Housing and Rural Environment
Print ISSN: 2008 - 4994 Online ISSN: 2588 - 6215
Homepage: https://jhre.ir

Articulation of the climatic performance of chaharsofeh houses in Zavareh reframing the section as a vertical passive cooling core in the architecture of Iran's hot-arid regions

Hoda Kanani Moghadam[1], **Seyed Majid Mofidi Shemirani**[2]✉, and **Farah Habib**[3]

1. PhD Candidate in Architecture, Department of Architecture, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: hoda.kananimoghadam@iau.ir
2. Corresponding Author, Assistant Professor, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Science and Technology (IUST), Tehran, Iran. Email: s_m_mofidi@iust.ac.ir
3. Professor, Department of Architecture, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: f.habib@iau.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 15 May 2025
Received in revised form 31 July 2025
Accepted 5 October 2025
Available online 30 December 2025

Keywords:
climatic Architecture,
Chahārṣoffeh House,
Miankhanhe,
passive Cooling,
climatic cection,
hot-Arid climate.

ABSTRACT

Objective: Global warming driven by climate change and carbon dioxide emissions has increased energy consumption and cooling costs. Under these conditions, natural cooling is considered an effective approach to achieve climatic comfort. The Chaharsofeh houses of Zavareh represent a notable example of urban-rural dwellings adapted to the hot-arid climate of Iran, where cooling mechanisms are integrated into the architecture itself; however, they have not been thoroughly studied. This article aims to fill this gap by examining the architectural framework of Chaharsofeh from a climatic perspective, focusing on the building section as a key axis of natural cooling and ventilation.

Method: The research adopts an analytical-exploratory approach within the methodological framework of the case study research method, focusing on sixteen Chaharsofeh houses with basements in Zavareh, documented for the first time with special attention to their climatic components. Data were collected across six dimensions and analyzed through a triangulated method combining theoretical pattern matching, field-based evaluation, and cross-case pattern comparison.

Results:The study identifies the climatic form of Chaharsofeh, consisting of eight effective climatic components structured vertically in four sectional layers, forming an integrated system that enables the "breathing" of the building. Due to the simultaneous application of solar chimneys, earth cooling, and, in some cases, the addition of in-wall windcatchers, the framework functions as a synergistic system.

Conclusions: Ultimately, the Miankhaneh-basement cooling system of Zavareh's Chaharsofeh houses is established as an independent, distinctive, and universal natural cooling model for hot-arid climates, alongside the reference model of the windcatcher. The findings further reveal the crucial role of the building section in the climatic performance of Iran's hot-arid architecture, underscoring the necessity of integrating such strategies—outlined in this study—into the early stages of design for similar climates at both national and global scales.

Cite this article: Kanani Moghadam, H., Mofidi Shemirani, S.M., & Habib, F. (2025). Articulation of the climatic performance of chaharsofeh houses in Zavareh reframing the section as a vertical passive cooling core in the architecture of Iran's Hot Arid regions. *Housing and Rural Environment*, *44*(192), 103-118. https://doi.org/10.22034/44.192.103

This article is derived from the doctoral dissertation research of Hoda Kanani-Moghadam in the Department of Architecture, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

© Author(s) retain the copyright.
Publisher: Natural Disasters Research Institute (NDRI).
DOI: https://doi.org/10.22034/44.192.103

[Downloaded from jhre.ir on 2026-10-10]
[DOI: https://doi.org/10.22034/44.192.103]

Introduction

In the Persian language and culture, the word "Khonak" carries both perceptual and sensory connotations. In classical Persian literature, Khonak has often been used in the sense of "pleasant" or "blessed." For example: "Khonak that day when I lay down my life at your feet / casting away the reason and clamor of the world" (Sa'di, *Ghazaliyat*), "Did you not see how it all perished in the wind? / Khonak is he who departed with wisdom and justice" (ibid.), or "You rest Khonak at noon in the sanctuary / while the stranger outside burns in the heat" (Sa'di, *Bustan*). Similarly, Hafez writes: "I said, blessed be the breeze rising with the morning wind / he replied, Khonak the zephyr that comes from the beloved's quarter" (*Divan-e Hafez*). Thus, in Persian, Khonak goes beyond the physical sensation of coolness: it conveys a sense of promise, serenity, and delight. Iranian architecture has also emerged within this traditional vision. In contrast, the technical term "cooling" (*Sarmayesh*), used for mechanical systems, lacks such cultural and sensory resonance. Khonak refers to a quality distinct from mechanical cooling; it is experienced with the arrival of clouds, the sprinkling of water on an adobe-paved courtyard raising the smell of wet soil, a passing breeze, the shade of a tree, or the cool freshness of a Khakshir-Nastaran sherbet drink. In other words, it is natural and carries qualities beyond the mere reduction of temperature. Cooling, on the other hand, is limited to a change in degrees. Therefore, architects must reclaim their role by implementing Khonak-oriented design as a spatial and cultural quality, not merely a mechanical service, thereby surpassing the domain of mechanical engineering. Accordingly, in this paper, due to the centrality of traditional climate-responsive architecture and natural ventilation, the emphasis is on *Khonak-sazi* (natural cooling) rather than on the conventional "passive cooling" term. The Earth is warming rapidly, while resources remain finite and populations continue to grow. Climate change has lengthened hot seasons, intensifying energy use, cooling costs, power shortages, and the strain on infrastructure. The building sector accounts for nearly 40%of global energy use and greenhouse gas emissions; in Iran, about 70%of this demand arises from residential cooling and heating (Mizan, 2023). The International Energy Agency's Net Zero by 2050Roadmap identifies housing as a key field for decarbonization (IEA, 2011). Demand for cooling equipment is projected to reach 650million units by 2030and exceed two billion by 2050, particularly in developing countries. Accordingly, improving building envelopes, bioclimatic design, and efficient materials are emphasized as essential strategies (IEA, 2021, pp. 141–142). In hot-arid climates, natural cooling techniques can significantly reduce energy demand (Net Zero 2050, 2021).

Within this context, climate-responsive design is a critical imperative in contemporary architecture. This approach relies on natural resources—light, wind, thermal mass, vegetation, and water—to provide thermal comfort with minimal dependence on mechanical systems (Altan et al., 2016). Iranian vernacular architecture in hot-arid regions demonstrates notable precedents, employing elements such as windcatchers (*badgir*), courtyards, qanats, and iwans (Esmaeili, 2013). Roaf (2007) demonstrated that windcatchers function as robust physical systems rather than historic artifacts, while Ergun and Becklin (2024) documented sixteen traditional strategies reused in contemporary projects. Mahdavi-Nejad et al. (2013) highlighted the role of spatial organization and transitional spaces, such as *shavadan*, in adapting to climatic conditions.

Recent studies emphasize that passive cooling techniques must be integrated into design from the conceptual stage (Arif, 2012). While affirming their effectiveness, scholars stress

[Downloaded from jhre.ir on 2026-10-10]

[DOI: https://doi.org/10.22034/44.192.103]

the need for upgrading vernacular strategies for modern lifestyles. Perez (2018) found that some natural cooling methods in Mexico achieved results comparable to active systems. Moscoso and Quesada (2023) concluded that even vernacular houses in Ecuador require design improvements for comfort. Bahadori (1994) confirmed the efficiency of windcatchers but noted limitations such as dust infiltration and calm weather. Foruzanmehr and Vellinga (2011) argued that vernacular sustainability depends on technical, cultural, and socio-economic factors. Iran's diverse climatic architecture holds significant potential for global models. Among its typologies, the Chaharsofeh houses of Zavareh, Isfahan Province, stand out as resilient dwellings that have maintained habitability in hot-arid climates for centuries. Yet, comprehensive research on Chaharsofeh remains scarce; most studies focus on isolated elements rather than their integrated climatic system.

This paper seeks to address this gap by redefining the concept of the "climatic section" and analyzing its role in structuring natural cooling and ventilation. The main research questions are:

1. What natural cooling strategies are employed in Chaharsofeh houses?
2. What are the components of their climatic framework?
3. How does this model resemble or differ from the windcatcher?
4. What design lessons can be extracted for contemporary climate-responsive architecture?
5. Why can the Mian-khaneh–basement model serve as a reference for hot-arid climates?

Method

This research is analytical-exploratory in nature and, due to its case-oriented character, was designed within the framework of Yin's case study methodology (Yin, 2018). By analyzing multiple sources of evidence across 16Chaharsofeh houses, the study aimed to extract and validate their climatic performance pattern. Yin's framework emphasizes the study of phenomena in real-life contexts rather than artificial simulations, making it particularly suitable for "how" and "why" questions in disciplines such as architecture and urban studies. Data were collected from six sources—field observations, documents and maps, informal interviews, physical artifacts, quantitative temperature and humidity measurements, and visual records. Inspired by case study triangulation, a three-pronged analytical structure was developed, including theoretical pattern matching with prior studies on mechanisms such as solar chimneys and earth cooling, field-based evaluation through direct measurements and observations, and cross-case pattern comparison with the *badgir* (windcatcher) as a universal Iranian reference model in hot-arid climates. This triangulated approach provided the foundation for identifying and validating the climatic functioning of the Chaharsofeh houses.

Results

In this study, the basement, moist pits, and brick air ducts of the Chaharsofeh were surveyed and documented. Findings show that these elements function synergistically as an integrated natural-cooling system. Thus, the Chaharsofeh—alongside the windcatcher—can be considered a broadly applicable archetype of passive cooling. Its signature attributes are:

1. Hybridity (synergy): concurrent use of ground cooling (earth-to-air exchange), a solar chimney, cross-ventilation, and windcatchers;
2. A multi-functional intermediate space (the central hall, *miyankhaneh*) with a relatively stable temperature, acting as a thermal buffer and center of social interaction;
3. Space-system character of components: climatic function is fused with spatial and bio-social performance;
4. Graded temperature-humidity regimes along airflow paths that enhance thermal comfort.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-10-10]

[DOI: https://doi.org/10.22034/44.192.103]

Conclusions

The Chaharsofeh embodies a living climatic framework where architecture breathes through the synergy of soil, water, air, and light. Its time-sensitive rhythm aligns form, space, and climate, inspiring architects to design beyond mechanical cooling by reviving natural strategies. In this respect, seven climatic design strategies are proposed for the contemporary use of natural cooling:

1. Climate-conscious conceptual design from the earliest stages;
2. Section-based design;
3. Synergistic integration of multiple cooling strategies;
4. Recognition and use of climatic components in design;
5. Spatial coordination of elements and airflow paths;
6. Integration of climatic function with living space; and
7. Aesthetic incorporation of climatic elements into form while retaining vernacular expression.

Funding

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

CRediT authorship contribution statement

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

Data availability statement

Not applicable

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants in the present study.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-10-10]

[DOI: https://doi.org/10.22034/44.192.103]

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

تبیین شاکله اقلیمی خانه‌های چهارصفه زواره؛ بازخوانی مقطع اقلیمی به‌مثابه محور کلیدی خنک‌سازی طبیعی در معماری نواحی گرم و خشک ایران

هدی کنعانی‌مقدم[۱]، سید مجید مفیدی‌شمیرانی[۲]✉، فرح حبیب[۳]

۱. دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، واحد علوم‌وتحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: hoda.kananimoghadam@iau.ir
۲. نویسنده مسئول، استادیار، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم‌وصنعت ایران، تهران، ایران. رایانامه: s_m_mofidi@iust.ac.ir
۳. استاد، گروه معماری، واحد علوم‌وتحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: f.habib@iau.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۳
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۰۹

کلیدواژه‌ها:
خانه چهارصفه،
شاکله اقلیمی،
میان‌خانه،
خنک‌کنندگی طبیعی،
اقلیم گرم و خشک.

چکیده

هدف: گرمایش زمین ناشی از تغییرات اقلیمی و انتشار گازدی‌اکسیدکربن، مصرف انرژی و هزینه‌های سرمایش فضا را افزایش داده است. در این شرایط، خنک‌سازی طبیعی رویکردی مؤثر برای آسایش اقلیمی به‌شمار می‌رود. اما فراهم‌آرودن امکان و شرایط خنک‌سازی طبیعی نیازمند گنجاندن راهکارهای مؤثر در معماری بنا از همان مراحل اولیه طراحی است؛ راهکارهایی که یا می‌بایست از طریق شناخت تجارب گذشته و بهبود آن‌ها و یا شبیه‌سازی‌های پرهزینه و زمان‌بر بدست آید. در حالیکه، معماری بومی در مناطق گرم و خشک ایران، منبعی از راهکارهای آزموده‌شده خنک‌سازی طبیعی است. از میان آن‌ها خانه‌های چهارصفه‌ی زواره نمونه‌ای شاخص از مسکن شهری ـ روستایی سازگار با اقلیم گرم و خشک هستند که در آن‌ها سازوکار خنک‌سازی با معماری در هم آمیخته است؛ اما مورد مطالعه‌ی دقیق نبوده‌اند. در مقاله‌ی حاضر پژوهشگران با هدف پر کردن این خلأ، به شناخت شاکله‌ی معماری چهارصفه‌ها از منظر اقلیمی با تمرکز بر مقطع بنا، به‌مثابه‌ی محور کلیدی خنک‌سازی و تهویه‌ی طبیعی، می‌پردازند.
روش پژوهش: پژوهش از نوع تحلیل ـ اکتشاف و از نظر روش‌شناختی در چارچوب مطالعه‌ی موردمحور است. تمرکز بر ۱۶ خانه‌ی چهارصفه‌ی دارای زیرزمین در زواره است که برداشت آن‌ها با توجه ویژه به اجزای اقلیمی برای اولین بار صورت گرفته است.
یافته‌ها: داده‌ها در ۶ محور جمع‌آوری شده و با روش سه‌وجهی تطبیق نظری، ارزیابی میدانی، و همسان‌سنجی الگو تحلیل گردیده و درنهایت شاکله‌ی اقلیمی چهارصفه، متشکل از هشت مؤلفه‌ی اقلیمی مؤثر، که در چهار سطح از مقطع بنا در ساختاری عمودی نظام یافته‌اند و یکپارچه به تنفس بنا کمک می‌کنند، تبیین شده است.
نتیجه‌گیری: در نهایت این نتیجه بدست آمد که شاکله‌ی اقلیمی چهارصفه، به‌دلیل کاربست هم‌زمان هواخوانِ خورشیدی، زمین‌سرمایی، و در برخی نمونه‌ها افزوده شدن بادگیر دیواری، یک سامانه‌ی هم‌افزا محسوب می‌شود. همچنین سامانه‌ی خنک‌کننده‌ی میان‌خانه ـ زیرزمین در مسکن چهارصفه‌ی زواره به‌عنوان یک الگوی مستقل، متمایز، و جهان‌شمول برای اقلیم‌های گرم و خشک در کنار الگوی مرجع بادگیر تثبیت گردید و مشخص شد مقطع بنا در شاکله و کارایی اقلیمی آن اهمیت دارد و ضروری است از آغاز فرایند طراحی از طریق راهکارهای پیشنهادشده در این مطالعه، مد نظر معماران در اقلیم‌های مشابه در سطح ملی و جهانی قرار گیرد.

استناد: کنعانی‌مقدم، هدی؛ مفیدی‌شمیرانی، سید مجید؛ حبیب، فرح. (۱۴۰۴). تبیین شاکله اقلیمی خانه‌های چهارصفه زواره؛ بازخوانی مقطع اقلیمی به‌مثابه محور کلیدی خنک‌سازی طبیعی در معماری نواحی گرم و خشک ایران. *مسکن و محیط روستا*، ۴۴ (۱۹۲)، ۱۰۳-۱۱۸.
https://doi.org/10.22034/44.192.103

این مقاله برگرفته از پژوهش رساله دکتری هدی کنعانی‌مقدم در گروه معماری، واحد علوم‌وتحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران است.

© نویسندگان.
ناشر: پژوهشکده سوانح طبیعی.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-10-10]
[DOI: https://doi.org/10.22034/44.192.103]

مقدمه

«خُنَک» یا «خُنُک» در زبان و فرهنگ پارسی واژه‌ای است که هم بار معنایی و ادراکی و هم بار حسی دارد. در ادبیات پارسی واژه‌ی خُنُک به جای خوش و یا خوش‌عاقبت بارها به کار رفته است. «خُنُک آن روز که در پای تو جان اندازم / عقل در دمدمه‌ی خلق جهان اندازم» (سعدی، غزلیات، ق۶ه.ق)، «به آخر ندیدی که بر باد رفت / خُنُک آنکه با دانش و داد رفت» (همان)، «تو خفته خُنُک در حرم نیمروز / غریب از برون گو به گرما بسوز» (سعدی، بوستان). خنک در فرهنگ پارسی علاوه‌بر بار حسی گرمی ـ سردی، احساسی آمیخته با بشارت را منتقل می کند. «گفتم خوشا هوایی کز باد صبح خیزد / گفتا خُنُک نسیمی کز کوی دلبر آید» (حافظ شیرازی، ق۸ ه.ق). معماری ایرانی نیز در بستر چنین تفکری شکل گرفته است؛ درحالی‌که چنین بار معنایی از واژه‌ی «سرمایش» که برای تأسیسات مکانیکی به کار می‌رود، برنمی‌آید. خنکا کیفیتی متفاوت از سرمایش است. خنکا گاه با آمدن ابر، گاه با آب‌پاشی باغچه یا حیاط، گاه با وزیدن نسیم، و گاه در سایه‌ی درخت ادراک می‌شود بدین معنی که علاوه‌بر طبیعی بودن، کیفیاتی دیگر غیر از تغییر درجه حرارت را به‌همراه خود دارد؛ درصورتی‌که سرمایش تنها در پی تغییر دما است. بنابراین معماران باید نقش خود را بازیابند و از طریق تدابیر خنک‌سازی به‌منزله‌ی یک کیفیت فضایی، نه صرفاً آسایشی، از وسایل سرمایشی مهندسین مکانیک پیشی بگیرند. ازاین‌رو در این نوشتار، به‌دلیل محوریت معماری اقلیم‌پاسخ و تهویه‌ی طبیعی، به‌جای سرمایش تکیه بر خنک‌سازی فضا است.

علاوه‌بر اینکه تدابیر اقلیمی برگرفته از معماری بومی باید از مراحل اولیه‌ی طراحی در فرم، ساختار، و جزئیات مورد نظر باشند، گرچه ضروری است به بازطراحی و بهبود آنها توجه شود. ایران با تنوع غنی معماری اقلیمی، ظرفیت بالایی برای عرضه‌ی الگوهای سرمایش طبیعی در سطح جهانی دارد. یکی از نمونه‌های شاخص این میراث اقلیمی، خانه‌های چهارصفه‌ی زواره در استان اصفهان است که طی قرون متمادی سکونت‌پذیری خود را در اقلیم گرم و خشک حفظ کرده‌اند. بااین‌حال، با وجود پژوهش‌های متعدد در زمینه‌ی معماری بومی، مطالعات جامع درباره‌ی چهارصفه‌ها بسیار اندک است. اغلب پژوهش‌ها به عناصر منفردی چون بادگیر، زیرزمین، یا حیاط اختصاص دارند، اما سازمان‌یافتگی و نقش ترکیبی آنها در عملکرد اقلیمیِ بنا، به‌منزله‌ی یک الگوی یکپارچه، کمتر بررسی شده است. در این مقاله با هدف پرکردن این شکاف، مفهوم «مقطع اقلیمی» بازتعریف و نقش آن در سازمان‌دهی تهویه و خنک‌سازی طبیعی در معماری اقلیم گرم و خشک ایران تحلیل می‌شود. پرسش‌های اصلی عبارتند از: ۱. چه راهبردهای خنک‌کننده‌ی طبیعی در چهارصفه‌ها به کار رفته است؟ ۲. شاکله‌ی اقلیمی چهارصفه‌ی زواره از چه اجزا و نظامی تشکیل می‌شود؟ ۳. چه نکات فنی و طراحی برای معماری اقلیم‌پاسخ معاصر می‌توان از این الگو استخراج کرد؟

پیشینه پژوهش

گرمایش جهانی ناشی از تغییرات اقلیمی، فصل‌های گرم را طولانی‌تر کرده و به‌دنبال آن مصرف انرژی، هزینه‌های سرمایش، قطعی برق، و فشار بر زیرساخت‌ها افزایش یافته است. در «نقشه‌ی راه کربن صفر ۲۰۵۰»، پیش‌بینی شده است ، تقاضا برای تجهیزات سرمایشی تا سال ۲۰۳۰ به ۶۵۰ میلیون دستگاه و تا سال ۲۰۵۰ به بیش از دومیلیارد دستگاه خواهد رسید. ازاین‌رو، در این گزارش، بهبود لفاف حرارتی، طراحی بیوکلایماتیک، و استفاده از مصالح کارا ازجمله راهبردهای مؤثر برای این منظور بیان شده است (IEA, 2021).

برهمین‌مبنا، معماری اقلیم‌پاسخ در آینده نزدیک اهمیتی اساسی خواهد یافت. دراین رویکرد طراحی، معمار با بهره‌گیری از منابع طبیعی، آسایش حرارتی را با کمترین وابستگی به سیستم‌های مکانیکی فراهم می‌کند (Altanet al.,2016). در معماری سنتی ایران در اقلیم گرم و خشک، عناصری همچون بادگیر، حیاط، قنات، و ایوان به کار آمده که ظرفیت بازتعریف و الگوبرداری در طراحی امروز را دارند (Esmaeili & Litkouhi, 2013). سوزان روف (۲۰۰۷) با مطالعه‌ی میدانی بادگیرهای یزد، معتقد است که بادگیرها نه‌تنها یک راه حل سنتی، بلکه سازوکاری مبتنی بر اصول فیزیکی مانند گرادیان دما و اثر دودکشی‌اند که همچنان می‌توانند در خنک‌سازی طبیعی مؤثر باشند. ارگون و بکلین (۲۰۲۴) با ده‌ها راهبرد سنتی خنک سازی را شناسایی کرده اند و با

[Downloaded from jhre.ir on 2026-10-10]
[DOI: https://doi.org/10.22034/44.192.103]

مثال زدن چند پروژه‌ی نوآورانه، نشان داده‌اند که عناصری مانند نمای دوپوسته و بادگیرها در قالب‌های مدرن جدید حضور یافته‌اند. مهدوی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۳) نیز با مطالعه‌ی خانه های قاجاری دزفول، نقش اقلیم را در سازمان‌دهی فضاها و اهمیت احیای فضاهای واسط مانند شوادان اثبات کردند.

در معماری امروز، لازم است تکنیک‌های سرمایش اقلیم‌پاسخْ بخشی ذاتی از فرایند طراحی و از مرحله‌ی مفهومی مورد توجه باشند. به‌همین‌منظور، محققان امروزی، ضمن اذعان به کارایی الگوهای بومی، بر ضرورت بازاندیشی، ارتقا، و انطباق آنها با شرایط روز و سبک زندگی معاصر تأکید کرده‌اند. پِرز (۲۰۱۸) در مکزیک، با مقایسه‌ی سه روش فعال و ده روش طبیعی سرمایش مسکونی، نشان داد که برخی روش‌های طبیعی کاهش دما، خنکی‌ای مشابه روش‌های فعال ایجاد می‌کنند؛ اما محدودیت‌های اجرایی یا اقتصادی دارند. مطالعه‌ی موسکوسو و کسادا (۲۰۲۳) بر خانه‌ای سنتی در اکوادور نشان دادند که حتی در معماری بومی، بهبود طراحی برای ارتقای آسایش حرارتی اجتناب‌ناپذیر است. بهادری (۱۹۹۴) نیز در بررسی بادگیرهای سنتی در خاورمیانه، ضمن اثبات کارایی نسبی آنها، به مشکلاتی چون ورود گردوغبار و افت عملکرد در شرایط بی‌باد اشاره کرده و راهکارهایی برای رفع این محدودیت‌ها نشان داده‌است. همچنین فروزان‌مهر و ولینگا (۲۰۱۱) اثبات کرده‌اند که پایداری معماری بومی تنها با ترکیب عوامل محیطی، فرهنگی، و اقتصادی امکان‌پذیر است.

پیشینه‌ی مطالعات معماری ایرانی با رویکرد اقلیمی

پژوهش‌های معماری ایرانی در حوزه‌ی اقلیمی را می‌توان در چند دسته بررسی کرد: دسته‌ی نخست، مطالعات توصیفی: در این دسته پژوهشگران به شناسایی تدابیر اقلیمی پرداخته‌اند. پیرنیا (۲۰۱۶) نقش گنبدها را در مکش گرما و سایه‌اندازی توضیح داده است. غفاری (۲۰۰۰) در توصیف چهارصفه‌های زواره به معرفی عملکرد مکش هوای گرم از سقف میان‌خانه و ارتباط زیرزمین و میان‌خانه پرداخته است. توسلی (۲۰۱۲) نیز خانه‌های زواره را یک الگوی معماری گرم و خشک با شیوه‌ی تهویه‌ی طبیعی معرفی کرده است. بهادری (۱۹۷۸) چهار سامانه‌ی خنک‌کننده‌ی طبیعی شامل بادگیر، سقف‌های منحنی، آب‌انبارهای گنبددار، و یخچال‌های سنتی را شرح داده و با تحلیل کارکرد بادگیر در پیوند با حوض و قنات، بیان کرده در جاهایی که باد مطلوب نمی‌وزد یا باد همراه گردوغبار است، بادگیر کارایی ندارد و جای آن از سامانه‌های مکشی استفاده می‌شود. ایزدپناهی و همکاران (۲۰۲۱) به مطالعه‌ی مجموعه‌ای از راهکارها ازجمله نقش کلیدی ارتفاع و هندسه‌ی فضای حیاط در سایه‌اندازی، پایداری دما در فضاهای زیرزمینی، و نقش جریان عمودی هوا در بادگیر و هواخوان خورشیدی[۱] پرداخته‌اند. سفلایی و همکاران (۲۰۱۵) نقش حیاط مرکزی را یک راهبرد خنک‌کننده در اقلیم نیمه‌خشک دانسته و مدل‌سازی کرده‌اند. افشاری بصیر و همکاران (۲۰۱۷) نقش آب، گیاه، و نور را در ایجاد ریزاقلیم مطلوب در خانه‌های بومی یزد نشان داده‌اند. سانیج (۲۰۱۷) نیز تهویه‌ی طبیعی خانه‌های چهارصفه‌ی یزد را بررسی کرده است.

دسته‌ی دوم، پژوهش‌های گونه‌شناسی: ازجمله، حبیب و همکاران (۲۰۱۲) گونه‌های خانه‌های زیرزمینی را مطالعه کرده‌اند. محمودی و مفیدی شمیرانی (۲۰۰۹) گونه‌شناسی بادگیرها را همراه با تحلیل CFD انجام داده‌اند. دسته سوم، پژوهش‌های مبتنی بر شبیه‌سازی: بهادری (۱۹۸۵) طرحی نو برای بهبود بادگیرها عرضه کرده و کارایی آن را در شبیه‌سازی‌ها نشان داده است. دسته‌ی چهارم، پژوهش‌های آسایش اقلیمی که در آنها نتایج کمی و کیفی مورد نظر بوده است: به‌طور نمونه، روحی و مهدی‌نژاد (۲۰۲۵) دمای خنثی را 28° و دامنه آسایش را 25°–30° تعیین کرده‌اند و فروزان‌مهر (۲۰۱۸) در یک پژوهش کیفی ـ کمی شامل اندازه گیری مصاحبه و محاسبات درباره‌ی خانه‌های یزد، دمای خنثی را شناسایی کرده و بازه‌ی آسایش را پیشنهاد داده‌اند.

دسته‌ی پنجم، مطالعات تجربی با محوریت اندازه‌گیری میدانی از عناصر بومی: مسعودی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۸) رفتار حرارتی شوادان را در خانه‌ی سوزنگر دزفول با روش اندازه‌گیری میدانی دمای هوا، دمای کروی، رطوبت نسبی، سرعت جریان هوا، و دمای تابشی طی سه مرحله‌ی ۲۴ساعته با فاصله‌ی زمانی سه ساعت در چند روز از هریک از فصول گرم و سرد و معتدل بررسی

۱. هواخوان خورشیدی اصطلاح جایگزین مورد پیشنهاد نویسندگان برای دودکش خورشیدی است

[Downloaded from jhre.ir on 2026-10-10]

[DOI: https://doi.org/10.22034/44.192.103]

کرده و سپس به شبیه‌سازی CFD پرداخته و بعد نمودار سایکرومتریک بخش‌های محتلف شوادان را استخراج کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که با افزایش عمق، ثبت دما در فصول مختلف بیشتر می‌شود و ظرفیت حرارتی جداره‌ها را عامل ثبات دمای دانسته‌اند. در یک پژوهش داوطلب و حیدری (۲۰۲۰) به بررسی تأثیر نقش یکی از عناصر بومی معماری سیستان به نام خارخانه بر رطوبت نسبی اتاق از طریق مطالعه‌ی میدانی و مقایسه‌ی دو اتاق دارای خارخانه و بدون خارخانه پرداخته و این نتیجه را به‌دست آورده‌اند که خارخانه نوعی تأسیسات سرمایشی بوده که از طریق تبخیر رطوبت موجود و آب‌پاشی بر روی خارها، موجب تعدیل حرارت و رطوبت می‌شده است. همچنین حیدری و داوطلب (۲۰۲۴) در پژوهشی دیگر نقش خارخانه بر شرایط آسایش حرارتی فضاهای داخلی را از طریق مطالعه‌ی میدانی و تحلیل نرم افزاری شاخص‌های آسایش حرارتی بررسی کرده‌اند. هدایت و همکاران (۲۰۲۰) به مطالعه‌ی میدانی عوامل مداخله‌گر در عملکرد بادگیرهای یزد در نمونه‌ی موردی خانه‌ی مرتاض پرداخته‌اند. معماریان، مرادی و همکاران (۲۰۱۷) به مطالعه‌ی میدانی گونه‌های اتاق و رفتار تهویه‌ای آنها در مسکن بومی روستای قلعه‌نو در سیستان پرداخته‌اند تا نمونه‌ی بهینه را شناسایی کنند. در پژوهشی میری و همکاران (۲۰۲۲) بادگیر سنتی سیستان به نام کُلک را یک عنصر طراحی اقلیمی قلمداد و بررسی میدانی کرده‌اند تا تأثیر جهت‌گیری آن بر رسوب گردوغبار داخل ساختمان‌ها اندازه‌گیری کنند. همچنین حدادی و همکاران (۲۰۲۵) به مطالعهٔ نقش اندام سورک و دریچه در تهویه‌ی مسکن بومی روستای قلعه‌نو پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که این اندام‌ها زنجیره‌ای از تهویهٔ طبیعی را ایجاد می‌کنند.

مرور این پیشینه نشان می‌دهد که تمرکز اغلب پژوهش‌ها ی اقلیمی معماری ایرانی بر شهرهای یزد، کاشان، و اصفهان، زابل و عناصری مانند بادگیر و حیاط بوده است. درحالی‌که در شهر زواره، گونه‌ی چهارصفه نقش میان‌خانه و مقطع عمودی به‌مثابهٔ یک ساختار اقلیمی یکپارچه کمتر مورد توجه بوده است. این شکاف، ضرورت معرفی سامانه‌ی خنک‌کننده‌ی چهارصفه در زواره و طرح مفهوم «شاکله‌ی اقلیمی» و «مقطع اقلیمی» را برجسته می‌کند.

پیشینه‌ی مطالعات چهارصفه

چهارصفه الگویی است که هم در شهر و هم در روستاهای فلات مرکزی ایران رواج داشته و به‌دلیل سازگاری اقلیمی، قرن‌ها نیاز سکونتی را پاسخ داده است. پژوهش‌ها در این زمینه چند دسته‌اند: دسته‌ی اول، مطالعات مفهومی: کمالی‌پور و معماریان (۲۰۱۲) عدد چهار را نماد نظم کیهانی و تعادل معرفی کرده‌اند. قائم (۲۰۰۹) مفهوم چلیپا را در سفالینه‌های باستان بررسی کرده است. جودکی عزیزی و همکاران (۲۰۱۵) با ریشه‌یابی الگوی چهارصفه در کهن‌الگوهای ایرانی، جایگاه تاریخی آن را نشان داده‌اند. محمدی (۲۰۱۱) نیز سه کهن‌الگو را تحلیل کرده و «چهارگانه‌ی وحدت‌بخش» را در خانه‌های چهارصفه معرفی کرده است.

دسته‌ی دوم، مطالعات تحول و گونه‌شناسی: رهروی پوده و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر شکل چهارصفه بر معماری درون‌گرای اصفهان را بررسی کرده‌اند. غلامی و کاویان (۲۰۱۷) سه عاملِ فضای معتدل مرکزی، سادگی ساخت، و مساحت کم را از دلایل رواج این الگو دانسته و گونه‌شناسی چهارصفه را بیان کرده‌اند. دسته‌ی سوم، مطالعات معماری و فضایی: معماریان (۲۰۰۸) چهارصفه را الگویی درون‌گرا دانسته که سازمان فضایی‌اش پیرامون صفه‌ها شکل می‌گیرد. پیرنیا (۲۰۱۶) آن را با رویکرد سبک‌شناسی، فضای میانی گنبددار توصیف کرده است. طباطبایی زواره و همکاران (۲۰۱۸) نسبت‌ها و هندسه‌ی چهارصفه‌های زواره را با حوض‌خانه مقایسه کرده‌اند. مداحی و همکاران (۲۰۱۷) نمونه‌های بشرویه را از منظر فضایی و فرهنگی تحلیل کرده‌اند. دسته‌ی چهارم، پژوهش‌هایی در مورد ویژگی‌های اقلیمی چهارصفه: معماریان (۲۰۰۸) به نوسان دمای اندک این فضاها پرداخته است. طاهباز (۱۹۹۵) اصول معماری کویری زواره را معرفی کرده و غفاری (۲۰۰۰) به نقش میان‌خانه و ارتباط آن با زیرزمین اشاره داشته است. این بررسی‌ها نشان می‌دهد که پژوهش‌های اقلیمی چهارصفه اغلب در حد اشارات کلی باقی مانده‌اند.در پژوهش حاضر با تمرکز بر مقطع چهارصفه‌های دارای زیرزمین، عناصر کمتر مستندشده‌ای مانند چاهک‌ها و کانال‌های هوای خشتی ثبت شده و مورد مطالعه قرار گرفته است.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-10-10]

[DOI: https://doi.org/10.22034/44.192.103]

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از نوع تحلیلی ـ اکتشافی است و با توجه به ماهیت موردمحور آن، طراحی پژوهش با بهره‌گیری از چارچوب مطالعه‌ی موردی[۲] بر اساس رویکرد یین (۲۰۱۸) انجام و تلاش شده با تحلیل چندمنبعی داده‌ها در ۱۶ نمونه از خانه‌های چهارصفه، الگوی عملکرد اقلیمی این گونه‌ی معماری استخراج و اعتبارسنجی شود. در چارچوب مطالعه‌ی موردی یین که راهبردی پژوهشی است، امکان بررسی پدیده‌ها در بستر واقعی آنها فراهم می‌شود؛ برخلاف روش‌هایی همچون آزمایشگاه یا شبیه‌سازی‌های مصنوعی، این روش به‌ویژه برای پاسخ به پرسش‌های «چگونه» و «چرا» مناسب است و بر مطالعه‌ی پدیده در همان زمینه مکانی، زمانی، و فرهنگی وقوع آن تأکید دارد. به‌همین‌دلیل، یین این رویکرد را به‌خصوص برای معماری، شهرسازی، مطالعات اجتماعی، و پروژه‌های مهندسی که بستر تأثیر مستقیمی بر نتایج دارد، بسیار مؤثر می‌داند.

در گام نخست، داده‌ها از هر شش منبع شواهد شامل مشاهدات میدانی، اسناد و نقشه‌ها، مصاحبه‌های غیررسمی، آثار فیزیکی، داده‌های کمی (دما و رطوبت)، و منابع تصویری پیشنهادی گردآوری شده است. پس از این گردآوری، با الهام از منطق مثلث‌سازی[۳] در رویکرد مطالعه‌ی موردی، یک ساختار سه‌ضلع تحلیلی برای ارزیابی و اعتبارسنجی الگوی اقلیمی چهارصفه‌ها طراحی شد. این سه ضلع عبارتند از: ۱. تطبیق نظری[۴] با نتایج مطالعات پیشین درباره‌ی پاسخ‌گویی سازوکارهای مشابه همچون هواخوان خورشیدی و زمین‌سرمایی، ۲. ارزیابی میدانی[۵] از طریق برداشت دما، رطوبت، مشاهدات مستقیم، و شواهد تجربی، ۳. همسان‌سنجی الگویی[۶] از طریق قیاس با الگوی مرجع بادگیر به‌منزله‌ی نمونه‌ی ایرانی جهان‌شمول در معماری اقلیم گرم و خشک. نمای کلی چارچوب مقاله در (شکل ۱) نمایش داده شده است.

شکل ۱. چارچوب پژوهش

یافته‌های پژوهش

بستر پژوهش

شهر زواره و اقلیم آن: شهر زواره با قدمتی باستانی، در طول حیاتش در تقسیمات کشوری، گاهی روستا و گاهی شهر محسوب می‌شده است. در (شکل ۲، راست) منظر شهری زواره مشاهده می‌شود که به‌خاطر سقف‌های چهارصفه‌ها (شکل ۲، وسط) شهرت دارد. این شهر در عرض جغرافیایی ۳۳/۴۴ درجه‌ی شمالی و در دشت واقع است. در شرق و شمال شرقی آن کویر نمک و در غرب و جنوب غربی آن با فاصله رشته‌کوه دیده می‌شود. بر اساس داده‌های سه‌ساعته‌ی سازمان هواشناسی کشور ایران[۷] و مربوط به ایستگاه سینوپتیک اصفهان ـ اردستان با کد ایستگاه ۴۰۷۹۹ و مربوط به بازه‌ی زمانی ده‌ساله‌ی ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۱، متوسط دمای سالانه‌ی زواره ۲۰/۱۴، دمای بیشینه ۲۴/۵۸ و کمینه‌ی دما ۱۴ درجه سانتیگراد است. بر مبنای این داده‌ها و با روش علمی کوپن، پهنه‌ی اقلیمی زواره از نوع BWhs است. باد غالب یا از جنوب (جز تابستان) یا شمال شرق (اواخر بهار و تابستان) با سرعت ۶-۸ متر بر ثانیه می‌وزد.

الگوی خانه‌ی چهارصفه شامل یک میان‌خانه‌ی باز یا بسته با ابعاد کمتر از ۵ متر، چهارصفه‌ی پیرامون، و چهار اتاق در چهار گوشه است که این ترکیب با شکلی چلیپایی شبکه‌ای نه‌خانه ایجاد می‌کند (Sanij, 2017). این الگو خانه کاملاً درون‌گرا و مرکزگراست؛ میان‌خانه مسقف یا باز به‌صورت فضای چندعملکردی داخلی عمل می‌کند. برخلاف الگوی حیاط مرکزی که در

2. Case study research
3. triangulation
4. theoretical pattern matching
5. in field based evaluation: Direct observation + Physical artifacts
6. cross-case comparison and synthesis
7 Irimo.ir

[Downloaded from jhre.ir on 2026-10-10]
[DOI: https://doi.org/10.22034/44.192.103]

اتاق‌ها به فضای بیرونی حیاط باز می‌شود، در چهارصفه همه‌ی اتاق‌ها با در به فضای مرکزی میان‌خانه باز می‌شوند و اتاق‌های مجاور حیاط از طریق در و پنجره با حیاط بیرونی نیز مرتبطند. اجزای اصلی خانه‌ی چهارصفه‌ی زواره در (شکل ۲، چپ) نشان داده شده است. بافت قدیمی وزاره نشان می دهد خانه های چهارصفه و عموما خانه های زواره همگی در یک راستا نیستند و جهت زمین ها و به تبع آن حیاط ها در یکی از چهار جهت شمال غربی، شمال شرقی، جنوب غربی، جنوب شرقی هستند.

شکل ۲. راست: منظر شهری زواره، وسط: بام‌های چهارطاقی زواره، چپ: نمونه ساختار کلی پلان چهارصفه‌ی زواره و جهات غالب

شواهد و آثار فیزیکی برداشت‌شده از خانه‌های چهارصفه‌ی دارای زیرزمین

داده‌ها برای ۱۶ خانه‌ی چهارصفه دارای زیرزمین از طریق برداشت میدانی گردآوری شده است. نمونه‌گیری به‌صورت غیراحتمالی هدفمند و بر اساس معیارهایی مانند تعلق به گونه چهارصفه یا شش‌صفه، وجود زیرزمین، و حفظ نسبی سامانه‌ی خنک‌کننده‌ی طبیعی و با دقت و توجه نسبت به اجزای اقلیمی شامل زیرزمین، کانال هوای ارتباط میان زیرزمین و میانخانه، چاهک موجود در زیرزمین، بادگیرهای دیواری، و بالاخانه‌ها برای اولین بار در چهارصفه‌های زواره انجام شد. گردآوری داده‌ها در بستری واقعی و از منابع چندگانه شامل برداشت میدانی ابعاد و اجزای معماری، مشاهده و مستندسازی الگوهای جریان هوا، اندازه‌گیری دما و رطوبت نسبی با دستگاه Testo 605i و Testo 405i، بررسی اسناد و نقشه‌های تاریخی، مصاحبه‌های غیررسمی، و مرور گزارش‌ها و پژوهش‌های علمی صورت گرفت.

اجزای اقلیمی چهارصفه

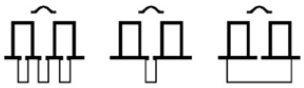
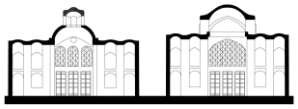
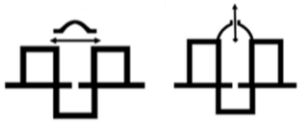
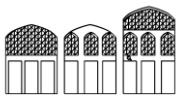
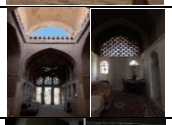
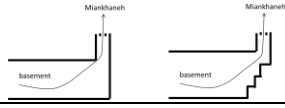
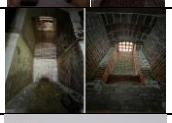
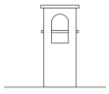
در این بخش اجزای اقلیمی چهارصفه های زواره بیان می گردد. چاهک: دربسیاری از چهارصفه‌های دارای زیرزمین، یک یا دو چاهک وجود دارد که علاوه‌بر دفع رطوبت از پی، هوای ورودی از حیاط را مرطوب و راهی چهارصفه می‌کند. زیرزمین: در چهارصفه‌های زواره، زیرزمین در مرکز پلان قرار دارد. ابعاد آنها کوچک است، تنها تا زیر میان‌خانه امتداد دارند و از طریق دریچه یا کانال عمودی با چهارصفه مرتبط است. به‌همین‌دلیل به نظر می‌آید دلیل اصلی احداث آنها اقلیمی و ایجاد جریان هوا بوده است. زیرزمین‌ها از نظر ساختار و ابعاد دو نوع اصلی هستند: زیرزمین هسته‌ای که تنها تا محل کانال مکش هوا امتداد داردو نوع دیگر زیرزمین گسترده که هم‌اندازه‌ی بخش چهارصفه اصلی است، این نوع زیرزمین در چهارصفه های زواره کمتر دیده می‌شود. میان‌خانه: فضای مرکزی چهارصفه با کارکرد اجتماعی، اقلیمی و معیشتی است. در زواره، این میان‌خانه‌ها معمولاً نیمه‌باز بوده و بسته به نیاز، کارکردهایی چون حیاط سرپوشیده، محل مراسم دینی یا مهمانی یا کارگاه قالیبافی داشته‌اند.سقف میان‌خانه: سقف چهارطاقی یا گنبدی با روزن مرکزی بر فراز میان‌خانه همچون هواکشی مرتفع است که هوای گرم جمع‌شده را تخلیه می‌کند و هوای خنک زیرزمین را به درون می مکد. ارتباط میان‌خانه با زیرزمین، از طریق حفره یا کانال خشتی است. بادگیر: برخی چهارصفه‌های زواره بادگیرهای کوچک دیواری و اغلب به‌صورت دوتایی یا تکی در دیوار یکی از صفه‌ها تعبیه شده‌اند و عنصر کمکی تهویه هستند. این بادگیرها با ابعاد و ارتفاع کم، معمولاً به چاهک یا زیرزمین متصلند و دریچه‌های چوبی قابل‌تنظیمی در دیوادارند. به‌نظر می‌آید در زواره، به‌دلیل بادهای پُر از شن، بادگیرهای بلند کارایی نداشته و میان‌خانه‌های نیمه باز مرتفع با عملکرد هواکش رواج بیشتر یافته‌اند. هواره‌های خشتی: منظور از هواراه ، کانال های خشتی انتقال هوا است که امکان گردش هوا میان حیاط، زیرزمین و میان‌خانه را فراهم می‌کنند. در چهارصفه‌ها، هواره‌های عمودی خشتی، زیرزمین را به وسط میان‌خانه متصل می‌کند. گشودگی‌ها: در خانه‌های چهارصفه، گشودگی‌های مختلفی ورود هوا و نور را ممکن می‌کنند: ۱. گشودگی باز و بسته‌شونده مانند در و پنجره، ۲. مشبک‌ها و خورشیدی‌های خشتی همیشه باز مرتفع در نمای رو به حیاط به‌صورت تکی یا

[Downloaded from jhre.ir on 2026-10-10]

[DOI: https://doi.org/10.22034/44.192.103]

سه‌تایی ۳. گشودگی سقف (روزن چهارطاقی یا روزن گنبد«هورنو»)، ۴. گشودگی خشتی زیر ایوان برای تبادل هوا میان زیرزمین و حیاط. بالاخانه: بالاخانه نیم‌طبقه بالای اتاق در برخی چهارصفه هاست و کاربری آن بیشتر برای خواب یا انبار بوده است. این فضا به‌دلیل ارتفاع کمتر سقف، علاوه‌بر کارایی انبار یا اتاق، عملکرد اقلیمی نیز دارد. در تابستان با ایجاد لایه‌ای جداکننده مانع از انتقال گرمای مستقیم آفتاب به اتاق اصلی می‌شود و در زمستان با کاهش تبادل حرارتی، به حفظ گرما کمک می‌کند. در جدول ۱ این عناصر نشان داده شده است.

جدول ۱. عناصر اقلیمی، گونه ها و نقش آن ها در خانه های چهارصفه زواره

عناصر	گونه‌ها	تصاویر	نقش
چاهک ناکش			دفع نم پی، رطوبت بخشی و خنک‌سازی هوای زیرزمین
زیرزمین			انتقال هوای خنک زیرزمین به میان‌خانه، به جریان انداختن هوا به واسطه تغییر اندازه
میان‌خانه			مکش هوای زیرزمین و حیاط به سمت بام، کارکرد زیستی و اقلیمی هم‌زمان
سقف میان‌خانه			سایه‌اندازی، مانعت از ورود باد پر شن به داخل، دفع هوای گرم
گشودگی (نمای رو به حیاط)			تهویه متقاطع، غبارروبی از باد به واسطه ضخامت و زاویه خشت‌های بکار رفته
هواراه از زیرزمین به میان‌خانه			انتقال هوای حیاط به زیرزمین و به میان‌خانه
بادگیر			انتقال باد به درون زیرزمین و میان‌خانه و تقویت جریان هوا

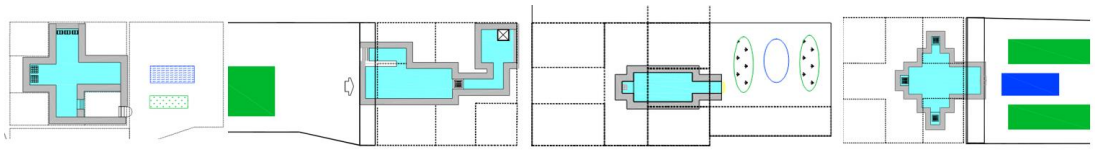
نظام اجزای اقلیمی در مقطع چهارصفه‌ی زواره

بررسی مقطع چهارصفه‌های زواره نشان می‌دهد که عناصر اقلیمی آنها در یک ساختار عمودی منسجم، از زیرزمین تا سقف میان‌خانه، سازمان یافته‌اند. عناصر معماری که در عملکرد اقلیمی چهارصفه نقش دارند در مقطع در ۴ سطح چنین هستند: ۱. بخش زمین، چاهک ناکش؛ ۲. زیرزمین و هواراه خشتی؛ ۳. میان‌خانه به‌همراه دریچه‌ی مشبک چوبی متصل به زیرزمین؛ ۴. سقف میان‌خانه. در ساختار پلان چهارصفه‌ها بسیار شبیه هستند؛ اما در مقطع و نوع و ترکیب اجزای اقلیمی، گونه‌های مختلفی دارند.

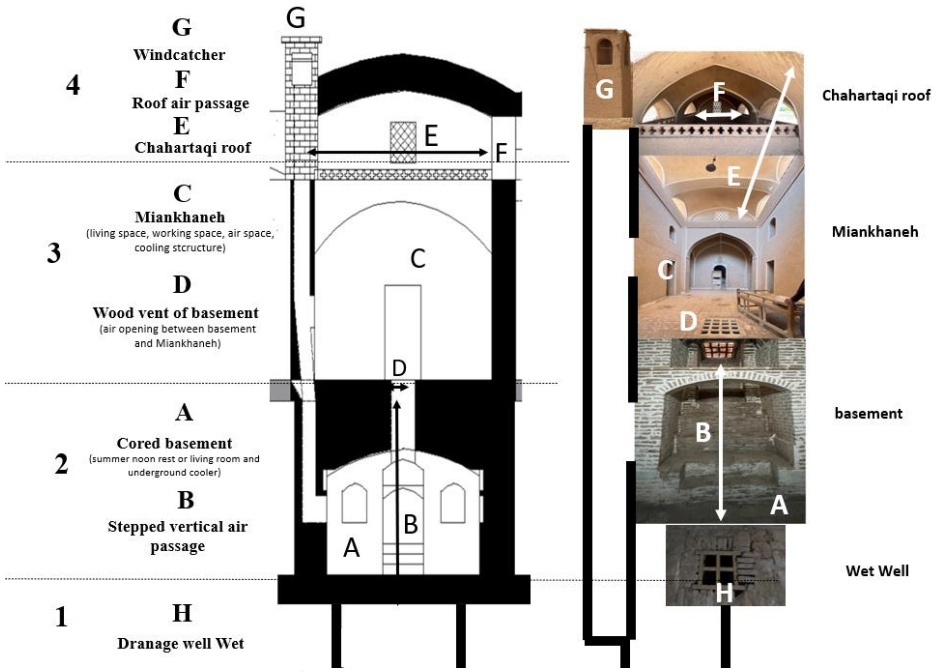
در (شکل ۳) اشکال مختلف زیرزمین و موقعیت هریک نسبت به چهارصفه در چند خانه مشاهده می‌شود. به‌طور مثال در خانه‌ی طاهرخان نیری سقف چهارطاقی و زیرزمین سه‌هسته‌ای است؛ بدین معنی که زیرزمین دارای انشعاب به سمت اتاق‌هاست و از آنجا هوای زیرزمین وارد دو اتاق دیگر غیر از میان‌خانه می‌شود. در خانه‌ی طلایی سقف میان‌خانه چهارطاقی و زیرزمین تک هسته‌ای است و بادگیر وجود ندارد. خانه‌ی هاشمی‌نسب سقفش گنبدی است و سه بادگیر در یک دیوار دارد که به زیرزمین متصل هستند. خانه‌ی عامری زیرزمین گسترده دارد؛ یعنی زیرزمین به اندازه‌ی چهارصفه منهای اتاق‌هاست و دو بادگیر دارد و سقفش چهارطاقی است. اما یک نظام چیدمانی مشترک بین همه آن ها وجود دارد که نظامی عمودی، متکی به مقطع و ۴

[Downloaded from jhre.ir on 2026-10-10]
[DOI: https://doi.org/10.22034/44.192.103]

سطحی از اجزای اقلیمی است که در (شکل ۴) به‌صورت عکس ـ گرافیک نشان داده شده است. این تصویر نشان دهنده یک سامانه خنک کننده کامل است که می‌توان عنوان الگوی زیرزمین– میان خانه را به آن اطلاق نمود.



شکل ۳. اشکال مختلف زیرزمین در خانه‌های چهارصفه‌ی زواره و تناسب و موقعیت آنها نسبت به چهارصفه. (به ترتیب از راست به چپ:زیرزمین خانه طاهر خان نیری، طلایی، شفیعی، هاشمی نسب)



شکل ٤. شاکله مقطع اقلیمی در خانه‌ی توحیدی[۸]

بحث

در این بخش به منظور تثبیت الگوی خنک کننده میان‌خانه – زیرزمین چهارصفه تطبیق چندوجهی عملکرد اقلیمی آن به‌واسطه‌ی تطبیق سامانه خنک کننده چهارصفه با منابع نظری پژوهش های انجام شده، پیمایش میدانی، و همسان‌سنجی با الگوی بادگیرصورت گرفته است.

تطبیق نظری

در یک مرور جامع مشخص شده است، سه راهبرد اصلی خنک‌سازی طبیعی مبتنی بر دفع حرارت وجود دارد: خنک‌سازی زمینی[۹] (زمین‌سرمایی) با استفاده از مبدل حرارتی زمین ـ هوا، خنک‌سازی تبخیری[۱۰]، و خنک‌سازی تهویه‌ای[۱۱]، به‌ویژه تهویه‌ی شبانه (Santamouris & Kolokotsa, 2013). در ساختمان BRE انگلستان از عنصری دودکش‌مانند استفاده شده که به‌صورت موضعی و مستقل برای هر اتاق جریان طبیعی هوا فراهم می کند، اما ردیف دودکش‌ها در نمای ساختمان از نظر تیپولوژیک با معماری بنا ارتباطی ندارد (Herman & Mahmud, 2022). موسوی و همکاران (۲۰۲۰) با تحلیل CFD پروتوتایپ مجازی

۸. خانه‌ی توحیدی دارای میان‌خانه‌ی کشیده‌تر و دو سقف چهارطاقی است و هر سمت سه اتاق دارد. ازاین‌رو به شش‌صفه موسوم است. اما الگوی تهویه و سامانه‌ی خنک‌کننده‌ی آن با چهارصفه یکی است و در «تصویر ۳»، به‌دلیل سالم بودن و تمیز بودن همه‌ی اجزا، از تصاویر این خانه استفاده شده است.

9. EAHE earth cooling/ground cooling/

10. Evaporative cooling

11. Ventilative cooling

[Downloaded from jhre.ir on 2026-10-10]

[DOI: https://doi.org/10.22034/44.192.103]

یک ساختمان اداری در تهران، عملکرد حرارتی و تهویه‌ای یک هواخوان خورشیدی با طراحی جدید را در ترکیب با بادگیر و سامانه‌ی پاشش آب بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که حتی در روزی گرم و آفتابی بدون نیاز به نیروی باد، هواخوان خورشیدیِ ترکیب‌شده با بادگیر و سامانه‌ی پاشش آب می‌تواند شرایط حرارتی و جریان هوای قابل‌قبولی را برای هردو طبقه فراهم کند. همچنین شبیه‌سازی CFD جریان هوا در خانه‌های روستایی قلعه‌نو زابل نشان می دهد وجود «کُلَک» سرعت و کیفیت جریان هوا را به‌طور قابل‌توجهی بهبود می‌دهد و حذف آن افت شدید تهویه ایجاد می‌کند (Haddadi et al., 2023). سانتاموریس و کولوکوتسا (۲۰۱۳) با مرور داده‌های چندین پروژه‌ی ساختمانی و گلخانه نشان دادند که سامانه‌های زمین‌سرمایی می‌توانند دمای هوای ورودی را به‌طور محسوس کاهش دهند؛ به‌ویژه در پروژه‌ای در سوئیس گزارش شد که این سامانه‌ها توانسته‌اند حدود یک‌سوم بار سرمایش کل ساختمان را پوشش دهند. معرفت و حقیقی در یک پژوهش درباره‌ی ترکیب هواخوان خورشیدی و زمین‌سرمایی، با روش مدل‌سازی ریاضی نشان دادند که این ترکیب بدون نیاز به برق می‌تواند در بسیاری از ساعات تابستان شرایط آسایش حرارتی را فراهم سازد (Maerefat & Haghighi, 2010).

سراج الدین و همکاران (۲۰۲۰) در یک پژوهش، پروتوتایپ مجازی یک ساختمان مسکونی دوطبقه در اسکندیه مصر را در سه سناریو شبیه‌سازی کردند: نتایج نشان داد که در حالت پایه بدون سیستم، دمای داخلی در تابستان همواره بالاتر از محیط است و به میانگین ۵ تا ۶ درجه بیشتر از دمای بیرون می‌رسد. در حالت اول، ترکیب هواخوان و زمین سرمایی باعث شد دمای داخلی در تابستان حدود ۵ درجه کمتر از محیط و در زمستان حدود ۱۰ درجه بیشتر از محیط شود. در حالت دوم، با افزودن فن، کاهش دما در تابستان به ۸ تا ۹ درجه نسبت به محیط رسید و همچنین نوسانات دمایی پس از غروب خورشید کاهش یافت و دمای فضاها پایین‌تر از محیط باقی ماند. درنتیجه این ترکیب موجب کاهش دمای داخلی گردید و علاوه‌بر آن، صرفه‌جویی سالانه‌ی انرژی و کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن به میزان قابل‌توجهی را به‌همراه داشت.

این پژوهش‌ها شامل مطالعات میدانی، مطالعه پروتوتایپ مجازی، و شبیه سازی ریاضی، حاکی از آن هستند که ادغام هواخوان خورشیدی با زمین‌سرمایی، به عبارتی پیش‌خنک‌سازی هوا در سامانه‌های هواخوان خورشیدی، هم تأثیر قابل‌توجهی بر تأمین آسایش حرارتی فضای داخل دارد و هم موجب هم‌افزایی کارایی آنها در افزایش نرخ تهویه می‌شود و در دهه‌ی اخیر موضوع قابل‌توجهی برای پژوهش بوده است. این منطق عملکردی را می‌توان در سامانه‌ی خنک‌کننده‌ی طبیعی میان‌خانه ـ زیرزمین ـ بادگیر چهارصفه‌ها نیز مشاهده کرد؛ جایی که زیرزمین، با جرم حرارتی بالای جداره‌ها و تماس گسترده با خاک و چاهک و دفع‌کننده‌ی رطوبت خاک یا چاهک ناکش، عملکردی مشابه مبدل حرارتی زمین ـ هوا دارد و با پیش‌شرط‌سازی هوا[12]دما و رطوبت هوای ورودی به میان‌خانه را تعدیل می‌کند و همچنین با ایجاد یک مسیر پیوسته از حیاط به زیرزمین و بام، امکان تبدیل هوای راکد حیاط به هوای در جریان در میان‌خانه را طبق قوانین فیزیک فراهم می‌کند. میان‌خانه مرتفع با سقف گنبدی یا چهارطاقی و بازشوهای بالایی اثر مکشی[13] ناشی از اختلاف چگالی و فشار می‌یابد و میان‌خانه به یک هواخوان خورشیدی[14] تبدیل می‌شود که هوای خنک زیرزمین را به سمت بالا می‌کشد. این چرخه از نظر مفهومی و عملکردی، هم‌پوشانی قابل‌توجهی با مدل ترکیبی سامانه هواخوان خورشیدی وسامانه زمین سرمایی (SC + EAHE) در پروژه‌های معاصر دارد.

پیمایش میدانی

در این پژوهشْ عناصری مانند بادگیر، چاهک، زیرزمین، پلان، مسیر هوا، دیوارهای قطور، و... عکاسی و برداشت شدند. بر اساس

12. Pre- cooling

۱۳. Stack Effect: اثر دودکشی (در این نوشتار هواخوانی) یک پدیده‌ی فیزیکی است که وقتی بین دو نقطه اختلاف دما و درنتیجه اختلاف چگالی هوا باشد، باعث حرکت عمودی هوا می‌شود. این اثر می‌تواند در زمستان یا تابستان، چه با گرمایش خورشید و چه بدون آن، رخ دهد.

۱۴. Solar Chimney: دود ش خورشیدی (در این نوشتار هواخوان خورشیدی) یک سامانه در معماری یا مهندسی است که به‌طور هدفمند از گرمایش خورشیدی برای تقویت مکش هوا استفاده می‌کند.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-10-10]

[DOI: https://doi.org/10.22034/44.192.103]

شواهد میدانی، زیرزمین‌ها معمولاً فقط تا زیر میانه‌ی میان‌خانه امتداد دارند و نه جلوتر. ازاین‌رو بسیار کوچک و در بیشتر نمونه‌ها با مساحتی کمتر از ۲۰٪ کل چهارصفه هستند. ازاین‌رو در این پژوهش، زیرزمین هسته‌ای نام‌گذاری شده‌اند. شاهد دیگر وجود کانال‌های خشتی هوا میان زیرزمین و چهارصفه است. شاهد سوم هواراه افقی در برخی چهارصفه‌ها مانند روحانی و شفیعی و طاهرخان نیری است که ضمن حفظ ابعاد کوچک برای زیرزمین، هواراه افقی از آن منشعب شده و به زیر یکی از اتاق‌ها می‌رسد. این شواهد نشانه‌ی معماری آگاهانه برای برقراری جریان تهویه‌ی هواست. همچنین در حضور در شرایط واقعی و مشاهده ملموس و محسوس جریان هوای خنک از زیرزمین به چهارصفه (شکل ۵) مشخص شد این سامانه موجب برقراری جریان هوا می شود. برای تقویت خنک‌سازی، کوزه‌های آب روی دریچه‌های مشبک قرار می‌گرفت و مواد غذایی نیز بر شبکه‌های چوبی معلق در مسیر جریان هوا نگهداری می‌شدند.

گرچه هدف اصلی این پژوهش تبیین شاکله‌ی اقلیمی چهارصفه‌های زواره تعیین شد و قرار بر این بود که گونه‌شناسی در گام بعدی و در نوشتاری دیگر صورت گیرد و آسایش اقلیمی محور اصلی تحقیق حاضر محسوب نمی‌شد، اما برداشت‌های میدانی دما و رطوبت نیز در همین جا انجام شد. این اندازه‌گیری‌ها با محدودیت‌هایی همراه بود؛ ازجمله آنکه امکان برداشت در ساعات مختلف وجود نداشت و تنها بازه‌ی گرم‌ترین ساعات انتخاب شد. همچنین پر بودن چاه زه‌کش زیرزمین، مسدود شدن مشبک‌های خشتی نمای رو به حیاط، و بستن گشودگی‌های سقف چهارطاقی و گنبدی شرایط بناها را از وجه زیستی اصلی دور کرده است. باوجوداین،اندازه‌گیری‌های انجام شده نشان داد: در حیاط در آفتاب دما بالای ۴۰° و در سایه حدود ۳۵° با رطوبت ۱۳ –۱۷٪ است؛ در زیرزمین دما ۲۹–۳۴° و رطوبت بالای ۳۰٪ و در میان‌خانه دما ۳۰°–۳۵ با رطوبت ۲۰–۲۵٪ است.

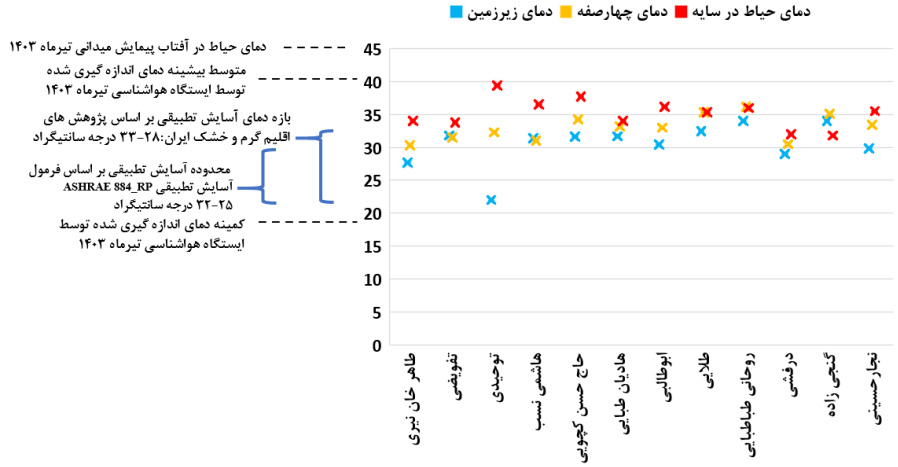
شکل ۵. مشاهده‌ی جریان هوا از زیرزمین به میان‌خانه به‌صورت ملموس

نتایج این برداشت‌ها در چهارصفه‌ها با دمای خنثی و محدوده‌ی آسایش با نتایج پژوهش فروزان‌مهر و پژوهش روحی و نیز با مدل تطبیقی ASHRAE 884 - RP در شکل ۶ مقایسه شده‌اند. شایان ذکر است که پیش از 884 - RP معمولاً یک دمای ثابت یا محدوده‌ای مانند PMV در شرایط کنترل‌شدهٔ دمای آسایش قلمداد می‌شد. پروژه پژوهشی ASHRAE RP-884 با هدف بازنگری در مبانی آسایش حرارتی و بررسی محدودیت‌های مدل کلاسیک PMV در ساختمان‌های با تهویه طبیعی انجام شد.در این پژوهش، داده‌های میدانی بیش از ۲۲ هزار مشاهده از ساختمان‌های مسکونی و اداری در اقلیم‌های مختلف تحلیل شد و نشان داد که دمای آسایش کاربران تابعی پویا از شرایط اقلیمی بیرون و سازوکارهای تطبیقی انسان است. نتایج این پروژه منجر به تدوین مدل دمای آسایش تطبیقی و شکل‌گیری مبنای نظری بخش Adaptive Comfort در استاندارد ASHRAE 55 شد و نقش مهمی در توسعه رویکردهای طراحی اقلیم‌پاسخ و تهویه طبیعی ایفا کرده است (de Dear & Brager, 1998). بر اساس مدل آسایش تطبیقی در ساختمان‌های با تهویه‌ی طبیعی، دمای آسایش یک مقدار ثابت نیست بلکه تابعی خطی از میانگین دمای بیرون است؛ زیرا انسان‌ها با شرایط اقلیمی و فصلی سازگار می‌شوند و به‌همین‌دلیل دمای مطلوب در زمستان خنک‌تر و در تابستان گرم‌تر درک می‌شود.

در همین راستا بر اساس پژوهش فروزان‌مهر (۲۰۱۷) در یک اقلیم مشابه زواره یعنی شهر یزد دمای خنثی یا آسایش با روش رگرسیون بر اساس رأی احساسی حدود ۲۸ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمده است. همچنین با استفاده از روش گریفیش، میانگین دمای خنثی ۲۹/۱ درجه سانتیگراد و دامنه‌ی ۲۳/۹ تا ۳۳/۹ درجه سانتیگراد گزارش شده است. بازه‌ی آسایش پیشنهادی برای ساکنان این خانه‌ها ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتیگراد است و حد بالای قابل‌قبول دما ۳۳ درجه سانتیگراد برآورد شده است که در این شرایط بیش از ۸۵٪ افراد احساس رضایت داشته‌اند. در نمودار شکل ۶ نشان داده شده است که هرچند اندازه‌گیری‌ها در شرایطی

[Downloaded from jhre.ir on 2026-10-10]
[DOI: https://doi.org/10.22034/44.192.103]

غیر از حالت اصلی بناها (با چاه‌های بسته و حوض‌های خالی) انجام شده، دمای داخلی همچنان به بازه‌ی آسایش تطبیقی نزدیک است. براساس پیشنهادهای گیونی برای اقلیم گرم و خشک، فعال بودن منابع رطوبتی- تبخیری و ایجاد نسیم ملایم می‌تواند حس حرارتی را به‌صورت محسوسی بهبود دهد. بر اساس این نمودار چند زیرزمین در محدوده یا نزدیک محدوده‌ی آسایش قرار دارند، اما تقریباً همه‌ی میان خانه‌ها در میانه‌ی روز گرم‌تر از بازه‌ی آسایش هستند. ازاین‌رو پیش‌بینی می‌شود با تدابیر سرمایش تبخیری در حالت باز بودن چاهک زیرزمین و آب داشتن حوض، زیرزمین‌ها و در برخی موارد میان خانه به محدوده‌ی آسایش وارد گردند. همچنین، بر اساس خاطرات ساکنان، خانواده ناهار تابستان را در زیرزمین صرف می‌کردند، گاهی استراحت ظهر تابستان نیز در همان جا بوده است . در تابستان فضای میان‌خانه را مفروش نمی‌کردند و عصرها کف میان‌خانه را آب‌پاشی می‌کردند تا خنکی و تهویه بهتر حفظ شود. این الگوهای رفتاری با نتایج دمای آسایش تطبیقی همخوانی دارد.



شکل ٦. مقایسه دمای چهارصفه و زیرزمین با دمای خنثی و محدوده آسایش درپژوهش‌های میدانی و آسایش تطبیقی Ashrae 55

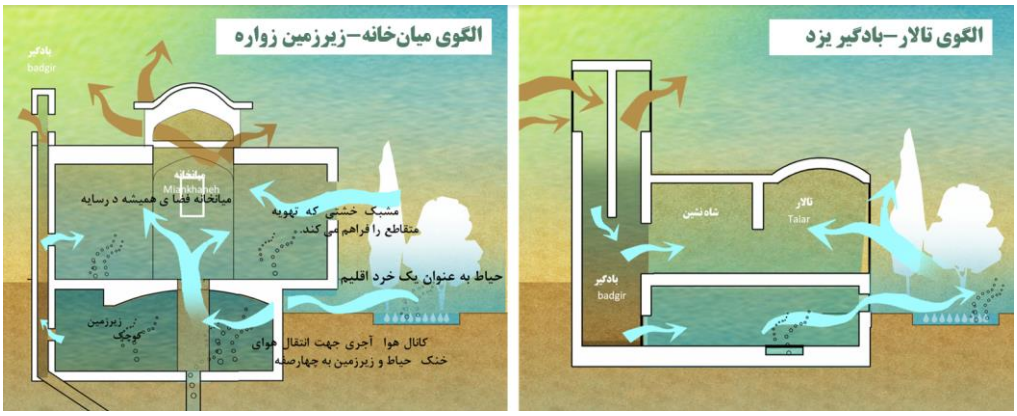
همسان‌سنجی

بادگیر یک الگوی مرجع در سامانه‌های سرمایش طبیعی در اقلیم گرم و خشک ایران و دارای اعتبار جهانی است و پژوهش‌های فراوانی در این باره انجام شده و پروژه‌های مدرنی هم با الهام از الگوی بادگیر طراحی و اجرا گردیده است. بادگیر با بهره‌گیری از قوانین طبیعی و نیروی باد و مکش حرارتی عمل می‌کند و در گونه‌های مختلف به کار رفته است. مقایسه‌ی بادگیر با الگوی میان خانه–زیرزمین چهارصفه زواره نشان می‌دهد که هردو بر قوانین فیزیک و ترمودینامیک یکسانی استوارند، اما سازوکار جریان هوا، اجزای کالبدی، و شرایط بهره‌برداری آنها متفاوت است. به‌نظر می‌رسد در بادگیر هوای متحرک به تله انداخته می‌شود و در مواقعی نیز همانند هواخوان خورشیدی عمل می‌کند؛ اما در چهارصفه‌های دارای زیرزمین و میان‌خانه، ترکیب این فضاها الگویی از خنک‌سازی طبیعی مبتنی بر ترکیب هواخوان خورشیدی و زمین‌سرمایی را شکل می‌دهد که خود یک ساختار و الگوی مستقل است. در جدول ۲ و شکل ۷ ویژگی‌های سازوکاری و فیزیکی الگوی بادیگر و الگوی میان‌خانه ـ زیرزمین بیان، مقایسه و همسان سنجی شده است.

جدول ۲. مقایسه ویژگی‌ها و عملکرد سرمایش غیر فعال الگوی بادگیر و الگوی میان‌خانه – زیرزمین

سنجه	بادگیر	میان‌خانه – زیرزمین
سازوکار اصلی و روش خنک‌کننده	گرفتن بادِ خنک / تند و هدایت آن به فضاهای داخلی تهویه‌ی القایی، تبخیر (با حوض یا سرداب)	ایجاد ریزاقلیم خنک سایه‌اندازی، خنک‌سازی تبخیری، خنک‌سازی زمینی، خنک‌سازی تهویه‌ای، مکش هوای گرم
فاکتورهای مؤثر بر عملکرد	سرعت و جهت باد، ارتفاع و سطح مقطع بادگیر، طرح و شکل دهانه‌ها، موقعیت بادگیر، چیدمان تیغه‌ها	ارتفاع و سطح مقطع هواخوان، زاویه و جهت‌گیری نسبت به خورشید، اتصال مناسب به فضاهای داخلی، ترکیب با سامانه‌های سرمایشی یا تهویه‌ای دیگر
وابستگی به باد غالب	بالا؛ عملکرد مطلوب با باد غالب	کم؛ اختلاف دمای شب/روز و سایه به کار می‌آید

[Downloaded from jhre.ir on 2026-10-10]
[DOI: https://doi.org/10.22034/44.192.103]



شکل ۷. همسان‌سنجی الگوی تالار - بادگیر یزد و الگوی میان‌خانه- زیرزمین

نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب بیان شده، به پرسش های ابتدای مقاله چنین می توان پاسخ داد. در پاسخ به پرسش ۱ می توان گفت: عملکرد بین اجزای چهارصفه دارای زیرزمین در شهر زواره آن را به‌صورت یک سامانه‌ی یکپارچه و خنک‌کننده‌ی هم‌افزا درآورده است که در کنار بادگیر، می‌تواند یک الگوی جهان‌شمولِ سامانه‌ی خنک‌کننده‌ی طبیعی قلمداد شود. ویژگی‌های شاخص این الگو عبارتند از: ۱. هم‌افزا بودن (هیبریدی بودن) به معنای ترکیب زمین‌سرمایی، هواخوان خورشیدی، تهویه‌ی متقاطع و بادگیر؛ ۲. وجود فضای میانی چندعملکردی با دمای نسبتاً ثابت که نقش متعادل‌کننده‌ی حرارتی در هر مرکز تعامل اجتماعی را دارد؛ ۳. فضا ـ سامانه بودن اجزا، به‌گونه‌ای که کارکرد اقلیمی با عملکرد فضایی و زیستی ادغام شده است؛ ۴. مراتب حرارت و رطوبت در مسیرهای جریان هوا که شرایط آسایش را بهبود می‌بخشد. در پاسخ به پرسش شماره ۲ می‌توان گفت: بررسی مقطع چهارصفه‌های زواره نشان می‌دهد که عناصر اقلیمی آنها در یک ساختار عمودی منسجم، از زیرزمین تا سقف میان‌خانه، سازمان یافته‌اند در ۴ سطح عبارتند از: ۱. چاهک ناکش؛ ۲) زیرزمین و هواراه خشتی؛ ۳. میان‌خانه ؛ ۴. سقف میان‌خانه. در پاسخ به پرسش ۳ می توان گفت: خنک‌سازی هم‌افزا و زمانمند باید یک راهبرد طراحی در معماری خانه‌ها هم برای افزایش کیفیت فضا و هم برای بی‌نیاز کردن بنا از مصرف انرژی برای سرمایش برای حداقل ساعاتی از روز در نظر گرفته شود. بنابراین معماران باید از طریق تدابیر خنک‌سازی به‌منزله‌ی یک کیفیت فضایی، نه صرفا آسایشی، از وسایل سرمایشی مهندسین مکانیک پیشی بگیرند. در همین خصوص، هفت راهبرد طراحی اقلیمی شامل: ۱. طراحی مفهومی اقلیمی از مراحل اولیه، ۲. مقطع‌محوری، ۳. به‌کارگیری و ادغام هم‌افزای چند راهبرد خنک‌سازی، ۴. به رسمیت شناختن اجزای اقلیمی و به‌کارگیری در طراحی، ۵. هماهنگی اجزا و هواراه‌ها با سازمان فضایی، ۶. یکپارچه‌سازی عملکرد اقلیمی با فضای زیست، ۷. ادغام زیباشناسانه اجزای اقلیمی در فرم با حفظ بیان بومی پیشنهاد می‌شود.

در نهایت می‌توان چهارصفه‌های زواره را واجد شاکله‌ای اقلیمی دانست که در مرز میان زندگی درون و بیرون، عمل تنفس بنا را تحقق می‌بخشد. این تنفس نه استعاره‌ای شاعرانه، بلکه فرایندی زنده، سنجیده، و عینی است که از هم‌نشینی عناصر خاک، آب، هوا، و نور شکل می‌گیرد و در نظام ۴بخشی مقطع عمودی بنا متجلی می‌شود. عدد «چهار» در این معماری، صرفاً یک شمارش هندسی نیست، بلکه نشانه نظمی کیهانی و چرخه‌ای است که چهار بخش عمودی مقطع، چهار جبهه‌ی فضایی، و چهار فصل سال را در یک درهم‌تنیدگی عملکردی و نمادین قرار می‌دهد. ازاین‌رو چهارصفه زمانمند است؛ زیرا با ضرب‌آهنگ سرما و گرما در شب و روز، ماه و فصل هماهنگ است و می‌تواند الهام‌بخش معماری معاصر باشد.

برای آینده این مطالعه در دو محور قابل‌تکامل و پیگیری است: محور نخست، توسعه و تکمیل همین پژوهش با افزایش تعداد نمونه‌ها و تکمیل اطلاعات فنی (سن بنا، مصالح، وضعیت بهره‌برداری)، گونه بندی، خوشه‌بندی و استخراج پروتوتایپ‌های اقلیمی چهارصفه ، سنجش عملکرد در شرایط بازسازی شده واقعی ۲۴ ساعته با نصب سنسورهای دما و رطوبت و جریان هوا، شبیه‌سازی

[Downloaded from jhre.ir on 2026-10-10]
[DOI: https://doi.org/10.22034/44.192.103]

و تحلیل جریان هوا با CFD و EnergyPlus، و نیز ارزیابی اجتماعی ـ فرهنگی، زیبایی‌شناختی، و اقتصادی می تواند باشد. و در محور دوم، گسترش این رویکرد به الگوها و مناطق دیگر از طریق اعمال همین روش بر دیگر تیپولوژی‌های بومی مانند حیاط مرکزی، بادگیر، سرداب و ایوان عمیق، و مقایسه‌ی کارایی سامانه‌های منفرد و ترکیبی در هریک از الگوها، مطالعات تطبیقی میان اقلیم‌های مختلف و امکان بومی‌سازی راهکارها را می توان توسعه بخشید.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-10-10]

[DOI: https://doi.org/10.22034/44.192.103]

References

Afshari Basir, N., Habib, F., & Mofidi Shemirani, S. M. (2017). Vernacular houses in Yazd: Natural elements. *International Journal of Architecture and Urban Development*, 7(2), 19 – 26. (in Persian)

Altan,H. ,Hajibandeh, M., Anissa, K., Aoul,T., Deep,A., (2016), Chapter8, *Passive Design*, Springer Tracts in Civil Engineering, DOI 10.1007/978-3-319-31967-4

Bahadori, M. N. (1978). Passive cooling systems in Iranian architecture. *Scientific American*, 238(2), 144-155.

Bahadori, M. N. (1985). An improved design of wind towers for natural ventilation and passive cooling. *Solar Energy*, 35(2), 119-129. https://doi.org/10.1016/0038-092X(85)90002-7

Bahadori, M. N. (1994). Viability of wind towers in achieving summer comfort in the hot arid regions of the Middle East. *Renewable Energy*, 5(8), 879-892. https://doi.org/10.1016/0038-092X(85)90002-7

Bozorgmehri, Z., & Khodadadi, A. (2013). History of Iranian architecture from the beginning of the Islamic era to the Mongol invasion .Tehran, Iran: Soroush-e Danesh. ISBN 978-600-7099-01-8. *In persian*

Davtalab, J. & Heidari, A. (2020). A Numerical and Analytic Study of the Humidity Impact of Kharkhona on Vernacular Sistan Housing. Housing and Rural Environment, 39(169), 89–100. https://doi.org/10.22034/39.169.89 (in Persian)

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

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

Ergün, R., & Bekleyen, A. (2024). Reinterpretation of Passive Cooling Strategies in Hot and Dry Climate Traditional Architecture: Vents in the Building. *International Journal of Built Environment and Sustainabi*lity, 11(3), 79-93. https://doi.org/10.11113/ijbes.v11.n3.1335

Esmaeili, S., & Litkouhi, S. (2013). Principles of sustainable architecture extant in heart of desert areas of Iran. *International Journal of Architectural Engineering & Urban Planning*, 23(2), 103-113.

Foruzanmehr, A. (2018). *Thermal Comfort in Hot Dry Climates: Traditional Dwellings in Iran*. Routledge, Taylor & Francis Group. ISBN: 9781138694996.

Foruzanmehr, A., & Vellinga, M. (2011). Vernacular architecture: questions of comfort and practicability. *Building Research & Information*, 39(3), 274-285. https://doi.org/10.1080/09613218.2011.562368

Ghaem, G. (2009). The message of the cross motif on Iranian pottery . Soffeh, 19(1–2), 65–78.doi: 20.1001.1.1683870.1388.19.2.6.2. (in persian)

Ghaffari, Ali. (2000). *Zavareh: A Symbol of the Desert Myth*. Tehran: Cultural Research Office. (in Persian)

Gholami G H, Kavian M. (2017). Examining "Chahar Soffeh" in the Spatial Structure of Iranian Residential Architecture in Hot and Arid Areas. JHRE. 36(157), 149-161. URL: http://jhre.ir/article-1-802-en.html. (in persian)

Habib, F., Mofidi-Shemirani,S.M.,Khodabakhshian,M., 2012. Typology of Earth-Shelter Architecture in Iran. *International Journal of Architecture and Urban Development* Vol. 2, No 4, Autumn 2012, https://www.researchgate.net/publication/254862117

Hadadi M, Habib F, Labibzadeh R. (2025). Investigating the role of Surak and Daricheh in natural ventilation of rural housing in Sistan and Baluchestan province; case study: Qaleno village. *JHRE*. *44*(190), 33-44. doi:https://doi.org/10.22034/44.190.33

Haddadi, M., Habib, F., & Labibzadeh, R. (2023). Investigating the influence of the climatic organ “Kolak” on the natural ventilation of rural housing in Sistan and Baluchistan Province (case study: Qa‘leh-no Village, Zabul County) Housing and Rural Environment Studies, 42(184), 59–74. (in Persian)

[Downloaded from jhre.ir on 2026-10-10]

[DOI: https://doi.org/10.22034/44.192.103]

Hedayat, Z., Emadian Razavi, S. Z., & Ayatollahi, S. M. H. (2020). Wind flow patterns in ancient wind catchers of Yazd based on a long-term measurement (Case study: Mortaz House). Architecture in Hot and Dry Climate, 7(10), 53–70. https://doi.org/10.29252/ahdc.2020.1782 (in Persian)

Heidari, A., & Davtalab, J. (2024). *Effect of Kharkhona on thermal comfort in the indoor space: A case study of Sistan region in Iran. Energy and Buildings*, 114431. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114431

Herman, M. F., & Mahmud, N. A. (2022). Sustainable Approach for University Clinic; A Case Study of Stack Effect System. *Journal of Design + Built*, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia

IEA. (2021). *Net Zero by 2050*. paris: internatioan energy agency .https://www.iea.org/corrections

Izadpanahi, P., Mahmoudi Farahani, L., & Nikpey, R. (2021). Lessons from Sustainable and Vernacular Passive Cooling Strategies Used in Traditional Iranian Houses. *Journal of Sustainability Research*, 3(3), e210014. https://doi.org/10.20900/jsr20210014

Judaki-Azizi, A., Mousavi-Haji, S. R., & Mehrāfarin, R. (2015). Chaharsofeh pattern typology in Iranian architecture and its evolution . Journal of Islamic Architecture Research , 2(4), 64–86. (in Persian)

Kamal, Mohammad Arif. 2012. An Overview of Passive Cooling Techniques in Buildings: Design Concepts and Architectural Interventions. Vol. 55.

Kamalipour, H., Memarian, G. H., & Mousavian, F. (2012, October). Exploring the Myth of Four in Persian Vernacular Architecture. *Proceedings of the IASTE 2012 Conference*: The Myth of Tradition, Portland, Oregon,USA.

Madahi S M, Memarian G H, Bemani Naeini M, Khodadadi Fakhr Abadi T. (2017). A Formal Analysis of Houses in Vernacular Architecture of Khorasan; Case Study: Boshrouyeh City in Pre-Pahlavi Period. JHRE. 36(159), 63-78. URL: http://jhre.ir/article-1-751-fa.html. (in Persian)

Maerefat, M., & Haghighi, A. P. (2010). Passive cooling of buildings by using integrated earth to air heat exchanger and solar chimney. *Renewable Energy*, *35*(10), 2316-2324. https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.03.003

Mahdavinejad, M. J., Mansourpour, M., & Masoudinejad, M. (2013). The role of climate in the composition of contemporary buildings: Case study of Qajar-era houses in Dezful,Housing and Rural Environment, 32(141), 61–74. (in Persian)

Mahmoudi, M., & Mofidi-Shemirani, S. M. (2009). Typological analysis of Yazd's windcatcher architecture and finding the optimal functional type [Fine Arts – Architecture and Urban Planning], 36, 25–36. (in Persian)

Mas'oudi-nejad, Mo., Tahbaz, M., Mofidi Shemirani, S. M.The Study of the Thermal Performance of Shavadoons, Case Study: The Souzangar House in Dezful, Iran. *Journal of Iranian Archtecture studies*, Volume 7, Issue 13, August 2018, Pages 49-70, *doi:*10.22052/1.13.49. (in Persian)

Mathur, J., Mathur, S., & Anupma. (2006). Experimental investigations on solar chimney for room ventilation. *Solar Energy*, *80*(8), 927-935. https://doi.org/10.1016/j.solener.2005.08.008

Memarian G, Mohammdmoradi A, Hosseinalipour S M, Heidari A, Doodi S. (2017). Analysis of Wind Behaviour in Naturally Ventilated Vernacular Housing in Ghaleno Village in Sistan, Using CFD Modelling. JHRE. 36(157), 21-36.URL: http://jhre.ir/article-1-1200-en.html. (in Persian)

Memarian, G. (2008). Iranian residential architecture: The introverted type,Tehran, Iran: Soroush-e Danesh. ISBN 978-964-6194-99-0. (in Persian)

Miri, A., Heidari, A., Davtalab, J., Nosek, S., & Abdolzadeh, M. (2022). *In-situ measurements of indoor dust deposition in Sistan region, Iran – The effect of windcatcher orientation.* Building and Environment, 225, 109162. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109162

Mohammadi, A. (2011). Investigation and explanation of the Iranian house pattern based on the Chaharsafheh house model .Yazd, Iran: Yazd University. (in Persian)

[Downloaded from jhre.ir on 2026-10-10]

[DOI: https://doi.org/10.22034/44.192.103]

Moosavi, L., Zandi, M., Bidi, M., Behroozizade, E., & Kazemi, I. (2020). “New design for solar chimney with integrated windcatcher for space cooling and ventilation”. *Building and Environment*. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106785

Moscoso-García, P., & Quesada-Molina, F. (2023). “Analysis of Passive Strategies in Traditional Vernacular Architecture”. *Buildings*, 13(8), 1984. https://doi.org/10.3390/buildings13081984

Oropeza-Perez, Ivan, and Poul Alberg Østergaard. 2018. “Active and Passive Cooling Methods for Dwellings: A Review”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82: 531–44. doi:10.1016/j.rser.2017.09.059.

Pirnia, M. K., & Memarian, G. (2016). Iranian architecture . Tehran, Iran: Nāšr-e Mūlef. ISBN 978-600-0468-74-3. (In Persian)

Rahravi, S. , Valibeig, N. , Dehghan, N. and Masoud, M. (2019). Analysis of the Formal Features of Chaharsofe Houses and its Influence on the Formal Structure of Introverted Houses in the City of Isfahan. *The Monthly Scientific Journal of Bagh-e Nazar*, *16*(72), 5-20. doi: 10.22034/bagh.2019.87455. (in Persian)

Roaf, s. (2007). *ecohouse* .Third edition, Elsevier Ltd.

Rouhi, S., & Mahdinejad, J. D. (2025). Investigating the efficiency of indigenous passive cooling systems in traditional Iranian houses: A quantitative and qualitative analysis in hot and dry climates . Journal of Sustainable Urban and Regional Development Studies, 6(2), 1–22. (in Persian)

Sanij, M. D. (2017). Natural ventilation in Chaharsafheh houses of Yazd. Yazd, Iran: Avaye Ghalam Publishing. ISBN 978-600-328-297-0. (in Persian)

Santamouris, M., & Kolokotsa, D. (2013). “Passive cooling dissipation techniques for buildings and other structures: The state of the art”. *Energy and Buildings*, 57, 74-94. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.11.002

Serageldin, Ahmed A., Ahmed Abdeen, Mostafa M. S. Ahmed, Ali Radwan, Ahmed N. Shmroukh, and Shinichi Ookawara. 2020. “Solar Chimney Combined with Earth To-Air Heat Exchanger for Passive Cooling of Residential Buildings in Hot Areas.” *Solar Energy* 206:145-62. doi:10.1016/j.solener.2020.05.102.

Soflaei, F., Shokouhian, M., & Mofidi Shemirani, S. M. (2015). “Investigation of Iranian traditional courtyard as passive cooling strategy (a field study on BS climate)”. *International Journal of Sustainable Built Environment*. https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2015.12.001

Tabatabaei-Zavareh, S., Valibeyg, N., & Azimi, M. (2018). Comparison of the physical structure of Chaharsafheh houses and traditional Howzkhaneh houses in Zavareh city . Journal of Architecture in Hot and Dry Climate, 6(2), 101–125. (in Persian)

Tahbaz, M. (1995). Principles of desert architecture . Soffeh, 5(2), 78–89. (in Persian)

Tavasoli, M. (2012). Urban development and architecture in Iran’s hot and arid climate . Tehran, Iran: M. Tavasoli. ISBN 978-964-04-8588-0. (in Persian)

Yin, Robert K. 2018. *Case Study Research and Applications: Design and Methods*. Sixth edition. Los Angeles London New Delhi Singapore Washington DC: SAGE.

DOI: https://doi.org/10.22034/44.192.103

[Downloaded from jhre.ir on 2026-10-10]

[DOI: https://doi.org/10.22034/44.192.103]