



The University of Tehran Press

Analytical Study of the Link Between Energy Use and Climatic Design Features (Form, Envelope, Openings, and Roof) in Residential Apartments in Iran's Humid and Moderate Climate from Expert Insights

Fatemeh Taheri Gorji¹ | Mohammad Reza Ebrahimnejad^{2*} | Noushin Abbasi³

1. PhD Student in Architecture, Department of Architecture, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran. Email: Fatemeh.taherigorji@gmail.com

2. Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Architecture, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran. Email: mr.ebrahimnejad@iau.ac.ir

3. Assistant Professor, Department of Architecture, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran. Email: n.abbasi@iaushk.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:

Received 01 February 2025

Revised 19 March 2025

Accepted 28 April 2025

Published Online 23 August 2025

Keywords:

Climatic architecture,
Energy consumption,
Residential apartments,
Temperate climate and environment.

ABSTRACT

The primary aim of this research is to assess the influence of each design parameter (form, envelope, openings, and roof) from the viewpoint of professionals in this field, focusing on residential apartment designs for energy reduction in Iran's humid and moderate climate. This research adopts an applied methodology, utilizing both qualitative and quantitative techniques based on the nature of the data. In the qualitative phase, thematic analysis was employed to prioritize the components and define the critical design elements for reducing energy consumption. Initially, 41 indicators were identified for the four main parameters (form, envelope, openings, and roof). The quantitative phase involved using a questionnaire, with expert feedback ensuring the accuracy of the findings, leading to the identification and ranking of 37 final indicators. The results reveal that, from the experts' point of view, to reduce energy consumption in residential apartments in Iran's humid and moderate climate, the envelope and openings components received the highest rankings, with weights of 0.383 and 0.312, respectively. Among envelope elements, the highest weight was given to avoiding metal materials. For openings, the most significant factor was the optimal placement of windows. In terms of roof design, the most valued element was the use of sloped roofs, while for form, the spacing between buildings ranked the highest. Experts in this field suggest that following the prioritization proposed in this study could effectively contribute to lowering energy consumption in residential apartments in the target climate.

Cite this article: Taheri Gorji, F.; Ebrahimnejad, M. R. & Abbasi, N. (2025). Analytical Study of the Link Between Energy Use and Climatic Design Features (Form, Envelope, Openings, and Roof) in Residential Apartments in Iran's Humid and Moderate Climate from Expert Insights. *Journal of Sustainable Energy Systems*, 4 (4), 427-443. DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2025.390771.1124>



© Fatemeh Taheri Gorji, Mohammad Reza Ebrahimnejad, Noushin Abbasi

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2025.390771.1124>

Introduction

Residential buildings in various countries annually account for 30 to 50 percent of total energy demand, with over 40 percent of energy consumption in Iran attributed to the residential sector. It is important to note that heating and cooling systems are among the primary energy consumers in residential buildings in Iran, making them highly significant. A review of related research shows that numerous studies have focused on reducing energy consumption for mountainous and hot-dry climates. However, there has been limited research specifically addressing temperate and humid climates, despite their cold winters, hot summers, and the need for both heating and cooling.

Additionally, unlike existing studies, this research comprehensively identifies and prioritizes all the key indicators related to the four components—form, façade, openings, and roof—aimed at reducing energy consumption in the design of residential apartments in Iran's temperate and humid climate. The presence of this research gap highlights the significance of this study for this specific climate. The primary objective of this research is to assess the impact of each parameter (form, façade, openings, and roof) from the perspective of experts for designing residential apartments in Iran's temperate and humid climate to reduce energy consumption. The secondary objective is to prioritize the components of form, façade, openings, and roof in temperate and humid regions of Iran for reducing energy consumption in residential apartment design from the viewpoint of experts.

Research Methodology

This study is applied in terms of its objective and employs a qualitative-quantitative approach based on the nature of its data. In the qualitative section, content analysis was conducted according to the research objectives, resulting in the extraction of 41 initial indicators for the four parameters. In the quantitative section, a questionnaire with six options was distributed to 48 field experts for data analysis using a one-sample t-test and the Friedman test. Additionally, a paired comparison questionnaire was given to 10 highly experienced and relevant experts. As a result, 37 final indicators were identified and prioritized.

Conclusion

The results of this study indicated that, according to experts, the building envelope and openings parameters ranked highest, with weights of 0.383 and 0.312, respectively. Within the building envelope parameter, the factor of avoiding metal use carried the highest weight. For the openings parameter, the proper placement of windows was given the highest weight. In the roof parameter, the use of pitched roofs received the highest weight, while for the form parameter, the greatest weight was associated with the distance between buildings. If each of the 38 final indicators from the four parameters (form, envelope, openings, and roof) is applied to residential buildings in Iran's moderate and humid climate, some factors should be integrated into architectural plans by architects and designers, while others should be added by builders. Implementing these components will primarily improve the energy efficiency of residential buildings by reducing energy waste, leading to a decrease in fossil energy consumption for cooling and heating in this specific climate. This reduction will also lower environmental pollution by decreasing the dependence on and extraction of fossil fuels. In addition, for residents of these buildings, the long-term reduction in fossil energy consumption will lower household energy costs, enhance quality of life, and facilitate the use of renewable energy sources. Moreover, applying these components will improve construction quality and enhance the reputation of builders and architects.



انتشارات دانشگاه تهران

فصلنامه سیستم‌های انرژی پایدار

سایت نشریه: <https://ses.ut.ac.ir>

شاپا الکترونیکی: ۸۶۹۳-۲۹۸۰

بررسی تحلیلی رابطه میان مصرف انرژی و ویژگی‌های کالبدی طراحی اقلیمی (فرم، جداره، بازشو و بام) در آپارتمان‌های مسکونی ناحیه معتدل و مرطوب ایران از دیدگاه خبرگان

فاطمه طاهری گرجی^۱ | محمدرضا ابراهیم‌نژاد^{۲*} | نوشین عباسی^۳

۱. دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران. رایانامه: Fatemeh.taherigorji@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، استادیار، گروه معماری، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران. رایانامه: mr.ebrahimnejad@iaushk.ac.ir
۳. استادیار، گروه معماری، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران. رایانامه: n.abbasi@iaushk.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۰۱

کلیدواژه:

آپارتمان‌های مسکونی،

اقلیم معتدل و مرطوب،

مصرف انرژی،

معماری اقلیمی.

بخش ساختمان در ایران به‌تنهایی حدود ۴۰ درصد از کل انرژی تولیدی کشور را مصرف می‌کند. هدف اصلی این پژوهش، بررسی میزان اثرگذاری و هدف بعدی اولویت‌بندی برای هر یک از پارامترهای فرم، جداره، بازشو و بام از دیدگاه خبرگان این حوزه برای طراحی آپارتمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب ایران به منظور کاهش مصرف انرژی است. این مطالعه بر اساس هدف، کاربردی و بر اساس ماهیت داده‌ها، کیفی-کمی است. در بخش کیفی، با توجه به هدف پژوهش از تحلیل مضمون استفاده شده، و برای ۴ پارامتر، ۴۱ شاخص اولیه استخراج شده است؛ و در بخش کمی از پرسشنامه با ۶ گزینه که در اختیار ۴۸ نفر از خبرگان این حوزه برای تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون t تک‌نمونه‌ای و آزمون فریدمن و همچنین پرسشنامه مقایسات زوجی به ۱۰ نفر از متخصصان خبره که سابقه کار بالا و مرتبط دارند استفاده شده است؛ و ۳۷ شاخص نهایی شناسایی و اولویت‌بندی شدند. یافته‌های این پژوهش نشان داد از دیدگاه خبرگان مؤلفه‌های جداره و بازشو به وزن ۰/۳۸۳ و ۰/۳۱۲ بالاترین رتبه را داشته‌اند. در مؤلفه جداره، بالاترین وزن مربوط به عامل عدم استفاده از فلز، در مؤلفه بازشو بالاترین وزن مربوط به جای‌گذاری مناسب پنجره، در مؤلفه بام بالاترین وزن مربوط به استفاده از بام شیب‌دار و در مؤلفه فرم بالاترین وزن مربوط به فاصله بین بناها بود. در مقایسه با مطالعات مشابه، یافته‌های این پژوهش به صورت جامع تمامی شاخص‌های مؤثر ۴ مؤلفه را به منظور کاهش مصرف انرژی برای طراحی آپارتمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب ایران استخراج و اولویت‌بندی کرده است.

استناد: طاهری گرجی، فاطمه؛ ابراهیم‌نژاد، محمدرضا و عباسی، نوشین (۱۴۰۴). بررسی تحلیلی رابطه میان مصرف انرژی و ویژگی‌های کالبدی طراحی اقلیمی (فرم، جداره، بازشو و بام) در آپارتمان‌های مسکونی ناحیه معتدل و مرطوب ایران از دیدگاه خبرگان. *فصلنامه سیستم‌های انرژی پایدار*، ۴ (۴) ۴۲۷-۴۴۳.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2025.390771.1124>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© فاطمه طاهری گرجی، محمدرضا ابراهیم‌نژاد، نوشین عباسی

DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2025.390771.1124>



۱. مقدمه

یکی از دغدغه‌های اصلی جهان حاضر، تراکم شهرنشینی، رشد صنایع، افزایش مصرف انرژی و همچنین، کاهش ذخایر انرژی تجدیدناپذیر است. درخور یادآوری است صنعت ساختمان یکی از مصرف‌کننده‌های اصلی انرژی شناخته می‌شود؛ که حدود ۴۰ درصد از کل مصرف انرژی جهان را به خود اختصاص داده است، این مسئله اهمیت نقش این صنعت را در مصرف انرژی و تأثیرات آن بر محیط زیست افزایش می‌دهد [۱۲]. همچنین، در این میان ساختمان‌های مسکونی در کشورها سالانه سهمی معادل ۳۰ تا ۵۰ درصد از کل تقاضای انرژی مصرفی را به خود اختصاص می‌دهند. این امر تأثیر چشمگیر ساختمان‌های مسکونی بر مصرف انرژی را نشان می‌دهد و همچنین، از طرفی اهمیت تدوین و اجرای استراتژی‌های بهره‌وری انرژی را آشکار می‌سازد [۱۱]. با وجود افزایش دمای زمین و همچنین تغییرات اقلیمی ناشی از آن، پیش‌بینی شده است مصرف انرژی در بخش ساختمان تا سال ۲۰۵۰ افزایش می‌یابد. بنابراین، به کار بستن تمهیدات درست در ساختمان به منظور مواجهه با تغییرات اقلیمی و همچنین، نیاز رو به افزایش مصرف انرژی بسیار ضروری است [۷]. جامعه جهانی امروزه به سبب افزایش آلاینده‌های ناشی از سوخت‌های فسیلی به سمت استفاده از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر سوق داده شده است؛ از این‌رو در رابطه با موضوع انرژی ساختمان‌ها، استفاده از این نوع انرژی‌های نو و تجدیدپذیر به‌شدت مورد توجه قرار گرفته است [۱۶].

در ایران بیش از ۴۰ درصد از کل مصرف انرژی در بخش مسکونی استفاده می‌شود؛ که این انرژی در مرحله ساخت به صورت انرژی نهان و همچنین، در فاز بهره‌برداری به صورت انرژی مصرفی ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. درخور یادآوری است بین مؤلفه‌های مصرفی انرژی در ساختمان‌های مسکونی ایران، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی از جمله مصرف‌کنندگان عمده شناخته می‌شوند و از اهمیت بالایی برخوردار هستند [۳].

اقلیم همواره نقش تأثیرگذاری را در اشکال کالبد معماری ایفا کرده است، به همین سبب کالبد‌های ساخته‌شده در اقلیم‌ها تفاوت بسیاری با هم دارند. معماری اقلیمی ایران به اندازه‌ای در گذشته غنی بوده، که بدون نیاز به انرژی‌های گرمایشی و سرمایشی پاسخ‌گوی نیاز مصرف‌کنندگان بوده است؛ اما امروزه آپارتمان‌های مسکونی با توجه به اینکه به دست افرادی ساخته می‌شود که معمولاً صلاحیت حرفه‌ای در این کار را ندارند، بدون در نظر گرفتن شرایط اقلیمی در حال ساخت هستند، که موجب افزایش استفاده از انرژی‌های فسیلی می‌شود. این حق مصرف‌کنندگان است که از میزان مصرف انرژی واحدهای مسکونی خود مطلع باشند. فرم، جداره، بازشو و بام چهار مؤلفه مهم در طراحی آپارتمان‌های مسکونی شناخته می‌شوند که اگر بدون توجه به اقلیم مورد نظر طراحی شوند، می‌توانند موجب افزایش سرسام‌آور انرژی‌های ساختمان شوند [۶].

بررسی پیشینه پژوهش‌های مرتبط با این حوزه نشان داد مطالعات بسیاری به منظور کاهش مصرف انرژی برای اقلیم‌های کوهستانی و گرم و خشک انجام گرفته است، اما اقلیم معتدل و مرطوب علی‌رغم داشتن زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم و استفاده از انرژی‌های گرمایشی و سرمایشی مطالعات بسیاری کمی برای این اقلیم به‌خصوص انجام شده است. همچنین، شایان یادآوری است به خلاف پژوهش‌های موجود، این مطالعه به صورت جامع تمامی شاخص‌های مؤثر مؤلفه‌های فرم، جداره، بازشو و بام به منظور کاهش مصرف انرژی برای طراحی آپارتمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب ایران استخراج و اولویت‌بندی کرده است. در پی وجود این شکاف تحقیقاتی، اهمیت این پژوهش برای این اقلیم به‌خصوص بیشتر می‌شود. در این پژوهش با آگاهی به این اصل برآن هستیم به عنوان هدف اصلی پژوهش میزان اثرگذاری هریک از پارامترهای فرم، جداره، بازشو و بام را از دیدگاه خبرگان این حوزه برای طراحی آپارتمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب ایران به منظور کاهش مصرف انرژی دریابیم. همچنین، هدف بعدی این مطالعه اولویت‌بندی برای مؤلفه‌های فرم، جداره، بازشو و بام در ناحیه معتدل و مرطوب ایران به منظور کاهش مصرف انرژی برای طراحی آپارتمان‌های مسکونی از دیدگاه خبرگان است.

با توجه به هدف کلی تحقیق حاضر، سؤالات زیر مورد توجه قرار می‌گیرد:

میزان اثرگذاری هریک از پارامترهای اقلیمی فرم، جداره، بازشو و بام^۱ در ناحیه معتدل و مرطوب ایران به منظور کاهش مصرف انرژی برای طراحی آپارتمان‌های مسکونی از دیدگاه خبرگان چقدر است؟

اولویت‌بندی مؤلفه‌های فرم، جداره، بازشو و بام در ناحیه معتدل و مرطوب ایران به منظور کاهش مصرف انرژی برای طراحی آپارتمان‌های مسکونی از دیدگاه خبرگان چگونه است؟

در ارتباط با موضوع پژوهش حاضر و همچنین در راستای سؤالات پژوهش، این فرضیه به نظر می‌رسد در اقلیم معتدل و مرطوب ایران، پارامتر جداره ساختمان به عنوان بدنه که بنا را در بر می‌گیرد، همواره طی شبانه‌روز مستقیم در معرض عوامل جوی است؛ و همچنین به دلیل مساحت قابل توجه آن اتلاف انرژی آن بسیار حائز اهمیت قرار می‌گیرد.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲-۱. مبانی نظری

۲-۱-۱. ویژگی‌های اقلیم معتدل و مرطوب خزر

اقلیم معتدل و مرطوب خزر در طبقه‌بندی اقلیم کوپن^۲ در گروه cfa^۳ قرار می‌گیرد؛ سواحل دریای خزر، حد فاصل بین ساحل و رشته‌کوه‌های البرز این اقلیم در ایران را شامل می‌شود. این منطقه عمدتاً از جلگه‌های پست تشکیل شده است. چالوس، رشت، بندر انزلی، بابلسر، گرگان از شهرهای معروف این اقلیم محسوب می‌شود. ویژگی‌های عمومی اقلیم معتدل و مرطوب شامل پوشش وسیع نباتی، خاک مرطوب به دلیل ارتفاع کم از سطح دریا، بارندگی بسیار زیاد، رطوبت نسبی، ۸۰ درصد نسبتاً زیاد منطقه در برخی موارد بالای اعتدال دما به دلیل وجود دریای خزر و همچنین، رطوبت بسیار زیاد هوا است [۹]. با تحلیل اقلیمی منطقه می‌توان مشکلات و نیازهای معماری همساز با اقلیم را در این پهنه بررسی کرد.

۲-۱-۲. طراحی اقلیمی

طبق فرهنگ هواشناسی اقلیمی، اقلیم عبارت است از: مجموعه‌ای از شرایط جوی که توسط کیفیت و تکامل وضع هوای منطقه مشخص می‌شود. کشف و تعیین رفتار طبیعی اتمسفر و بهره‌برداری از آن در جهت منافع انسان که تقریباً تمام فعالیت‌های بشری برای تداوم چرخه زندگی به طور کامل مستقیم یا غیر مستقیم تحت تأثیر هوا و اقلیم باشد را هدف از اقلیم‌شناسی می‌دانند. در بناهای بومی و سبک‌های محلی، اقلیم یا آب و هوا به عنوان مبنای حیات و فعالیت‌های انسان در نظر گرفته می‌شود که در نهایت، فرم و زیبایی ساختمان‌ها از آن منتج شده است. طراحی اقلیمی شامل یک سری اصول در طراحی ابنیه توسط طراحان و معماران است که می‌تواند به طراحی فضاهای بهینه از نظر آسایش اقلیمی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی منجر شود. طراحی اقلیمی سبب می‌شود ساختمان در شرایط آسایشی بهتری قرار گیرد، و به جای افزایش فشار به سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی خود ساختمان بدون ایجاد صدا و سیستم‌های مکانیکی شرایط آسایش را فراهم آورد [۲].

۲-۱-۳. اهداف عمده طراحی اقلیمی

کاهش اتلاف انرژی در ساختمان، کاهش تأثیر باد در اتلاف حرارت ساختمان، بهره‌گیری از انرژی خورشید در گرمایش ساختمان،

1. Form, Envelope, Openings and Roof

در این پژوهش این چهار مؤلفه که به عنوان عناصر اصلی بنا شناخته شده و به همراه ۴۱ شاخص اولیه مورد بررسی قرار گرفته شده است.

۲. سامانه طبقه‌بندی اقلیمی کوپن (Köppen climate classification) از پرکاربردترین سامانه‌های طبقه‌بندی اقلیمی است. این طبقه‌بندی برای نخستین بار به وسیله اقلیم‌شناس روسی-آلمانی، ولادیمیر کوپن، در سال ۱۸۸۴ مطرح شد.

۳. اقلیم جنب حاره‌ای مرطوب معمولاً در سواحل شرقی و شرق قاره‌ها میان عرض جغرافیایی ۲۰ درجه تا ۳۰ درجه وجود دارد. به خلاف اقلیم مدیترانه‌ای که دارای تابستان‌های خشک است، مناطق جنب حاره‌ای مرطوب جریان‌های گرم و مرطوب از سوی استوا دارند که شرایط گرم و مرطوب در ماه‌های تابستان ایجاد می‌کند. از این رو به خلاف اقلیم مدیترانه‌ای که در آن زمستان مرطوب‌ترین فصل است، در این اقلیم تابستان مرطوب‌ترین فصل است. جریان‌های ارتفاعات جنب حاره‌ای و تابستان موسمی جریانی جنوبی از سوی استوا ایجاد می‌کنند که هوای گرم و مرطوب را به سوی بخش‌های شرقی قاره‌ها روانه می‌کند. این جریان اغلب رگبارهای تندری پی در پی ولی کوتاه‌مدت را به همراه می‌آورد که از ویژگی‌های اقلیم سواحل شرقی نیمه‌گرمسیری است. آسیای شرقی بارزترین موسمی‌های جنب حاره‌ای را دارد که زمستان خشک و تابستان مرطوب از ویژگی‌های این منطقه است.

محافظت ساختمان در برابر هوای گرم خارج، محافظت ساختمان در برابر تابش آفتاب، بهره‌گیری از نوسان روزانه دمای هوا، بهره‌گیری از شرایط مناسب هوای خارج، ایجاد کوران در فضای داخلی، بهره‌گیری از رطوبت مطلوب هوا، محافظت ساختمان در برابر بارندگی، کاهش تأثیر بادهای غبارآلود بر ساختمان، و جلوگیری از آلودگی صوتی از جمله اهداف اصلی در طراحی همساز با اقلیم است [۵].

اهداف عمده طراحی اقلیمی عبارت است از: کاهش اتلاف انرژی در ساختمان، کاهش تأثیر باد در اتلاف حرارت ساختمان، بهره‌گیری از انرژی خورشیدی در گرمایش ساختمان، محافظت ساختمان در برابر هوای گرم خارج، بهره‌گیری از نوسان روزانه دمای هوا، بهره‌گیری از شرایط مناسب هوای خارج، ایجاد کوران در فضای داخل، بهره‌گیری از رطوبت مطلوب هوا، محافظت از ساختمان در برابر بارندگی، کاهش تأثیر بادهای غبارآلود بر ساختمان، جلوگیری از آلودگی صوتی [۸].

۲-۱-۴. انرژی تجدیدپذیر

با افزایش جمعیت جهان و جامعه صنعتی مصرف انرژی نیز افزایش یافت؛ در حالی که امروزه همچنان بخش زیادی از انرژی در بخش مسکن از طریق سوخت‌های فسیلی است، تلاش‌های بسیاری برای جایگزین کردن منابع فسیلی با انرژی‌های طبیعی و تجدیدپذیر هستند. بسیاری از متخصصان حوزه مسکن معتقدند با هماهنگی و ارتباط بین انسان، طبیعت و ساختمان وابستگی به وسایل مکانیکی کاهش می‌یابد؛ چرا که منابع فسیلی که محرک اصلی دستگاه‌های مکانیکی برای تولید بار سرمایش و گرمایش ساختمان‌ها هستند رو به اتمام است و از طرفی، آلودگی‌های زیست‌محیطی و گرمایش زمین در پی استفاده از سوخت‌های فسیلی رو به افزایش است. بنابراین، فناوری استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر باید توسعه یابد، تا مورد استفاده تمام کشورهای جهان قرار بگیرد. در اقلیم معتدل و مرطوب ایران استفاده از انرژی باد و همچنین موج دریا برای تأمین انرژی به صورت پاک می‌تواند بهترین راه حل باشد.

۲-۲. پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر تحقیقات بسیاری به منظور کاهش مصرف انرژی انجام شده است. مطالعات مرتبط با پژوهش مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است که در جدول ۱ به آن اشاره شده.

۳. مواد و روش‌ها

۳-۱. روش پژوهش

نوع پژوهش حاضر بر اساس هدف، کاربردی است و بر اساس ماهیت داده‌ها، کیفی - کمی و بر اساس روش‌های جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات در بخش کیفی، به صورت اسنادی و در بخش کمی، پرسشنامه‌ای است. بخش کیفی با توجه به هدف پژوهش که اولویت‌بندی مؤلفه‌ها و تدوین مؤلفه‌های تأثیرگذار طراحی به منظور کاهش مصرف انرژی تحلیل مضمون است؛ برای گردآوری داده‌های تحقیق از اسناد و مدارک از جمله، مقالاتی که در زمینه مصرف انرژی، طراحی آپارتمان‌های مسکونی ناحیه معتدل و مرطوب ایران و ویژگی‌های کالبدی طراحی اقلیمی استفاده شده است. برای جمع‌آوری اطلاعات از روش کتابخانه‌ای، میدانی و همچنین، از راهبرد تحلیل اسنادی استفاده شده است. عمده پایگاه‌های مورد استفاده در این تحقیق برای جست‌وجو، پایگاه‌های علمی خارجی از جمله ساینس دایرکت، گوگل اسکالر و در پایگاه‌های داخلی، پایگاه تخصصی نور، پایگاه مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی، پایگاه مجلات علمی - تحقیقی و پورتال جامع علوم انسانی است. به منظور استخراج مقالات مناسب از منابع یادشده با استفاده از کلیدواژه‌ها، معیارهایی در نظر گرفته می‌شود که در این تحقیق معیارهای پذیرش یا رد مقالات مطابق با جدول ۲ است.

جدول ۱. پیشینه پژوهش

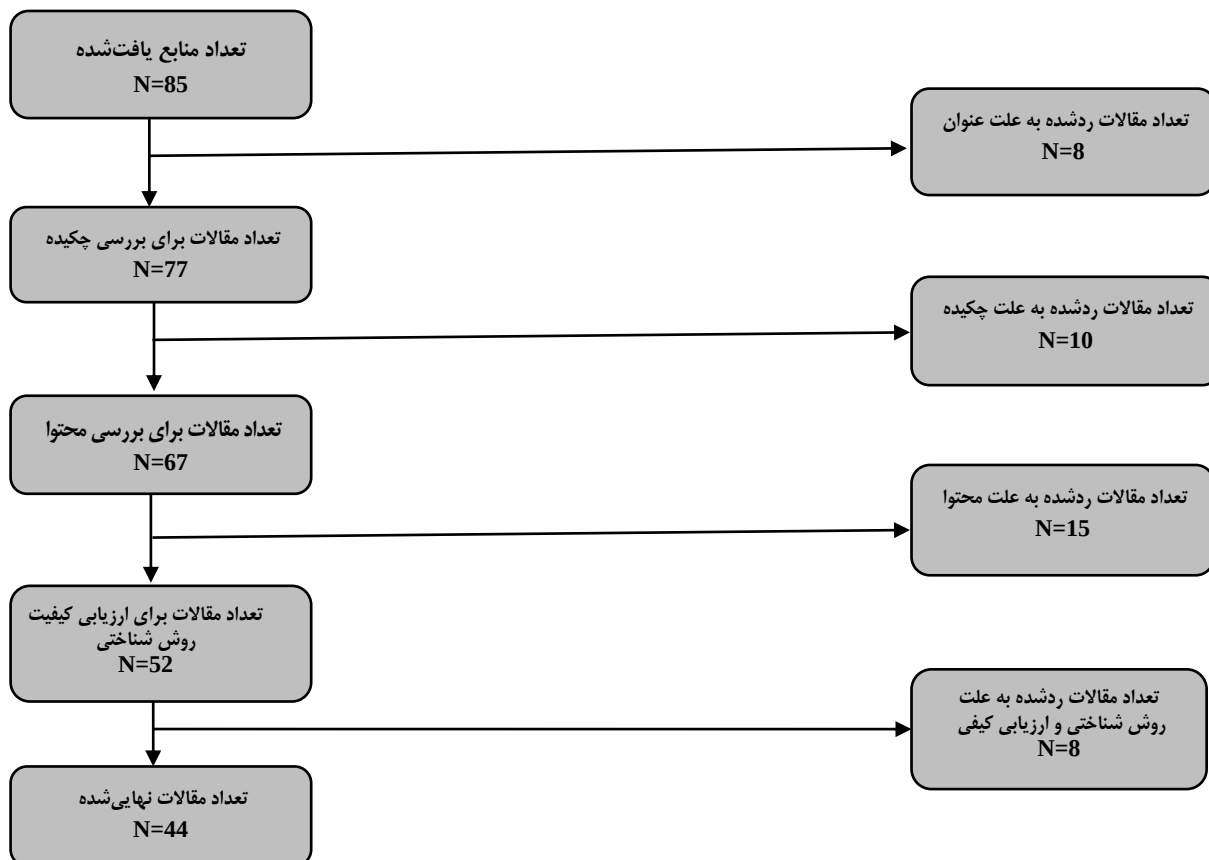
نویسنده	سال	یافته‌های پژوهش
طاهری گرجی و همکاران	۱۴۰۳	از دیدگاه ساکنان به منظور کاهش مصرف انرژی در طبقات بالا و وسط بام نقش مؤثری در افزایش کیفیت زندگی دارد؛ چراکه در ارتباط مستقیم با فضای است و تأثیرش در طبقات بالا و وسط به نسبت طبقات پایین بیشتر است؛ و مؤلفه‌های دیگر در کیفیت زندگی افراد در طبقات مختلف یکسان است.
فقیهی‌نیا و همکاران	۱۴۰۳	بام‌های سبز به واسطه کاهش انتقال حرارت، سایه‌اندازی و کنترل آلاینده‌ها اثرات مثبتی بر مصرف انرژی در ساختمان دارند. نتایج این پژوهش نشان داد استفاده از پوشش‌های گیاهی وینکا، فرانکنیا و سدوم در بام سبز می‌تواند مصرف انرژی را به میزان ۴/۲، ۳/۹ و ۳/۸ درصد نسبت به ساختمان با بام بدون پوشش گیاهی کاهش می‌دهد.
ذکاوت و همکاران	۱۴۰۴	بلوک‌های شمالی، حدود ۵ درصد بیشتر از بلوک‌های جنوبی، انرژی مصرف می‌کنند. بلوکی که از ۳ جبهه شمال، جنوب و غرب نور می‌گیرد، حدود ۱۱ درصد، بیشتر از میانگین و بلوکی که از ۲ جبهه شمال و جنوب نور می‌گیرد، حدود ۵ درصد، کمتر از میانگین، مصرف دارند.
کشتکاران و همکاران	۱۴۰۱	با بهینه‌سازی آرایش مصالح بام انرژی مصرفی را به میزان ۹/۶ درصد کاهش داد و همچنین، نشان داد به کمک تکنیک‌هایی از جمله بام سبز، عایق حرارتی و سقف کاذب به ترتیب ۹/۱، ۱۳/۴ و ۶/۱۲ درصد مصرف انرژی ساختمان را کاهش داده‌اند.
شعبانیان و همکاران	۱۴۰۰	استفاده از پلی استایرن در پوسته خارجی ساختمان تا ۴۳ درصد افزایش بار سرمایشی و ۲۷ درصد کاهش بار گرمایشی، براساس شرایط هریک از نمونه‌ها طی ماه‌های مختلف سال، را به دنبال دارد.
ابراهیمی مقدم و همکاران	۱۳۹۷	با انتخاب مناسب‌ترین رنگ، در کل طی سال با کاهش دما به میزان ۱/۵ درجه سلسیوس در فصل گرم و افزایش دمای حدود ۱ درجه سلسیوس در فصل سرد به میزان قابل توجهی انرژی برق و گاز مصرفی را کاهش خواهیم داشت. همچنین، رنگ طوسی به عنوان مناسب‌ترین رنگ در جهت کاهش مصرف انرژی ساختمان انتخاب شده است.
عمران و همکاران ^۱	۲۰۲۲	مکانیسم بهینه‌سازی پیش‌بینی‌کننده مبتنی بر مدیریت وظیفه بهتر از پیش‌بینی مستقل و سازوکارهای مصرف انرژی مبتنی بر بهینه‌سازی در ساختمان‌های مسکونی عمل می‌کند.
لی و همکاران	۲۰۲۱	پیک مدل پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان بر اساس نظریه مجموع په‌های خشن و الگوریتم‌های یادگیری عمیق ساختمان را تدوین و بررسی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که مدل پیش‌بینی، امکان شبیه‌سازی مصرف انرژی را دارد و می‌توان از این مدل برای کاهش انرژی قبل از بهره‌برداری استفاده کرد.
فاضل‌پور و همکاران	۲۰۲۲	استفاده از طراحی مناسب و متناسب با اقلیم هر منطقه می‌تواند از مهم‌ترین راهکارهای مدیریت انرژی باشد. بر اساس تحقیقات قبلی ۴ عامل بر عملکرد حرارتی بنا تأثیر دارند: ۱-طراحی؛ ۲- مصالح؛ ۳- عوامل محیطی؛ ۴- رفتار ساکنان.

جدول ۲. معیارهای پذیرش و عدم پذیرش مطالعات

معیارهای عدم پذیرش	معیارهای پذیرش	شاخص
---	همه کشورها	محدوده جغرافیایی مطالعات
غیر از انگلیسی	انگلیسی و فارسی	زبان نگارش مطالعات
خارج از بازه زمانی یادشده	ژانویه ۲۰۱۰ تا اکتبر ۲۰۲۴ فروردین ۱۳۹۰ تا فروردین ۱۴۰۳	زمان انتشار مطالعات
مطالعات کمی	مطالعات کیفی و آمیخته (کمی و کیفی)	روش مطالعات
مطالعاتی که شاخص‌های اشاره‌شده و کیفیت لازم را نداشته باشند و یا تکراری باشند.	پژوهش‌های منتشرشده در زمینه مصرف انرژی، طراحی آپارتمان‌های مسکونی در ناحیه معتدل و مرطوب و ویژگی‌های کالبدی در مجلات معتبر بین‌المللی و با دآوری دقیق	جامعه مطالعه‌شده
سایر موارد	معماری، طراحی آپارتمان مسکونی، مصرف انرژی	حوزه موضوعی
دسترسی نداشتن به متن کامل	همراه با متن کامل	دسترسی به مطالعات

در مرحله بعد فراترکیب به غربالگری و انتخاب متون مناسب اختصاص دارد. در این مرحله برای انتخاب متون مد نظر در پایگاه‌های داده‌ها، مقالاتی که معیارهای شمول را داشتند، وارد فرایند فراترکیب شدند و در چهار گام از نظر عنوان پژوهش، چکیده پژوهش، محتوای پژوهش و کیفیت روش شناختی پژوهش با استفاده از برنامه مهارت‌های ارزیابی انتقادی بررسی شدند که درنهایت، ۴۴ مقاله انتخاب شد. یکی از مقالات که در جدول ۳ با هایلایت سبز نشان داده شده است، مربوط به سال ۱۳۷۸ است که طبق معیارهای مشخص‌شده در جدول ۲، این پژوهش باید حذف می‌شد، اما به دلیل پراهمیت بودن این پژوهش و

روش تحقیق سازگار با پژوهش حاضر و داشتن معیارهای دیگر پذیرش و همچنین، تعیین تعداد زیادی از مؤلفه‌ها در آن، از قدیمی بودن آن چشم‌پوشی شد و در مطالعات باقی ماند و مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از غربالگری در قالب نمودار پریزما در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. نمودار پریزما. روند نمای جست‌وجو و انتخاب مقالات (منبع: یافته‌های پژوهشگر)

در این مرحله از فرایند فراترکیب که استخراج اطلاعات از متون است، به طور پیوسته مقالات انتخاب‌شده مطالعه شدند. در این راستا، کلیه مفاهیمی که منعکس‌کننده مؤلفه‌های تأثیرگذار در طراحی آپارتمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب به منظور کاهش مصرف انرژی هستند، استخراج و در جدولی برای تجزیه و تحلیل در مرحله بعد یادداشت شدند. در مجموع، با بررسی محتوای کامل ۴۴ مقاله انتخاب‌شده، ۴۰ کد یا مفهوم پایه شناسایی شد. مقالات و کدهای استخراج‌شده در جدول ۳ ارائه شده است.

این مرحله از فرایند فراترکیب به تجزیه و تحلیل و ترکیب یافته‌های کیفی اختصاص دارد. در پژوهش حاضر برای تجزیه و تحلیل یافته‌ها از تحلیل محتوای کیفی استفاده شده است. ابزار استفاده‌شده در تحلیل محتوا، کدگذاری است و از بهترین و پرکاربردترین انواع کدگذاری، کدگذاری باز است که در این مرحله از پژوهش از این ابزار برای کدگذاری یافته‌ها استفاده شده است. در این شیوه، کدها از متن مقالات استخراج می‌شود (کدگذاری مرتبه اول) و سپس روی این کدها کدگذاری دیگری صورت می‌پذیرد که مؤلفه‌ها را شکل می‌دهد (کدگذاری مرتبه دوم) و در نهایت، روی مؤلفه‌ها نیز کدگذاری مجددی صورت می‌گیرد تا مقوله‌ها حاصل شود. این فرایند مشابه فرایندی است که سندلوسکی و باروسو (۲۰۰۷) برای تجزیه و تحلیل داده‌های موجود در فراترکیب (متاسنتر) ارائه داده‌اند (سندلوسکی و باروسو، ۲۰۰۷: ۲۶۱). در بررسی اولیه پژوهش ۴۰ کد مفهومی از ۴۴ پژوهش استخراج شد که با توجه به شباهت معنایی و مفهومی در ۴ دسته قرار گرفتند.

جدول ۳. مؤلفه‌های تأثیرگذار در طراحی آپارتمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب به منظور کاهش مصرف انرژی استخراج‌شده از منابع منتخب

شماره	نویسندگان	سال	مؤلفه‌های تأثیرگذار در طراحی آپارتمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب به منظور کاهش مصرف انرژی
۱	حسین‌آبادی و همکاران	۱۳۹۹	ایجاد فاصله بین بناها، جهت‌گیری شرقی و غربی بنا، استفاده از پلان گسترده و فرم باز، استفاده از سایه‌بان خارجی افقی
۲	محمودی کهنه رودپشت و همکاران	۲۰۱۷	ایجاد فاصله بین بناها، جهت‌گیری شرقی و غربی بنا، استفاده از معماری برون‌گرا، قرارگیری ریز فضاها به صورت خطی در پلان، طراحی پلان در دو طبقه و بیشتر، کشیدگی بنا عمود بر کشیدگی زمین
۳	قیومی بیدهندی و عبدالله زاده	۱۳۹۱	ایجاد فاصله بین بناها، عدم استفاده از فلز، جهت‌گیری شرقی و غربی بنا، استفاده از چوب، استفاده از معماری برون‌گرا، استفاده از سفال، استفاده از کف کرسی
۴	معقولی و احمدزاده	۱۳۹۶	ایجاد فاصله بین بناها، عدم استفاده از فلز، استفاده از چوب، استفاده از سفال، قرارگیری ریزفضاها به صورت خطی در پلان، ارتباط مستقیم آشپزخانه با نشیمن
۵	صدیق ضیابری و همکاران	۱۴۰۰	ایجاد فاصله بین بناها، جهت‌گیری شرقی و غربی بنا، استفاده از پلان گسترده و فرم باز، کشیدگی بنا عمود بر کشیدگی زمین
۶	مظفری قدیکولایی و همکاران	۲۰۲۰	ایجاد فاصله بین بناها، استفاده از پلان گسترده و فرم باز، بالکن سه طرف بسته در جنوب، بالکن عمق زیاد
۷	خیری و رضایی‌زاده مهابادی	۱۳۹۹	جای‌گذاری مناسب پنجره، استفاده از بام شیب‌دار، جای‌گذاری بازشو در تمام جداره‌ها، استفاده از کف کرسی، استفاده از پنجره‌های ورودی هوا بزرگ‌تر و خروجی هوا کوچک‌تر، استفاده از مصالح با حداقل ظرفیت حرارتی
۸	بابلی و همکاران	۲۰۱۵	جای‌گذاری مناسب پنجره، جهت‌گیری شرقی و غربی بنا، جای‌گذاری بازشو در تمام جداره‌ها، استفاده از معماری برون‌گرا، استفاده از بازشو با ابعاد بزرگ، استفاده از کف کرسی، استفاده از پلان گسترده و فرم باز، استفاده از پنجره دوجداره، قرارگیری ریزفضاها به صورت خطی در پلان
۹	کسمائی	۱۳۷۸	جای‌گذاری مناسب پنجره، استفاده از بام شیب‌دار، عدم استفاده از فلز، جهت‌گیری شرقی و غربی بنا، استفاده از چوب، استفاده از معماری برون‌گرا، استفاده از بازشو با ابعاد بزرگ، استفاده از سفال، استفاده از کف کرسی، استفاده از پلان گسترده و فرم باز، قرارگیری ریزفضاها به صورت خطی پلان، استفاده از سایه‌بان خارجی افقی، افزایش ضخامت دیوار خارجی، طراحی پلان دو طبقه و بیشتر، کشیدگی بنا عمود بر کشیدگی زمین، بالکن با عمق زیاد، افزایش جرم حرارتی پوشش ساختمان
۱۰	رهسپار منفرد و عظمتی	۱۴۰۰	جای‌گذاری مناسب پنجره، استفاده از پنجره دوجداره، بستن پنجره از ۱۲ تا ۴ ظهر، باز کردن پنجره از ۱۲ تا ۸ صبح
۱۱	قلی‌پور گشنینی	۱۴۰۱	استفاده از بام شیب‌دار، استفاده از بام با متریال منعکس، نقاشی رنگی روشن در فضای باز برای سقف‌های بازتابنده
۱۲	فاطمی و همکاران	۱۴۰۱	عدم استفاده از فلز، استفاده از چوب، استفاده از سفال، استفاده از قاب فولادی سبک ISF ^۱ ، استفاده از پانل‌های سه‌بعدی، استفاده از بلوک‌های بتنی هوایی اتوکلاو شده ^۲
۱۳	پورموسی و همکاران	۱۳۹۹	جهت‌گیری شرقی و غربی بنا، استفاده از معماری برون‌گرا، استفاده از پنجره‌های ورودی هوا بزرگ‌تر و خروجی هوا کوچک‌تر، استفاده از پنجره دوجداره، استفاده از سایه‌بان خارجی افقی
۱۴	کشیر و همکاران	۲۰۱۶	جهت‌گیری شرقی و غربی بنا، استفاده از بازشو با ابعاد بزرگ، استفاده از پنجره دوجداره، استفاده از سایه‌بان خارجی افقی
۱۵	جورشاری و همکاران	۲۰۲۴	جهت‌گیری شرقی و غربی بنا، استفاده از معماری برون‌گرا
۱۶	بقایی دائمی و اسدی ملک جهان	۱۴۰۰	استفاده از بام سبز، استفاده از دیوار سبز با گونه گیاهی مناسب منطقه
۱۷	برگرن	۲۰۱۹	استفاده از بام سبز، استفاده از دیوار سبز با گونه گیاهی مناسب منطقه، افزایش ضخامت دیوار خارجی، افزایش جرم حرارتی پوشش ساختمان
۱۸	ابوسیف و همکاران	۲۰۲۳	استفاده از بام سبز، استفاده از بام خنک، استفاده از دیوار سبز با گونه گیاهی مناسب منطقه
۱۹	ماستری فراهانی و همکاران	۱۴۰۲	استفاده از بام سبز، استفاده از دیوار سبز با گونه گیاهی مناسب منطقه
۲۰	گابریل و همکاران	۲۰۲۴	استفاده از بام سبز، استفاده از دیوار سبز با گونه گیاهی مناسب منطقه

۱. قاب فولادی سبک (Lightweight Steel Framing) که به وسیله نورد سرد تهیه می‌شود، یکی از انواع سیستم‌های ساختمانی مدرن است که به وسیله این روش می‌توان ساختمان‌هایی را به صورت طبقات محدود (معمولاً تا ۵ طبقه) را اجرا کرد. این اعضای ساختمانی از ورق‌های فولادی با مقاطع عمدتاً U، C و Z است.

۲. بلوک‌های بتنی هوایی اتوکلاو شده (Autoclaved Aerated Concrete) یا بتن AAC، یکی از انواع بتن‌های سبک است که به صورت پیش‌ساخته تهیه می‌شود.

ادامه جدول ۳.

شماره	نویسندگان	سال	مؤلفه‌های تأثیرگذار در طراحی آپارتمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب به منظور کاهش مصرف انرژی
۲۱	خواجوی و همکاران	۲۰۲۱	استفاده از بازشو با ابعاد بزرگ، استفاده از پنجره‌های ورودی هوا بزرگ‌تر و خروجی هوا کوچک‌تر، قرارگیری واحد کوچک‌تر در غرب، وجود فضا ارتباطی میان بین واحدها
۲۲	محمود و اسماعیل	۲۰۱۹	استفاده از بام با مترپال منعکس، استفاده از بام خنک، نقاشی رنگ روشن در فضای باز برای سقف‌های بازتابنده
۲۳	چانگ و همکاران	۲۰۱۵	استفاده از بام با مترپال منعکس، استفاده از بام خنک، نقاشی رنگی روشن در فضای باز برای سقف‌های بازتابنده
۲۴	زهری و همکاران	۱۳۹۹	استفاده از سفال، افزایش ضخامت دیوار خارجی، افزایش جرم حرارتی پوشش ساختمان
۲۵	نی و همکاران	۲۰۲۴	استفاده از بام خنک، نقاشی رنگی روشن در فضای باز برای سقف‌های بازتابنده
۲۶	طاهباز و جلیلیان	۱۳۹۰	استفاده از مصالح با حداقل ظرفیت حرارتی، افزایش ضخامت دیوار خارجی، کشیدگی بنا عمود بر کشیدگی زمین، بالکن سه طرف بسته در جنوب، بالکن با عمق زیاد، افزایش جرم حرارتی پوشش ساختمان
۲۷	میررشید و میرسعیدی	۱۳۹۹	استفاده از مصالح با حداقل ظرفیت حرارتی، افزایش ضخامت دیوار خارجی، استفاده از سایه‌بان خارجی افقی، دیوار ترموب جهت کاهش بار گرمایش، افزایش جرم حرارتی پوشش ساختمان
۲۸	آگاروال و مولتی	۲۰۲۴	استفاده از بام خنک
۲۹	محسین و همکاران	۲۰۱۷	قرارگیری ریزفضاها به صورت خطی در پلان، کشیدگی بنا عمود بر کشیدگی زمین، وجود فضای ارتباطی میانی بین واحدها
۳۰	رازجو و همکاران	۱۳۹۹	طراحی پلان دوطبقه و بیشتر، بالکن سه طرف بسته در جنوب، بالکن با عمق زیاد
۳۱	یاشار و کالفا	۲۰۱۲	بستن پنجره از ۱۲ تا ۴ ظهر، بازکردن پنجره از ۱۲ تا ۸ صبح، استفاده از شیشه کم گسیل کنترل تابشی
۳۲	چان و همکاران	۲۰۱۰	دیوار ترموب برای کاهش بار گرمایش
۳۳	رودریگز اوبیناس و همکاران	۲۰۱۴	دیوار ترموب برای کاهش بار گرمایش
۳۴	صدفی و همکاران	۲۰۲۱	استفاده از قاب فولادی سبک ISF، استفاده از پانل‌های سه‌بعدی، استفاده از بلوک‌های بتنی هوایی اتوکلاو شده
۳۵	سانتوس و همکاران	۲۰۱۹	استفاده از قاب فولادی سبک ISF
۳۶	حسین‌پور توانی و همکاران	۱۴۰۰	بالکن سه طرف بسته در جنوب، بالکن با عمق زیاد
۳۷	ریبرو و همکاران	۲۰۲۴	بالکن سه طرف بسته در جنوب، بالکن با عمق زیاد
۳۸	سوزوکی و همکاران	۲۰۲۲	استفاده از شیشه هوشمند، استفاده از شیشه کم گسیل کنترل تابشی
۳۹	خان و همکاران	۲۰۲۱	استفاده از شیشه هوشمند، استفاده از شیشه کم گسیل کنترل تابشی
۴۰	موری و گوش	۲۰۲۴	استفاده از شیشه هوشمند
۴۱	رضایی و تقدیری	۱۳۹۸	استفاده از پانل‌های سه‌بعدی، استفاده از قابل فولادی سبک ISF، استفاده از بلوک‌های بتنی هوایی اتوکلاو شده
۴۲	رضازاده و مدی	۲۰۱۷	استفاده از نمای دوپوسته با عرض حفره ۷۵ سانتی‌متر
۴۳	رحیمی و ایزدی زمان آبادی	۱۴۰۱	استفاده از نمای دوپوسته با عرض حفره ۷۵ سانتی‌متر
۴۴	محمودی کهنه‌پشت و همکاران	۱۴۰۰	استفاده از پلان گسترده و فرم باز، بالکن به عمق زیاد

صحت‌بخشی اطلاعات حاصل‌شده از نظرات خبرگان نیز بهره گرفته شده است و ۳۷ شاخص نهایی شناسایی شد. به این منظور، پرسشنامه‌ای تدوین شده و نظرهای خبرگان در رابطه با ۴۴ شاخص اولیه که از طریق منابع به دست آمد، جمع آوری و مورد تحلیل قرار گرفت. طبق نظر این افراد مؤلفه‌های ارتباط مستقیم آشپزخانه با نشیمن، استفاده از قاب فولادی سبک ISF، استفاده از پانل‌های سه‌بعدی و استفاده از بلوک‌های بتنی هوایی اتوکلاو شده که مربوط به جز مؤلفه‌های تأثیرگذار در طراحی آپارتمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب ایران به منظور کاهش مصرف انرژی نیستند. از این‌رو، این چهار مورد از پرسشنامه حذف شد. سپس، پرسشنامه طراحی‌شده با ۶ گزینه (بی‌تأثیر تا خیلی زیاد) و ۳۷ شاخص و چهار مؤلفه اصلی (فرم، جداره، بازشو و بام) در اختیار ۴۸ نفر از خبرگان برای تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون t تک‌نمونه‌ای و آزمون فریدمن قرار گرفت و همچنین، پرسشنامه مقایسات زوجی به ۱۰ نفر از متخصصان خبره که سابقه کار بالا و مرتبط دارند، داده شد. داده‌های ۴۸ نفر در نرم‌افزار

SPSS نسخه ۲۶ وارد شد و داده‌های مربوط به مقایسات زوجی با استفاده از روش AHP در نرم‌افزار اکسپرت چویس ۱۱ مورد تحلیل قرار گرفت.

۳-۲. جامعه آماری

به منظور صحت‌بخشی اطلاعات و تأیید روایی مؤلفه‌ها و شاخص‌ها از نظرات خبرگان که شامل ۲۶ نفر از اعضای هیئت علمی رشته معماری دانشگاه‌های استان مازندران و متخصص در زمینه طراحی ساختمان هستند، با روش نمونه‌گیری در دسترس بهره گرفته می‌شود.

برای به دست آوردن میزان تأثیر و رتبه‌بندی مؤلفه‌های شناسایی و تأیید شده، نمونه‌گیری از متخصصان مرتبط با طراحی آپارتمان‌های مسکونی انجام شد. این نمونه‌گیری با توجه به محدود بودن مناطق مورد بررسی به صورت روش نمونه‌گیری در دسترس انجام گرفت. افرادی انتخاب می‌شوند که حداقل دارای تحصیلات کارشناسی ارشد مرتبط با ساختمان و طراحی و مصرف انرژی در این حوزه باشند. در نهایت ۴۸ نفر از خبرگان (هیئت علمی‌های معماری دانشگاه‌های استان مازندران یا متخصص در زمینه طراحی ساختمان) با روش نمونه‌گیری در دسترس در مطالعه شرکت داشتند.

به علاوه، برای مقایسات زوجی و استفاده از روش رتبه‌بندی سلسله‌مراتبی (AHP)^۱ در این تحقیق با توجه به افراد متخصص و هیئت علمی معماری دانشگاه استان مازندران که در دسترس بودند و تمایل به همکاری در این بخش داشتند، پرسشنامه مقایسات جفتی به ۱۰ نفر از متخصصان که دارای بیش از ۱۰ سال تجربه و سابقه کار در این زمینه و بالای ۳۰ سال سن و مدرک تحصیلی دکترای مرتبط با طراحی ساختمان بودند، داده شد.

۴. بحث و یافته‌ها

در این قسمت از پژوهش به تجزیه و تحلیل داده‌ها پرداخت شده است. ابتدا برای شناسایی مؤلفه و شاخص‌ها از روش فراترکیب استفاده شد. سپس، با استفاده از روش آمار استنباطی با نرم‌افزار SPSS و اکسپرت چویس به تجزیه و تحلیل داده‌ها پرداخت شد. برای بررسی نرمال بودن متغیرهای تحقیق، از آزمون کولموگروف اسمیرنوف استفاده شد. نتایج در جدول ۴ آورده شده است:

جدول ۴. نتایج نرمال بودن توزیع متغیرهای تحقیق

متغیر	فرم	جداره	بازشو	بام
مقدار Z کولموگروف اسمیرنوف	۰/۱۰۹	۰/۱۱۳	۰/۱۱۱	۰/۱۲۵
مقدار معناداری	۰/۲۰۰	۰/۱۶۸	۰/۱۸۰	۰/۰۵۸

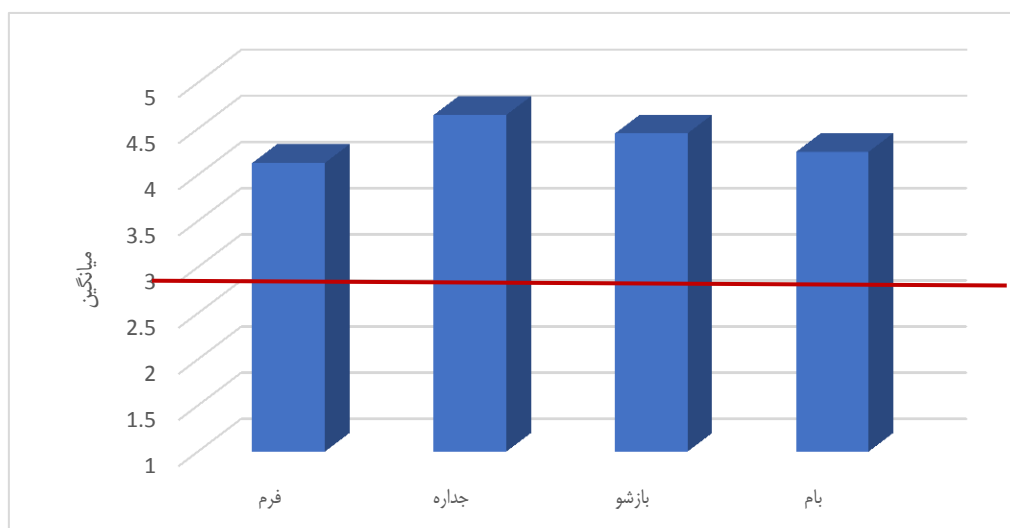
نتایج فوق نشان می‌دهد مقدار معناداری تمام متغیرهای پژوهش از مقدار آلفای مورد نظر (۰/۰۵) بزرگ‌تر بوده، لذا متغیرهای مورد نظر از فرضیه نرمال بودن توزیع تبعیت می‌کنند و از این‌رو برای بررسی و سؤالات تحقیق از آزمون‌های پارامتریک نظیر t-تک نمونه‌ای استفاده می‌شود.

جدول ۵. نتایج مربوط به تأثیر مؤلفه‌ها در طراحی آپارتمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب ایران به منظور کاهش مصرف انرژی

متغیر	میانگین	انحراف معیار	مقدار آماره t	درجه آزادی	مقدار معناداری
فرم	۴/۱۳	۰/۳۴	۲۲/۷۵	۴۷	۰/۰۰۱
جداره	۴/۶۵	۰/۲۴	۴۷/۲۲	۴۷	۰/۰۰۱
بازشو	۴/۴۵	۰/۲۰	۴۹/۰۱	۴۷	۰/۰۰۱
بام	۴/۲۵	۰/۴۷	۱۸/۱۳	۴۷	۰/۰۰۱

۱. پرسشنامه AHP نوعی ابزار استاندارد است که برای تعیین وزن معیارها و گزینه‌ها براساس مقایسه زوجی استفاده می‌شود و توسط ساعتی ارائه شد. در این پرسشنامه از خبرگان خواسته می‌شود تا با طیفی ۹ درجه عناصر تصمیم‌گیری را با هم مقایسه کنند.

برای پاسخ به این سؤال که آیا مؤلفه‌های مطرح‌شده، چقدر بر طراحی آپارتمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب ایران تأثیرگذارند، از آزمون t تک‌نمونه‌ای استفاده شد و میانگین فرضی (معیار آزمون) برای مؤلفه‌ها عدد ۳ قرار گرفته است. با مقایسه نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۵ مشاهده می‌شود که میانگین مؤلفه‌های فرم، جداره، بازشو و بام به‌ترتیب برابر ۴/۱۳، ۴/۶۵، ۴/۴۵ و ۴/۲۵ هستند که هر چهار مؤلفه مقدار معناداری کمتر از ۰/۰۵ دارند و مقدار میانگین آن‌ها از عدد ۳ (مقدار متوسط) بیشتر است. از این‌رو، با ۹۵ درصد اطمینان نتیجه می‌شود که این مؤلفه‌ها در طراحی آپارتمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب ایران تأثیر بسزایی دارند. در شکل ۲ نشان داده شده است:



شکل ۲. مقایسه میانگین مؤلفه‌های مؤثر در طراحی آپارتمان‌های مسکونی به منظور کاهش مصرف انرژی

برای پاسخ به این سؤال از دو روش آزمون فریدمن و روش AHP استفاده شد:

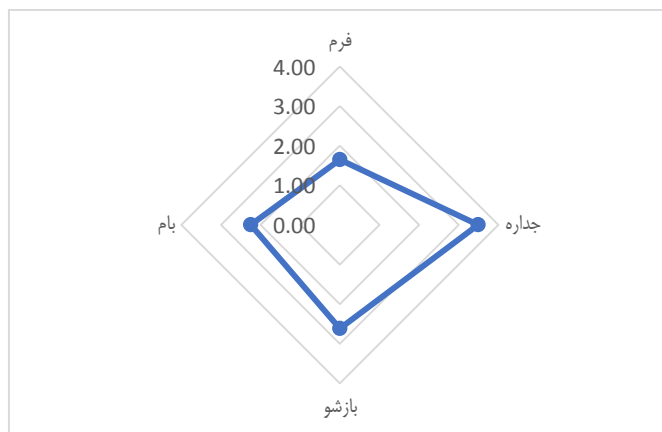
۴-۱. نتایج آزمون فریدمن

در این مرحله برای رتبه‌بندی این مؤلفه‌ها از نظر ۴۸ نفر مورد مطالعه، از آزمون فریدمن (که برای مقایسه چند مؤلفه حسب میانگین رتبه‌ای آن‌هاست) استفاده شد. نتایج آزمون فریدمن در جدول ۶ و شکل ۳ نشان داده شده است:

جدول ۶. نتایج آزمون فریدمن و رتبه‌بندی ابعاد مورد بررسی

ابعاد	میانگین رتبه‌ها	اولویت‌بندی
جداره	۳/۴۹	۱
بازشو	۲/۶۱	۲
بام	۲/۲۵	۳
فرم	۱/۶۵	۴
آماره خی دو	۵۲/۱۵	مقدار معناداری
		۰/۰۰۱

با توجه به سطح معناداری به‌دست‌آمده در جدول ۶، از آنجا که مقدار آن کمتر از ۰/۰۵ است، لذا می‌توان گفت که رتبه‌بندی به‌دست‌آمده معنادار است؛ یعنی تفاوت معناداری بین رتبه‌های مؤلفه‌های مربوط به طراحی آپارتمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب ایران وجود دارد. به‌علاوه، با توجه به میانگین رتبه‌ها و اولویت‌بندی مشاهده شد که مؤلفه جداره با میانگین رتبه ۳/۴۹ بیشترین تأثیر و مؤلفه فرم با میانگین رتبه ۱/۶۵ کمترین تأثیر را بر طراحی آپارتمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب ایران دارد. مؤلفه‌های بازشو و بام نیز به‌ترتیب در اولویت دوم و سوم قرار گرفتند.



شکل ۳. نمودار رادار مربوط به رتبه‌بندی مؤلفه‌های مؤثر بر طراحی آپارتمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب ایران

رتبه‌بندی عوامل مربوط به هر مؤلفه نیز با استفاده از آزمون فریدمن انجام شد و نتایج در شکل‌های ۴ تا ۷ نشان داده شد:



شکل ۴. نمودار مربوط به رتبه‌بندی عوامل مربوط به مؤلفه فرم

با توجه به شکل ۴ مشاهده شد که در مؤلفه فرم، عوامل استفاده از معماری برون گرا، فاصله بین بناها و جهت‌گیری شرقی و غربی بنا؛ بالاترین رتبه‌ها و تأثیر را در طراحی آپارتمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب ایران دارند، اما طراحی پلان دو طبقه و بیشتر و کشیدگی بنا عمود بر کشیدگی زمین کمترین تأثیر و اولویت را در عوامل مؤثر بر طراحی آپارتمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب ایران به منظور کاهش مصرف انرژی دارند.



شکل ۵. نمودار مربوط به رتبه‌بندی عوامل مربوط به مؤلفه جداره

نتایج مربوط به مؤلفه جداره در شکل ۵ نشان می‌دهد عوامل عدم استفاده از فلز، استفاده از مصالح و حداقل ظرفیت حرارتی و استفاده از دیوار سبز با گونه گیاهی مناسب منطقه؛ بالاترین رتبه‌ها و تأثیر را در طراحی آپارتمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب ایران به منظور کاهش مصرف انرژی دارند. از طرفی، افزایش ضخامت دیوار خارجی و افزایش جرم حرارتی پوشش ساختمان کمترین اولویت در این زمینه دارند.



شکل ۶. نمودار مربوط به رتبه‌بندی عوامل مربوط به مؤلفه بازشو

با توجه به شکل ۶ در مؤلفه بازشو، عوامل جای‌گذاری مناسب پنجره، استفاده از پنجره دوجداره و استفاده از سایه‌بان خارجی افقی بالاترین رتبه‌ها و تأثیر را در طراحی آپارتمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب ایران به منظور کاهش مصرف انرژی دارند. همچنین، مشاهده شد که مؤلفه‌های استفاده از شیشه کم گسیل کنترل تابشی، بستن پنجره از ۱۲ تا ۴ ظهر و باز کردن پنجره از ۱۲ تا ۸ صبح کمترین تأثیر و اولویت را داشتند.



شکل ۷. نمودار مربوط به رتبه‌بندی عوامل مربوط به مؤلفه بام

در شکل ۷ نشان داده شد در مؤلفه بام، عوامل استفاده از بام شیب‌دار، استفاده از بام سبز و استفاده از بام خنک بالاترین رتبه‌ها و تأثیر را در طراحی آپارتمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب ایران به منظور کاهش مصرف انرژی دارند. از طرفی، مؤلفه نقاشی رنگی روشن در فضای باز برای سقف‌های بازتابنده و استفاده از بام با متریال منعکس کننده پایین‌ترین رتبه و اولویت را دارند.

۴-۲. نتایج فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

در این مرحله فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی که یکی از فنون معروف تصمیم‌گیری چندشاخصه است اجرا می‌شود. با توجه به نظر خبرگان متخصص که تعداد ۱۰ نفر هستند و بین مؤلفه‌ها و عوامل مقایسه زوجی انجام دادند. نتایج تحلیل سلسله‌مراتبی به صورت جدول ۷ است:

جدول ۷. نتایج آزمون AHP برای رتبه‌بندی مؤلفه‌های مؤثر در طراحی آپارتمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب ایران

مؤلفه اصلی	رتبه‌بندی	وزن	عوامل فرعی	وزن	رتبه زیر عامل
فرم	۴	۰/۱۱۶	فاصله بین بناها	۰/۱۶۵	۲
			جهت‌گیری شرقی و غربی بنا	۰/۱۴۶	۳
			استفاده از معماری برون‌گرا	۰/۱۸۲	۱
			استفاده از کف کرسی	۰/۰۴۴	۷
			استفاده از پلان گسترده و فرم باز	۰/۰۸۰	۵
			قرارگیری ریزفضاها به صورت خطی در پلان	۰/۰۴۰	۹
			طراحی پلان دوطبقه و بیشتر	۰/۰۲۳	۱۲
			کشیدگی بنا عمود بر کشیدگی زمین	۰/۰۳۴	۱۱
			بالکن سه طرفه بسته در جنوب	۰/۰۳۸	۱۰
			بالکن با عمق زیاد	۰/۰۴۳	۸
			قرارگیری واحد کوچک‌تر در غرب	۰/۰۷۶	۶
			وجود فضا ارتباطی میانی بین واحدها	۰/۱۳۰	۴
جداره	۱	۰/۳۸۳	عدم استفاده از فلز	۰/۳۰۹	۲
			استفاده از چوب	۰/۰۴۲	۶
			استفاده از سفال	۰/۰۴۰	۷
			استفاده از مصالح و حداقل ظرفیت حرارتی	۰/۳۱۷	۱
			استفاده از دیوار سبز یا گونه گیاهی مناسب منطقه	۰/۰۶۴	۵
			افزایش ضخامت دیوار خارجی	۰/۰۳۰	۸
			دیوار ترومپ برای کاهش بار گرمایش	۰/۰۷۱	۴
			استفاده از نما دو پوسته با عرض حفره ۷۵ سانت	۰/۰۹۹	۳
			افزایش جرم حرارتی پوشش ساختمان	۰/۰۲۹	۹
			جای‌گذاری مناسب پنجره	۰/۱۵۳	۱
			جای‌گذاری بازشوها در تمام جداره‌ها	۰/۰۷۷	۶
			استفاده از بازشو با ابعاد بزرگ	۰/۱۰۷	۵
بازشو	۲	۰/۳۱۲	استفاده از پنجره‌های ورودی هوا بزرگ‌تر	۰/۱۲۱	۴
			استفاده از پنجره‌های خروجی هوا کوچک‌تر	۰/۰۶۳	۸
			استفاده از پنجره دوجداره	۰/۱۲۶	۳
			استفاده از سایه‌بان خارجی افقی	۰/۱۵۱	۲
			بستن پنجره از ۱۲ تا ۴ ظهر	۰/۰۳۸	۱۰
			باز کردن پنجره از ۱۲ تا ۸ صبح	۰/۰۵۱	۹
			استفاده از شیشه هوشمند	۰/۰۷۷	۷
			استفاده از شیشه کم‌گسیل low-e کنترل تابشی	۰/۰۳۵	۱۱
			استفاده از بام شیب‌دار	۰/۴۶۴	۱
			استفاده از بام سبز	۰/۱۷۸	۲
			استفاده از بام با مترپال منعکس‌کننده	۰/۱۵۳	۳
			استفاده از بام خنک	۰/۱۱۳	۴
بام	۳	۰/۱۱۶	نقاشی رنگی روشن در فضای باز برای سقف‌های بازتابنده	۰/۰۹۲	۵

با توجه به نتایج جدول ۷ نیز مشاهده می‌شود که مؤلفه‌های جداره و بازشو به ترتیب به وزن ۰/۳۸۳ و ۰/۳۱۲ بالاترین رتبه را به دست آوردند. همچنین، در مؤلفه جداره بالاترین وزن مربوط به عامل عدم استفاده از فلز، در مؤلفه بازشو بالاترین وزن مربوط به جای‌گذاری مناسب پنجره، در مؤلفه بام بالاترین وزن مربوط به استفاده از بام شیب‌دار و در مؤلفه فرم بالاترین وزن مربوط به فاصله بین بناها است.

۵. نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها

امروزه با افزایش روزافزون میزان شهرنشینی و رشد شهرها، مصرف انرژی هم رو به افزایش بوده است. کاهش مصرف انرژی در بخش مسکن از اولویتهای اصلی دولت ایران است. پژوهش حاضر به منظور شناسایی مؤلفه‌های مؤثر طراحی در کاهش مصرف انرژی برای ساختمان‌های مسکونی در اقلیم معتدل و مرطوب ایران انجام شده است. هدف اصلی این پژوهش، اولویت‌بندی مؤلفه‌ها برای پارامترهای فرم، جداره، بازشو و بام در طراحی آپارتمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب ایران به منظور کاهش مصرف انرژی از دیدگاه خبرگان است. به همین دلیل، با استفاده از روش تحلیل مضمون چهار پارامتر فرم، جداره، بازشو و بام مورد بررسی قرار گرفت و ۴۱ مؤلفه اولیه استخراج شد، و بعد از بررسی خبرگان به ۳۸ مؤلفه نهایی رسید.

در پاسخ به سؤال اول، نتایج این پژوهش نشان داد به منظور کاهش مصرف انرژی برای آپارتمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب ایران از دیدگاه خبرگان پارامترهای جداره و بازشو به ترتیب به وزن ۰/۳۸۳ و ۰/۳۱۲ بالاترین رتبه را دارند و باید در اولویت قرار بگیرند. بنابراین، سازندگان برای این اقلیم باید تمهیدات لازم برای جداره‌ها و بازشوه‌های آپارتمان‌های مسکونی در نظر بگیرند، تا اتلاف انرژی را به حداقل برسانند.

در پاسخ به سؤال دوم پژوهش، نتایج نشان داد به منظور کاهش مصرف انرژی برای آپارتمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب ایران از دیدگاه خبرگان برای پارامتر جداره بالاترین وزن مربوط به عامل عدم استفاده از فلز، در پارامتر بازشو بالاترین وزن مربوط به جای‌گذاری مناسب پنجره، در پارامتر بام بالاترین وزن مربوط به استفاده از بام شیب‌دار و در پارامتر فرم بالاترین وزن مربوط به فاصله بین بناها است. همچنین، باقی اولویت‌بندی مؤلفه‌ها طبق جدول ۶ ارائه شده است. استفاده از این جدول در دستور کار سازمان نظام مهندسی‌ها و شهرداری‌های این اقلیم می‌تواند موجب کاهش مصرف انرژی چشمگیری برای آپارتمان‌های مسکونی نوساز شود.

طبق بررسی‌های به عمل آمده هر یک از ۳۸ مؤلفه نهایی‌شده از چهار پارامتر فرم، جداره، بازشو و بام اگر در آپارتمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب ایران، با توجه به نتایج جدول ۷ که بعضی از این مؤلفه‌ها در پلان‌های معماری توسط معماران و طراحان و بعضی دیگر به عنوان الحاقات توسط سازندگان باید به آپارتمان‌های مسکونی اعمال شود رعایت شود، در درجه اول موجب افزایش کارایی آپارتمان‌های مسکونی در برابر اتلاف انرژی و همساز شدن آن‌ها با اقلیم شده و موجب کاهش میزان مصرف انرژی فسیلی به منظور سرمایش و گرمایش برای آپارتمان‌های مسکونی در این اقلیم به خصوص می‌شود. همچنین، کاهش استفاده و استخراج منابع فسیلی، کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی را در پی خواهد داشت. اعمال این مؤلفه‌ها برای ساکنان این ساختمان‌ها در پی کاهش مصرف انرژی‌های فسیلی در بلندمدت، موجب کاهش هزینه‌های انرژی خانوار، افزایش کیفیت زندگی و بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر خواهد داشت و نیز موجب افزایش کیفیت ساخت‌وساز و میزان اعتبار برای سازندگان و معماران خواهد شد.

در مقایسه با پژوهش‌های مشابه که کمتر توجهی به این اقلیم مورد نظر داشتند؛ این مطالعه با تمرکز بر روشن‌سازی شکاف تحقیقاتی موجود انجام شده و مؤلفه‌ها برای پارامترهای فرم، جداره، بازشو و بام در طراحی آپارتمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و مرطوب ایران به منظور کاهش مصرف انرژی از دیدگاه خبرگان مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج ارائه‌شده در پژوهش به خوبی توانست پاسخ‌گوی سؤالات تحقیق و همچنین در راستای هدف اصلی پژوهش باشد. معماران و سازندگان فعال در این اقلیم باید یافته‌های ارائه‌شده طبق اولویت‌بندی ارائه‌شده را در دستور کار خود قرار دهند، که موجب کنترل و کاهش مصرف انرژی برای ساختمان‌های مسکونی شوند. این پژوهش می‌تواند الگوی اولیه بسیاری از پژوهش‌های محققان دیگر قرار بگیرد. میزان تأثیر هر یک از پارامترهای به دست آمده در کاهش هزینه‌های انرژی خانواده‌ها و یا هماهنگی پارامترهای استخراج‌شده با فناوری‌های کنونی ساخت‌وساز و ... می‌تواند موضوع پژوهش بعدی باشند.

منابع

- [۱] ابراهیمی مقدم، امیر، هاشمیان، سید مجید و ابراهیمی مقدم، امین. «بررسی تأثیر ضریب جذب خورشیدی دیواره بیرونی ساختمان مسکونی بر کاهش مصرف انرژی». نشریه مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز. ۱۳۹۷؛ ۴۸(۱): ۷-۱.
- [۲] خیری، علی و رضائی‌زاده مهابادی، کامران. «تأثیر عوامل اقلیمی در طراحی ساختمان مسکونی با رویکرد توسعه پایدار (مورد مطالعه: اقلیم معتدل و مرطوب)». نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی. ۱۳۹۹؛ ۴۹(۱۳): ۷۳-۸۸.
- [۳] ذکاوت، میثم، طاهباز، منصوره و حافظی، محمدرضا. «بررسی تأثیر موقعیت قرارگیری ساختمان، نسبت به ساختمان‌های مجاور و گذر، بر میزان مصرف انرژی (نمونه موردی: ساختمان‌های مسکونی متداول در تهران)». تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۴۰۴؛ ۲۵(۷۶): ۱۹۴-۲۰۹.
- [۴] شعبانیان، مهدی، کابلی، محمد هادی، بنادکی، علی دهقان و زارع، لیللا. «سنجش اثر کاربرد پلی استایرن در کاهش مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد». دوفصلنامه اندیشه معماری. ۱۴۰۰؛ ۵(۹): ۱۱-۲۳.
- [۵] شمس، مجید و خداکرمی، مهناز. «بررسی معماری سنتی همساز با اقلیم سرد (مطالعه موردی: شهر سنندج)». آمایش محیط. ۱۳۹۸؛ ۹۱-۱۱۴.
- [۶] طاهری گرجی، فاطمه، محمدرضا ابراهیم‌نژاد و نوشین عباسی. «بررسی کیفیت زندگی افراد در طبقات مختلف آپارتمان‌های مسکونی با توجه به مؤلفه‌های مؤثر اقلیم معتدل و مرطوب ایران به منظور کاهش مصرف انرژی از دیدگاه ساکنین (نمونه موردی: شهرستان بهشهر)». مطالعات میان‌رشته‌ای معماری ایران. ۱۴۰۳؛ ۳(۶): ۱۱۷-۱۳۱.
- [۷] فقیهی نیا، زینب، حامی، احمد و سعادت جو، پریا. «ارزیابی تأثیر تنوع پوشش گیاهی در بام سبز گسترده بر مصرف انرژی ساختمان (نمونه موردی: ساختمان‌های مسکونی شهر تبریز)». فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای. ۱۴۰۳؛ ۶(۱): ۱۰۰-۱۱۸.
- [۸] قبادیان، وحید و مهدوی، محمد. طراحی اقلیمی: اصول نظری و اجرایی کاربرد انرژی در ساختمان. تهران: مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران. ۱۳۷۲.
- [۹] کسمایی، مرتضی. اقلیم و معماری. تهران: انتشارات خاک. ۱۳۸۳.
- [۱۰] کشتکاران، پریناز، موحد، خسرو وبرزگر مروستی، زهرا. «کاهش مصرف انرژی در ساختمان به وسیله بهینه‌سازی جدار سقف (نمونه موردی: ساختمان مسکونی سه طبقه در شهر شیراز)». علوم و تکنولوژی محیط زیست. ۱۴۰۱؛ ۲۴(۳): ۵-۲۰.
- [11] Amani N, Sabamehr A, Palmero Iglesias L M. Review on energy efficiency using the ecotect simulation software for residential building sector. International Journal of Energy and Environment (IJEE).2022; 13(3): 284–294.
- [12] Chhabra P, Grover A S. Navigating the path to sustainability: The construction industry's crucial role. The genesis.2024; 11(2): 31–39.
- [13] Fazelpour F, Bakhshayesh A, Alimohammadi R, Saraei A. An assessment of reducing energy consumption for optimizing building design in various climatic conditions. International Journal of Energy and Environmental Engineering. 2022; 13(1): 319–329.
- [14] Imran, Iqbal N, Kim D H. IoT Task Management Mechanism Based on Predictive Optimization for Efficient Energy Consumption in Smart Residential Buildings. Energy and Buildings. 2022; 257.
- [15] Li L, Sun W, Hu W, Sun Y. Impact of natural and social environmental factors on building energy consumption: Based on bibliometrics. Journal of Building Engineering. 2021; 37: 102136.
- [16] Sadeghian O, Moradzadeh A, Mohammadi Ivatloo B, Abapour M, Anvari Moghaddam A, Lim J S, Marquez F P G. A comprehensive review on energy saving options and saving potential in low voltage electricity distribution networks: Building and public lighting. Sustainable Cities and Society. 2021; 72: 103064.