Journal of Sustainable Architecture and Environment
Vol 1, No 4, Winter2024
https://sanad.iau.ir/journal/jsae
ISSN (Online): 2981-0892

Research Paper

Solutions to Reduce Energy Consumption and Design Compatible With the Climate in Hamedan City Based on the Architecture of Traditional Houses of the Qajar period

Alireza Noorian*: Instructor, Department of Art and Architecture, Islamic Azad University, Tehran East branch, Tehran, Iran
Sara Zohari: Associate Professor, Department of Art and Architecture, Islamic Azad University, Tehran East branch, Tehran, Iran

Received: 2024/02/22 **PP** 77-92 **Accepted:** 2024/04/21

Abstract

Today, the energy crisis and environmental pollution have become one of the major challenges in the world. One of the ways to reduce environmental pollution is to model native architecture and its solutions in accordance with the climate. The present article deals with the physical system of native housing in the climatic context and how the special climate of this region affects the external body and spatial organization planning of housing. The purpose of this research is to find out the climatic solutions used in these houses and to explain them in the form of climatic design components in Hamadan city. For this purpose, the question is raised, how effective is the shape of Hamedan's traditional houses on the use of renewable energy? The research method is analytical-descriptive along with case study and simulation. Examining 30 examples of native houses in Hamedan shows that there are similar patterns in most of them. First, these patterns are explained, and then, in order to check the compatibility of these elements and methods with the region's climate, three examples of traditional houses in Hamedan city, which include one example of each type, were selected and designed by Design Builder software in terms of The body and the response rate to the climate are analyzed. Examining the components of ventilation, light, energy loss and the need for cooling and heating shows that the architecture of traditional houses in Hamadan in terms of form, orientation, level of openings, proportions of the yard and many other things are largely in accordance with the climate of the region. has it. In the following, the climatic patterns in the houses are extracted and design instructions are presented.

Keywords: Hamedan Qajar period houses, energy consumption, climate solutions.

Citation: Noorian, A R., Zohari, S.(2024). **Solutions to Reduce Energy Consumption and Design Compatible With the Climate in Hamedan City Based on the Architecture of Traditional Houses of the Qajar period.** *Journal of Sustainable Architecture and Environment*, Vol 1, No 4, Shiraz, PP 77-92.

* . **Corresponding author:** Alireza Noorian, **Email:** : noorian.alireza@yahoo.com, **Tel:** +989188150326

Extended Abstract

Introduction

We humans are harming the lives of living beings and destroying their habitats through our irresponsible activities and actions. In the 1970s designers faced the global energy and in the 1980s, the environmental movement became an all-out effort. One of the basic solutions to achieve environmental sustainability is to rely more on renewable energy sources in building design, which is through achieving a passive building with low energy consumption and using energies supplied by microclimate.

The average energy consumption in the residential sector in Iran is more than 40% of the energy consumption of the whole country and more than the global average consumption in the residential sector. Therefore, conscious design of buildings, especially housing, significantly reduces energy consumption. The proof of this is the habitation of the ancients who were able to provide themselves with suitable living conditions in different climates without using advanced mechanical tools.

The present article deals with the physical system of native housing in the climatic context and how the special climate of this region affects the external body and spatial organization planning of housing. The purpose of this research is to find out the climatic solutions used in these houses and to explain them in the form of climatic design components in Hamadan city. For this purpose, the question is raised, how effective is the shape of Hamedan's traditional houses on the use of renewable energy?

Methodology

The present research, in terms of purpose, is applied and has an interpretive and analytical nature and in terms of method consists of three parts including the documentary-library studies, field examination of the samples which is discussed in an analytical-descriptive way and simulation with Design Builder software. At first the physical structure of the native houses of Hamedan city are examined and then thirty examples of residential houses in the cold and mountainous climate of Hamadan were purposefully selected and three dominant patterns were identified in the houses. In the following, three samples are selected which include one sample of each pattern.

Results and discussion

The simulation of thermal behavior in the selected samples was first based on the existing situation and then the components of the opening surface, building height, orientation, proportions of the courtyard, and the establishment of the ground floor below the level of the courtyard are changed. With the controlled change of the physical indicators compared to the existing situation and the simulation based on these changes, findings showed that there is a direct relationship with significant intensity between the indicators of the opening level, the height of the building, the area under the building and the establishment lower than the level of the yard, with the amount of energy consumption and there is a direct relationship with low intensity between the direction indicators and the ratio of length to width of the yard with the amount of energy consumption.

Conclusion

In this research, to investigate the effect of this native pattern on heating and cooling needs in all three houses, by changing the elements of the houses, the following results were obtained.

In the current situation, the height of the ground floor in Hamadan native houses, including the houses under investigation, is lower than the first floor. In this research, with the increase in height, the second floor was considered equal to the first floor. According to the results of the simulation, with the reduction of the height of the ground floor, the need for heating decreases, because the lower the height of the building, the lower the height of the building, the less the need for heating, and also with the reduction of the level of the openings, the amount of energy loss is reduced. decreases.

To investigate the effect of the height of first floor on heating and cooling needs in all three houses, with an increase in the height, the second floor was considered equal to the first floor. According to the results of the simulation, with the reduction of the height of the ground floor, the need for heating decreases, because the lower the height of the building, the lower the height of the building, the less the need for

heating, and also with the reduction of the level of the openings, the amount of energy loss is reduced. decreases.

To investigate the effect of the level of the ground floor compared to the ground level on the energy loss and heating load of the building, the height of the ground floor was considered to be 70 cm lower than the ground level. The simulation results show that as the ground floor goes down, the total load and the amount of energy loss and heating load decrease. The reason for this is the utilization of the heat capacity of the soil. In general, in Hamedan city, a building with a cube-rectangular shape is recommended. In order to make optimal use of the sun's radiant energy in winter and optimal ventilation in summer, in rectangular-shaped lands of the pattern of a head on the northern front and in square-shaped lands of the L-shaped pattern with establishment on the northern and western fronts. to be used. The best orientation is facing south with a rotation between 20 and maximum up to 45 degrees to the east. The extension of the yard should not be in the direction of unfavorable southwest or west wind, unless the yard has square proportions with limited dimensions. To reduce the building's heating load and energy loss, it is desirable that the ground floor is placed lower than the ground level. Also, reducing the height of the building, especially on the ground floor, reduces the need for heating, and also by reducing the area of the openings, the amount of energy loss is reduced.

References

1. Abbaspour, N., & Khiyami, M. (2009). General ecology. Urmia University Press. [In Persian]
2. Alipouryani, T., & Nouri, M. (2011). Formation of modernity and post-modernity. Journal of Political Studies, 3(11), 207-232.
3. Ermaghan, M., & Gorji Mahlabani, Y. (2010). The values of Iranian indigenous architecture in relation to sustainable architecture approach. Journal of Housing and Rural Environment, 28(126), 20-35. [In Persian]
4. Etemad Sheikholslami, S. F. (2011). Climatic assessment of Hamedan housing. Safah Quarterly, 21, 65-86. [In Persian]
5. Fazlic, S. (2008). Design strategies for environmentally sustainable residential skyscrapers. In CTBUH 8th World Congress, Dubai.
6. Gorji Mahlabani, Y., & Danshvar, K. (2010). The impact of climate on the formation of traditional architecture elements in Gilan. Journal of Architecture and Urban Planning Arman Shahr, 3(4), 135-145. [In Persian]
7. Guillaud, H., & others. (2014). Versus: Lessons from vernacular heritage to sustainable architecture. CRAterre-ENSAG.
8. irimio.ir. (1402/08/02).
9. irna.ir. (1402/09/05).
10. Mileto, C., & others. (2015). Vernacular architecture: Towards a sustainable future (1st ed.). CRC Press, Florida, United States.
11. Muhaisen, A. (2015). Effect of wall thermal properties on the energy consumption of buildings in the Gaza Strip. In 2nd International Sustainable Buildings Symposium, Ankara, Turkey, pp. 1013-1020.
12. Peters, T. (2010). The philosophy of ecological architecture. In CEPHAD: The borderland between philosophy and design research. Copenhagen Working Papers on Design, The Danish Design School Press. Retrieved from www.aarch.dk/research-search/
13. Philokyprou, M., Aimilios, M., & Stavroula, T. (2013). Assessment of the bioclimatic elements of vernacular architecture. In International conference Le Vies dei Mercanti XI, The Historic Centre of Nicosia, Cyprus.
14. Qiyabkolu, Z. (2016). Fundamentals of Building Physics 2 (Environmental Conditions Regulation). Amirkabir University of Technology Press. [In Persian]
15. Razavani Pour, P. A., & Hajizadeh, M. (2011). The necessity of a sustainable approach in Iran. Journal of Architecture and Urban Planning, 101, 8-9. [In Persian]
16. Reardon, Ch., & others. (2021). Your home technical manual: Australia's guide to environmentally sustainable homes. Australian Government, Department of Industry, Science, Energy and Resources, Australia.

17. Shu-Yang, F., Freedman, B., & Cote, R. (June 2004). Principles and practices of ecological design. Environmental Reviews, 12(2), 97–112.
18. sinamet.ir. (1402/09/05).
19. Tahabaz, M. (2017). Climate knowledge in architectural design (2nd ed.). Shahid Beheshti University Press. [In Persian]
20. Venhaus, H. (2012). Designing the sustainable site: Integrated design strategies for small-scale sites and residential landscapes. John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey.

فصلنامه معماری و محیط پایدار

دوره ۱، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۲
https://sanad.iau.ir/journal/jsae
شاپا الکترونیکی: ۰۸۹۲-۲۹۸۱

مقاله پژوهشی

راهکارهای کاهش مصرف انرژی و طراحی همساز با اقلیم در شهر همدان با الگوگیری از معماری خانه‌های سنتی دوره قاجار

علیرضا نوریان[۱]: مربی، دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شرق،تهران، ایران

سارا زهری: استادیار، دکتری معماری، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شرق، تهران، ایران

دریافت:۱۴۰۲/۱۲/۰۳ صص ۹۲-۷۷ **پذیرش:** ۱۴۰۲/۰۲/۰۲

چکیده

امروزه بحران انرژی و آلودگی محیط زیست به یکی از چالش‌های اساسی در جهان مبدل شده است. یکی از راهکارهای کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی الگوبرداری از معماری سنتی و راهکارهای آن در تطابق با اقلیم است. در مقالهٔ حاضر به آشنایی با نظام کالبدی مسکن بومی در بستر اقلیمی و نحوه تاثیرگزاری اقلیم خاص این منطقه بر کالبد بیرونی و طرح‌ریزی سازمان فضایی مسکن پرداخته می‌شود. هدف از این پژوهش دستیابی به راهکارهای اقلیمی به‌کار رفته در این خانه‌ها و تبیین آن‌ها در قالب مولفه‌های طراحی اقلیمی در شهر همدان است. بدین منظور این پرسش مطرح می‌شود که شاکلهٔ خانه‌های سنتی همدان تا چه حد بر بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر موثر است؟ روش تحقیق پژوهش به صورت تحلیلی- توصیفی همراه با بررسی نمونه‌های موردی و شبیه سازی است. بررسی سی نمونه از خانه‌های بومی همدان نشانگر آنست که الگوهای مشابهی در اکثر آن‌ها وجود دارد. ابتدا این الگوها تبیین شده و سپس در راستای بررسی میزان تطابق این عناصر و روش‌ها با اقلیم منطقه، سه نمونه از خانه‌های سنتی شهر همدان که شامل یک نمونه از هر گونه است انتخاب شده و توسط نرم‌افزار دیزاین بیلدر از نظر کالبدی و میزان پاسخگویی به اقلیم مورد تحلیل قرار می‌گیرند. بررسی مولفه‌های تهویه، نور، اتلاف انرژی و نیاز به سرمایش و گرمایش بیانگر آن است که معماری خانه‌های سنتی همدان از نظر فرم، جهت‌گیری، سطح بازشوها، تناسبات حیاط و بسیاری از موارد دیگر تاحد زیادی با اقلیم منطقه مطابقت دارد. در ادامه الگوهای اقلیمی موجود در کالبد خانه‌ها استخراج و دستورالعمل‌های طراحی ارائه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: خانه‌های دوره قاجار همدان، مصرف انرژی، راهکارهای اقلیمی

استناد: نوریان، علی‌رضا؛ زهری، سارا. (۱۴۰۲). **راهکارهای کاهش مصرف انرژی و طراحی همساز با اقلیم در شهر همدان با الگوگیری از معماری خانه‌های سنتی دوره قاجار**، فصلنامه معماری و محیط پایدار، سال ۱، شماره ۴، شیراز، صص ۷۷-۹۲.

[۱] **نویسنده مسئول:** علیرضا نوریان، **پست الکترونیکی:** noorian.alireza@yahoo.com، **تلفن:** ۰۹۱۸۸۱۵۰۳۲۶

مقدّمه

توسعهٔ پایدار اغلب به صورت "گونه‌ای از توسعه که نیازهای امروز را تامین می‌کند و در عین حال امکان تامین نیازهای نسل آینده را برای آن‌ها فراهم سازد." تعریف می‌شود (Venhaus 2012, 4 ، به نقل از Brundtland, 1987). این تعریف وابستگی متقابل محیط زیست، سلامتی انسان و اقتصاد را مشخص می‌سازد (Venhaus 2012, 4). ما انسان‌ها به واسطهٔ فعالیت‌ها و اعمال غیرمسئولانهٔ خود در حال صدمه‌رساندن به حیات موجودات زنده و تخریب سکونتگاه‌های آن‌ها هستیم، ولی در عین حال باید متذکر شد که ما صاحب دانشی هستیم که ما را در ارائهٔ طریق برای متوقف ساختن فعالیت‌های تخریبی یاری رساند (عباس پور و خیامی، ۱۳۸۸: ۲۵). یکی از راهکارهای اساسی دستیابی به پایداری محیطی اتکاء بیشتر بر منابع تجدیدپذیر انرژی در طراحی ساختمان است. این امر از طریق دستیابی به یک ساختمان غیر فعال با مصرف انرژی کم و با بهره‌گیری از انرژی‌هایی که به وفور توسط خرداقلیم عرضه می‌شود تحقق می‌یابد (Fazlic, 2008: 3 به نقل از Yeang).

متوسط مصرف انرژی در بخش مسکونی در ایران بیش از ۴۰ درصد مصرف انرژی کل کشور و بیش از مصرف متوسط جهانی در بخش مسکونی است (Alipouryani, 2011: 207). طراحی آگاهانهٔ ساختمان‌ها به ویژه مسکن، تاحدقابل توجهی از میزان مصرف انرژی می‌کاهد. شاهد این امر شیوهٔ سکونت پیشینیان است که قادر بوده‌اند بدون به‌کارگیری ابزار مکانیکی پیشرفته، در اقلیم‌های گوناگون شرایط مناسب زندگی را برای خود فراهم – نمایند(Muhaisen, 2015: 1019). بالا بودن پتانسیل بهره‌گیری از انرژی‌های نو در ایران و از سوی دیگر افزایش مشکلات اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی، همگی بیانگر نیاز مبرم ایران به پرداختن جدی به مقوله پایداری در طراحی مسکن هستند (رضوانی پور و حاجی زاده، ۱۳۸۹: ۹–۸). الگوگیری از معماری سنتی و به خصوص معماری خانه‌های سنتی، به عنوان نمونه‌ای مناسب از معماری همساز با اقلیم، می‌تواند در جهت کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی راهگشا باشد.

بنایی که به نحو مناسبی در سایت استقرار یابد، واجد فواید قابل توجهی از نظر زیست‌محیطی است (Your home, 2021: 69). جهت‌گیری مناسب نیز در کنار اندازه و شکل مناسب ساختمان‌ها، از عوامل مهم بهره‌گیری مناسب از گرمایش، سرمایش و نور طبیعی است (قیابکلو، ۱۳۹۵: ۱۰۴).

هدف اصلی این پژوهش آشنایی با نظام کالبدی مسکن سنتی در بستر اقلیمی است. پرسش اصلی پژوهش حاضر اینست که کدام الگوهای موجود در ساختار مسکن سنتی همدان بیش‌ترین تأثیر را بر کاهش بار کل ساختمان و جلوگیری از اتلاف انرژی دارند. به منظور دستیابی به پاسخ این پرسش، ابتدا الگوهای کالبدی برمبنای رابطهٔ بین پر و خالی، چگونگی استقرار و جهت گیری تقسیم‌بندی کلی می‌شوند و سپس به بررسی دقیق نمونه‌های موردی منطبق با هر گونه خواهیم پرداخت.

پیشینه و مبانی نظری تحقیق

در طول تاریخ طراحی همساز با اقلیم در طراحی ساختمان‌های سنتی به‌کار رفته‌است؛ به این صورت که در ساخت آنها از مصالح محلی استفاده می‌شد و در محلی واقع و طراحی می‌شدند که به گرمایش و سرمایش بهینه دست یابند. از دههٔ ۱۹۶۰ ایده‌های جدیدی در زمینهٔ طراحی معماری ظهور یافت، که قصد داشت اثرات نامطلوب زیست‌محیطی را کاهش دهد. جالب آنکه بسیاری از ایده‌های جدید، ظهور مجدد ایده‌های قدیمی با تکنولوژی پیشرفته‌تر بودند، مانند استفاده از انرژی باد، انرژی برق در مقیاس کوچک و مصالح و روش‌های سنتی (Shu-Yang, et al., 2004: 99). طراحان در دههٔ ۱۹۷۰ با بحران جهانی انرژی و همچنین نوآوری بی‌سابقه‌ای در فناوری مواجه شدند (Peters, 2010: 1). در دههٔ ۱۹۸۰ جنبش محیط‌زیستی به تلاش پیگیر همه‌جانبه تبدیل شد.در این زمان برای نخستین بار، کشش فراوانی به سوی معماری بومی ایجاد شد. در کنفرانس معماری غیر فعال و کم انرژی(PLEA) که در سال ۱۹۸۲ در برمودا برگزار شد، مطالعاتی در زمینهٔ عملکرد زیست‌محیطی معماری بومی ارائه شد. در سال ۱۹۸۶ حسن فتحی کتاب "معماری بومی و انرژی طبیعی" را ارائه نمود، که اصول طراحی اقلیمی بومی را در کشورهایی با اقلیم گرم و خشک بررسی می کند (Mileto, 2015: 3-5). در دههٔ ۱۹۹۰ این ایده با مقیاسی بزرگ‌تر با برنامه‌ای متمرکز گسترش یافت. با آغاز قرن ۲۱، طراحی اکولوژیک به‌عنوان تبیین‌گر نگرش جهانی به پایداری مطرح شد، که قصد دارد تشکیلات بشری را با استفادهٔ پایدار از منابع پیوند دهد و درعین‌حال از اینکه فشارهای واردشده بر سامانهٔ زیستی در محدودهٔ زیست‌پذیری قرار دارند اطمینان حاصل کند. اگر این امر محقق شود، تجمیع اقتصاد انسانی و سامانه‌های زیستی طبیعی دست‌یافتنی است (Shu-Yang, et al., 2004: 100). در سال ۲۰۱۴ پروژهٔ ورسس (Versus, 2014) که در زمینهٔ معماری بومی دوستدار محیط‌زیست مطالعه می‌کند، نمونه‌هایی از معماری بومی جدید را مطرح کرد. هدف این پروژه انتقال فرهنگ ساخت‌وساز به نسل جدید بود.

در ایران نیز مطالعاتی در زمینهٔ تاثیر اقلیم بر مسکن سنتی انجام شده‌است. از جمله طاهباز در کتاب «دانش اقلیمی طراحی معماری» به بررسی معماری همساز با اقلیم در ابنیه سنتی در اقلیم‌های مختلف ایران پرداخته‌است (طاهباز،۱۳۹۶: ۱۸). مهلبانی و دانشور با تشریح عناصر معماری سنتی گیلان، تاثیر اقلیم بر شکل‌گیری این عناصر را مورد بررسی قرار داده‌اند(مهلبانی و دانشور،۱۳۸۹: ۱۳۵). ارمغان و مهلبانی ارزش‌های معماری بومی را در ارتباط با اصول پایداری مورد بررسی قرار دادند(ارمغان و مهلبانی، ۱۳۸۸: ۲۰). بررسی مطالعات انجام شده در حوزه بهینه‌سازی

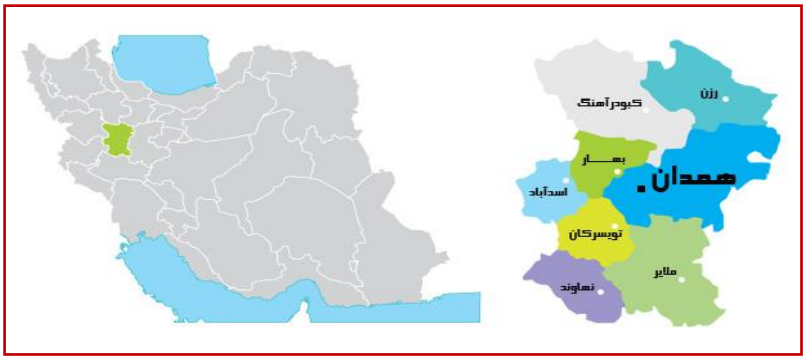
مصرف انرژی و مبادلات حرارتی بناهای مسکونی نشان می‌دهد که گونه‌شناسی، بررسی‌های اقلیمی و شبیه‌سازی رایانه‌ای بیشترین مبنای ساختاری پژوهش‌ها را به خود اختصاص می‌دهند. جوامع انسانی براساس تجربه و با بهره‌گیری از روش‌های بومی در طراحی بنا، از راهکارهایی در چگونگی جهت‌گیری، ترکیب پر و خالی، انتظام فضایی، و... استفاده می‌کنند (اعتماد شیخ الاسلامی، ۱۳۹۰: ۶۶) و به دنبال کشف ویژگی های همساز با اقلیم به منظور دستیابی به اصول طراحی اقلیمی مناسب هر منطقه هستند.

مواد و روش تحقیق

در این پژوهش به صورت تحلیلی-توصیفی به مطالعات اسنادی-کتابخانه ای و سپس بررسی میدانی نمونه‌ها پرداخته می‌شود. به‌منظور آشنایی با ساختار کالبدی خانه‌های بومی شهر همدان، الگوهای کالبدی تقسیم‌بندی کلی می‌شوند و سپس به بررسی دقیق نمونه‌های موردی منطبق با هر گونه خواهیم پرداخت. در این بخش، سی نمونه از خانه‌های مسکونی در اقلیم سرد و کوهستانی شهر همدان، به صورت هدفمند انتخاب شده‌و الگوهای کالبدی موجود در آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. با بررسی این نمونه‌ها سه الگوهای غالب در خانه‌ها معرفی می‌شوند. در ادامه سه نمونه که مشتمل بر یک نمونه از هر الگو است انتخاب می‌شوند. در انتخاب این سه نمونه تلاش شد تا نمونه‌ها در برگیرندهٔ خصوصیات غالب موجود در معماری مسکونی منطقهٔ مورد مطالعه باشند. جهت بررسی عملکرد حرارتی شبیه‌سازی رایانه‌ای به کمک نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر انجام شده‌است، تا با تحلیل داده‌ها به روش قیاسی نتایج مورد بازخوانی قرار گرفته و در انتها راهکارهای طراحی استخراج گردد. در این پژوهش ابتدا وضع موجود خانه‌ها از نظر انرژی مورد تحلیل قرار گرفته و سپس با ایجاد تغییر در مولفه‌های سطح بازشو، ارتفاع بنا، جهت‌گیری، تناسبات حیاط، استقرار همکف پایین‌تر از تراز حیاط، عملکرد اقلیمی الگوهای بومی موجود در خانه‌ها مورد تحلیل قرار می‌گیرد. با ثابت نگه داشتن تمامی مؤلفه‌ها و تغییر دادن مؤلفه موردنظر، تنها تأثیر آن مؤلفه بر آیتم‌های مورد مطالعه تحلیل می‌شود تا روایی تحقیق محقق گردد. مقایسه نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی در سه خانه و حصول نتایج مشابه و منطقی در همهٔ آن‌ها مؤید پایایی نتایج خواهد بود.

محدوده مورد مطالعه

شهر همدان در منطقهٔ غربی و کوهستانی ایران واقع گردیده و مرکز استان همدان و شهرستان همدان است. این شهر از لحاظ جمعیت چهاردهمین شهر پرجمعیت ایران است و در دامنهٔ کوهستان الوند در بلندای ۱۷۴۱/۵ متر بالاتر از سطح دریا قرار دارد. عرض جغرافیایی همدان ۳۴/۵۲ و طول جغرافیایی آن نیز ۴۸/۳۲درجه است(www.irna.ir).

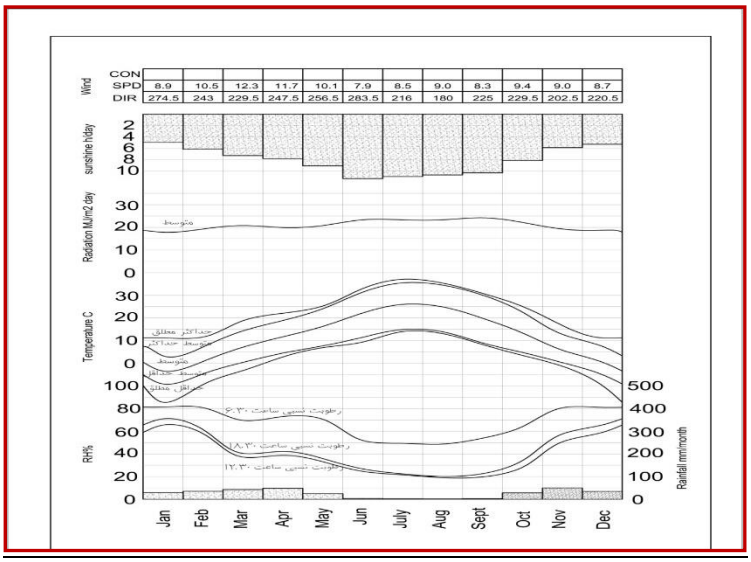


شکل ۱- موقعیت استان همدان در کشور ایران و تقسیمات سیاسی شهرستان‌های آن، (منبع:www.irna.ir)

براساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی فرودگاه همدان بین سال های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ میلادی، عوامل مؤثر بر شرایط اقلیمی همدان شامل تابش، دما، رطوبت نسبی، جریان باد و بارندگی مورد بررسی قرار می‌گیرد. اختلاف دمای بیشترین متوسط حداکثر دما با کمترین متوسط حداقل دما، برابر با ۴۴/۷ درجه سانتیگراد است. بیشترین متوسط حداکثر دما، ۳۵/۵ درجه در ماه جولای (تیر و اوایل مرداد) و کمترین متوسط حداقل دما، ۹/۲- درجه در ماه ژانویه (اواخر دی و بهمن) ثبت شده است. مجموع بارش سالانه به میزان ۳۰۰ میلیمتر است. بررسی متوسط جهت وزش باد غالب در شهر همدان نیز نشان می‌دهد که باد غالب همدان از جبهه جنوب غربی می‌وزد (اداره کل هواشناسی استان همدان).

به‌طور کلی سرمای شدید در زمستان و هوای معتدل در تابستان، تابش شدید آفتاب در تابستان، اختلاف بسیار زیاد درجهٔ حرارت دما بین شب و روز و بین زمستان و تابستان، رطوبت متوسط، وزش بادهای سرد جنوب غربی در زمستان و همچنین بارش برف و یخبندان‌های طولانی‌مدت در

فصل زمستان از ویژگی‌های اقلیمی شهر همدان است. در همدان در حدود هفت الی هشت ماه از سال نیاز به استفاده از وسایل گرمایی احساس می‌شود، در حالی‌که با استفاده از مصالح متناسب ساختمانی با اقلیم سرد و استفاده از کوران و تهویهٔ طبیعی، در هیچ زمانی از سال نیازمند استفاده از وسایل سرماساز نخواهیم بود. در زمان بیشتری از سال سرمای شدید و نیاز به گرمایش مسالهٔ جدی این شهر است.

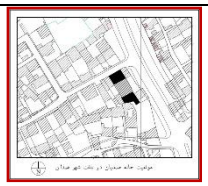
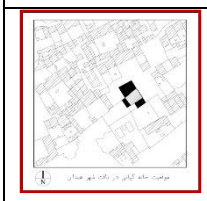


شکل ۲- نمودار مخلوط اطلاعات اقلیمی شهر همدان (ترسیم: نگارندگان، بر اساس اطلاعات اداره کل هواشناسی استان همدان

بحث و ارائه یافته‌های تحقیق

در ادامه، شاکله و نظام ساختار کالبدی خانه‌های سنتی شهر همدان در دورهٔ قاجار برمبنای بستر اقلیمی آن، مورد مطالعه قرار گرفت. در این مقاله جهت اختصار سه خانهٔ کیانی، صمدیان و شرفی به نمایندگی از هر یک از الگوها معرفی گردیده است. در انتخاب نمونه‌ها سعی گردید طیف متنوعی از الگوهای قابل مشاهده در شهر همدان تحت پوشش قرارگیرند. در جداول شمارهٔ (۱تا۵) الگوهای غالب و مؤلفه‌های اقلیمی خانه‌ها ارائه گردیده است.

جدول۱- الگوهای غالب خانه های بافت سنتی شهر همدان

الگوی بنا	یک کله	دو کله	سه کله
موقعیت در بافت شهری			
نام بنا	شرفی	صمدیان	کیانی

منبع: مطالعات میدانی نویسندگان، ۱۴۰۲.

جدول۲- جمع‌بندی تحلیل اقلیمی خانه شرفی همدان

	عوامل بررسی شده	وضع موجود	وضع مطلوب	نتیجه گیری
	میزان تراکم	بافت شهری متراکم و فشرده	متراکم	
	الگوی بنا	الگوی یک کله در جبهه شمالی زمین	اول حیاط مرکزی(دوکله موازی، یو شکل و ال شکل) دوم یک کله	

مؤلفه‌های اقلیمی	نسبت عرض به طول حیاط	۱ به ۱/۱					عرض کمتری در برابر باد مزاحم باشد	
	کشیدگی بنا	شمال غربی به جنوب شرقی					شمال غربی به جنوب شرقی	
	جهت‌گیری جبهه و میزان ساعات آفتابی	جبهه شمالی	جبهه جنوبی	جبهه شرقی	جبهه غربی		بیشترین دریافت روبه جنوب با چرخش از محدوده ۲۰ تا ۴۵ درجه به سمت شرق سپس در درجه دوم روبه شرق	
		رو به جنوب شرقی	–	–	–			
	جهت‌گیری جبهه ها	رو به جنوب شرقی	–	–	–		رو به شرق تا جنوب شرق با زاویه ۴۵ درجه	
	ایوان و عمق آن	ندارد	–	–	–		در صورت وجود با عمق کم	
	سطوح بازشوها	۳۳ درصد	–	–	–		کم	
	سایبان پنجره	–	–	–	–		سایبان ۱۲ درجه به سمت جنوب شرق	
	رنگ جداره‌ها	دیوار	رنگ آجر					
		پنجره	رنگ چوب					
		درب‌ها	رنگ چوب					
	مواد و مصالح	پی	سنگ‌چینی					
		دیوار خارجی	آجری بندکشی شده با ملات شفته آهک یا پودر خاک سنگ وخاک زرد					
		دیوار داخلی	آجر با اندود داخلی ملات‌های گچ و خاک, گچ					
		کف	حیاط	اتاق	تراس		ظرفیت	
			سنگ فرش	آجر فرش	–			
		سقف	تختهٔ چوبی				حرارتی بالا	
		بازشوها	پنجرهٔ چوبی- آجرچینی با شکل نیم-دایره					
	ضخامت دیوارها	داخلی	خارجی				متناسب با ظرفیت حرارتی مصالح	
		۶۰-۷۰ سانتی‌متر	۶۰-۷۰ سانتی متر					
	نوع بام	مسطح با اندود کاهگل					شیروانی دوپوش	
	ارتباط با زمین	سنگ چینی در پی انجام می‌شود- فاقد زیرزمین					سنگ‌چینی در پی	
	تهویه در تابستان	بدلیل وجود حیاط خلوت در بخش انتهایی خوب است					بازشوها بصورت قرینه و درب اتاقها روبروی هم	
	بخش زمستان‌نشین	همکف با سقف کوتاه(سیزان)					سیزان (هم کف یا زیرزمین با سقف کوتاه)	
	بخش	طبقهٔ اول					طبقه اول	

	تابستان نشین			
	تراز کف حیاط نسبت به کوچه	هم تراز	پایین تر از کوچه	
	تراز کف همکف نسبت به حیاط	هم تراز	پایین تر از حیاط	
	نوع سازه	دیوار باربر (آجر ، چوب ، خشت خام ملات گل وآهک) و پوشش سقف زیرزمین از نوع گنبدی آجری و سقف طبقه اول تیر پوش چوبی آجر ، چوب ، خشت خام ملات گل وآهک	استحکام و پایداری در برابر زلزله	
	نوع جرز	آجری		
انطباق کامل انطباق نسبی – عدم انطباق				

منبع: مطالعات میدانی نویسندگان، ۱۴۰۲.

جدول۳- جمع بندی تحلیل اقلیمی خانه صمدیان همدان

	عوامل بررسی شده	وضع موجود				وضع مطلوب	نتیجه گیری
مؤلفه-های اقلیمی	میزان تراکم	بافت شهری متراکم و فشرده				متراکم	
	الگوی بنا	الگوی دو کله در دو جبهه شمالی و جنوبی زمین				اول حیاط مرکزی(دوکله موازی، یو شکل و ال شکل) دوم یک کله	
	نسبت عرض به طول حیاط	۱ به ۱/۱				عرض کمتری در برابر باد مزاحم باشد	
	کشیدگی بنا	شمال غربی به جنوب شرقی				شمال غربی به جنوب شرقی	
	جهت‌گیری جبهه و میزان ساعات آفتابی	جبهه شمالی	جبهه جنوبی	جبهه شرقی	جبهه غربی	بیشترین دریافت روبه جنوب با چرخش از محدوده ۲۰ تا ۴۵ درجه به سمت شرق سپس در درجه دوم روبه شرق	
		رو به جنوب شرقی	روبه شمال غربی	–	–		
	جهت‌گیری جبهه ها	رو به جنوب شرقی	رو به شمال غربی	–	–	رو به شرق تا جنوب شرق با زاویه ۴۵ درجه	
	ایوان و عمق آن	ایوان با عمق کمی زیاد	ندارد	–	–	در صورت وجود با عمق کم	
	نسبت سطوح بازشوها	۴۳درصد	۴۸ درصد	–	–	کم	
	سایبان پنجره	–	–	–	–	سایبان ۱۲ درجه به سمت جنوب شرق	–
	رنگ جداره‌ها	دیوار	رنگ آجر				
		پنجره	رنگ آبی				
		دربها	رنگ چوب				
		پی	سنگ چینی				
		دیوار خارجی	آجری بند کشی شده با ملات شفته آهک یا پودر خاک سنگ وخاک زرد				

	مواد و مصالح	دیوار داخلی	آجر با اندود داخلی ملاتهای گچ و خاک ,گچ			ظرفیت حرارتی بالا
		کف	حیاط	اتاق	تراس	
			سنگ فرش	آجر فرش	–	
		سقف	تخته چوبی			
		بازشوها	پنجره چوبی– آجر چینی با شکل نیم دایره در بال			
	ضخامت دیوارها	داخلی	خارجی			متناسب با ظرفیت حرارتی مصالح
		۸۰ الی ۱۵۰ سانتی متر	۸۰ سانتی متر			
	نوع بام	مسطح با اندود کاهگل				شیروانی با لایه دوپوش
	ارتباط با زمین	سنگ‌چینی در پی انجام می‌شود– سیزان فرورفته در زمین				سنگ چینی در پی
	تهویه در تابستان	خوب است				بازشوها بصورت قرینه و درب اتاق‌ها روبروی هم
	بخش زمستان نشین	طبقه اول جبهه شمالی و در سرمای شدید در طبقه همکف با سقف کوتاه(سیزان)				سیزان (هم کف یا زیرزمین با سقف کوتاه)
	بخش تابستان نشین	در طبقه اول جبهه جنوبی				طبقه اول
	تراز کف حیاط نسبت به کوچه	تقریبا هم سطح کوچه				پایین تر از کوچه
	ترازهمکف نسبت به حیاط	۸۰ سانتیمتر پایین تر از حیاط				پایین تر از حیاط
	نوع سازه	دیوار باربر (آجر ، چوب ، خشت خام ملات گل وآهک) و پوشش سقف زیرزمین از نوع گنبدی آجری و سقف طبقه اول تیر پوش چوبی آجر ، چوب ، خشت خام ملات گل وآهک				استحکام و پایداری در برابر زلزله
	نوع جرز	آجری				

انطباق کامل – انطباق نسبی – عدم انطباق

جدول٤- جمع بندی تحلیل اقلیمی خانه شریفی همدان

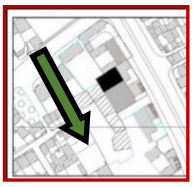
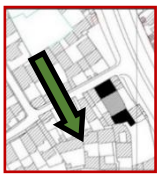
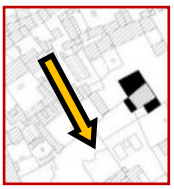
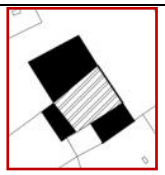
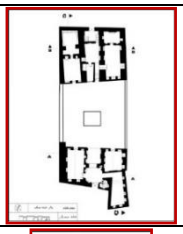
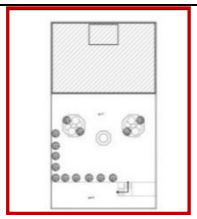
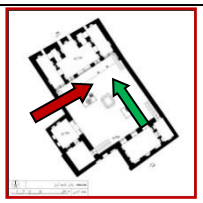
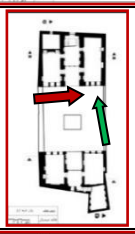
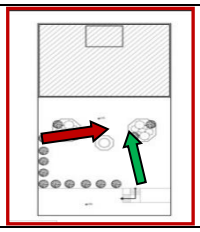
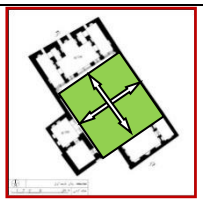
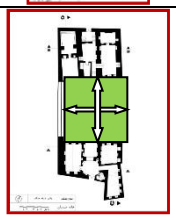
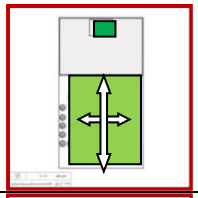
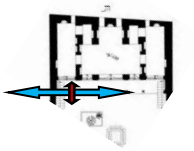
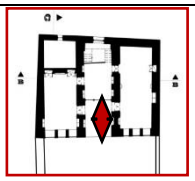
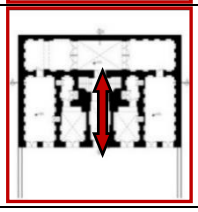
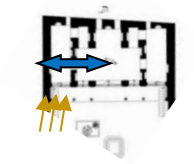
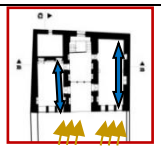
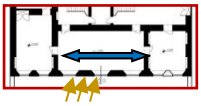
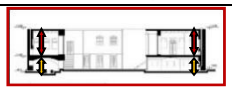
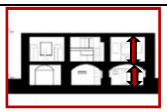
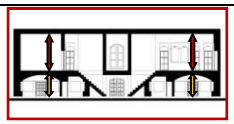
	عوامل بررسی شده	وضع موجود				وضع مطلوب	نتیجه گیری
	میزان تراکم	بافت شهری متراکم و فشرده				متراکم	
	الگوی بنا	الگوی یک کله در جبهه شمالی زمین				اول حیاط مرکزی(دوکله موازی، یو شکل و ال شکل) دوم یک کله	
	نسبت عرض به طول حیاط	۱ به ۱/۵				نسبت بیشتر تا عرض کمتری در برابر باد مزاحم باشد	
	کشیدگی بنا	شمال غربی به جنوب شرقی				شمال غربی به جنوب شرقی	
	جهت گیری جبهه و میزان ساعات آفتابی	جبهه شمالی	جبهه جنوبی	جبهه شرقی	جبهه غربی	بیشترین دریافت روبه جنوب با چرخش از محدوده ۲۰ تا ۴۵ درجه به سمت شرق سپس در درجه دوم روبه شرق	
		رو به جنوب شرقی	–	–	–		

مؤلفه‌های اقلیمی	جهت‌گیری جبهه‌ها	رو به جنوب شرقی	–	–	–	رو به شرق تا جنوب شرق با زاویه ۴۵ درجه	
	ایوان و عمق آن	نسبت ۱به۵	–	–	–	در صورت وجود با عمق کم	
	سطوح بازشوها	۳۲ درصد	–	–	–	کم	
	سایبان پنجره	ایوان کم‌عمق	–	–	–	سایبان ۱۲ درجه به سمت جنوب شرق	
	رنگ جداره‌ها	دیوار	رنگ آجر				
		پنجره	رنگ چوب				
		درب‌ها	رنگ چوب				
	مواد و مصالح	پی	سنگ‌چینی			ظرفیت حرارتی بالا	
		دیوار خارجی	آجری بند کشی شده با ملات شفته آهک یا پودر خاک سنگ وخاک زرد				
		دیوار داخلی	آجر با اندود داخلی ملاتهای گچ و خاک ,گچ				
		کف	حیاط	اتاق	تراس		
			سنگ فرش	آجر فرش	–		
		سقف	تخته چوبی				
		بازشوها	پنجرهٔ چوبی- آجرچینی نیم‌دایره				
	ضخامت دیوارها	داخلی	۸۰ سانتی متر			متناسب با ظرفیت حرارتی مصالح	
		خارجی	۸۰ سانتی متر				
	نوع بام	مسطح با اندود کاهگل				شیروانی با لایه دوپوش	
	ارتباط با زمین	سنگ چینی در پی انجام می شود- فاقد زیر زمین				سنگ چینی در پی	
	تهویه در تابستان	تعبیه ایوان و استقرار درها روبروی هم به تهویه کمک می کند				بازشوها بصورت روبروی هم باشند.	
	بخش زمستان نشین	همکف با سقف کوتاه(سیزان)				سیزان (هم کف یا زیرزمین با سقف کوتاه)	
	بخش تابستان نشین	طبقهٔ اول				طبقهٔ اول	
	تراز کف حیاط نسبت به کوچه	تقریبا هم‌تراز				پایین‌تر از کوچه	
	تراز کف همکف نسبت به حیاط	۲۰ سانتیمتر پایین‌تر از حیاط				پایین‌تر از حیاط	
	نوع سازه	دیوار باربر (آجر ، چوب ، خشت خام ملات گل وآهک) و سقف زیرزمین گنبدی آجری و سقف طبقه اول تیر پوش چوبی آجر ، چوب، خشت خام ملات گل وآهک				استحکام و پایداری در برابر زلزله	
	نوع جرز	آجری					

انطباق کامل انطباق نسبی – عدم انطباق

منبع: مطالعات میدانی نویسندگان، ۱۴۰۲.

جدول۵- جمع‌بندی مولفه‌های مدنظر جهت تحلیل اقلیمی نمونه‌ها

توضیحات	خانه کیانی	خانه صمدیان	خانه شرفی
موقعیت استقرار و جهت‌گیری عمده به سمت جنوب شرقی			
ترکیب فضاهای پر و خالی			
جهتگیری(کاهش تاثیر باد سرد جنوب‌غربی و بهره‌مندی از باد مطلوب جنوب شرق			
کشیدگی حیاط در راستای جنوب شرقی			
عنصر ایوان در نمای خانه، ارتباط غیر مستقیم فضاهای زیستی و حیاط از طریق راهرو			
موقعیت تالار در طبقه اول و حداکثر نورگیری			
طبقه همکف (سیزان) باارتفاع کم‌تر و فرورفتن در زمین(کاهش تاثیر باد زمستان)			

منبع: میراث فرهنگی، (تحلیل: نویسندگان)

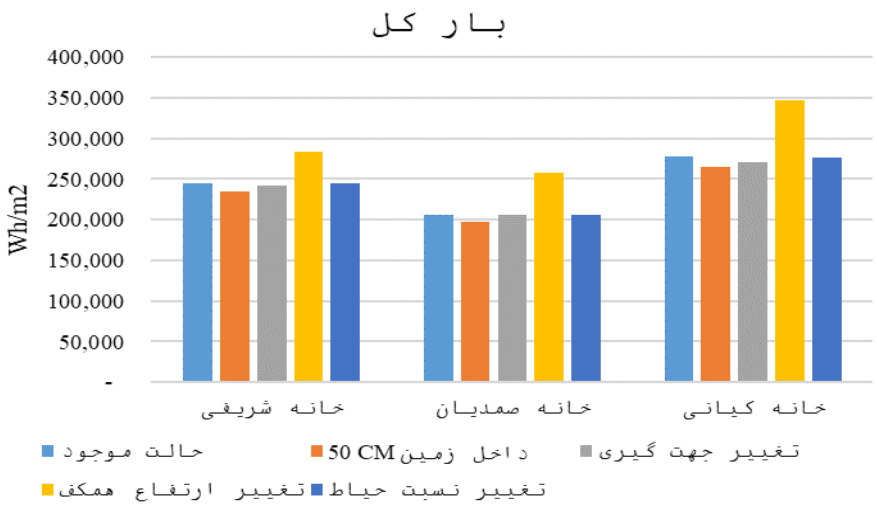
شبیه سازی رفتار حرارتی نمونه های منتخب

شبیه‌سازی رفتار حرارتی در نمونه‌های منتخب ابتدا بر مبنای وضع موجود و سپس با تغییر مولفه‌های سطح بازشو، ارتفاع بنا، جهت‌گیری، تناسبات حیاط، استقرار همکف پایین‌تر از تراز حیاط صورت پذیرفت که خلاصهٔ نتایج در جدول شماره(۶) ارائه شده‌است.

جدول ٦- شبیه‌سازی تبادل حرارتی نمونه‌های منتخب در حالت موجود و با فرض تغییر مولفه‌ها

WH/M2	انتقال حرارت شیشه	انتقال حرارت دیوار	انتقال حرارت سقف	تعویض هوا	تابش دریافتی	بار گرمایش	بار سرمایش
خانه کیانی							
حالت موجود	28,140	197,097	51,302	1.55	48,150	244,771	32,614
داخل زمین 50 CM	-0.7%	6.2%	-0.5%	-0.6%	0.0%	4.0%	7.5%
تغییر جهت گیری	0.7%	0.9%	-0.3%	-2.9%	11.0%	0.9%	14.7%
کاهش سطح بازشو و ارتفاع همکف	-42.4%	-28.6%	0.2%	-41.0%	-37.9%	-26.2%	-15.6%
تغییر نسبت طول به عرض حیاط	-0.2%	0.0%	-0.1%	0.2%	-9.0%	0.9%	-2.4%
خانه صمدیان							
حالت موجود	27,910	132,033	51,968	1.48	49,750	178,077	28,041
داخل زمین 50 CM	-0.4%	6.4%	-0.3%	0.0%	0.0%	3.8%	6.6%
تغییر جهت گیری	0.0%	-0.1%	0.0%	0.1%	-0.1%	0.0%	-0.4%
کاهش سطح بازشو و ارتفاع همکف	-13.7%	-31.8%	0.3%	3.4%	-9.4%	-26.9%	-14.4%
تغییر نسبت طول به عرض حیاط	-0.4%	-0.1%	0.0%	-0.1%	-3.4%	0.2%	-0.8%
خانه شریفی							
حالت موجود	40,849	166,742	58,094	3.28	80,771	215,743	29,178
داخل زمین 50 CM	-0.4%	6.4%	-0.4%	-0.4%	0.0%	4.0%	6.6%
تغییر جهت گیری	0.1%	0.6%	-0.1%	-3.8%	3.0%	0.1%	10.2%
کاهش سطح بازشو و ارتفاع همکف	-29.5%	-22.7%	-0.9%	-13.1%	-43.1%	-16.0%	-16.6%
تغییر نسبت طول به عرض حیاط	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	-2.0%	0.4%	-0.6%

منبع: داده‌های حاصل از شبیه‌سازی، نویسندگان، ۱۴۰۲.



نمودار ۱- مقایسهٔ بارکل ساختمان در خانه‌های کیانی، صمدیان و شریفی در پنج حالت، منبع: نویسندگان،۱۴۰۲.

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

برمبنای شبیه‌سازی انجام شده بیشترین میزان مصرف انرژی مربوط به خانهٔ کیانی با الگوی سه‌کله و کمترین میزان مصرف انرژی به خانهٔ صمدیان با الگوی دوکله است. با تغییر کنترل شدهٔ شاخص‌های کالبدی نسبت به وضع موجود و شبیه‌سازی برمبنای این تغییرات مشخص شد که بین شاخص‌های سطح بازشو، ارتفاع بنا، مساحت زیر بنا و استقرار پایین‌تر از تراز حیاط، با میزان مصرف انرژی رابطه مستقیم با شدت قابل توجه وجود دارد و شاخص های جهت گیری و نسبت طول به عرض حیاط با میزان مصرف انرژی نیز رابطه مستقیم با شدت کم وجود دارد.

ارتفاع طبقهٔ همکف در خانه‌های بومی همدان از جمله خانه‌های مورد بررسی کم‌تر از طبقهٔ اول است. در این پژوهش برای بررسی تاثیر این الگوی بومی بر نیاز گرمایش و سرمایش در هر سه خانه، ارتفاع طبقهٔ ممکف برابر طبقهٔ اول درنظرگرفته شد. بر اساس نتایج شبیه‌سازی با کاهش ارتفاع طبقهٔ همکف نیاز گرمایش کاهش می‌یابد، زیرا به دلیل استقرار هوای گرم در ارتفاع بالا هرچه ارتفاع بنا کم‌تر باشد نیاز گرمایش کم‌تری وجود دارد و همچنین با کاهش سطح بازشوها میزان اتلاف انرژی کاهش می‌یابد.

در بررسی وضع موجود سه خانه مشاهده شد که در این خانه‌ها تراز همکف نسبت به حیاط پایین‌تر یا هم‌سطح است. برای بررسی تاثیر ارتفاع کف همکف نسبت به تراز زمین، ارتفاع طبقهٔ همکف به میزان ۷۰ سانتی‌متر پایین‌تر از سطح زمین در نظر گرفته‌شد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با پایین‌تر آمدن کف همکف بار کل و میزان اتلاف انرژی و بار گرمایش کاهش می‌یابد. دلیل این امر بهره‌گیری از ظرفیت حرارتی خاک است.

در سه خانهٔ مورد بررسی تناسبات حیاط تقریبا یک به یک بود، که در شبیه‌سازی تناسبات حیاط به یک به سه افزایش پیدا کرد. با تغییر تناسبات حیاط بارکل ساختمان اندکی کاهش یافت، اما میزان تغییر چندان قابل توجه نبود.

جهت‌گیری ساختمان‌های بومی در شهر همدان اغلب رو به جنوب شرقی است که در شبیه‌سازی با هدف بررسی تاثیر آن بر بار کل ساختمان جهت‌گیری رو به جنوب تغییر یافت. با تغییر جهت ساختمان بارکل ساختمان‌ها اندکی کاهش یافت.

به‌طورکلی در شهر همدان ساختمان با فرم مکعب‌مستطیل توصیه می‌شود. به‌منظور استفادهٔ بهینه از انرژی تابشی خورشید در زمستان و تهویهٔ مطلوب در تابستان در زمین‌های مستطیلی‌شکل از الگوی یک کله در جبههٔ شمالی و در زمین‌های مربعی‌شکل از الگوی ال‌شکل با استقرار در جبههٔ شمالی و غربی استفاده شود. بهترین جهت‌گیری روبه جنوب با چرخش بین ۲۰ تا حداکثر تا ۴۵ درجه به سمت شرق است. کشیدگی حیاط در جهت وزش باد نامطلوب جنوب غرب یا غرب نباشد، مگر اینکه حیاط تناسبات مربع با ابعاد محدود داشته باشد. برای کاهش بار گرمایش ساختمان و اتلاف انرژی مطلوبست که کف همکف پایین‌تر از تراز زمین قرار گیرد. همچنین کاهش ارتفاع ساختمان به ویژه در طبقه همکف موجب کاهش نیاز گرمایش شده و همچنین با کاهش سطح بازشوها میزان اتلاف انرژی کاهش می‌یابد.

منابع

۱. اعتماد شیخ الاسلامی، سید فاطمه. (۱۳۹۰). بررسی اقلیمی مسکن همدان. دو فصلنامه صفه، ۲۱، ۶۵-۸۶.

۲. ارمغان، مریم؛ گرجی مهلبانی، یوسف. (۱۳۸۹). ارزش‌های معماری بومی ایرانی در رابطه با رویکرد معماری پایدار. فصلنامه مسکن و محیط روستا، ۲۸(۱۲۶)، ۲۰-۳۵.

۳. رضوانی پور، پانته‌آ؛ حاجی زاده، مجید. (۱۳۹۰). ضرورت رویکرد پایدار در ایران. نشریه معماری و شهرسازی، ۱۰۱، ۸-۹.

٤. طاهباز، منصوره. (۱۳۹۶). دانش اقلیمی طراحی معماری. انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، چاپ دوم.

۵. عباس پور، ناصر؛ خیامی، مسعود. (۱۳۸۸). اکولوژی عمومی. انتشارات دانشگاه ارومیه.

٦. قیابکلو، زهرا. (۱۳۹۵). مبانی فیزیک ساختمان ۲ (تنظیم شرایط محیطی). انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.

۷. گرجی مهلبانی، یوسف؛ دانشور، کیمیا. (۱۳۸۹). تاثیر اقلیم بر شکل‌گیری عناصر معماری سنتی گیلان. نشریه معماری و شهرسازی آرمانشهر، ۳(۴)، ۱۳۵-۱۴۵.

8. Alipouryani, T., & Nouri, M. (2011). Formation of modernity and post-modernity. Journal of Political Studies, 3(11), 207-232.

9. Fazlic, S. (2008). Design strategies for environmentally sustainable residential skyscrapers. In CTBUH 8th World Congress, Dubai.

10. Guillaud, H., & others. (2014). Versus: Lessons from vernacular heritage to sustainable architecture. CRAterre-ENSAG.
11. irimio.ir. (1402/08/02).
12. irna.ir. (1402/09/05).
13. Mileto, C., & others. (2015). Vernacular architecture: Towards a sustainable future (1st ed.). CRC Press, Florida, United States.
14. Muhaisen, A. (2015). Effect of wall thermal properties on the energy consumption of buildings in the Gaza Strip. In 2nd International Sustainable Buildings Symposium, Ankara, Turkey, pp. 1013-1020.
15. Peters, T. (2010). The philosophy of ecological architecture. In CEPHAD: The borderland between philosophy and design research. Copenhagen Working Papers on Design, The Danish Design School Press. Retrieved from www.aarch.dk/research-search/
16. Philokyprou, M., Aimilios, M., & Stavroula, T. (2013). Assessment of the bioclimatic elements of vernacular architecture. In International conference Le Vies dei Mercanti XI, The Historic Centre of Nicosia, Cyprus.
17. Reardon, Ch., & others. (2021). Your home technical manual: Australia's guide to environmentally sustainable homes. Australian Government, Department of Industry, Science, Energy and Resources, Australia.
18. Shu-Yang, F., Freedman, B., & Cote, R. (June 2004). Principles and practices of ecological design. Environmental Reviews, 12(2), 97–112.
19. sinamet.ir. (1402/09/05).
20. Venhaus, H. (2012). Designing the sustainable site: Integrated design strategies for small-scale sites and residential landscapes. John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New