Housing and Rural Environment

Print ISSN: 2008 - 4994 Online ISSN: 2588 - 6215

Homepage: https://jhre.ir

Evaluation of thermal comfort discrepancies and occupant behavior adaptations in housing of Tehran

Iman Sheikhansari[1], **Farshad Nasrollahi**[2]✉

1. Ph.D. candidate in architecture, department of architecture, faculty of architecture and urban planning, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran. E-mail: imansheikhansari@gmail.com
2. Corresponding author, Associate professor, department of architecture, faculty of architecture and urban planning, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran. E-mail: f.nasrollahi@aui.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 16 September 2024
Received in revised form 10 October 2024
Accepted 13 November 2024
Available online 31 December 2024

Keywords:
Thermal Comfort,
Residential Apartments,
Indoor Environment,
Occupant Behavior,
Tehran.

ABSTRACT

Objective: This study critically evaluates the effectiveness of thermal comfort models in mid-rise residential apartments in Tehran, focusing on the discrepancies between theoretical standards and the actual comfort experienced by occupants. Tehran's variable climate and suboptimal construction quality present unique challenges in achieving thermal comfort, making it crucial to develop context-specific approaches. The study examines the limitations of the Predicted Mean Vote (PMV) index, a key component of national standards in Iran, which often fails to account for occupant behavior, local environmental factors, and adaptive strategies. The goal is to identify gaps in these models and inform the development of more responsive thermal comfort guidelines, appropriate to the climate and cultural context of Tehran.

Methods: A convergent parallel mixed-methods approach was used, combining quantitative and qualitative data. Environmental measurements, including air temperature, humidity, air velocity, and mean radiant temperature (MRT), were taken across seasons in 35 residential units. Qualitative data were collected through surveys of 112 residents (60 females, 52 males) to understand their perceptions of thermal comfort and adaptive behaviors. Statistical power for the survey was set at 0.95, with surveys exploring residents' responses to different indoor conditions and their use of heating, cooling, and window management strategies.

Results: The study found that the PMV index accurately predicted thermal comfort only 17% of the time, highlighting its limitations in Tehran conditions. Discrepancies between PMV and dry bulb temperatures were particularly pronounced in summer, resulting in significant discomfort Residents preferred neutral temperatures of 20.55°C in summer and 23.86°C in winter, which differed from PMV predictions. Poor insulation, inadequate windows, and inappropriate building materials were identified as major contributors to thermal discomfort.

Conclusions: The results highlight the inadequacy of static models such as PMV in the residential context of Tehran. Adaptive thermal comfort standards that incorporate environmental and behavioral factors are needed to reflect local climates and occupant behavior. This approach would promote passive design strategies, reduce energy consumption, and improve occupant comfort, thereby promoting sustainable residential environments.

Cite this article: Sheikh Ansari, Iman. Nasrollahi, Farshad. (2024). Evaluation of thermal comfort discrepancies and occupant behavior adaptations in housing of Tehran. *Housing and Rural Environment*, 43 (188), 103-118. https://doi.org/10.22034/43.188.103

This article is extracted from the first author's doctoral dissertation, entitled: " Evaluation of Thermal Comfort and Occupant Behavior Strategies in The Design of Midrise Residential Apartments in Tehran", which is processing under the supervision of the second author in the Art University of Isfahan.

© The Author(s).
Publisher: Natural Disasters Research Institute (NDRI).
DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.103

[Downloaded from jhre.ir on 2025-04-18]
[DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.103]

Introduction

Thermal comfort is a fundamental element of indoor environmental quality that affects the health, well-being, and productivity of building occupants. Achieving optimal thermal comfort requires an understanding of the interplay of various factors such as air temperature, humidity, airflow, radiant heat, clothing, physical activity, and individual characteristics such as age and health status. In Iran, the residential and commercial sectors account for approximately 30% of the country's total natural gas consumption, highlighting the need to optimize building design and occupant behavior to improve thermal comfort while reducing energy consumption. This study aims to analyze thermal comfort and occupant behavior in Tehran's residential apartments, focusing on the interaction between occupants and their thermal environment.

Method

A mixed methods approach was used in this research, combining both quantitative and qualitative data collection methods. Environmental parameters such as air temperature, humidity, wind speed and radiant temperature were measured in 35 residential apartments in Tehran during both winter (December) and summer (July) months. Quantitative data were collected using Testo Smart Probes, which recorded environmental conditions from 10 am to 6 pm. The devices were positioned 80 to 120 cm above the floor and at least 100 cm away from walls to ensure accurate readings. In addition, data on residents' activity levels and clothing choices were recorded using the National Standard Checklist 14384. The study also included qualitative data from questionnaires and interviews with 112 residents (60 women, 52 men), all of whom had lived in their homes for at least one year. This sample was selected with a statistical power of 0.95 and an effect size of 0.34. The data were analyzed using descriptive statistics and linear regression, with Python libraries such as pandas, numpy, pythermalcomfort, and scikit-learn.

Results

Descriptive Statistics

Winter
Outdoor air temperature: 9.26°C (SD = 2.05)
Outdoor relative humidity: 43.58% (SD = 8.82)
Outdoor wind speed: 2.49 m/s (SD = 1.29)
Indoor air temperature: 21.79°C (SD = 1.31)
Indoor MRT: 19.24°C (SD = 0.99)
Indoor relative humidity: 48.75% (SD = 10.12)
Indoor air speed: 0.21 m/s (SD = 0.12)
PMV: -1.39 (SD = 0.47)
PPD: 46.33% (SD = 21.99)
TSV: -0.69 (SD = 1.35)

Summer
Outdoor air temperature: 29.09°C (SD = 3.45)
Outdoor relative humidity: 23.15% (SD = 7.64)
Outdoor wind speed: 2.01 m/s (SD = 1.19)
Indoor air temperature: 22.23°C (SD = 1.48)
Indoor MRT: 25.2°C (SD = 1.55)
Indoor relative humidity: 43.68% (SD = 11.84)
Indoor air speed: 0.22 m/s (SD = 0.09)
PMV: -0.75 (SD = 0.47)
PPD: 21.08% (SD = 14.61)
TSV: 0.41 (SD = 1.20)

Linear Regression Analysis

Winter
R-squared: 0.084, p-value < 0.05
For each 1°C increase in outdoor air temperature, AMV increases by 0.30 units.

Summer
R-squared: 0.062, p-value < 0.05
For each 1°C increase in outdoor air temperature, AMV increases by 0.20 units.

Occupant Behavior

- 26.4% of residents were satisfied with the indoor temperature, while 35% expressed

[Downloaded from jhre.ir on 2025-04-18]
[DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.103]

dissatisfaction.

- Over 70% of residents used curtains or shading devices, and 65% used fans or portable fans to adjust thermal conditions.

Linear regression analysis showed that in winter, for every 1°C increase in air temperature, the AMV (Actual Mean Vote) increased by 0.30 units, with an R-squared value of 0.084. In summer, this value was 0.062, and the AMV increased by 0.20 units per 1°C increase in temperature. These results suggest that despite changes in environmental parameters, occupants' thermal perception is not solely influenced by air temperature, highlighting the complexity of factors that influence thermal comfort.

Thermal comfort behavior

A significant discrepancy was observed between the actual thermal comfort of the occupants and the predictions of the PMV model. Only 26.4% of the residents were satisfied with their indoor temperature, while 35% were dissatisfied. Over 70% of residents used curtains or shades, and 65% relied on fans or portable fans to adjust their thermal environment. These adaptive behaviors underscore the limitations of centralized HVAC systems and suggest that occupant satisfaction is influenced by factors such as system inefficiencies and environmental conditions.

Discussion and Conclusion

The results indicate that current thermal comfort models, such as PMV, fail to accurately predict the thermal perceptions of occupants in Tehran's residential apartments. The discrepancies between predicted and actual thermal comfort highlight the need for more context-specific models that take into account local climate, building characteristics, and occupant behavior. The results also point to architectural and HVAC system inefficiencies as significant contributors to poor thermal comfort and high energy consumption. For example, occupants often adjust their environment with auxiliary devices such as fans and curtains, reflecting the failure of HVAC systems to meet their needs. While these behavioral adjustments address short-term discomfort, they often lead to increased energy consumption and further discomfort.

The study also reveals significant differences in neutral temperature values between winter (23.86°C) and summer (20.55°C), reflecting the inefficient operation of heating and cooling systems in Tehran's residential buildings. The high reliance on fans and shading devices further highlights the inadequacy of existing HVAC systems, which are unable to maintain consistent and comfortable indoor temperatures.

Recommendations

Based on the findings of this study, the following recommendations are proposed:

1. Revise and localize thermal comfort standards: Thermal comfort guidelines should be revised to account for local climatic, cultural, and behavioral conditions by incorporating adaptive comfort models that reflect real-world occupant behavior.
2. Improve building construction quality: Improvements in insulation, window quality, and building materials can significantly improve indoor thermal comfort and reduce energy

[Downloaded from jhre.ir on 2025-04-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.103]

consumption.

3. Optimize HVAC systems: Implementing advanced, energy-efficient HVAC systems with better control mechanisms, such as programmable thermostats, can improve comfort levels while reducing energy consumption.

4. Increase Resident Awareness and Education: Educating residents on how to effectively use HVAC systems and employ passive strategies (such as appropriate clothing and natural ventilation) can help them achieve greater comfort while reducing energy demand.

5. Further research: Additional studies are needed to explore the role of environmental, cultural, and behavioral factors in shaping perceptions of thermal comfort and to refine predictive models for residential environments.

Conclusions

This study highlights the critical role of occupant behavior and environmental conditions in determining thermal comfort in residential buildings. The results indicate that current models such as PMV are inadequate for accurately predicting thermal comfort in Tehran's residential apartments, suggesting that more localized and dynamic approaches are needed. Improving building designs, optimizing HVAC systems, and better aligning comfort models with actual occupant behavior can significantly improve thermal comfort and reduce energy consumption in Tehran and similar cities.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Not applicable

Acknowledgements

Not applicable

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Funding

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 declare no conflict of interest

[Downloaded from jhre.ir on 2025-04-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.103]

مسکن و محیط روستا
شاپا چاپی: ۴۹۹۴ - ۲۰۰۸ شاپا الکترونیکی: ۶۲۱۵ - ۲۵۸۸
Homepage: https://jhre.ir

ارزیابی ناهماهنگی‌های آسایش حرارتی و سازگاری رفتار ساکنین در مسکن تهران

ایمان شیخ‌انصاری[۱]، فرشاد نصراللهی[۲]✉

۱ . دکتری معماری، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: imansheikhansari@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: f.nasrollahi@aui.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۳
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۱۰

کلیدواژه‌ها:
آسایش حرارتی،
آپارتمان‌های مسکونی،
محیط داخلی،
رفتار ساکنین،
تهران .

چکیده

هدف: این پژوهش به بررسی انتقادی مدل‌های آسایش حرارتی در آپارتمان‌های میان‌مرتبه شهر تهران می‌پردازد و بر شکاف بین استانداردهای نظری و تجربه واقعی ساکنان تمرکز دارد. آسایش حرارتی یکی از عوامل کلیدی در طراحی ساختمان‌های مسکونی است که تأثیر مستقیمی بر کیفیت زندگی ساکنان دارد. در تهران، که شرایط آب‌وهوایی متنوع است و ساختمان‌ها اغلب دارای کیفیت پایین ساخت هستند، دستیابی به آسایش حرارتی چالش‌های خاصی را ایجاد می‌کند. هدف این مطالعه، ارزیابی نواقص شاخص‌های استاندارد، به‌ویژه شاخص میانگین رأی پیش‌بینی‌شده (PMV) که مبنای استانداردهای ملی ایران است، و تطابق آن‌ها با رفتارهای تطبیقی و شرایط محلی است. این مطالعه به دنبال ارائه رهنمودهای رفتاری-پاسخ‌گو برای بهبود آسایش حرارتی در شرایط خاص تهران است.

روش پژوهش: این پژوهش از رویکرد ترکیبی موازی هم‌گرا استفاده کرده که شامل جمع‌آوری داده‌های کمی و کیفی است. داده‌های کمی ازطریق اندازه‌گیری‌های محیطی شامل دما، رطوبت، سرعت هوا و دمای میانگین تابشی (MRT) در فصول مختلف جمع‌آوری شده است. داده‌های کیفی ازطریق نظرسنجی از ۱۱۲ ساکن آپارتمان‌های میان‌مرتبه با توان آماری ۰/۹۵، به‌دست‌آمده است. این نظرسنجی‌ها به بررسی رفتارهای تطبیقی ساکنان در برابر تغییرات دمایی و ترجیحات آن‌ها در استفاده از سیستم‌های گرمایش و سرمایش پرداخته است.

یافته‌ها: یافته‌ها نشان داد که شاخص PMV تنها در ۱۷ درصد موارد توانست آسایش حرارتی را به‌درستی پیش‌بینی کند که نشان‌دهنده محدودیت‌های جدی این مدل در شرایط اقلیمی تهران است. اختلافات بین دمای میانگین تابشی (MRT) و دمای حباب خشک به‌ویژه در تابستان موجب افزایش نارضایتی حرارتی شده است. دماهای خنثی ترجیح داده‌شده توسط ساکنان در تابستان ۲۰/۵۵ درجه و در زمستان ۲۳/۸۶ درجه سانتی‌گراد بوده است.

نتیجه‌گیری: این مطالعه بر ناکارآمدی مدل‌های ایستای آسایش حرارتی مانند PMV در شرایط خاص تهران تأکید می‌کند و نیاز به استانداردهای تطبیقی را برجسته می‌سازد. استانداردهایی که به رفتارهای ساکنان و شرایط محلی پاسخ‌گو باشند، می‌توانند آسایش حرارتی و پایداری را بهبود بخشند.

استناد: : شیخ انصاری، ایمان ؛ نصراللهی، فرشاد. (۱۴۰۳). ارزیابی ناهماهنگی‌های آسایش حرارتی و سازگاری رفتار ساکنین در آپارتمان‌های میان‌مرتبه تهران. *مسکن و محیط روستا*، ۴۳ (۱۸۸)، ۱۰۳-۱۱۸. https://doi.org/10.22034/43.188.103

مقاله حاضر برگرفته از رساله دکتری نگارنده اول با عنوان «ارزیابی راهبردهای مبتنی بر آسایش حرارتی و رفتار ساکنین در طراحی آپارتمان‌های میان مرتبه تهران» است که با راهنمایی نگارنده دوم در دانشگاه هنر اصفهان انجام شده است.

© نویسندگان.

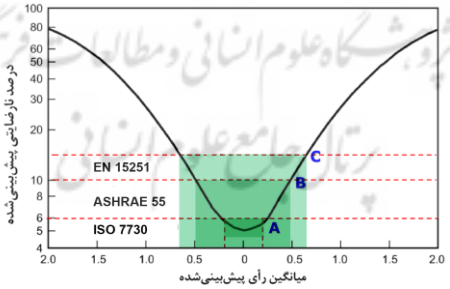
ناشر: پژوهشکده سوانح طبیعی.

[Downloaded from jhre.ir on 2025-04-18]
[DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.103]

مقدمه

آسایش حرارتی یکی از مؤلفه‌های کیفیت محیط داخلی است که تأثیر زیادی بر سلامت، رفاه، و بهره‌وری ساکنان دارد. این مؤلفه به عواملی همچون دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت جریان هوا، تابش حرارتی، پوشش لباس و فعالیت فیزیکی وابسته است و در کنار ویژگی‌های فردی مانند سن، جنسیت و وضعیت سلامتی، ادراک فرد از محیط حرارتی را شکل می‌دهد (World Health Organization, 2021). لذا فراهم‌آوری شرایطی که افراد را در آسایش حرارتی قرار دهد، به دلیل تفاوت‌های فردی، اقلیمی و فرهنگی، از چالش‌های مهم در طراحی محیط‌های داخلی است (IPCC, 2023; Guerra Santin et al., 2009).

در ایران، بخش خانگی و تجاری حدود ۳۰ درصد از مصرف گاز طبیعی را به خود اختصاص می‌دهد که به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بیشتر از کشورهای توسعه‌یافته است (Islamic Consultative Assembly, 2022). این مصرف بالا ناشی از الگوهای رفتاری کاربران و تأثیر طراحی معماری و شرایط محیطی است (National Planning and Budget Organization of Iran, 2018). نگرانی‌های جهانی از مصرف بالای انرژی و تفاوت آن با استانداردهای جهانی، ضرورت بهینه‌سازی طراحی ساختمان‌ها و مدیریت رفتار کاربران را نشان می‌دهد. وابستگی ایران به گاز طبیعی و مشکلات مربوط به ناترازی عرضه و تقاضا، پیامدهای اقتصادی و زیست‌محیطی به همراه دارد (Islamic Consultative Assembly, 2022). در همین راستا، برنامه هفتم توسعه بر بهینه‌سازی مصرف انرژی و بهبود رفتار کاربران و طراحی ساختمان‌ها تأکید کرده است (National Planning and Budget Organization of Iran, 2023). در دهه‌های اخیر، تلاش‌های زیادی برای توسعه مدل‌ها و شاخص‌هایی مانند PMV[1] و PPD[2] جهت ارزیابی و پیش‌بینی آسایش حرارتی انجام شده است. همچنان عدم قطعیت‌هایی در مورد نحوه تطبیق این معیارها با شرایط محلی، اقلیمی و فرهنگی وجود دارد. استانداردهای بین‌المللی مانند ISO 7730، EN 15251 و ASHRAE 55 محدوده‌های متفاوتی برای آسایش حرارتی ارائه می‌دهند (شکل ۱). در ایران، استاندارد ملی ۱۴۳۸۴ بر اساس ISO 7730 تنظیم شده است، اما به دلیل تغییرات در سبک زندگی و معماری، ممکن است نیاز به بازنگری داشته باشد (National Standards Organization of Iran, 2011). علاوه بر این، ناهماهنگی‌های موجود میان نهادهای سیاست‌گذار در زمینه‌های مرتبط با آسایش حرارتی و کیفیت محیط داخلی پیچیدگی‌های این موضوع را افزایش داده است. برای نمونه، در استاندارد ملی ۱۴۳۸۴ دمای عملکردی تابستانی ۲۴/۵ درجه و دمای زمستانی ۲۲/۰ درجه سانتی‌گراد تعریف شده است، درحالی‌که در مقررات ملی ساختمان این دماها به ترتیب ۲۵/۰ و ۲۰/۰ درجه در نظر گرفته شده است.



شکل ۱. تفاوت محدوده آسایش حرارتی در استانداردهای مختلف

سیاست‌های مصرف انرژی ساختمان‌ها بر جنبه‌های فناورانه مانند بهینه‌سازی پوسته ساختمان و کارایی سامانه‌ها متمرکز شده‌اند (Hu et al., 2020). هرچند این اقدامات تا حدی بر کاهش مصرف انرژی مؤثر بوده‌اند، تفاوت‌های قابل‌توجهی در مصرف انرژی بین خانه‌های مشابه مشاهده می‌شود که عمدتاً به رفتار کاربران و کیفیت ساخت برمی‌گردد (Haas et al., 1998; Hens et al., 2010). مصرف انرژی در ساختمان‌ها تحت تأثیر شش عامل اصلی است: آب‌وهوا، پوسته حرارتی ساختمان، سامانه‌های تأسیساتی، بهره‌برداری و نگهداری، رفتار کاربران، و کیفیت محیط داخلی (Yoshino et al., 2017). از میان این عوامل، سه مورد پایانی به‌طور مستقیم به رفتار ساکنین مربوط می‌شود. در ایران، تحقیقات کمتری به تحلیل و کمی‌سازی آثار

1. Predicted Mean Vote
2. Predicted Percentage of Dissatisfied

[Downloaded from jhre.ir on 2025-04-18]
[DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.103]

رفتار کاربران بر مصرف انرژی پرداخته‌اند. درک تعاملات انسان و محیط و به‌کارگیری رویکردهایی که به آسایش حرارتی توجه کنند، می‌تواند به کاهش مصرف انرژی و بهبود کیفیت زندگی ساکنین کمک کند (Lan et al., 2011; Wyon, 2004).

این پژوهش به تحلیل آسایش حرارتی و تعامل ساکنین با محیط حرارتی در آپارتمان‌های مسکونی تهران می‌پردازد. هدف اصلی آن بررسی رفتارهای ساکنین در واکنش به شرایط حرارتی و تأثیر این رفتارها بر طراحی داخلی و سیستم‌های تهویه است. پژوهش‌های پیشین در ایران کمتر به تحلیل کمی آثار رفتارهای روزمره مانند تنظیم دما، باز و بسته کردن پنجره‌ها، تغییر پوشش لباس، و استفاده از وسایل گرمایشی و سرمایشی پرداخته‌اند. رفتارها نقش مهمی در بهینه‌سازی طراحی داخلی و تدوین استانداردهای بومی آسایش حرارتی دارند. مطالعه حاضر با ترکیب نظرسنجی‌های کیفی برای درک رفتار و شرایط ذهنی ساکنین و اندازه‌گیری‌های کمی برای ارزیابی مؤلفه‌های آسایش حرارتی، محیط داخلی و عملکرد ساختمان‌ها را از دیدگاه معماری بررسی می‌کند. نتایج این پژوهش می‌تواند به تدوین راهبردهای طراحی بهینه، توسعه استانداردهای بومی، و کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها کمک کند.

پیشینه پژوهش

آسایش حرارتی به‌عنوان یکی از موضوعات کلیدی و چالش‌برانگیز در معماری و علوم ساختمان، نقشی حیاتی در رضایت و کیفیت زندگی ساکنان ایفا می‌کند (Nicol & Parsons, 2002). در این راستا، دو مدل اصلی تعادل حرارتی و تطبیقی برای پیش‌بینی آسایش حرارتی توسعه‌یافته‌اند. مدل میانگین رأی پیش‌بینی‌شده (PMV) که توسط فنگر[3] (۱۹۷۲) معرفی شد، بر اساس داده‌های آزمایش‌شده در اتاق‌های کنترل‌شده و فرضیه تنظیم حرارت بدن طراحی شده است. این مدل در ساختمان‌های با سیستم تهویه مکانیکی مؤثر عمل می‌کند، اما در محیط‌های مسکونی که به تهویه طبیعی وابسته‌اند، به‌ویژه در شرایط آب و هوایی شدید، کاربرد محدودی دارد (de Dear & Brager, 1998, 2002). مدل PMV به دلیل عدم توجه به رفتار ساکنان و تغییرات در لباس یا سطح فعالیت متابولیک موردنقد قرار گرفته است. این مدل به‌صورت ایستا عمل کرده و تطابق دقیق با نیازهای متغیر ساکنان ندارد. مطالعات معاصر، ازجمله پژوهش چونگ و همکاران، که داده‌های ۵۶،۷۷۱ نفر را در شرایط مختلف اقلیمی و انواع ساختمان‌ها بررسی کرده‌اند، نشان داده‌اند که مدل PMV تنها ۳۴ درصد از احساسات حرارتی واقعی ساکنان را به‌درستی پیش‌بینی می‌کند. نتایج نشان دادند که تعداد افراد ناراضی در مقادیر PMV پایین‌تر از −۱ (کمی سرد) کمتر از حد پیش‌بینی‌شده است و در PMV = 0 (خنثی) تعداد افراد ناراضی بیشتر از انتظار بود. همچنین، یک مدل ساده‌تر بر اساس دمای حباب خشک دقت پیش‌بینی بیشتری (۹ درصد بالاتر) نسبت به PMV نشان داد، که این یافته نشان می‌دهد پیچیدگی مدل‌ها همیشه به پیش‌بینی‌های بهتر منجر نمی‌شود (Cheung et al., 2019). همچنین یافته‌های اخیر نشان داده‌اند که مدل PMV حتی در نسخه‌های اصلاح‌شده مانند ePMV و aPMV، عملکرد بهتری نسبت به نسخه اولیه ندارد و تنها افزایش دقتی محدود (حدود ۵ درصد) در پیش‌بینی‌ها ارائه می‌کند (Du et al., 2022).

با بحران انرژی، طراحی معماری غیرفعال و ارزیابی آسایش حرارتی در فضاهای با تهویه طبیعی اهمیت بیشتری پیدا کرد. فنگر و کریستنسن نشان دادند که سرعت هوای بالای ۰/۲ متر بر ثانیه در برخی شرایط دمایی، نارضایتی بیش از ۱۰ درصد از افراد را به همراه دارد. برای رفع محدودیت‌های مدل PMV، مدل تطبیقی آسایش حرارتی معرفی شد که بر تعامل مداوم ساکنان با محیط تمرکز دارد. این مدل بیان می‌کند که ساکنان با تغییراتی مانند تنظیم لباس، پنجره‌ها یا ترموستات، تعادل حرارتی را برقرار می‌کنند (Brager & de Dear, 1998). تحقیقات نشان می‌دهند که در ساختمان‌های با تهویه طبیعی، دمای داخلی و دمای بیرونی ارتباط مستقیمی دارند (de Dear, 1998)، اما این ارتباط در ساختمان‌های با تهویه مکانیکی ضعیف‌تر است (Yang et al., 2014). بااین‌حال، مدل تطبیقی نیز انتقاداتی دریافت کرده است. برخی پژوهشگران معتقدند استانداردهای انرژی پایین که منجر به ناراحتی می‌شوند، به‌اندازه استانداردهای مصرف انرژی بالا غیرقابل‌قبول هستند (Humphreys & Nicol, 2000).

3. Fanger

[Downloaded from jhre.ir on 2025-04-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.103]

چالش‌های طراحی و محیط داخل ساختمان‌های مسکونی

مدل‌های موجود آسایش حرارتی، که بر پایه داده‌های فیزیکی و محیطی توسعه‌یافته‌اند، به‌طور کامل نمی‌توانند به رفتار پیچیده و غیرقابل‌پیش‌بینی ساکنان توجه کنند (Clevenger & Haymaker, 2006). در طراحی ساختمان‌ها، ساکنان اغلب به‌عنوان عامل غیرفعال در نظر گرفته می‌شوند، درحالی‌که رفتار آن‌ها می‌تواند به‌طور مستقیم بر عملکرد انرژی ساختمان و آسایش محیط داخلی تأثیرگذار باشد (O'Brien & Gunay, 2015). بنابراین، درک عمیق‌تری از نقش رفتار ساکنان در ارتقای آسایش حرارتی و کاهش مصرف انرژی ضروری است. جنبه‌های ظریف طراحی ساختمان می‌تواند به میزان زیادی به درک و کنترل محیط داخلی ساکنان کمک کند (Brager et al., 2004). بااین‌حال، موارد زیر که توسط استانداردها و کدهای ساختمانی و سامانه‌های رتبه‌بندی بیان شده است، حاکی از عدم انتقال دانش عمومی تأثیر ساختمان‌ها بر ساکنان به حوزه طراحی، اجرا و بهره‌برداری است. نمونه‌ای از فرضیات به شرح زیر است:

– بهترین راه برای مقابله با الگوی زیستی نامشخص ساکنین، ایجاد فرضیات محافظه‌کارانه است (de Dear, 2011; Gunay et al., 2016; Hoes et al., 2009; O'Brien & Gunay, 2019).

– کیفیت محیط داخل پدیده کاملاً فیزیکی و فیزیولوژیکی است به‌طوری‌که می‌توانیم آسایش ساکنین را از اندازه‌گیری مستقیم پارامترهای محیطی داخل ساختمان به‌طور دقیق پیش‌بینی کنیم (Schweiker et al., 2017).

– اگر شرایط محیطی استاندارد توصیه‌شده در داخل خانه برای ساکنان فراهم شود، نیازی به ارائه امکاناتی برای بهبود آسایش آن‌ها نیست (Hong, Taylor-Lange, et al., 2016; Strasser et al., 2018).

– ساکنان نمی‌دانند ساختمان‌ها چگونه کار می‌کنند و اغلب انرژی را نسبت به هدف طراحی هدر می‌دهند، بنابراین کنترل آن‌ها بر محیط داخلی و سامانه‌های ساختمان باید محدود شود (Gilani & O'Brien, 2017; Gunay et al., 2013).

درصورتی‌که طراحی فضا و فرهنگ مناسب باشد، ساکنان ممکن است برای بهبود آسایش خود، تغییراتی در مقدار لباس، فعالیت، وضعیت بدن یا ارتباط با منابع گرمایی مانند پنجره‌ها ایجاد کنند (Baker & Standeven, 1997). حتی تغییرات ساده در وضعیت بدن می‌تواند به‌عنوان یک رفتار انطباقی عمل کند که به افزایش آسایش حرارتی کمک می‌کند (Raja & Nicol, 1997). همچنین، تنظیم محیط با استفاده از پنجره‌ها، درها، پنکه‌ها، سایه‌ها و موقعیت مبلمان، به‌عنوان سازگاری حرارتی محسوب می‌شود. سازگاری‌های حرارتی معمولاً به سه دسته فیزیولوژیکی، روانی و رفتاری تقسیم می‌شوند. سازگاری‌های فیزیولوژیکی به تغییرات تدریجی بدن به محیط حرارتی اشاره دارند، درحالی‌که سازگاری‌های روانی تحت تأثیر عوامل اجتماعی و فرهنگی است. سازگاری‌های رفتاری، که بیشترین تأثیر را در کنترل شرایط حرارتی دارند، شامل تنظیم عوامل محیطی ازطریق اقدامات مانند باز و بسته کردن پنجره‌ها و تغییر لباس هستند (Ioannou & Itard, 2015).

عوامل مؤثر بر تنظیم آسایش حرارتی در ساختمان‌های مسکونی شامل تنظیمات شخصی، استفاده از پنجره‌ها، سایبان‌ها، نورپردازی و سامانه‌های تأسیسات هستند. تنظیم لباس و سطح فعالیت ساکنان، بسته به شرایط داخلی و خارجی، به‌طور مستقیم بر آسایش حرارتی تأثیر می‌گذارد و شناخت الگوهای رفتاری کاربران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همچنین، استفاده از پنجره‌ها و سایبان‌ها به‌عنوان روش‌های سازگاری فعال می‌تواند به کاهش مصرف انرژی کمک کند. تفاوت‌های جمعیتی و فرهنگی نیز نقش مهمی در تنظیمات محیط داخلی ایفا می‌کنند. درک این رفتارها به طراحان و مهندسان کمک می‌کند تا استراتژی‌های بهینه‌تری برای تعادل بین آسایش حرارتی و بهره‌وری انرژی، به‌ویژه در اقلیم‌های مشابه تهران، توسعه دهند.

جدول ۱. عوامل مؤثر بر رفتار ساکنین در ساختمان‌های مسکونی

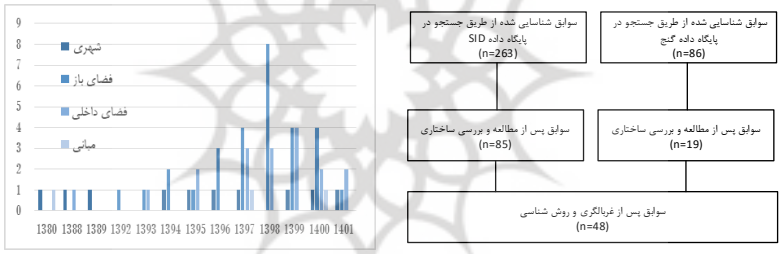
راهکارها	اقدامات	عوامل مؤثر
راهکار فردی	تنظیم لباس	زمان روز (Gauthier, 2016)، عادات ساکنین (Zhang et al., 2020)، درک آسایش حرارتی (Li, 2022)
	تغییر سطح فعالیت	دمای هوای داخلی (Gauthier, 2016)، الگوی رفتاری (Carlucci et al., 2020)
	مصرف نوشیدنی	دمای هوای داخلی (Gauthier, 2016)، عدم آسایش حرارتی (Liu et al., 2022)
راهکار غیرفعال	تغییر وضعیت پنجره	دمای هوای داخلی (Rijal et al., 2007; Dick & Thomas, 1951; Andersen et al., 2013)، رطوبت نسبی هوای داخلی (Andersen et al., 2013)، غلظت کربن دی‌اکسید (Andersen et al., 2009)، دمای هوای بیرون (Andersen et al., 2013; Dick & Thomas, 1951; Yun & Steemers, 2008; Rijal et al., 2007)، رطوبت نسبی هوای

[Downloaded from jhre.ir on 2025-04-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.103]

		خارجی (Andersen et al., 2013)، تابش خورشیدی (Happle et al., 2018)، عادات ساکنین (Zhang et al., 2016)
	تغییر وضعیت سایبان	تابش خورشیدی (Andersen et al., 2009)، مالکیت (Andersen et al., 2009)، کیفیت هوای داخلی (Andersen et al., 2009)، سن (Andersen et al., 2009) ، سبک زندگی ساکنین (Hong et al., 2017)، زمان روز (Bennet et al., 2014)، جهت‌نما (Bennet et al., 2014)، اندازه پنجره (Bennet et al., 2014)
راهکار فعال	روشن و خاموش کردن نور مصنوعی	دمای هوای خارجی (Andersen, 2009)، تابش خورشیدی (Andersen, 2009)، روشنایی درک‌شده (Andersen, 2009)، احساس حرارتی (Andersen, 2009)، مدت استفاده روزانه (Jian et al., 2015)، دفعات استفاده روزانه (Jian et al., 2015)، جنسیت (Andersen, 2009)، سن (Andersen, 2009)
	تنظیم ترموستات	رطوبت نسبی داخلی (Fabi et al., 2013)، دمای هوای خارجی (Fabi et al., 2013)، تابش خورشیدی (Fabi et al., 2013)، سرعت باد (Fabi et al., 2013)، زمان روز (Fabi et al., 2013)، نوع اندازه‌گیری (Gunay et al., 2014)
	میزان استفاده از تأسیسات مکانیکی	درک نحوه عملکرد کنترل‌ها (Peeters et al., 2009)، نوع اندازه‌گیری (Shukuya & Schweiker, 2010)، دمای هوای داخلی (Jian et al., 2015)، تفاوت دمای داخلی و خارجی (Stephens et al., 2011)، دمای هوای خارجی (Gunay et al., 2014)، رطوبت هوای بیرون (Gunay et al., 2014)، زمان روز (Gunay et al., 2014; Stephens et al., 2011)، روز درجه سرمایی (Yun & Steemers, 2011)، دمای نقطه تنظیم سیستم (Stephens et al., 2011)، جنسیت (Gunay et al., 2014)، پیشینه جغرافیایی (Gunay et al., 2014)، سلامتی (Kempton et al., 1992)

در این مطالعه، جستجوی ادبیات با هدف جمع‌آوری مقالات فارسی مرتبط با نقش ساکنین و آسایش حرارتی در ساختمان‌ها انجام شد. فرایند جستجو شامل غربالگری اولیه مخازن نویسندگان، جستجوهای غیرساختاریافته در پایگاه‌های داده مختلف و درنهایت جستجوی ساختاریافته در پایگاه‌های نشریات فارسی و سامانه گنج بود. با بررسی عناوین و چکیده‌ها، ۲۶۳ مقاله شناسایی شد که با دقیق‌تر، به ۸۵ مقاله مرتبط کاهش یافت. همچنین، ۸۶ پایان‌نامه شناسایی و پس از غربالگری به ۱۹ پایان‌نامه تقلیل یافت. مقالات برای استخراج جزئیات منطقه جغرافیایی مربوطه، داده‌های مربوط به ساختمان و اطلاعات مربوط به ساکنین بررسی شدند و سپس روش‌های به‌کاررفته برای پیش‌بینی و اندازه‌گیری شرایط آسایش حرارتی و رفتار ساکنین موردبررسی قرار گرفت.



شکل ۲. سیر پژوهش‌های آسایش حرارتی و رفتار کاربر در ایران

بررسی‌ها نشان می‌دهد که نشریه‌های هنرهای زیبا و مطالعات اقلیم گرم و خشک پرتکرارترین منابع پژوهشی این حوزه بوده‌اند و اکثر پژوهش‌ها پس از سال ۱۳۹۷ انجام شده‌اند. شهرهای تهران، یزد، شیراز، و اصفهان نیز پرتکرارترین موارد مطالعاتی بوده‌اند. بیشتر این پژوهش‌ها رویکرد اقلیمی داشته و بر فضاهای باز یا محدوده‌های شهری تمرکز کرده‌اند، درحالی‌که تنها ۱۸ درصد آن‌ها محیط داخلی ساختمان را موردبررسی قرار داده‌اند. از میان پژوهش‌ها، تنها ۶ مورد آسایش حرارتی را بدون استفاده از محدوده‌های ازپیش‌تعیین‌شده و با روش پرسش‌نامه بررسی کرده‌اند. این امر نشان می‌دهد که استانداردهای موجود عمدتاً بر سیستم‌های سرمایش/گرمایش مکانیکی استاتیک متمرکز هستند. علاوه بر این، اکثر معماران از پذیرش نقش بالقوه حالت‌های تطبیقی برای صرفه‌جویی در انرژی در ساختمان‌هایی با شرایط حرارتی داخلی خارج از محدوده آسایش استانداردهای فعلی خودداری می‌کنند. باتوجه‌به اینکه مکانیسم‌های تطبیقی حرارتی بسته به مناطق آب‌وهوایی متنوع، متفاوت است، نیاز به تدوین و بازتعریف شاخص‌های حرارتی و راهبردهای طراحی معماری متناسب با شرایط ایران بیش‌ازپیش احساس می‌شود.

جدول ۲. گزیده پژوهش‌های داخلی مرتبط با آسایش حرارتی و رفتار کاربر در فضای داخل

نویسندگان	سال	عنوان	تحلیل
برزگر و سجادی	۲۰۲۳	سنجش آسایش حرارتی درونی فصل گرم تحت تأثیر گشودگی‌ها در خانه‌های سنتی و آپارتمانی	– نارضایتی ۱۸٪ در خانه سنتی و ۶۱٪ در آپارتمان با گشودگی باز – تأثیر مثبت گشودگی‌های پنج‌دری بر آسایش حرارتی
رضازاده و همکاران	۲۰۲۳	بررسی رفتارهای سازگارانه حرارتی ساکنان واحدهای مسکونی ویلایی و آپارتمانی شهر رشت	– تأثیر فاکتورهای محیطی و ویژگی‌های فردی–جمعیتی بر آسایش – نتایج مفید طراحی فضاهای مسکونی مؤثر بر رفتار

[Downloaded from jhre.ir on 2025-04-18]
[DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.103]

عبدالله زاده و همکاران	۲۰۲۱	بررسی سازگاری حرارتی در آپارتمان‌های اقلیم گرم و خشک	– نارضایتی ساکنان به دلیل طراحی نامناسب – اولویت‌های رفتاری ساکنان به استفاده از راهکارهای غیرفعال
بنازاده و همکاران	۲۰۲۰	ارتباط مقیاس‌های آسایش حرارتی با مؤلفه‌های فیزیکی-محیطی در ساختمان مدیریت دانشگاه شیراز	– تأثیر رطوبت و وضعیت بازشوها بر احساس حرارتی – اهمیت طراحی‌های بهینه برای آسایش حرارتی
وکیلی‌نژاد و شاعری	۲۰۲۰	ارزیابی محدوده آسایش حرارتی در اثر تهویه طبیعی در ساختمان‌های اداری بوشهر	– دمای بالای آسایش بیشتر از پیش‌بینی‌ها –نیاز به تحقیقات بیشتر برای تعیین دقیق محدوده آسایش حرارتی
سرگزی و همکاران	۲۰۲۱	رفتارهای سازگارانه و آسایش حرارتی تابستانه در فضاهای داخلی معماری بومی منطقه سیستان	– ۵۱٪ روزهای گرم با رفتارهای سازگارانه آسایش فراهم می‌شود.
زارع مهذبیه و همکاران	۲۰۲۰	بررسی کیفیت محیطی داخلی خانه‌های قاجاری شیراز با تأکید بر آسایش حرارتی و نور روز	– زیرزمین در ۱۰ ماه سال در محدوده آسایش است. – اتاق شاه‌نشین در ۸ ماه از سال آسایش و نور مطلوب دارد.
عیالی و همکاران	۲۰۱۹	بررسی سازگاری رفتار حرارتی ساکنان آپارتمان در راستای دستیابی به آسایش حرارتی در ماه‌های گرم	– اولویت اول روشن کردن کولر یا پنکه – ارتباط معنادار بین پوشش و ارزیابی حرارتی
دشتی زاده و گرکانی	۲۰۱۸	بررسی محدوده آسایش حرارتی خانه خشتی روستای لاسجرد استان سمنان	–کمتر از ۱۰٪ روزها در محدوده آسایش بدون تهویه طبیعی –غفلت از مسائل اقلیمی و پل‌های حرارتی
هاشمی رفسنجانی و حیدری	۲۰۱۸	ارزیابی آسایش حرارتی تطبیقی در خانه‌های مسکونی اقلیم گرم و خشک استان کرمان	– ساکنان در دماهای بالاتر از استاندارد احساس راحتی می‌کنند. – اهمیت طراحی مناسب برای آسایش حرارتی
زمردیان و همکاران	۲۰۱۷	ارزیابی آسایش حرارتی در کلاس درس در اقلیم گرم و خشک	– شرایط حرارتی کلاس‌ها غالباً غیرقابل‌قبول است – نیاز به تمهیدات معماری برای بهبود آسایش
زارع مهذبیه و همکاران	۲۰۱۵	بررسی کیفیت محیطی فضاهای داخلی با تأکید بر آسایش حرارتی در خانه‌های سنتی	–خانه‌های سنتی عملکرد مناسبی در تأمین آسایش حرارتی دارند. – ضرورت احیای ویژگی‌های معماری در طراحی معاصر
انصاری منش و نصرالهی	۲۰۱۴	تعیین محدوده آسایش حرارتی ساکنان به‌منظور بهینه‌سازی کیفیت محیط داخل در ساختمان‌های اداری کرمانشاه	– دما باید بین ۲۰ تا ۲۶ درجه و رطوبت حداقل ۱۹٪ باشد. – نیاز به استانداردسازی آسایش حرارتی در ایران
نجفی و نجفی	۲۰۱۲	بررسی آسایش حرارتی با استفاده از روش‌های PMV و PPD	– شرایط حرارتی در زمستان مطلوب است. – طراحی اقلیمی مناسب می‌تواند آسایش را بهبود بخشد.
حیدری	۲۰۰۹	دمای آسایش حرارتی مردم شهر تهران	–تأکید بر بهینه‌سازی مصرف انرژی با روش‌های غیرفعال – امکان صرفه‌جویی ۲۵٪ در مصرف انرژی
قیابکلو	۲۰۰۲	روش‌های تخمین محدوده آسایش حرارتی	– اهمیت توجه به عوامل مؤثر در طراحی‌های معماری – ارائه چهار روش برای تخمین و تعیین محدوده آسایش

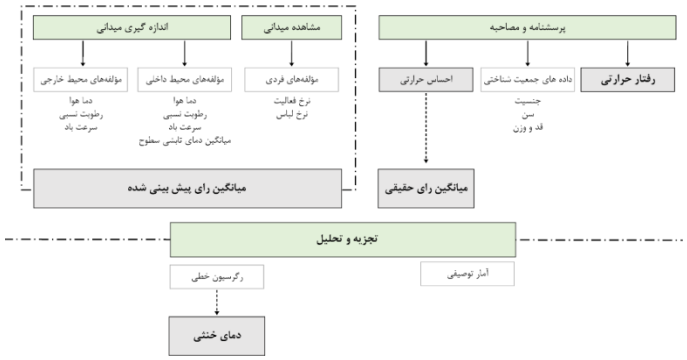
روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش با هدف ارزیابی آسایش حرارتی و رفتار ساکنین، به‌صورت بنیادی-تجربی و با کاربرد در حوزه معماری، ارزیابی عملکرد ساختمان و مهندسی تأسیسات انجام شده است. رویکرد پژوهش، ترکیبی موازی هم‌گرا است که شامل جمع‌آوری و تحلیل هم‌زمان داده‌های کمی و کیفی و سپس مقایسه و تفسیر آن‌ها می‌شود (Creswell, 2021). روش گردآوری داده شامل نظرسنجی کیفی برای درک رفتار و رضایت ساکنین و اندازه‌گیری کمی پارامترهای محیطی مانند دمای داخلی، دمای تابشی، سرعت باد و دمای بیرون است. در نظرسنجی، نظرات ساکنین درباره عوامل مؤثر بر آسایش حرارتی و رضایت آن‌ها جمع‌آوری می‌شود، و ارزیابی رضایت حرارتی باید علل نارضایتی را مشخص کند (Ashrae, 2023).

این مطالعه به بررسی آسایش حرارتی و رفتار ساکنان در آپارتمان‌های میان‌مرتبه تهران می‌پردازد و شامل نمونه‌ای ۱۱۲ نفری از ۳۵ واحد آپارتمانی است که به‌صورت تصادفی انتخاب شده‌اند. این آپارتمان‌ها عمدتاً در ساختمان‌های ۳ تا ۸ طبقه با جهت‌گیری شمال-جنوب و فضای باز محدود طراحی شده‌اند. نمونه‌گیری بر اساس توان آماری ۰/۹۵ و اندازه اثر ۰/۳۴ انجام شده و میانگین سنی شرکت‌کنندگان ۳۹/۴۹ سال (± ۲۱.۱۵) است که شامل ۶۰ زن و ۵۲ مرد می‌شود. معیار انتخاب، سکونت حداقل یک سال در آپارتمان بوده تا آشنایی کافی با محیط داخلی و تغییرات فصلی تضمین شود. نمونه ازنظر سن، جنسیت و وضعیت اجتماعی-اقتصادی به‌گونه‌ای انتخاب شده که یافته‌ها نماینده جامعه گسترده‌تری باشد. شرکت‌کنندگان ازطریق اطلاع‌رسانی محلی و شبکه‌های اجتماعی جذب شده‌اند. همچنین، برای افزایش دقت پژوهش و بررسی جامع‌تر محرک‌های

[Downloaded from jhre.ir on 2025-04-18]
[DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.103]

رفتاری، اندازه اثر آماری از ۰/۶۵۸ به ۰/۳۳۹ کاهش داده شده است (Lan & Lian, 2010).



شکل ۱. چهارچوب مفهومی سنجش رفتار ساکنین و آسایش حرارتی

برای ثبت جنبه‌های کمی آسایش حرارتی، از کیت Testo Smart Probes استفاده شد تا داده‌ها مطابق با الزامات استانداردهای آسایش حرارتی جمع‌آوری شوند. در طول مصاحبه‌ها که در اتاق نشیمن برگزار می‌شد، کیت اندازه‌گیری در ارتفاع ۸۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر و با فاصله حداقل ۱۰۰ سانتی‌متر از هر دیوار قرار گرفت تا از آثار لایه مرزی اجتناب شود. نرخ فعالیت و میزان پوشش نیز بر اساس چک‌لیست استاندارد ملی ۱۴۳۸۴ محاسبه شدند. میانگین دمای تابشی با استفاده از دماسنج مادون‌قرمز و روش فاکتور زاویه محاسبه شد. داده‌ها طی دو بازه زمانی کلیدی که نمایانگر شرایط اقلیمی تهران هستند، جمع‌آوری شدند: هفته اول دی‌ماه برای بررسی دوره نیازمند گرمایش (زمستان) و هفته اول تیرماه برای بررسی دوره نیازمند سرمایش (تابستان). این اندازه‌گیری‌ها بین ساعت ۱۰ صبح تا ۶ عصر انجام شدند. فضای نشیمن و پذیرایی به‌عنوان نماینده اصلی محل سکونت افراد در آپارتمان‌های مسکونی انتخاب شدند. برای تکمیل داده‌های کمی، داده‌های کیفی ازطریق پرسش‌نامه‌ها و مصاحبه‌ها گردآوری شدند. ساکنین پرسش‌نامه‌های استانداردی را تکمیل کردند که اطلاعات دقیقی درباره ارزیابی ذهنی آن‌ها از آسایش حرارتی، رفتارهای تطبیقی، و رضایت از محیط داخلی ارائه می‌داد. این پرسش‌نامه‌ها بر اساس استاندارد ASHRAE 55-2023 طراحی شده بودند. همچنین، مصاحبه‌ها به تحلیل عمیق‌تر رفتارها و ادراک ساکنین کمک کردند.

جدول ۳. تجهیزات مورداستفاده در پژوهش جهت برداشت وضعیت حرارتی

	testo 405i	testo 605i	testo 805i
نوع حس‌گر	سیم داغ	رطوبت - خازنی	فروسرخ
محدوده	۰ تا ۳۰ متر بر ثانیه	۰ تا ۱۰۰ درصد رطوبت نسبی	۳۰- تا ۲۵۰+ درجه سانتی‌گراد
وضوح	۰/۰۱ متر بر ثانیه	۰/۱٪ رطوبت نسبی	۰/۱ درجه سانتی‌گراد
نوع حس‌گر	NTC	NTC	
محدوده	۲۰- تا ۶۰+ درجه سانتی‌گراد	۲۰- تا ۶۰+ درجه سانتی‌گراد	
وضوح	۰/۱ درجه سانتی‌گراد	۰/۱ درجه سانتی‌گراد	

در این پژوهش، تحلیل داده‌ها به دو مرحله اصلی توصیفی و رگرسیون تقسیم شده است. در مرحله اول، داده‌های کمی مربوط به دما، رطوبت و سرعت باد با استفاده از کتابخانه‌های pandas و numpy پیش‌پردازش شدند. سپس، تحلیل توصیفی شامل محاسبه میانگین، میانه و انحراف معیار برای بررسی توزیع داده‌ها انجام شد. در مرحله بعد، مدل‌سازی آسایش حرارتی با استفاده از کتابخانه pythermalcomfort صورت گرفت تا شاخص‌های PMV و PPD محاسبه شوند و با AMV مقایسه شوند. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها، از آزمون کالموگروف–اسمیرنوف استفاده شد. درنهایت، با بهره‌گیری از تحلیل رگرسیون خطی ساده و استفاده از کتابخانه‌های statsmodels و scikit-learn، روابط بین متغیرهای محیطی و آسایش حرارتی ساکنین شناسایی و پارامترهای تأثیرگذار بر آن تعیین شد. این روش‌ها به بررسی و مدل‌سازی آسایش حرارتی در آپارتمان‌های تهران کمک می‌کنند.

[Downloaded from jhre.ir on 2025-04-18]
[DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.103]

یافته‌ها

این پژوهش بر روی ۳۵ خانوار در آپارتمان‌های مسکونی ۳ تا ۶ طبقه تهران انجام شد. مناطق با تراکم بالا مانند منطقه دو شهرداری و مناطق با تراکم کم مثل منطقه ده موردبررسی قرار گرفتند. ساختار غالب آپارتمان‌ها پنج طبقه دو واحدی (۲۲ درصد) و سه و چهار طبقه تک‌واحدی (۱۷ درصد) بود. عمر آپارتمان‌ها در محدوده ۱۰ تا ۲۰ سال (۴۰ درصد) و بیشتر از ۴۰ سال (۶ درصد) متغیر بود. بیشترین فراوانی زیربنا به متراژ ۱۰۰ تا ۱۵۰ مترمربع (۳۴ درصد) و کمترین به آپارتمان‌های بالای ۲۰۰ مترمربع (۳ درصد) اختصاص داشت. ۷۰ درصد از واحدها دارای همسایگی از دو سمت و ۴۵ درصد دارای سامانه‌های کولرآبی و شوفاژ بودند.

خانوارها عمدتاً شامل چهار نفر (۳۷ درصد) و سه نفر (۳۴ درصد) بودند. توزیع جنسیتی به نسبت ۵۳/۶ درصد خانم و ۴۶/۴ درصد آقا بود. سنین غالب ۴۵ تا ۵۵ سال (۳۱ درصد) و ۲۵ تا ۳۵ سال (۲۷ درصد) بودند. این آمار با سرشماری نفوس و مسکن تهران همخوانی دارد. تحلیل رفتار ساکنان نشان داد که تفاوت‌های فصلی تأثیر معناداری در نرخ پوشش ندارد. در تابستان، میانگین مقدار نرخ پوشش ۰/۶۴ *clo* (انحراف معیار = ۰/۱۰) بود، درحالی‌که در زمستان به ۰/۶۶ clo (انحراف معیار = ۰/۱۰) افزایش یافت. داده‌های رأی احساس حرارتی (TSV) نشان داد که ساکنان در زمستان احساس خنک‌تری داشتند - = TSV 0.69، (انحراف معیار = ۱/۵۳ (در مقایسه با تابستان TSV = 0.41، (انحراف معیار = ۱/۲۰). در طول جمع‌آوری داده‌ها، تمامی شرکت‌کنندگان در وضعیت نشسته و آرام با سطح فعالیتی برابر با ۱/۱ متابولیک قرار داشتند.

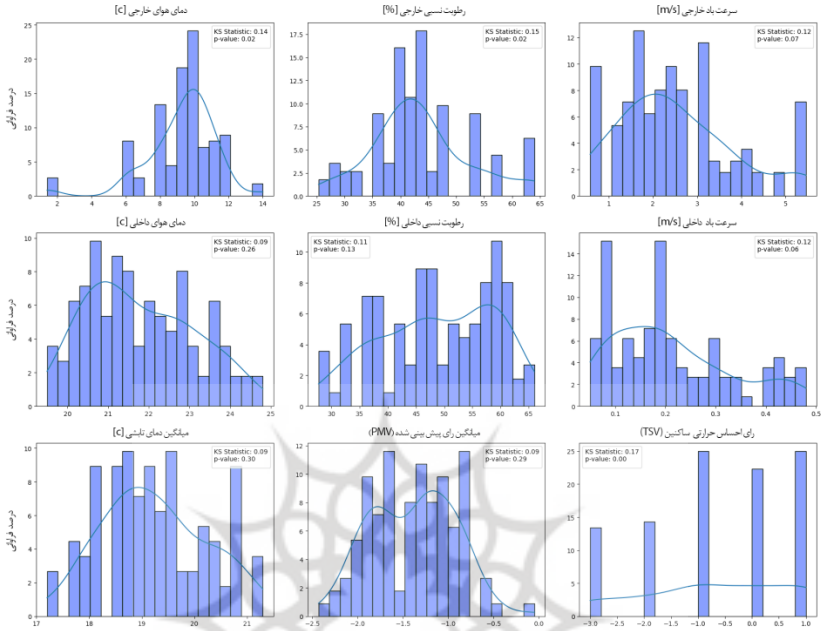
مؤلفه‌های محیطی اثرگذار بر آسایش حرارتی و رفتار کاربر برداشت‌شده در این پژوهش به دودسته تقسیم می‌شوند: مؤلفه‌های محیط بیرون شامل دما هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد و مؤلفه‌های محیط داخلی شامل دما هوا، متوسط دمای تابشی سطوح، رطوبت نسبی و سرعت باد هست. در ادامه شرح خلاصه‌ای از اندازه‌گیری‌های محیطی ارائه شده است.

در فصل زمستان، میانگین دمای هوای بیرونی ۹/۲۶ درجه سانتی‌گراد (انحراف معیار = ۲/۰۵ درجه سانتی‌گراد) و در محدوده ۱/۴ تا ۱۴ درجه سانتی‌گراد متغیر بود. میانگین رطوبت نسبی بیرونی ۴۳/۵۸ درصد (انحراف معیار = ۸/۸۲ درصد) و در محدوده ۲۵/۳ تا ۶۴ درصد قرار داشت. میانگین سرعت باد بیرونی ۲/۴۹ متر بر ثانیه (انحراف معیار = ۱/۲۹ متر بر ثانیه) بود که از ۰/۶ متر بر ثانیه تا ۵/۵ متر بر ثانیه تغییر می‌کرد. شرایط داخلی نشان داد که میانگین دمای هوای داخلی ۲۱/۷۹ درجه سانتی‌گراد (انحراف معیار = ۱/۳۱ درجه سانتی‌گراد) بود و مقادیر بین ۱۹/۵ تا ۲۴/۸ درجه سانتی‌گراد را شامل می‌شد. دمای میانگین تابشی داخلی پایین‌تر بود و برابر با ۱۹/۲۴ درجه سانتی‌گراد (انحراف معیار = ۰/۹۹ درجه سانتی‌گراد) با محدوده‌ای از ۱۷/۲ تا ۲۱/۳ درجه سانتی‌گراد. رطوبت نسبی داخلی بیشتر بود و به‌طور میانگین ۴۸/۷۵ درصد (انحراف معیار = ۱۰/۱۲ درصد) بود و از ۲۷/۷ تا ۶۶ درصد متغیر بود. سرعت جریان هوای داخلی به‌طور میانگین ۰/۲۱ متر بر ثانیه (انحراف معیار = ۰/۱۲ متر بر ثانیه) بود که در محدوده ۰/۱ تا ۰/۵ متر بر ثانیه قرار داشت. شاخص میانگین رأی پیش‌بینی‌شده (PMV) در زمستان برابر با ۱/۳۹- (انحراف معیار = ۰/۴۷) بود که در محدوده ۲/۴۳- تا ۰/۰۵- قرار داشت و نشان‌دهنده احساس سرما بود. شاخص درصد نارضایتی پیش‌بینی‌شده (PPD) بالاتر و برابر با ۴۶/۳۳ درصد (انحراف معیار = ۲۱/۹۹ درصد) بود که از ۵/۱ تا ۹۱/۹ درصد تغییر می‌کرد. شاخص میانگین گزارش‌شده توسط ساکنان (TSV) برابر با ۰/۶۹- (انحراف معیار = ۱/۳۵) بود که نشان‌دهنده احساس سرما بود (شکل ۴).

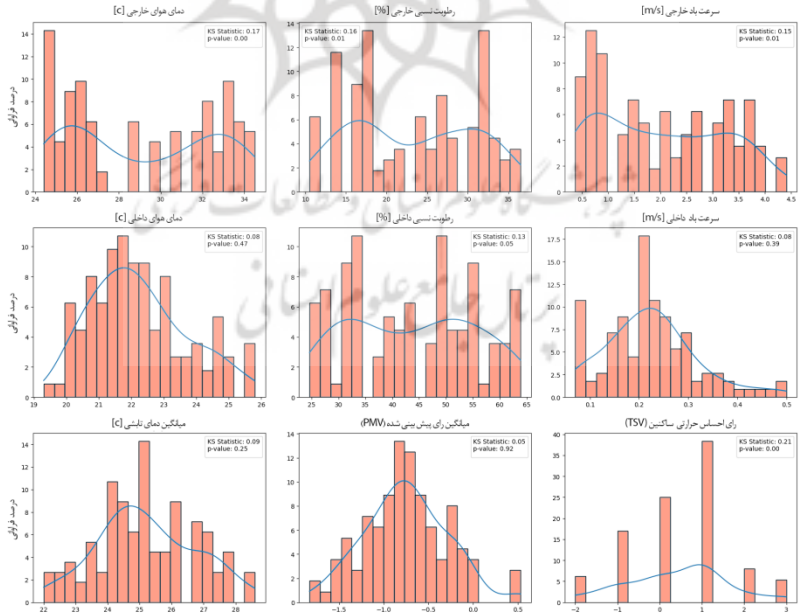
در فصل تابستان، میانگین دمای هوای بیرونی ۲۹/۰۹ درجه سانتی‌گراد (انحراف معیار = ۳/۴۵ درجه سانتی‌گراد) با دامنه‌ای از ۲۴/۴ درجه سانتی‌گراد تا ۳۴/۵ درجه سانتی‌گراد بود. میانگین رطوبت نسبی هوای بیرونی ۲۳/۱۵ درصد (انحراف معیار = ۷/۶۴ درصد) با دامنه‌ای از ۱۰/۵ درصد تا ۳۶/۵ درصد بود. سرعت هوای بیرونی به‌طور میانگین ۲/۰۱ متر بر ثانیه (انحراف معیار = ۱/۱۹ متر بر ثانیه) بود که در بازه ۰/۳ متر بر ثانیه تا ۴/۴ متر بر ثانیه متغیر بود. همچنین شرایط داخلی نشان داد که میانگین دمای هوا ۲۲/۲۳ درجه سانتی‌گراد (انحراف معیار = ۱/۴۸ درجه سانتی‌گراد) با مقادیری در بازه ۱۹/۳ درجه سانتی‌گراد تا ۲۵/۸ درجه سانتی‌گراد بود. میانگین دمای تابشی ۲۵/۲ درجه سانتی‌گراد (انحراف معیار = ۱/۵۵ درجه سانتی‌گراد) با دامنه‌ای از ۲۲/۰ درجه سانتی‌گراد تا ۲۸/۶ درجه سانتی‌گراد بود. رطوبت نسبی داخلی ۴۳/۶۸ درصد (انحراف معیار = ۱۱/۸۴ درصد) بود که در بازه

[Downloaded from jhre.ir on 2025-04-18]
[DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.103]

۲۴/۶ درصد تا ۶۳/۹ درصد متغیر بود. سرعت هوای داخلی به‌طور میانگین ۰/۲۲ متر بر ثانیه (انحراف معیار = ۰/۰۹ متر بر ثانیه) بود که در بازه ۰/۰ متر بر ثانیه تا ۰/۵ متر بر ثانیه قرار داشت. شاخص PMV برای تابستان برابر با ۰/۷۵- (انحراف معیار = ۰,۴۷) بود که در بازه ۱/۸۳- تا ۰/۵۳ قرار داشت و نشان‌دهنده حس خنکی نسبی بود. PPD برابر با ۲۱/۰۸ درصد (انحراف معیار = ۱۴/۶۱ درصد) بود که در بازه ۵/۰ درصد تا ۶۸/۷ درصد قرار داشت. TSV گزارش‌شده توسط ساکنان ۰/۴۱ (انحراف معیار = ۱/۲۰) بود که نشان‌دهنده حس حرارتی خنثی بود (شکل ۵).



شکل ٤. خلاصه نموداری آمار توصیفی بر اساس داده‌های زمستان



شکل ٥. خلاصه نموداری آمار توصیفی بر اساس داده‌های تابستان

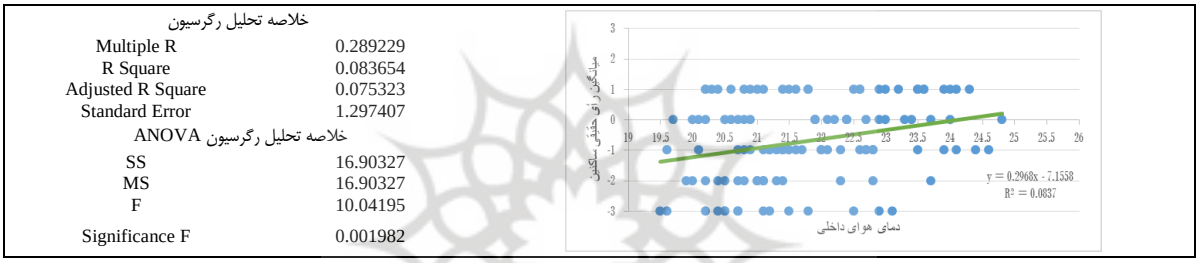
رگرسیون خطی

رگرسیون خطی یک روش آماری است که برای تحلیل روابط بین متغیرهای وابسته و مستقل استفاده می‌شود. در این مدل، متغیر وابسته به‌صورت ترکیبی خطی از متغیرهای مستقل و ضرایب همراه با یک جمله خطای تصادفی مدل‌سازی می‌شود و با

[Downloaded from jhre.ir on 2025-04-18]
[DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.103]

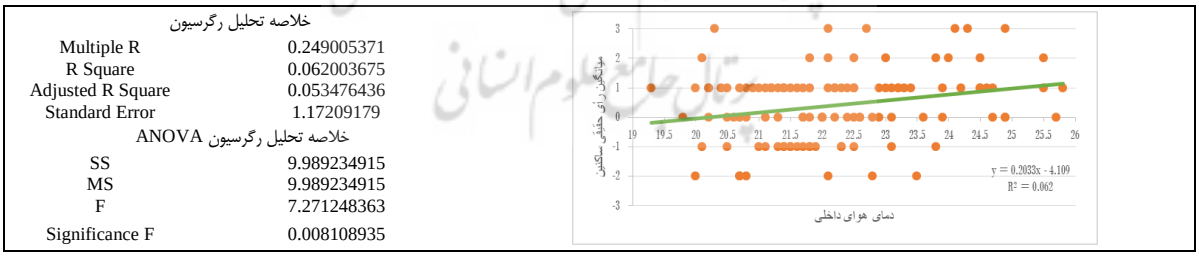
استفاده از روش کمترین مربعات تخمین زده می‌شود. در این پژوهش، میانگین رأی حقیقی (AMV) ساکنین به‌عنوان متغیر وابسته و دمای هوای داخلی به‌عنوان متغیر مستقل بررسی شده است. مدل رگرسیون خطی با ارزیابی معیار R-squared توانایی خود را در توضیح تغییرات AMV نشان می‌دهد. همچنین، آمارهای تشخیصی مانند دوربین–واتسون و جارک–برا نشان می‌دهند که مدل ازنظر آماری معتبر است و مشکلاتی مانند خودهمبستگی یا توزیع غیرعادی باقی‌مانده‌ها وجود ندارد. بااین‌حال، مقدار پایین R-squared و عدد شرطی بالا که نشان‌دهنده احتمال هم‌خطی چندگانه است، محدودیت‌هایی در مدل ایجاد می‌کند که نیازمند بررسی بیشتر است. درنهایت، تحلیل نشان می‌دهد که دمای هوا تأثیر معناداری بر آسایش حرارتی ساکنین دارد.

در فصل زمستان، مقدار R-squared برابر ۰/۰۸۴ است که نشان می‌دهد مدل تنها ۸/۴ درصد از تغییرات میانگین رأی حقیقی (AMV) را توضیح می‌دهد. مقدار p-value کمتر از ۰/۰۵ نشان‌دهنده اهمیت آماری رابطه بین دمای هوا و آسایش حرارتی است، که در این مطالعه، نشان‌دهنده رابطه معنادار بین دمای هوا و AMV است. تحلیل رگرسیون نشان می‌دهد که دمای هوا تأثیر مثبتی بر AMV دارد و به ازای هر افزایش یک درجه در دمای هوا، AMV به‌طور میانگین ۰/۳۰ واحد افزایش می‌یابد (ضریب ۰/۲۹۶۸). باوجوداین، مقدار پایین R-squared بیانگر این است که دمای هوا تنها ۸/۴ درصد از تغییرات AMV را توضیح می‌دهد، و عوامل دیگری نیز باید در تحلیل‌های آینده مدنظر قرار گیرند تا رابطه دقیق‌تری بین دمای هوا و AMV شناسایی شود.



شکل ٦. تحلیل رگرسیون دمای محیط داخل و میانگین رأی حقیقی ساکنین در زمستان

نتایج رگرسیون در فصل تابستان نشان‌دهنده رابطه مثبت بین دمای هوا (متغیر مستقل) و AMV (متغیر وابسته) است. به ازای هر افزایش یک درجه سانتی‌گراد در دمای هوا، AMV به‌طور میانگین ۰/۲۰ واحد افزایش می‌یابد. بااین‌حال، مقدار R-squared برابر ۰/۰۶۲ است که نشان می‌دهد مدل تنها ۶/۲ درصد از تغییرات AMV را توضیح می‌دهد و قدرت پیش‌بینی کمی دارد. باتوجه‌به اینکه مقدار p کمتر از ۰/۰۵ است، رابطه بین دمای هوا و AMV ازنظر آماری معنادار است. بااین‌حال، مقدار پایین R-squared نشان می‌دهد که عوامل دیگری مانند رطوبت، جریان هوا و تابش خورشید که بر آسایش حرارتی تأثیر می‌گذارند.



شکل ۷. تحلیل رگرسیون دمای محیط داخل و میانگین رأی حقیقی ساکنین در تابستان

رفتارهای مرتبط با آسایش حرارتی

بررسی‌ها نشان می‌دهد که باوجود استفاده گسترده از سامانه‌های تأسیساتی در منازل مسکونی تهران، تنها ۲۶/۴ درصد از ساکنان از دمای محیط خود رضایت دارند، درحالی‌که ۳۵ درصد از آنان همچنان ناراضی هستند. این نارضایتی‌ها، حتی باوجود سامانه‌های فعال، نشان‌دهنده ناکارآمدی طراحی معماری و تأسیسات در تأمین آسایش حرارتی است.

تحلیل‌ها حاکی از آن است که در تابستان، نارضایتی بیشتر به شرایط محیطی مرتبط است، اما در زمستان، مشکلات عمدتاً به ناکارآمدی سیستم‌های گرمایشی و ساختار آپارتمان‌ها برمی‌گردد. این چالش‌ها باعث شده که ساکنان برای دستیابی به آسایش حرارتی، به ابزارهای کنترلی محیطی و تغییرات معماری متوسل شوند. به‌طور مثال، بیش از ۷۰ درصد از پرده یا سایبان برای

[Downloaded from jhre.ir on 2025-04-18]
[DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.103]

مدیریت تابش آفتاب استفاده می‌کنند، درحالی‌که تنها ۲۹/۴ درصد وضعیت در و پنجره‌ها را تغییر می‌دهند.

در تابستان، جریان هوای سرد با دمای حدود ۲۰/۵ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان حالت مطلوب توسط ساکنان در نظر گرفته می‌شود و ۶۵ درصد از آنان از پنکه یا فن‌های قابل‌حمل برای خنک‌سازی استفاده می‌کنند. در زمستان، نبود ابزارهای کنترلی مناسب مانند ترموستات، منجر به کاهش آسایش حرارتی می‌شود و ساکنان ناچار به روش‌های جایگزین مانند پوشیدن لباس‌های گرم یا استفاده از پتو هستند.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه بر شکاف قابل‌توجه بین محدوده‌های پیش‌بینی‌شده آسایش حرارتی و ادراک واقعی ساکنان آپارتمان‌های مسکونی در تهران تأکید می‌کند. این اختلافات نشان‌دهنده یک مسئله ساختاری عمیق است که ریشه در کیفیت پایین طراحی معماری، ساخت‌وساز، و مدیریت انرژی در ایران دارد. درحالی‌که مدل‌های نظری آسایش حرارتی، محدوده‌ای از دماهای بهینه را ارائه می‌دهند، مشاهده می‌شود که ساکنان در واقعیت، به دلیل ناکارآمدی محیطی و تأسیساتی، دماهای متفاوتی را برای دستیابی به آسایش ترجیح می‌دهند. این یافته‌ها حاکی از آن است که صرف اتکا به مدل‌های پیش‌بینی در شرایط ایران نمی‌تواند به بهبود شرایط واقعی آسایش حرارتی منجر شود.

تفاوت‌های قابل‌توجه میان دماهای خنثی محاسبه‌شده در فصل تابستان (۲۰/۵۵ درجه سانتی‌گراد) و زمستان (۲۳/۸۶ درجه سانتی‌گراد) نشان‌دهنده آن است که ساکنان به دلیل ناکارآمدی سیستم‌های موجود و عدم انطباق شرایط محیطی با نیازهای حرارتی، مجبور به تنظیمات دمایی متفاوتی در فصول مختلف هستند. این موضوع نشان می‌دهد که راهکارهای کنونی، ازجمله سامانه‌های تأسیساتی و طراحی‌های معماری مرسوم، در ایجاد یک محیط زیستی مناسب و کارآمد ناکام مانده‌اند.

عوامل فیزیکی مانند عایق‌کاری نامناسب، کیفیت پایین پنجره‌ها و درها، و استفاده از مواد ساختمانی غیربهینه به‌وضوح در کاهش آسایش حرارتی و افزایش مصرف انرژی نقش دارند. در بسیاری از پروژه‌های ساختمانی در ایران، به دلیل کاهش هزینه‌های اولیه، استانداردهای پایین در عایق‌کاری و طراحی محیطی اعمال می‌شوند. این موضوع منجر به استفاده بیشتر از سیستم‌های گرمایش، تهویه، و تهویه مطبوع می‌شود که نه‌تنها مصرف انرژی را افزایش می‌دهد بلکه به دلیل عدم بهینه‌سازی و عدم وجود سیستم‌های کنترلی پیشرفته مانند ترموستات، به آسایش حرارتی نامطلوب منجر می‌گردد.

در این میان، عوامل رفتاری نظیر عادات روزانه و تعداد ساکنان نیز نقش مهمی در شرایط حرارتی ایفا می‌کنند. اما باید به این نکته توجه کرد که بخش بزرگی از رفتارهای تطبیقی ساکنان، واکنشی به ناکارآمدی‌های طراحی معماری و سامانه‌های تأسیساتی است. به‌عنوان‌مثال، استفاده گسترده از پنکه‌ها و تجهیزات جانبی برای بهبود شرایط حرارتی، نشانه‌ای از شکست سیستم‌های مرکزی HVAC در تأمین آسایش است. این ابزارها، درحالی‌که به‌طور موقت برخی از نیازهای حرارتی را برطرف می‌کنند، اغلب به از بین بردن آسایش حرارتی، افزایش مصرف انرژی، و تشدید مشکلات صوتی منجر می‌شوند.

تحلیل آماری نیز نشان می‌دهد که شاخص میانگین رأی پیش‌بینی‌شده (PMV) در شرایط فعلی ایران توانایی کافی برای پیش‌بینی آسایش حرارتی ساکنان را ندارد. خطای بالای این شاخص در تشخیص نیازهای حرارتی ساکنان، حتی در مواردی که تمامی متغیرهای مؤثر به‌درستی اندازه‌گیری شده‌اند، نشانگر عدم انطباق این مدل‌های استاندارد با شرایط بومی و رفتارهای خاص ساکنان در ایران است. به‌ویژه در محیط‌هایی مانند تهران، که ترکیبی از چالش‌های محیطی، فرهنگی، و اقتصادی را تجربه می‌کند، شاخص‌های موجود نمی‌توانند به‌طور دقیق نیازهای واقعی افراد را منعکس کنند.

درنهایت، یافته‌های این مطالعه بر ضرورت اتخاذ یک رویکرد جامع و انتقادی در مواجهه با مسئله آسایش حرارتی در ساختمان‌های مسکونی تهران تأکید می‌کند. بهبود عایق‌بندی، ارتقای کارایی سیستم‌های تأسیساتی و تطبیق‌پذیری فناوری‌های نوین با رفتارهای واقعی ساکنان نه‌تنها می‌تواند به کاهش مصرف انرژی منجر شود، بلکه می‌تواند مدل‌های پیش‌بینی را به احساسات حرارتی واقعی نزدیک‌تر کند. اختلافات مداوم میان سطوح راحتی پیش‌بینی‌شده و واقعی نشان می‌دهد که یک بازنگری اساسی در استراتژی‌های طراحی و بهره‌برداری ساختمان‌های مسکونی در ایران ضروری است. بدون یک تحول جامع در رویکردها و فناوری‌های مرتبط با آسایش حرارتی، تداوم نارضایتی ساکنان و مصرف غیرکارآمد انرژی اجتناب‌ناپذیر خواهد بود.

[Downloaded from jhre.ir on 2025-04-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.103]

References

Abodollahzadeh, S. M., Heidari, S., & Einifar, A. (2021). The investigation of thermal adaptation in apartments in hot and dry climate: A study on thermal comfort and thermal behavior in apartments in Shiraz. *Naqshejahan-Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*, *11*(3), 33-48. (in persian)

Andersen, R. V., Toftum, J., Andersen, K. K., & Olesen, B. W. (2009). Survey of occupant behaviour and control of indoor environment in Danish dwellings. *Energy and Buildings*, *41*(1), 11-16.https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.07.004

Andersen, R., Fabi, V., Toftum, J., Corgnati, S. P., & Olesen, B. W. (2013). Window opening behaviour modelled from measurements in Danish dwellings. Building and Environment, 69, 101–113. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.07.005

Ansari manesh M, Nasrolahi N. (2014). Determination of occupant's thermal comfort zone to maximize the quality of indoor environment in office buildings of Kermanshah. Naqshejahan; 4 (2). 11-21. http://bsnt.modares.ac.ir/article-2-29326-fa.html (in persian)

Ashrae. (2023). Thermal environmental conditions for human occupancy. In J. Eddy, M. Rodrigo, D. J. Rice, D. M. Rose, A. R. Smith, A. L. Stadler, E. A. Arens, & B. H. Thomas (Eds.), *ASHRAE* (Issue 55).

Ayali, H., Keshmiri, H., & Movahed, K. (2019). Study of thermal behavior adaptability of apartment residents for achieving thermal comfort in warm months in Shiraz. *Journal of Sustainable Architecture and Urban Design*, 7(1), 1-12. https://doi.org/10.22061/jsaud.2019.3652.1158 (in persian)

Baker, N., & Standeven, M. (1997). A BEHAVIOURAL APPROACH TO THERMAL COMFORT ASSESSMENT. *International Journal of Solar Energy*, 19(1–3), 21–35. https://doi.org/10.1080/01425919708914329

Bannazadeh, B., Heidari, S., & Hadianfard, H. (2020). Relationship between thermal comfort scales and physical-environmental components: A case study of Shiraz University administration building. *Journal of Architecture in Hot and Dry Climates*, 8(11), 253-281. https://doi.org/10.29252/ahdc.2020.1989 (in persian)

Brager, G. S., & Dear, R. J. (1998). Thermal adaptation in the built environment: A literature review. Energy and Buildings, 27(1), 83. https://doi.org/10/cn6z3k

Barzegar, Z., & Sajjadi, K. (2023). Analogy of thermal comfort with the influence of openings by PMV method in traditional houses and apartments in Shiraz. *Journal of Iranian Architecture & Urbanism* (JIAU), 14(1), 117-131. https://doi.org/10.30475/isau.2023.231996.1424 (In persian)

Bennet, I., O'Brien, W., & Gunay, H. B. (2014). Effect of Window Blind Use in Residential Buildings: Observation and Simulation Study. eSim.

Brager, G. S., Paliaga, G., de Dear, R. J., Olesen, B., Wen, J., Nicol, F., & Humphreys, M. (2004). Operable windows, personal control, and occupant comfort. In ASHRAE Transactions: Vol. 110 PART I (Issue 1). University of California, Berkeley.

Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P. W., Trisos, C., Romero, J., et al. (2023). IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

Carlucci, S., De Simone, M., Firth, S. K., Kjærgaard, M. B., Markovic, R., Rahaman, M. S., Annaqeeb, M. K., Biandrate, S., Das, A., Dziedzic, J. W., Fajilla, G., Favero, M., Ferrando, M., Hahn, J., Han, M., Peng, Y., Salim, F., Schlüter, A., & Van Treeck, C. (2020). Modeling occupant behavior in buildings. Building and Environment, 174, 106768. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106768

Cheung, T., Schiavon, S., Parkinson, T., Li, P., & Brager, G. (2019). Analysis of the accuracy on PMV – PPD model using the ASHRAE Global Thermal Comfort Database II. Building and Environment, 153, 205–217. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.055

Clevenger, C. M., & Haymaker, J. (2006). The Impact Of The Building Occupant On Energy Modeling Simulations. In Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering, 1–10.

Creswell, J. W. (2021). A concise introduction to mixed methods research. SAGE Publications.

[Downloaded from jhre.ir on 2025-04-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.103]

Dashtizadeh, S., & Garakani, A. (2018). Evaluating thermal comfort of an adobe house in Lasgerj Village in Semnan Province. *Journal of Housing and Renewable Energy*, 37(163), 47-60. https://doi.org/10.22034/37.163.47 (in persian)

de Dear, R. J. (1998). Global database of thermal comfort field experiments. ASHRAE Transactions, 104, 1141–1152.

de Dear, R. J. (2011). Revisiting an old hypothesis of human thermal perception: alliesthesia. Building Research & Information, 39(2), 108–117. https://doi.org/10.1080/09613218.2011.552269

de Dear, R. J., & Brager, G. S. (1998). Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. ASHRAE Transactions, 104(Pt 1A), 145–167.

de Dear, R. J., & Brager, G. S. (2002). Thermal comfort in naturally ventilated buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55. Energy and Buildings, 34(6), 549–561. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00005-1

Dick, J. B., & Thomas, D. A. (1951). Ventilation research in occupied houses. *Journal of the Institute of Heating and Ventilating Engineers*, 19(194), 279–305.

Du, H., Lian, Z., Lai, D., Duanmu, L., Zhai, Y., Cao, B., Zhang, Y., Zhou, X., Wang, Z., Zhang, X., & Hou, Z. (2022). Evaluation of the accuracy of PMV and its several revised models using the Chinese thermal comfort Database. Energy and Buildings, 271, 112334. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112334

Fabi, V., Andersen, R. V., & Corgnati, S. P. (2013). Influence of occupant's heating set-point preferences on indoor environmental quality and heating demand in residential buildings. HVAC&R Research, 19(5), 635–645. https://doi.org/10.1080/10789669.2013.789372

Fanger, P. O. (1972). Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering. Danish Technical Press. https://doi.org/10.1016/s0003-6870 (72)80074-7

Gauthier, S. (2016). Investigating the probability of behavioural responses to cold thermal discomfort. Energy and Buildings, 124, 70–78. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.04.036

Gilani, S., & O'Brien, W. (2017). Review of current methods, opportunities, and challenges for in-situ monitoring to support occupant modelling in office spaces. Journal of Building Performance Simulation, 10(5–6), 444–470. https://doi.org/10.1080/19401493.2016.1255258

Guerra Santin, O., Itard, L., & Visscher, H. (2009). The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock. *Energy and Buildings*, 41(11), 1223–1232. https://doi.org/10/ctmmr2.

Gunay, H. B., O'Brien, W., & Beausoleil-Morrison, I. (2013). A critical review of observation studies, modeling, and simulation of adaptive occupant behaviors in offices. *Building and Environment*, 70, 31–47. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.07.020

Gunay, H. B., O'Brien, W., Beausoleil-Morrison, I., & Gilani, S. (2016). Modeling plug-in equipment load patterns in private office spaces. *Energy and Buildings*, 121, 234–249. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.001

Gunay, H. B., O'Brien, W., Beausoleil-Morrison, I., & Perna, A. (2014). On the behavioral effects of residential electricity submetering in a heating season. Building and Environment, 81, 396–403. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.07.020

Haas, R., Auer, H., & Biermayr, P. (1998). The impact of consumer behavior on residential energy demand for space heating. *Energy and Buildings*, 27(2), 195–205. https://doi.org/10.1016/s0378-7788(97)00034-0

Hashemi Rafsanjani, L. and Heidari, S. (2018). Evaluating adaptive thermal comfort in residential buildings in hot-arid climates Case study: Kerman province. *Journal of Architecture in Hot and Dry Climate*, 6(7), 43-65. doi: 10.29252/ahdc.2018.1422 (in persian)

Happle, G., Fonseca, J., & Schlueter, A. (2018). A review on occupant behavior in urban building energy models. *Energy and Buildings*. https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2018.06.030.

Heidari, S. (2009). Comfort temperature of Iranian people in the city of Tehran. Journal of Fine Arts: Architecture & Urban Planning, 1(38), 5-14. (in persian)

Hens, H., Parijs, W., & Deurinck, M. (2010). Energy consumption for heating and rebound effects. Energy and Buildings, 42(1), 105–110. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.07.017

Hoes, P., Hensen, J. L. M., Loomans, M. G. L. C., de Vries, B., & Bourgeois, D. (2009). User

[Downloaded from jhre.ir on 2025-04-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.103]

behavior in whole building simulation. Energy and Buildings, 41(3), 295–302. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.09.008

Hong, T., Taylor-Lange, S. C., D'Oca, S., Yan, D., & Corgnati, S. P. (2016). Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings. Energy and Buildings, 116, 694–702. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.052

Hong, T., Yan, D., D'Oca, S., & Chen, C. (2017). Ten questions concerning occupant behavior in buildings: The big picture. Building and Environment, 114, 518-530. https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2016.12.006.

Hu, S., Yan, D., Azar, E., & Guo, F. (2020). A systematic review of occupant behavior in building energy policy. Building and Environment, 175, 106807. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106807

Humphreys, M., & Nicol, F. (2000). Outdoor Temperature and Indoor Thermal Comfort: Raising the Precision of the Relationship for the 1998 Ashrae Database of Field Studies. AHSRAE Trans, 206, 485–492.

Ioannou, A., & Itard, L. C. M. (2015). Energy performance and comfort in residential buildings: Sensitivity for building parameters and occupancy. Energy and Buildings, 92, 216–233. https://doi.org/10/gkr9dc

Islamic Consultative Assembly. (2022). Energy commission report on the imbalance between natural gas production and consumption in the country (Volume 107). Tehran: Islamic Consultative Assembly. (in persian)

ISO. (2005). ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. https://www.iso.org/standard/39155.html

Jian, Y., Li, Y., Wei, S., Zhang, Y., & Bai, Z. (2015). A case study on household electricity uses and their variations due to occupant behavior in Chinese apartments in Beijing. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 14(3), 679–686. https://doi.org/10.3130/jaabe.14.679

Kempton, W., Feuermann, D., & McGarity, A. E. (1992). 'I always turn it on super': User decisions about when and how to operate room air conditioners. Energy and Buildings, 18(3–4), 177–191. https://doi.org/10.1016/0378-7788(92)90012-6

Lan, L., & Lian, Z. (2010). Application of statistical power analysis—How to determine the right sample size in human health, comfort and productivity research. Building and Environment, 45(5), 1202–1213. https://doi.org/10/dgn5n8

Lan, L., Wargocki, P., & Lian, Z. (2011). Quantitative measurement of productivity loss due to thermal discomfort. Energy and Buildings, 43(5), 1057–1062. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.09.001

Li, W., Liang, Y., Liu, C., Ji, Y., & Cheng, L. (2022). Study of ultra-light modular phase change cooling clothing based on dynamic human thermal comfort modeling. Building and Environment, 222, 109390. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109390

Liu, Y., Chong, W. T., Cao, Y., Liu, H., Yu, H., Cui, T., Chang, L., & Pan, S. (2022). Characteristics analysis and modeling of occupants' window operation behavior in hot summer and cold winter region, China. Building and Environment, 216, 108998. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108998

Najafi, S. M. A., & Najafi, N. (2012). Thermal comfort analysis using PMV and PPD methods. Studies of Environmental Conditions in Haft Hesar, 1(1), 61-70. (in persian)

National Planning and Budget Organization of Iran. (2018). National energy strategy document. Tehran: National Planning and Budget Organization Publishing. (in persian)

National Planning and Budget Organization of Iran. (2023). Seventh development program. Tehran: National Planning and Budget Organization Publishing. (in persian)

National Standards Organization of Iran. (2011). National standard 14384: Determining PMV and PPD thermal comfort indices and criteria for local thermal comfort. Tehran: National Standards Organization of Iran. (in persian)

Nicol, F., & Parsons, K. (2002). Special issue on thermal comfort standards. Energy and Buildings, 34(6), 529–532. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00002-6

[Downloaded from jhre.ir on 2025-04-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.103]

Nicol, J. F., & Raja, I. A. (1997). Indoor thermal comfort: The Pakistan study. Energy for Sustainable Development, 3(5), 50–60. https://doi.org/10.1016/S0973-0826(08)60213-6

O'Brien, W., & Gunay, H. B. (2015). Mitigating office performance uncertainty of occupant use of window blinds and lighting using robust design. Building Simulation, 8(6), 621–636. https://doi.org/10.1007/s12273-015-0239-2

O'Brien, W., & Gunay, H. B. (2019). Do building energy codes adequately reward buildings that adapt to partial occupancy? Science and Technology for the Built Environment, 25(6), 678–691. https://doi.org/10.1080/23744731.2019.1581015

Peeters, L., Dear, R. D., Hensen, J., & D'haeseleer, W. (2009). Thermal comfort in residential buildings: Comfort values and scales for building energy simulation. Applied Energy, 86(5), 772–780. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.07.011

Qiyabkalu, Z. (2002). Methods for estimating the thermal comfort range. Fine Arts Journal, (10), 68-74. (In persian)

Rezazadeh Pileh Dar Boni, N., Heidari, S., & Soltanzadeh, H. (2023). Investigating thermal adaptive behaviors of villas and apartments occupants in Rasht City in cold season. Naqshejahan, 12(4), 70-95. Retrieved from http://bsnt.modares.ac.ir/article-2-64929-fa.html (In persian)

Rijal, H. B., Tuohy, P., Humphreys, M. A., Nicol, J. F., Samuel, A., & Clarke, J. (2007). Using results from field surveys to predict the effect of open windows on thermal comfort and energy use in buildings. Energy and Buildings, 39(7), 823–836. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.02.003

Sargazi, M. A. , Tahbaz, M. and Haj Ebrahim Zargar, A. (2021). Adaptive behaviors and summer thermal comfort in the indoor environments of the vernacular architecture of Sistan region, Iran. Journal of Architecture in Hot and Dry Climate, 8(12), 169-196. doi: 10.29252/ahdc.2021.15847.1489(In persian)

Schweiker, M., & Shukuya, M. (2010). Comparison of theoretical and statistical models of air-conditioning-unit usage behaviour in a residential setting under Japanese climatic conditions. Building and Environment, 45(1), 213–223. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.010

Schweiker, M., Kingma, B. R. M., & Wagner, A. (2017). Evaluating the performance of thermal sensation prediction with a biophysical model. Indoor Air, 27(5), 1012–1021. https://doi.org/10.1111/ina.12372

Soebarto, V. I., & Williamson, T. J. (2001). Multi-criteria assessment of building performance: theory and implementation. Building and Environment, 36(6), 681–690. https://doi.org/10.1016/S0360-1323(00)00068-8

Stephens, B., Carter, E. M., Gall, E. T., & Siegel, J. A. (2011). HVAC moisture removal rates in residential buildings: Sensitivity to load, season, and ventilation strategies in a hot and humid climate. Building and Environment, 46(1), 100–110. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.06.010

Strasser, H., Kimman, J., Koch, A., Mair am Tinkhof, O., Müller, D., Schiefelbein, J., & Slotterback, C. (2018). IEA EBC annex 63–implementation of energy strategies in communities. Energy and Buildings, 158, 123–134. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.051

Tartarini, F., & Schiavon, S. (2020). pythermalcomfort: A Python package for thermal comfort research. SoftwareX, 12, 100578. https://doi.org/10/gnkhks

Vakili Nejad, R., & Shaeri, J. (2020). Evaluation of the thermal comfort range due to natural ventilation in office buildings in Bushehr. City Identity, 14(44), 61-72. (In persian)

World Health Organization. (2021). Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19. World Health Organization. https://www.who.int/publications/i/item/9789240021280

Wyon, D. P. (2004). The effects of indoor air quality on performance and productivity: The effects of IAQ on performance and productivity. Indoor Air, 14, 92–101. https://doi.org/10/dj4547

Yang, L., Yan, H., & Lam, J. C. (2014). Thermal comfort and building energy consumption implications – A review. Applied Energy, 115, 164–173. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.062

Yoshino, H., Hong, T., & Nord, N. (2017). IEA EBC annex 53: Total energy use in buildings—Analysis and evaluation methods. Energy and Buildings, 152, 124–136.

[Downloaded from jhre.ir on 2025-04-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.103]

https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.038

Yun, G. Y., & Steemers, K. (2008). Time-dependent occupant behavior models of window control in summer. Building and Environment, 43(9), 1471–1482. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.08.001

Zare Mohazzabieh, A. , Heydari, S. and Shahcheraghi, A. (2020). Indoor Environmental Quality in Qajar Houses of Shiraz with an emphasis on Thermal Comfort and Daylighting (case study: Nemati House). Journal of Architecture in Hot and Dry Climate, 7(10), 269-291. doi: 10.29252/ahdc.2020.12108.1261(in persian)

Zare Mohazabie, A., Shahcheraghi, A., & Shahin, H. (2017). Indoor environmental quality with an emphasis on thermal comfort in traditional houses: Case studies of two Qajar houses in Shiraz. Journal of Iranian Architecture Studies, 5(9), 85-100. (in persian)

Zhang, C., & Jia, Q. (2016). A review of occupant behavior models in residential building: Sensing, modeling, and prediction. 2016 Chinese Control and Decision Conference (CCDC), 2032-2037. https://doi.org/10.1109/CCDC.2016.7531318.

Zhang, Y., Bai, X., & Mills, F. (2020). Characterizing energy-related occupant behavior in residential buildings: Evidence from a survey in Beijing, China. Energy and Buildings, 214, 109823. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109823.

Zomorodian, Z. S., Aminian, S., & Tahbaz, M. (2017). Thermal comfort assessment in classrooms in the hot and dry climate of Iran: Field survey in a primary school of Kashan. Journal of Fine Arts: Architecture & Urban Planning, 21(4), 17-28. https://doi.org/10.22059/jfaup.2017.61653 (in persian)

DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.103

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[Downloaded from jhre.ir on 2025-04-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/43.188.103]