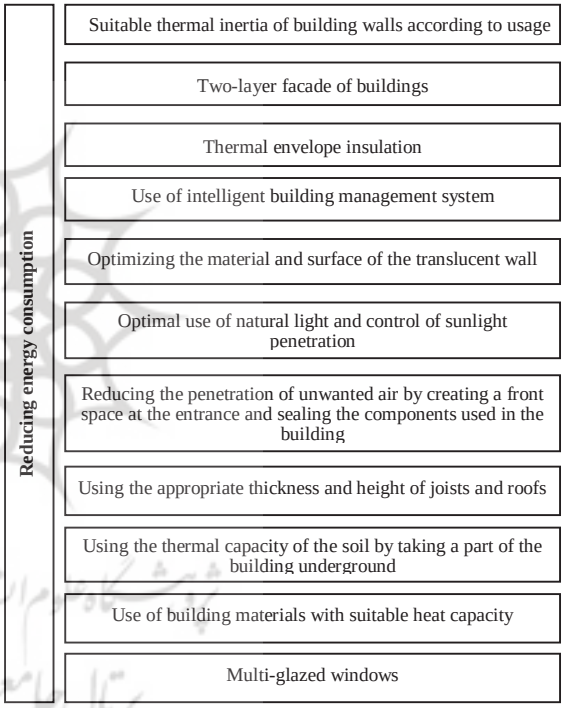

Fig. 8. Methods of reducing energy consumption

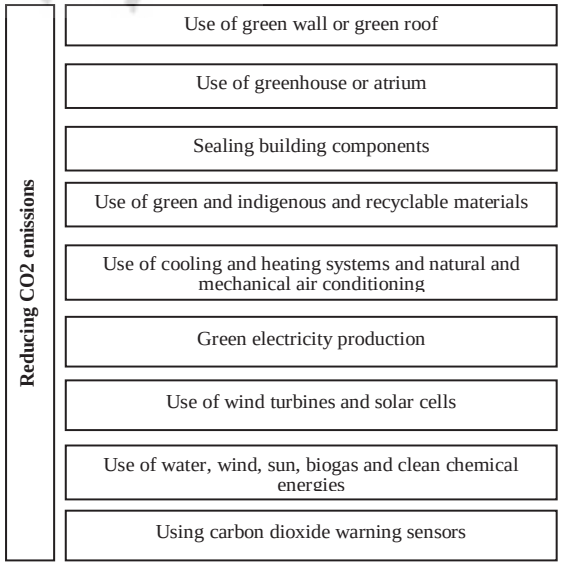

Fig. 9. Methods of reducing carbon dioxide emissions

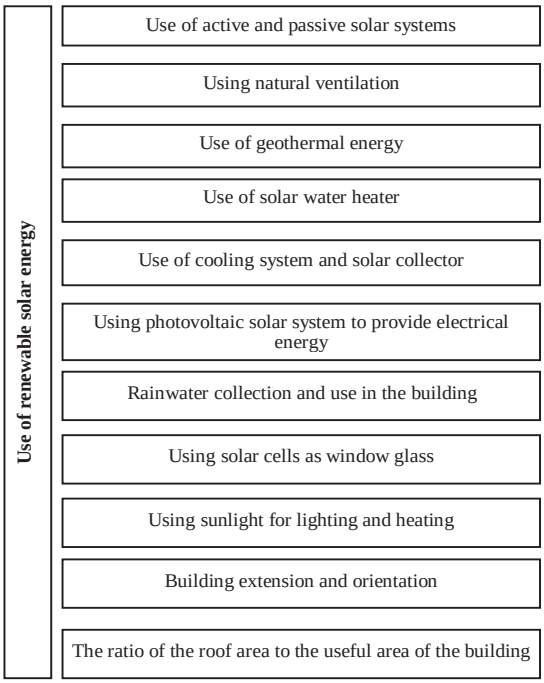

Fig. 10. Methods of using the renewable energy of the sun

نتایج و بحث

راهکارهای دسته بندی شده بر روی ۳۴ نمونه از ساختمان های صفرانرژی با کاربری اداری و در اقلیم معتدل اروپایی بررسی و میزان بهره‌گیری از راهکارهای طراحی پوسته ساختمان‌ها در سه دسته کاهش مصرف انرژی، کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مشخص شد. شکل ۱۱ توزیع فراوانی بهره‌گیری از راهکارهای کاهش مصرف انرژی در طراحی پوسته‌ها را نشان می‌دهد. میزان بهره‌گیری از راهکارهای کاهش مصرف انرژی و اولویت بندی آن صرفا بر اساس توزیع فراوانی با توجه به شکل ۱۱ به ترتیب زیر می‌باشد:

۱. عایق‌کاری حرارتی سقف‌ها و دیوارها.

۲. استفاده از سایبان یا لوور.

۳. توجه به ابعاد، موقعیت، جهت‌گیری و توزیع پنجره‌ها در نما.

۴. بهینه‌سازی سطح جدار نورگذر.

۵. استفاده از مصالح ساختمانی با ظرفیت حرارتی مناسب.

۶. استفاده از سیستم مدیریت انرژی ساختمان(EMS).

۷. استفاده از پنجره های دو و یا سه جداره.

۸. استفاده از پوسته دو جداره.

۹. جهت‌گیری نما.

۱۰. استفاده از نورگیرها یا بازشوهای سقفی.

۱۱. کاهش نسبت سطح به حجم در پوسته.

۱۲. استفاده از بازشوهای هوشمند.

۱۳. بهینه‌سازی جنس جدار نورگذر.

۱۴. درزبندی اجزای ساختمان.

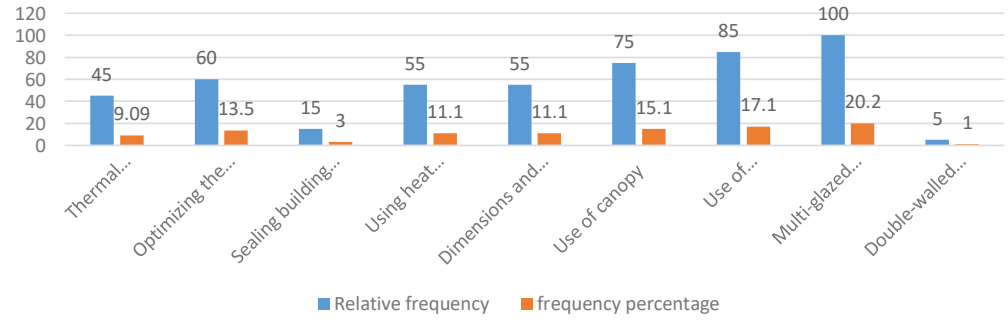

Fig. 11. Frequently distribution of energy consumption reduction solutions in envelope design

اولویت انتخاب هر کدام از راهکارهای ارائه شده بستگی به شرایط اقتصادی، اجتماعی، محیطی و اقلیمی هر مکان دارد. ملاحظه می‌شود که اولویت‌های ۱، ۳، ۴، ۹، ۱۱، ۱۳ و ۱۴ نسبت به اولویت‌های ۸ و ۱۲ از هزینه کمتری برخوردار بوده و اجرای آن در زمان ساخت به راحتی امکان‌پذیر می‌باشد، اگرچه اجرای آن پس از ساخت بنا با دشواری و اعمال هزینه‌های مضاعف همراه می‌باشد. صرفه‌جویی مصرف انرژی حاصل از عایق‌کاری حرارتی جداره‌های خارجی ساختمان نسبت به هزینه اجرای آن باعث گرایش فراوان به استفاده از این راهکار در کشورهای اروپایی شده و به تبع آن در ایران نیز به دلیل سهولت اجرا، هزینه کمتر نسبت به سایر راهکارها و عدم نیاز به تکنولوژی خاص کاربردی می‌باشد. اولویت‌های ۶ و ۸ و ۱۲ نیاز به مهارت اجرای کار و تجهیزات و ماشین‌آلات تخصصی به هنگام اجرای کار دارد. استفاده از پنجره‌های دوجداره در ایران از مقررات ملی ساختمان بوده و اجرای آن برای کلیه ساختمان‌ها الزامی می‌باشد، اگرچه در ساختمان‌های صفرانرژی جهت افزایش بهره‌وری با پنجره‌های سه جداره در حال جایگزینی می‌باشند. اجرای اولویت‌های ۵، ۶، ۸، ۹، ۱۱ و ۱۲ از زمان طولانی‌تری برخوردار بوده و اولویت‌های ۱، ۳، ۴، ۶ و ۷ به لحاظ بازگشت سرمایه مقرون به صرفه‌تر می‌باشد. بنابراین عایق‌کاری حرارتی، توجه به ابعاد، موقعیت، جهت‌گیری و توزیع پنجره‌ها در نما و استفاده از مصالح با ظرفیت حرارتی مناسب از مجموع جهات کارآمدترین راهکارهای کاهش مصرف انرژی در طراحی پوسته‌های ساختمان‌های صفر انرژی می‌باشد. جدول ۲، رتبه‌بندی راهکارهای کاهش مصرف انرژی در پوسته بنا را بر اساس قابلیت اجرا نشان می‌دهد.

مقایسه نتایج حاصل از پژوهش با راهکارهای استخراج شده از ادبیات موضوع نشان می‌دهد راهکارهایی چون استفاده از ظرفیت حرارتی خاک با بردن بخشی از ساختمان در زیر زمین، بهره‌گیری از ضخامت و ارتفاع مناسب جرزها و سقف‌ها، ایجاد پیش‌فضا در ورودی، استفاده از لایه‌های هوا، درزبندی اجزای ساختمان در ساختمان‌های نمونه بررسی شده، اجرا نشده است. استفاده از ظرفیت حرارتی خاک و بهره‌گیری از ضخامت و ارتفاع جرزها و سقف‌ها به دلیل اعمال محدودیت در طرح و معماری ساختمان، افزایش هزینه‌های اجرا و محدودیت در استفاده از نور طبیعی در طبقات زیر خاک با با راهکار استفاده از عایق‌کاری حرارتی با بهره‌وری بالاتر، هزینه کمتر و سهولت اجرای بیشتر جایگزین شده‌اند. در ساختمان‌های جدید که به‌ویژه با کمبود فضا مواجه می‌باشند استفاده از پرده هوا جایگزین پیش‌فضا در قسمت ورودی بناها شده است. در خصوص استفاده از لایه‌های هوا اگرچه هوای استفاده شده کم هزینه می‌باشد اما به دلیل اجرای لایه‌های متعدد در نما و هزینه‌های اولیه اجرا به میزانی است که بازگشت سرمایه آن بر حسب ضخامت لایه هوا حدود ۲۴ تا ۳۶ سال می‌باشد (Zhang & Yang, 2018)، به همین خاطر استفاده از سایر عایق‌های حرارتی موجود در بازار مقرون به صرفه‌تر و سهولت اجرای آن نیز بیشتر می‌باشد. باتوجه به اینکه درزبندی مصالح و اجزای پیش ساخته ساختمان مانند درب و پنجره‌ها بهنگام تولید می‌بایست تست و آزمایش شود و نصب آن و اجرای عایق کاری حرارتی بنا چنانچه توسط نیروهای ماهر صورت گیرد، ساختمان مشکلی به لحاظ درزبندی هوا نخواهد داشت.

شکل ۱۲ توزیع فراوانی بهره‌گیری از راهکارهای کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن در طراحی پوسته‌ها را نشان می‌دهد. میزان بهره‌گیری از راهکارهای کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن و اولویت‌بندی آن صرفا بر اساس توزیع فراوانی با توجه به شکل ۱۲ به ترتیب زیر می‌باشد:

۱. اجرای دیوار یا بام سبز.

۲. استفاده از گلخانه یا آتریوم.

۳. استفاده از عایق‌های حرارتی قابل بازیافت در جداره‌ها.

۴. استفاده از حسگرهای هشدار دهنده دی‌اکسیدکربن.

۵. استفاده از مصالح سبز و بومی و قابل بازیافت.

استفاده از فضای سبز و گیاهان در پوسته ساختمان به دلیل جذب دی‌اکسیدکربن هوا و عمل فتوسنتز، نقش موثری در کاهش آلودگی هوای شهرها و پاکسازی محیط زیست داشته و در تمام ساختمان‌های صفرکربن مشاهده می‌شود. در ایران به دلیل هزینه به نسبت بالا جهت ساخت و نگهداری، زمان اجرای تقریبا طولانی جهت رشد گیاهان کمتر از کشورهای اروپایی کاربرد داشته است. نوع اقلیم نیز در استفاده از این روش و انتخاب نوع گیاهان موثر بوده که اقلیم معتدل پس از اقلیم استوایی مناسب‌تر از سایرین

Table 2. Ranking of solutions to reduce energy consumption in the envelope based on the feasibility

Solutions / Factors	Multi-glazed windows	Using intelligent building management system (BMS)	Use of canopy	Optimizing the material and surface of the translucent wall	Attention to the dimensions and position of the windows	Use of building materials with suitable heat capacity	Thermal insulation	Sealing building components	double-walled building
Cost(-)	Low (7)	high (3)	Low (7)	Low (7)	Low (7)	Low (7)	Low (7)	Low (7)	Very high (1)
Ease of implementation during construction (+)	Very high (9)	medium (5)	high (7)	high (7)	high (7)	high (7)	high (7)	high (7)	Very low (1)
Ease of implementation after construction (+)	high (7)	Low (3)	medium (5)	Very low (1)	Very low (1)	Very low (1)	Very low (1)	medium (5)	Very low (1)
Need for skilled labor (-)	Low (7)	High (3)	Low (7)	Low (7)	Low (7)	Low (7)	Low (7)	Low (7)	Very high (1)
Need for specialized equipment and machinery (-)	Very low (9)	High (3)	Very low (9)	Low (7)	Low (7)	Low (7)	Low (7)	Low (7)	High (3)
execution time (-)	medium (5)	High (3)	medium (5)	medium (5)	medium (5)	High (3)	medium (5)	Low (7)	High (3)
The amount of energy production (+)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)
payback period of the investment (+)	medium (5)	High (3)	Very low (1)	medium (5)	medium (5)	medium (5)	medium (5)	medium (5)	medium (5)
The weight of each index	0.08003314	0.0782131	0.1208867	0.11487919	0.11487919	0.12610773	0.11487919	0.07327869	0.17684307
The assigned weight based on the frequency of approaches usage	0.2	0.17	0.15	0.13	0.11	0.11	0.09	0.03	0.01
The combined weight of each index	0.15512608	0.1288586	0.17573357	0.14473371	0.12246698	0.13443717	0.10020026	0.02130512	0.01713851
The rank of each index based on the combined weighting method	2	5	1	3	6	4	7	8	9

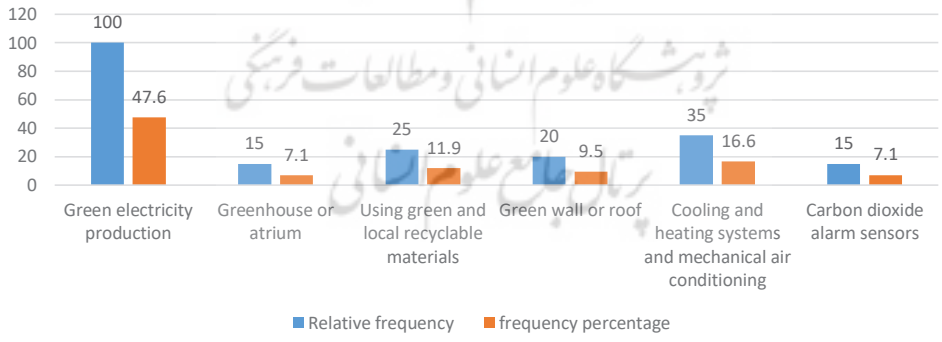

Fig. 12. Frequently distribution of using solutions to reduce CO2 emissions in the envelope design

جهت استفاده از راهکارهای دیوار و بام سبز و یا گلخانه و آتریوم می‌باشد. استفاده از عایق‌های حرارتی در ساختمان‌های صفرانرژی همانطور که در بخش کاهش مصرف انرژی ذکر شد جزو پر کاربردترین راهکارها به شمار می‌رود اما عایق‌های قابل بازیافت به دلیل هزینه بالاتر و محدودیت موجودی در بازار کمتر مورد استقبال قرار می‌گیرد. استفاده از حسگرهای هشداردهنده دی‌اکسیدکربن اگرچه در ارتقاء ایمنی ساختمان و سلامتی کاربران آن نیز موثر می باشد، ازجمله تجهیزاتی است که به دلیل عدم شناخت کاربرد و کارآیی آن کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

استفاده از مصالح سبز و بومی و قابل بازیافت از دیرباز در ایران از اهمیت زیادی برخوردار بوده است و در احداث بناهای مختلف در اقلیم‌های متفاوت نقش بسزایی داشته‌است. در ایران به دلیل داشتن اقلیم‌های متفاوت، توجه به این مهم بیش از کشورهای اروپایی می‌باشد. همچنین با ورود تکنولوژی های روز در صنعت مواد و مصالح و اصلاح ساختار مصالح بومی، میزان کارآیی آن افزایش یافته ضمن اینکه از سهولت اجرا در زمان ساخت برخوردار می‌باشد. جدول ۳ رتبه بندی راهکارهای کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن در پوسته بنا را بر اساس قابلیت اجرا نشان می‌دهد.

Table 3. Ranking of solutions to reduce CO2 emissions in the building envelope based on their feasibility

Solutions / Factors	Green electricity production	Cooling and heating system and natural and mechanical air conditioning	Using green and local recyclable materials	Use of green wall or roof	Use of greenhouse or atrium	CO2 Alarm sensors
Cost(-)	high (3)	Low (7)	medium (5)	high (3)	medium (5)	medium (5)
Ease of implementation during construction(+)	Low (3)	high (7)	high (7)	Low (3)	high (7)	high (7)
Ease of implementation after construction(+)	Very low (1)	Low (3)	Low (3)	Low (3)	medium (5)	medium (5)
Need for skilled labor(-)	high (3)	Low (7)	medium (5)	high (3)	Low (7)	high (3)
Need for specialized equipment and machinery(-)	Very high (1)	Low (7)	Very low (9)	medium (5)	Low (7)	medium (5)
Execution time(-)	high (3)	medium (5)	medium (5)	high (3)	high (3)	medium (5)
The amount of energy production (+)	high (7)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)
payback period of the investment (+)	high (7)	medium (5)	Low (3)	Low (3)	Low (3)	- (0)
The weight of each index	0.15718253	0.13800218	0.1660124	0.12639434	0.15312575	0.25928279
The assigned weight based on the frequency of approaches usage	0.48	0.17	0.12	0.09	0.07	0.07
The combined weight of each index	0.47429387	0.14748127	0.12523444	0.07151088	0.06738268	0.11409687
The rank of each index based on the combined weighting method	1	2	3	5	6	4

مقایسه نتایج حاصل از پژوهش با راهکارهای استخراج شده از ادبیات موضوع نشان می‌دهد راهکار استفاده از مصالح بومی قابل بازیافت به دلیل محدودیت در تنوع طرح و رنگ و انتخاب معمار کمتر مورد استقبال واقع می‌شود.

شکل ۱۳ توزیع فراوانی بهره‌گیری از راهکارهای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در طراحی پوسته ها را نشان می‌دهد. میزان بهره‌گیری از راهکارهای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و اولویت بندی آن صرفا بر اساس توزیع فراوانی با توجه به شکل ۱۳ به ترتیب زیر می‌باشد:

۱. استفاده از صفحات فتوولتاییک.

۲. استفاده از نور خورشید در طول روز جهت روشنایی و گرمایش.

۳. استفاده از تهویه طبیعی هوا.

۴. استفاده از سایبان خورشیدی.

۵. استفاده از کلکتور حرارتی خورشیدی.

۶. استفاده از دودکش‌های خورشیدی.

۷. استفاده از توربین‌های بادی.

۸. استفاده از پنجره‌های دارای فیلم خورشیدی.

۹. استفاده از سیستم جمع‌آوری آب باران.

۱۰. استفاده از سیستم تبرید خورشیدی (کلکتور سرمایشی).

۱۱. استفاده ازآبگرمکن خورشیدی.

۱۲. نورپردازی ال‌ای‌دی نما با استفاده از تکنولوژی نانوسولار.

۱۳. استفاده از دیوار ترومب.

۱۴. استفاده از داکت‌های آیینه‌ای.

۱۵. استفاده از لوله‌های خورشیدی.

۱۶. استفاده از بادگیر.

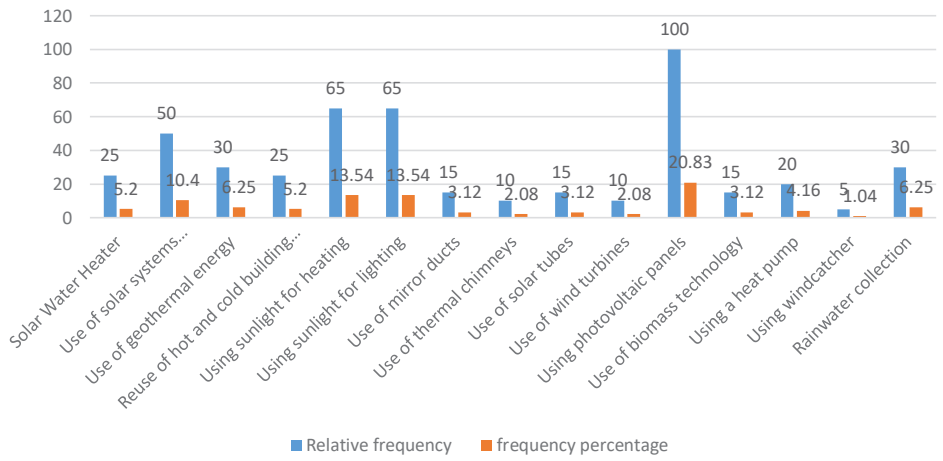

Fig. 13. Frequently distribution of renewable energy solutions in the envelope design

اولویت‌بندی انجام شده نشان می‌دهد از بین انرژی‌های تجدیدپذیر، بیشترین کاربرد در ساختمان را انرژی تجدیدپذیر خورشید داشته که بطور مستقیم با پوسته ساختمان در ارتباط می‌باشد. باتوجه به اینکه در ۹۰ درصد خاک ایران، بیش از ۳۰۰ روز آفتابی وجود دارد، استفاده از این انرژی در کشور می‌تواند از بازدهی بالایی برخوردار باشد. اگرچه در ایران اولویت اول با صرف هزینه‌های بالاتری مواجه بوده و به دلیل پایین بودن قیمت حامل‌های انرژی کمتر مورد استقبال قرار گرفته اما باتوجه به کاهش منابع سوخت‌های فسیلی و جلوگیری از روند روزافزون آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از مصرف این منابع و امتیاز بازگشت سرمایه به دلیل عدم پرداخت هزینه بابت برق مصرفی و تولید برق و فروش آن به شبکه شهری، در آینده نزدیک بیشترین استفاده را خواهد داشت. اما درکشورهای توسعه یافته صنعت سیستم‌های فتوولتاییک به دلیل افزایش مصرف در حال گسترش بوده و هر روزه شاهد پیشرفت های چشمگیر در زمینه میزان بهره‌وری، کارآیی و تنوع طرح و اندازه در این سیستم‌ها می‌باشیم. استفاده از سیستم‌های خورشیدی متصل به شبکه علاوه بر تامین برق مورد نیاز ساختمان می‌تواند تولید مازاد خود را به شبکه برق شهری فروخته و باعث درآمدزایی برای ساختمان شده و منجر به بازگشت سرمایه شود. اولویت‌های دوم و سوم با کمترین هزینه و تنها با پیش‌بینی تمهیدات لازم از جمله توجه به ابعاد، تناسبات و موقعیت پنجره‌ها در جبهه‌های مختلف بنا و در هر نما به هنگام طراحی و ساخت بنا قابل اجرا می‌باشد. کلکتورها و آبگرمکن‌های خورشیدی به دلیل انتقال حرارت به هوا و سیالات تاثیر مثبتی در گرمایش هوا و آب داشته که به دلیل کاهش چشمگیر مصرف انرژی و بازگشت سرمایه در ایران نیز مقرون به صرفه و کاربردی می‌باشد. سیستم تبرید خورشیدی به دلیل پیچیدگی و دشواری اجرا کمتر مورد استقبال جهانی قرار گرفته است. استفاده از سایر منابع تولید انرژی مانند انرژی باد به شدت تحت تاثیر اقلیم بوده و اجرای توربین‌های بادی صرفاً در مناطق بادخیز مناسب می‌باشد. همچنین به دلیل صعوبت نصب سازه آن در ساختمان و نیاز به تجهیزات و ماشین آلات تخصصی و کارآیی کمتر نسبت به صفحات فتوولتاییک در تولید انرژی در ساختمان کمتر مورد توجه قرار گرفته است. اولویت نهم که غالباً امکان جمع‌آوری آب بام ساختمان‌ها و ذخیره آن در مخازن می‌باشد، در کشورهای اروپایی به دلیل داشتن منابع آب زیاد کمتر پیش‌بینی شده است اما در ایران با توجه به بحران آب به خصوص در فصول گرم سال، استفاده از این راهکار ضرورت بیشتری دارد.

اولویت‌های ۱۳ تا ۱۶ می‌بایست در مرحله طراحی ساختمان پیش‌بینی شده و در زمان ساخت اجرا شوند. این راهکارها از هزینه بالایی برخوردار نمی‌باشد اما باتوجه به تغییراتی که در معماری ساختمان ایجاد می‌کند کمتر مورد توجه و استفاده قرار می‌گیرند. جدول ۴ رتبه‌بندی راهکارهای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در پوسته بنا را بر اساس قابلیت اجرا نشان می‌دهد.

مقایسه نتایج حاصل از پژوهش با راهکارهای استخراج شده از ادبیات موضوع نشان می‌دهد راهکارهایی چون استفاده از لوله‌های خورشیدی، داکت‌های آیینه‌ای، بادگیرها و سیستم‌های غیرفعال خورشیدی در نمونه‌های مورد بررسی اجرا نشده‌است. کاربرد لوله‌های خورشیدی و داکت‌های آیینه‌ای بیشتر در ساختمان‌هایی می‌باشد که به دلیل قرارگیری طبقات در زیرزمین امکان دسترسی مستقیم به نور طبیعی را ندارند. بادگیرکه از سمبل‌های معماری ایرانی می‌باشد، بیشتر در معماری سنتی ایران و در اقلیم گرم و خشک و تاحدودی گرم و مرطوب متداول می‌باشد که امروزه جای خود را به سیستم‌های سرمایشی و هواساز مکانیکی و الکتریکی داده‌اند. سیستم‌های غیرفعال خورشیدی مانند استفاده از دیوار ترومب، دیوار سنگین، پدیده ترموسیفون به دلیل تغییرات و محدودیت‌هایی که در معماری بنا و استفاده از بازشوها و نورگیرها ایجاد می‌کند کمتر مورد استقبال قرار گرفته‌اند. وزن‌دهی راهکارها و اولویت‌بندی کارآیی آن ها در هر سه دسته بطور جداگانه مشخص شده است. از آنجاکه مطالعات بیشتر، تکرار نمونه ساختمان‌های صفرانرژی و راهکارهای بررسی شده بود می‌توان نتیجه گرفت که داده‌ها به اشباع رسیده است. بررسی توزیع فراوانی راهکارها در سه دسته کاهش مصرف انرژی، کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر طبق شکل ۱۴ و مقایسه تطبیقی این راهکارها و وزن‌دهی معیارها با استفاده از آنتروپی شانون و تحلیل قابلیت اجرای اولویت های راهکارها در هر سه دسته به شرح جدول ۵ نشان می‌دهد، پرکاربردترین راهکارها در سه دسته به ترتیب مربوط به استفاده از صفحات فتوولتائیک، عایق‌کاری حرارتی جداره‌ها ، استفاده از تهویه طبیعی، توجه به ابعاد و موقعیت پنجره‌ها، استفاده از نور روز، استفاده از مصالح با ظرفیت حرارتی مناسب، استفاده از گلخانه و آتریوم و استفاده از دیوار و بام سبز می‌باشد. استفاده توامان این راهکارها در طراحی پوسته‌ها می‌تواند بیشترین بهره‌وری را به جهت کاهش مصرف انرژی و کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن در کوتاه مدت داشته باشد.

نتیجه‌گیری

از مهم‌ترین عوامل آلودگی هوا در شهرهای بزرگ، مصرف انرژی‌های فسیلی و گازهای گلخانه‌ای بوده که بخش ساختمان و مسکن با مصرف بیش از ۴۰ درصد انرژی، بزرگترین مصرف‌کننده انرژی در ایران می‌باشد. از آنجا که بیشترین مصرف انرژی مربوط به ساختمان‌ها در شهرهای بزرگ بوده و بیشترین هدررفت انرژی از طریق پوسته و نمای بیرونی بناها

صورت می‌گیرد، لذا با طراحی مناسب پوسته‌های بیرونی بنا می‌توان مصرف انرژی و انتشار کربن در محیط را کنترل و کاهش داد. در این تحقیق ضمن بررسی راهکارهای طراحی پوسته ساختمان‌های صفر انرژی در جهت کاهش مصرف انرژی، انتشار دی‌اکسیدکربن و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به بررسی ۳۴ نمونه ساختمان اداری در مناطق معتدل اروپایی و شناسایی پرکاربردترین راهکارهای طراحی

Table 4. Ranking of solutions for the use of renewable energies in the building envelope based on feasibility

Solutions / Factors	Using photovoltaic panels	Using sunlight for heating	Using sunlight for lighting	Use of solar systems connected to the grid	Use of geothermal energy	Rainwater collection for use in the building	Use of solar water heater	Reuse of hot and cold air	Use of Trombe wall	Use of mirror ducts	Use of solar tubes	Use of biomass technology	Use of solar chimneys	Use of wind turbines	Use of windbreaker
(-) Cost	Very high (1)	Low (7)	Low (7)	Very high (1)	Very high (1)	high (3)	high (3)	high (3)	medium (5)	medium (5)	medium (5)	high (3)	high (3)	Very high (1)	Low (7)
Ease of implementation during construction(+)	Low (3)	high (7)	high (7)	Low (3)	Low (3)	Low (3)	Low (3)	Low (3)	medium (5)	medium (5)	medium (5)	Low (3)	Low (3)	Low (3)	high (7)
Ease of implementation after construction(+)	Very low (1)	Low (3)	Low (3)	Very low (1)	Very low (1)	Very low (1)	Very low (1)	Very low (1)	Very low (1)	Very low (1)	Very low (1)	Very low (1)	Very low (1)	Very low (1)	Low (3)
Need for skilled labor(-)	high (3)	Very low (9)	Very low (9)	Very high (1)	Very high (1)	high (3)	high (3)	high (3)	medium (5)	medium (5)	medium (5)	high (3)	high (3)	high (3)	Low (7)
Need for specialized equipment and machinery (-)	Very high (1)	Very low (9)	Very low (9)	Very high (1)	high (3)	Low (7)	high (3)	high (3)	Low (7)	Low (7)	Low (7)	high (3)	high (3)	high (3)	Very low (9)
execution time(-)	high (3)	medium (5)	medium (5)	Very high (1)	high (3)	medium (5)	high (3)	medium (5)	medium (5)	medium (5)	medium (5)	Very high (1)	high (3)	high (3)	Low (7)
The amount of energy production (+)	Very high (9)	- (0)	- (0)	Very (9) high	medium (5)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	high (7)	- (0)	high (7)	- (0)
payback period of the investment (+)	Very high (9)	Low (3)	Low (3)	Very (9) high	medium (5)	Low (3)	medium (5)	medium (5)	medium (5)	Low (3)	Low (3)	high (7)	medium (5)	high (7)	medium (5)
The weight of each index	0.09326	0.06062	0.06062	0.13418	0.04843	0.07281	0.0580	0.0620	0.06147	0.06562	0.06562	0.05462	0.0580	0.05462	0.05006
The assigned weight based on the frequency of approaches usage	0.21	0.14	0.14	0.11	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01
The combined weight of each index	0.25981	0.11258	0.11258	0.19580	0.03855	0.05795	0.03847	0.0411	0.03261	0.02611	0.02611	0.02173	0.0153	0.01449	0.00664
The rank of each index based on the combined weighting method	1	3	3	2	7	5	8	6	9	10	10	12	13	14	15

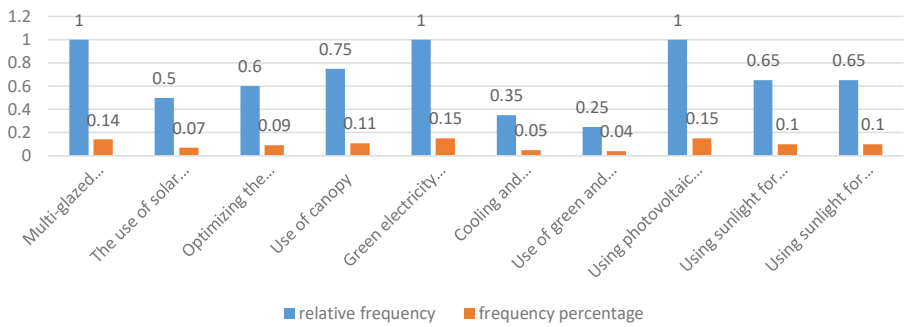

Fig. 14. Comparison of the frequently distribution of the most used solutions in the three categories of energy consumption, carbon dioxide emissions, and use of renewable energies

Table 5. Analysis of feasibility and weighting of the priorities of the solutions in the design of buildings envelope for the simultaneous reduction of energy consumption and carbon dioxide emissions and the use of renewable energies

Solutions / Factors	Using photovoltaic panels	The use of solar systems connected to the municipal electricity network	Green electricity production	Multi-glazed windows	Optimizing the material and surface of the translucent wall	Use of canopy	Using sunlight for heating	Using sunlight for lighting	Use of cooling and heating systems and natural and mechanical air conditioning	Use of green and native and recyclable materials
Cost(-)	Very high (1)	Very high (1)	high (3)	Low (7)	Low (7)	Low (7)	Low (7)	Low (7)	Low (7)	medium (5)
Ease of implementation during construction(+)	Low (3)	Low (3)	Low (3)	Very high (9)	high (7)	high (7)	high (7)	high (7)	high (7)	high (7)
Ease of implementation after construction(+)	Very low (1)	Very low (1)	Very low (1)	high (7)	Very low (1)	medium (5)	Low (3)	Low (3)	Low (3)	Low (3)
Need for skilled labor(-)	high (3)	Very high (1)	high (3)	Low (7)	Low (7)	Low (7)	Very low (9)	Very low (9)	Low (7)	medium (5)
Need for specialized equipment and machinery(-)	Very high (1)	Very high (1)	Very high (1)	Very low (9)	Low (7)	Very low (9)	Very low (9)	Very low (9)	Low (7)	Very low (9)
execution time(-)	high (3)	Very high (1)	high (3)	medium (5)	medium (5)	medium (5)	medium (5)	medium (5)	medium (5)	medium (5)
The amount of energy production(+)	Very high (9)	Very high (9)	high (7)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)
payback period of the investment (+)	Very high (9)	Very high (9)	high (7)	medium (5)	medium (5)	Very low (1)	Low (3)	Low (3)	medium (5)	Low (3)
The weight of each index	0.13589271	0.19551438	0.07958924	0.06548895	0.09400253	0.09891831	0.08832817	0.08832817	0.06987729	0.08406024
The assigned weight based on the frequency of approaches usage	0.15	0.07	0.15	0.14	0.09	0.11	0.1	0.1	0.05	0.04
The combined weight of each index	0.20581508	0.1381868	0.12054117	0.09257333	0.08542242	0.10986496	0.08918443	0.08918443	0.03527734	0.03395005
The rank of each index based on the combined weighting method	1	2	3	5	8	4	6	6	9	10

پوسته‌های آن پرداخته شده است. سپس پرکاربردترین راهکارهای شناسایی شده جهت امکان سنجی قابلیت اجرا برای ساختمان‌های اداری در مناطق دارای اقلیم مشابه در ایران بر اساس پارامترهایی چون هزینه، سهولت اجرا در زمان ساخت و پس از ساخت بنا، نیاز به نیروی کار ماهر و تجهیزات تخصصی، زمان اجرا، میزان تولید انرژی و بازگشت سرمایه با استفاده از آنتروپی شانون وزن‌دهی و برحسب وزن ترکیبی حاصل از کاربرد و قابلیت اجرا رتبه‌بندی شده است.

نتایج حاصل از تحقیق نشان می‌دهد پرکاربردترین راهکارها به ترتیب مربوط به استفاده از صفحات فتوولتائیک، عایق‌کاری حرارتی جداره‌ها، استفاده از تهویه طبیعی، توجه به ابعاد و موقعیت پنجره‌ها، استفاده از نور روز، استفاده از مصالح با ظرفیت حرارتی مناسب، استفاده از گلخانه و آتریوم و استفاده از دیوار و بام سبز می‌باشد. باتوجه به بدیع بودن مساله احداث و بهره‌برداری از ساختمان‌های صفر انرژی در ایران و عدم تجربه کسب میزان کارآیی و بهره‌وری انرژی این ساختمان ها با استفاده از راهکارهای متعدد تاکنون، طراحی بهینه و مناسب و کسب بیشترین بهره‌وری انرژی از ساختمان‌هایی که در آینده نزدیک در ایران طراحی و اجرا می‌شوند، مستلزم استفاده از تجارب کشورهای پیشرفته و امکان‌سنجی قابلیت اجرای آن راهکارها بوده و نتایج این تحقیق می‌تواند کمک موثری به طراحان در این زمینه باشد.

پی‌نوشت

1. Zero Carbon Building
2. EPBD (Energy Performance of Buildings Directive)
3. DOE (Department of Energy)
4. Cardiff
5. Predicted Mean Vote
6. Seal
7. Sudaporn
8. Bundit
9. EMS
10. PCM

تشکر و قدردانی

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که در انجام این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافعی برای ایشان وجود نداشته است.

تاییدیه‌های اخلاقی

نویسندگان متعهد می‌شوند که کلیهٔ اصول اخلاقی انتشار اثر علمی را براساس اصول اخلاقی COPE رعایت

کرده‌اند و در صورت احراز هر یک از موارد تخطی از اصول اخلاقی، حتی پس از انتشار مقاله، حق حذف مقاله و پیگیری مورد را به مجله می‌دهند.

منابع مالی/ حمایت‌ها

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

مشارکت و مسئولیت نویسندگان

نویسندگان اعلام می‌دارند به‌طور مستقیم در مراحل انجام پژوهش و نگارش مقاله مشارکت فعال داشته و به طور برابر مسئولیت تمام محتویات و مطالب گفته شده در مقاله را می‌پذیرند.

References

1. Abedi, Afshin; Ahmadi Nadushan, Afshin; Talebi, Mansour. (2014). The role of different government departments, specialists and the general public in reducing the energy consumption of buildings, Danesh Nama Monthly, 23rd year, 3rd period . [In Persian]
2. Aelenei, D. Aelenei, L. Musall3, E. Cubi, E. Ayoub, J. Belleri, A. (2013). Design Strategies for Non-Residential Zero-Energy Buildings Lessons Learned from Task40/Annex 52 Towards Net Zero-Energy Solar Buildings. CONFERENCE PAPER.
3. Aelenei, L. Lollini, R. Gonçalves, H. Aelenei, D. Noguchi, M. Donn5, M. Garde, F.(2011). Passive Cooling Approaches In Net-Zero Energy Solar Buildings: Lessons Learned From Demonstration Buildings. Conference paper.
4. Aelenei, Laura. Aelenei, Daniel. Gonçalves, Helder. Lollini, Roberto. Musall, Eike. Scognamiglio, Alessandra. Cubi, Eduard. Noguchi, Massa. (2012). DESIGN ISSUES FOR NET ZERO-ENERGY BUILDINGS.
5. Aelenei, Laura. Gonçalves, Helder. (2014).From solar building design to Net Zero Energy Buildings: performance insights of an office building. Volume 48, Pages 1236-1243.
6. Akrami, Gholamreza. Alipour, Leila (2016). The role of local materials in sustainable architecture from an environmental point of view. Village housing and environment magazine. No. 156, 29-48. [In Persian]
7. Alizadeh, Alireza (2012). Lighting and the necessity of its appropriateness with regard to the principle of efficiency and optimization, Isfahan University of Medical Sciences news site. [In Persian]
8. Amani, Saeed; Bagheri, Mohammad; Tavakoli, Ahmadreza; Ziyari, Mohammad Taghi; Miri, Motalleb (2010). Management of energy consumption in buildings, Energy Efficiency Organization of Iran (SABA). [In Persian]
9. Ching, Frank. (2012). A Visual Dictionary of Architecture. 2nd ed. Hoboken, N.J.: Wiley.
10. CLG, Building a greener future: policy statement. The Stationery Office, London, 2007.
11. De Luca, Francesco. Kurnitski, Jarek. Dogan, Timur. (2018, June). Methodology for Determining Fenestration Ranges for Daylight and Energy Efficiency in Estonia, Conference Paper.
12. De Luca, Francesco. Thalfeldt, Martin. (2018). Comparison of Static and Dynamic Shading Systems for Office Building Energy Consumption and Cooling Load Assessment. Management of Environmental Quality, Emerald, Volume 29 Issue 5.
13. DOE to Pursue Zero-net Energy Commercial Buildings. Am. Ceram. Soc. Bull., 87(10) (2008) 21-21.
14. EPBD Recast, DIRECTIVE 2010/31/EU of The European Parliament and of The Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (Recast), in 18/06/2010, O. J. E. U. (2010) L 153/13-L153/35.
15. F. Gardea*, A. Lenoira, A. Scognamigliob, D. Aeleneic, D. Waldrend, H. N.Rostvike, J. Ayoubf, L. Aeleneig, M. Donnh, M. Tardiff, S. Coryh. (2014). Design of Net Zero Energy Buildings: Feedback from international projects. Energy Procedia 61, 995 – 998.
16. Fakhari, Maryam; Heydari, Shahin (2013). Optimizing the solar chimney and investigating its effect on building ventilation, Journal of Fine Arts-Architecture and Urban Development, Volume 18, Number 2. [In Persian]
17. Favoino, Fabio. Overend, Mauro. Jin, Qian. (2015). The optimal thermo-optical properties and energy saving potential of adaptive glazing technologies, Applied Energy Volume 156, 15, Pages 1-15.
18. Fayaz, Rima; Muntaser Kohsari, Aida. (2013). Analysis of greenhouse use to save energy consumption in residential buildings, the third international conference on new approaches in energy conservation. [In Persian]
19. Fenga, Guohui. Chia, Dandan. Xua, Xiaolong. Doua, Baoyue. Suna, Yixin and Fua, Yao. (2017). Study on the Influence of Window-wall Ratio on the Energy Consumption of Nearly Zero Energy Buildings. Procedia Engineering 205,730–737.
20. Garde, François. Donn, Michael. (2014). Solution sets and Net Zero Energy Buildings: A review of 30 Net ZEBs case studies worldwide. A report of Subtask C, IEA Task 40/Annex 52 Towards Net Zero Energy Solar Buildings.
21. Ghiabaklou, Zohre. (2010). Fundamentals of building Physics, Regulating environmental conditions, Amir Kabir University of technology in Iran (Tehran Polytechnic). [In Persian]
22. Gracia, Alvaro de. (2019). Dynamic building envelope with PCM for cooling purposes – Proof of concept. Applied Energy 235, 1245–1253.
23. H. Poirazis, Å. Blomsterberg, M. Wall. (2008). Energy simulations for glazed office buildings in Sweden, Energy and Buildings 40 (7), 1161–1170.
24. Hadianpour, Mohammad; Zarkesh, Afsane;

Mahdavinejad, Mohammad Javad (2014). How to use two-layer facades to the optimal use of energy in buildings, Danesh Nama monthly, twenty-third year, number 227-229. [In Persian]
25. Heydari, Shahin; Mohammadkari, Behrouz; Askari Anarki, Ahmed (2015). Combining thermal solar collector with building facade, Naqsh Jahan magazine, Tarbiat Modares University Publications, Volume 5, number 2. [In Persian]
26. International Energy Agency (IEA). (2010). Energy Technology Perspectives 2010: Scenarios & Strategies to 2050; International Energy Agency: Paris, France.
27. JASE-W Japanese Smart Energy Products & Technologies, www.jase-w.eccj.
28. K. Loukaidoua, A. Michopoulos, Th. Zachariadis2017) .). Nearly-Zero Energy Buildings: Cost-Optimal Analysis of Building Envelope Characteristics, Procedia Environmental Sciences 38, 20 – 27.
29. Khoshnoud Zargar, Saba; Fili, Lida; Ziran, Hamid (2016). Investigating the design methods of residential units based on zero-carbon architecture, the third international research conference in science and technology. [In Persian]
30. Mabna (2013). Introducing the design method of Iran's first zero energy building. [In Persian]
31. Mayhoub, Mohammad (2013). Dual HVAC and Light Duct System: An innovative approach increasing the daylight utilization in buildings, Conference: Future Build 2013.
32. Ministry of Energy, energy balance sheet for 2015. [In Persian]
33. Mohammad, Shaghaig (2013). Studying the thermal behavior of common materials in wall construction, case study: residential buildings in Tehran. Journal of Fine Arts, Architecture and Urban Planning, Volume 18, Number 1, 69-78. [In Persian]
34. Moosavi, Leila. Mahyuddin, Norhayati. Ab-Ghafar, Norafida. Azzam Ismail, Muhammad. (2014). Thermal performance of atria: An overview of natural ventilation effective designs" Renewable and Sustainable Energy Reviews", p 654–670.
35. Motalaie, Sanaz (2014). Examining the role of front space at the entrance in order to reduce the energy consumption of the building through software simulation, National Conference on Architecture and Sustainable Urban Landscape. [In Persian]
36. Nasrollahi, Farshad. (2011). Architectural and urban regulations that reduce the energy consumption of buildings, National Energy Commission of Iran. [In Persian]
37. National building regulations, topic 19. [In Persian]
38. Nearly Zero-Energy Building (nZEB). (2016). technology solutions, cost assessment and performance, ZEBRA2020: NEARLY ZERO-ENERGY BUILDING STRATEGY 2020, produced in the context of the ZEBRA2020 IEE/13/675/S12.675834 Project.
39. Osmani, Mohamed, O'Reilly, Alistair (2009). Feasibility of zero carbon homes in England by 2016: a house builder's perspective. Build. Environ. 44 (2009) 1917 1924.
40. Packmangroup. (2015). Retrieved from: http://www.packmangroup.com/news_item/260, at June 25, 2015.
41. Paoletti, Giulia. Pascuas, Ramón Pascual. Pernetti, Roberta. Lollini, Roberto. (2017). Nearly Zero Energy Buildings: An Overview of the Main Construction Features across Europe, Buildings (Journal from MDPI), volume 3.
42. Perlova, Elena. , Platonova, Mariia. , Gorshkov, Alexandr. , Rakova, Xenyiya*. (2015). Concept Project of Zero Energy Building, Procedia Engineering 100, 1505 – 1514.
43. Pikas, M. Thalfeldt, J. Kurnitski,J. (2014). Cost optimal and nearly zero energy building solutions for office buildings. Energy and Buildings 74, 30–42.
44. Razavian, Mohammad Taghi; Ghafouripour, Amin; Razavian, Mahan (2010). Green roofs, environment preparation, volume 3, number 1. [In Persian]
45. Rezamanesh, Munire; Nazari Azar, Mohammad (2014). Renewable energy and its application in building (photovoltaic system), Daneshnama No. 227-229. [In Persian]
46. S.C.M. Hui (2010). Zero energy and zero carbon buildings: myths and facts. In Proceedings of the International Conference on Intelligent Systems, Structures and Facilities: Intelligent Infrastructure and Buildings, Hong Kong, 2010.
47. Sabori, Saber; Rajabian, Elham; Fahimi Escoi, Zahra (2014). Examining the performance of two-shell facades in order to provide thermal comfort and energy storage in buildings, Iranian National Electronic Conference on Environment and Energy. [In Persian]
48. Sadeghi, Hossein; Kalantar, Valley (2016). Improving the wind catcher performance using an underground channel, Modarres Mechanical Engineering Magazine, No. 13, Volume 16. [In Persian]
49. Salehi, Majid (2011). Presenting an architectural model and proposing climate-compatible envelopes with the approach of providing thermal comfort in hot and dry climates, Master's Thesis, Ilam University. [In Persian]
۵۰. Sánchez, Alberto. Salom, Jaume. Cubí, Eduard. (2012). TOWARDS NET ZERO ENERGY OFFICE BUILDINGS IN SPAIN: A REVIEW OF 12 CASE STUDIES. Conference paper.
51. Scognamiglio, Alessandra. Musall, Eike, Røstvik, Harald N. (2012). Photovoltaics And (Nearly) Net Zero Energy Buildings: Architectural Considerations. Conference Paper.
52. Sharifian Ghazi Jahani, Helen (2015). Studying the effect of thermal mass of common materials in the construction of building external walls in energy consumption reduction: a case study of

Tabriz buildings, the international conference on construction architecture and urban planning at the beginning of the third millennium. [In Persian]
53. Sharqi, Ali; Mohtashami, Mohammad Hossein. (2007). Green spaces in tall buildings with a new approach to nature, Environmental Science and Technology Quarterly, Article 5, Volume 9, Number 4. [In Persian]
54. Shiravi Khozani, Taheri Asl, Sadeghi. (2013). Change in the lighting system design pattern and optimal use of natural light in the building, the second national climate, building and energy consumption optimization conference. [In Persian]
55. Sudaporn, Chungloo, Bundit, Limmeechokchai. (2009). Utilization of cool ceiling with roof solar chimney in Thailand: The experimental and numerical analysis, Renewable Energy, 34, pp 623_633.
56. The principles of optimal use of natural and artificial lighting, taken from Appendix 15 of the 19th topic guide (Energy saving). [In Persian]
57. Troi, Alexandra. Tribus, Michael. Costa, Andrea. Haberer, Walter. Parisi, Davide. Sparber, Wolfram. (2008, October). Towards Zero Energy Renovation: Ex-Post Building in Bolzano/Italy. International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22nd - 24th.
58. Turkjezi, Milad (2014). New technologies to optimize energy consumption. [In Persian]
59. Turkjezi, Milad; Taqavi, Hamidreza (2013). New technologies to optimize energy consumption, the second national conference on climate, building and energy consumption optimization. [In Persian]
60. UK Building Regulations and EU Directives. (2014). Zero carbon homes and nearly zero energy buildings, Zero Carbon Hub, London.
61. Vernos, Achaemenid (2015). Ground Cover Plants and its impact on air pollution, international conference on new researches in agricultural and environmental sciences. [In Persian]
62. Wali Allahi, Jalal; Mati Birjandi, Ali Akbar (2010). A look at clean energy and environmentally friendly structures in the design of cities, the fourth Iranian fuel cell conference. [In Persian]
63. Wang, L.P. Gwilliam, J. Jones, P. (2009). Case study of zero energy house design in UK. Energy Buildings 41(11) 1215-1222.
64. Wulfinghoff, Donald R. (1999). Energy Efficiency Manual, Wheaton, Maryland USA, Energy Institute Press.
65. Yildiz, Yusuf. Durmas, Arsan, (2011). Identification of the building parameters that influence cooling and heating energy loads for apartment building in hot-humid climates. Energy 36, 4287-4296.
66. Zarghami, Ismaeil; Adibi, Elahe (2016). Evaluation of thermal performance of the green roof in sustainability and optimization of energy consumption of residential buildings in the hot and dry climate of Iran, Journal of Architecture and Sustainable Urban Development, 4th year, 1st issue. [In Persian]
67. Zeller, Achim. Thiemann, Ansgar. Reeth, Bart Van. (2010). Net Zero Energy Office Building Germany, Ruhr region.
68. Zhang,Tiantian.Yang,Hongxing. (2018, Octoaber). Optimal thickness determination of insulating air layers in building envelopes. Energy Procedia, Volume 152, Pages 444-449.
69. Zulfiqari, Alireza; Saadati Nesab, Mehran; Moslehi, Hamed; Nowrozi Jajarm, Elahe (2014). Analysis of the effects of using double-layered facade as a solution for energy conservation in Iranian residential buildings using Design Builder software, the third international conference on new approaches in energy conservation. [In Persian]

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی