

Sustainability of Vernacular Housing Architecture in the Cold Climate of East Azerbaijan: A Case Study of Varzeghan Villages

Khazar Farshbaf Roohi¹, Mohammad Jodeiri Abbasi², Asadollah Shafizadeh³, Amin Alizadeh⁴, Solmaz Babazadeh Oskouei⁵

1. Department of Architecture, Aha., C. Islamic Azad University, Ahar, Iran. Email: farshbaf.roohi@iau.ac.ir
2. Department of Architecture, Aha., C. Islamic Azad University, Ahar, Iran. Email: mohammadjodeiriabbasi@gmail.com
3. Department of Architecture, Aha., C. Islamic Azad University, Ahar, Iran. Email: shafizde@iau.ac.ir
4. Department of Architecture, Aha., C. Islamic Azad University, Ahar, Iran. Email: alizadeha@iau.ac.ir
5. Department of Architecture, Osk., C. Islamic Azad University, Oskou, Iran. Email: solmaz@iau.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article history:

Received: June 23, 2026

Revised: August 7, 2026

Accepted: September 21, 2026

Published online:
September 23, 2026

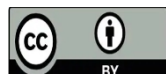
Keywords:

Cold climate Rural housing Sustainability of vernacular architecture Varzeghan township

Abstract

This study examines the sustainability of vernacular housing architecture in the cold climate of East Azerbaijan, focusing on Varzeghan County. The main objective is to assess the sustainability of structural, material, spatial, socio-cultural, and economic aspects in ten selected villages, including Vardin, Kasin, Alvigh, Chaykandi, Dehlin, Alvigh, Kalan, Kheyreddin, Khoynarud, and Venestan, and to provide strategies for improvement. The research employs a descriptive-analytical approach using the PLS model, considering the weighted influence (β) of five key constructs: Caleb–Climate, Materials, Spatial Organization, Culture–Society, and Economy. Results indicate that Vardin and Kasin achieved the highest sustainability scores (4.75 and 4.38 respectively) due to coherent spatial organization, durable materials, and full compliance with climatic and cultural patterns. Villages such as Alvigh, Chaykandi, and Dehlin showed moderate performance due to relative weaknesses in material durability and structural cohesion, while Venestan, Khoynarud, and Kheyreddin ranked lowest (1.75–2.10) due to dispersed layouts and poor adaptation to climatic and cultural patterns. The findings emphasize that strengthening structural and material dimensions, alongside improving spatial organization and supporting socio-cultural elements, is essential for achieving long-term sustainability. Limitations include the lack of precise field data and reliance on relative assessments and theoretical modeling. It is recommended that reconstruction and conservation initiatives focus on material and structural enhancement, spatial organization improvement, community training in local materials, and economic incentives for building maintenance to ensure sustainable vernacular architecture in Varzeghan villages.

How to cite: Farshbaf Roohi, K., Jodeiri Abbasi, M., Shafizadeh, A., Alizadeh, A. & Babazadeh Oskouei, S. (2026). Sustainability of Vernacular Housing Architecture in the Cold Climate of East Azerbaijan: A Case Study of Varzeghan Villages. *Geography and Regional Planning*, 16(3), 280-301. <https://doi.org/10.22034/jgeoq.2026.588352.4481>



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights
DOI: <https://doi.org/10.22034/jgeoq.2026.588352.4481>

Publisher: Qeshm Institute of Higher Education

Introduction

Vernacular housing architecture represents an important expression of the interaction between human communities, local environmental conditions, and cultural traditions. In cold mountainous regions, traditional housing has evolved through generations of experience, incorporating architectural forms, locally available materials, spatial organization, and construction techniques adapted to harsh climatic conditions. The villages of Varzeqan County in East Azerbaijan Province, characterized by severe winters, considerable temperature fluctuations, mountainous terrain, and limited resources, provide a valuable context for examining these adaptive strategies. However, social transformations, the increasing use of nonlocal materials, the decline of traditional construction skills, migration, and the gradual deterioration of rural settlements have weakened the climatic compatibility and physical integrity of many traditional houses. These changes may increase energy consumption and household expenses, reduce thermal comfort, threaten structural durability, and undermine cultural identity and sustainable rural settlement. Therefore, a comprehensive assessment of vernacular housing sustainability is necessary to identify existing strengths and weaknesses and support appropriate conservation and renovation strategies. This study aims to evaluate the sustainability of vernacular housing architecture in the cold climate of Varzeqan, identify villages with more and less favorable performance, and propose strategies for improving sustainability. The assessment considers five interrelated dimensions: physical and climatic adaptation, building materials, spatial organization, cultural and social factors, and economic conditions. The findings are intended to provide an integrated understanding of rural housing sustainability and inform context-sensitive approaches to preserving vernacular architectural heritage while improving contemporary living conditions.

Methodology

This study employed a quantitative, descriptive-analytical approach to assess the sustainability of vernacular housing architecture in the cold climate of Varzeqan County, East Azerbaijan Province, Iran. Ten

villages were selected based on their cold mountainous climate, preservation of traditional housing patterns, and architectural diversity. The statistical population comprised 350 households across the selected villages. Sustainability was evaluated through five principal dimensions: physical-climatic adaptation, building materials, spatial organization, cultural-social characteristics, and economic conditions. Data were analyzed using partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM). The final sustainability scores were calculated by combining the relevant dimension scores with their corresponding beta coefficients, enabling comparisons among villages and identification of more and less sustainable housing environments.

Results and Discussion

The findings reveal differences in the sustainability of vernacular housing across the ten villages of Varzeqan County. Based on the combined scores of five dimensions in the PLS model, Vardin ranked first with a score of 4.75, followed by Kasin with 4.38. These villages demonstrated stronger physical and climatic adaptation, better material quality, coherent spatial organization, and closer alignment with cultural and social patterns. The results also indicate that physical-climatic performance and building materials exerted the greatest influence on overall sustainability, with beta coefficients of 0.45 and 0.38, respectively. Villages including Alaviq, Chaykandi, Dahlin, and Kalan showed intermediate to relatively low performance, reflecting weaknesses in material durability and physical cohesion despite some adherence to climatic principles. Khairaldin, Khoynrud, and Vanestan recorded the lowest sustainability scores, ranging from 1.75 to 2.10. Their weaker performance was associated with dispersed settlement patterns, less durable materials, insufficient compactness, and reduced conformity with climatic and cultural principles. Overall, the findings emphasize that improving the physical condition of houses and the quality of local materials is essential for strengthening sustainable vernacular housing in this cold region.

Conclusion

This study evaluated the sustainability of vernacular housing architecture in the cold

climate of Varzeqan County, East Azerbaijan Province, Iran, focusing on ten rural settlements. The findings demonstrate that housing sustainability depends on the interaction of physical characteristics, climatic adaptation, building materials, spatial organization, cultural and social factors, and economic conditions. Among these dimensions, physical-climatic performance and building materials exerted the strongest influence on overall sustainability, with beta coefficients of 0.45 and 0.38, respectively. These results highlight the importance of structural coherence, durable materials, and appropriate climatic responses in maintaining the long-term performance of traditional rural housing. Vardin and Kasin achieved the highest sustainability scores, 4.75 and 4.38, respectively, reflecting their stronger integration of architectural form, material quality, spatial organization, and cultural characteristics. In contrast, Khairaldin, Khoynrud, and Vanestan recorded the lowest scores, ranging from 1.75 to 2.10. Their weaker performance was associated with dispersed settlement patterns, less durable materials, insufficient building compactness, and inadequate adherence to climatic and cultural principles. The remaining villages demonstrated intermediate or relatively low sustainability, indicating opportunities for targeted improvement. These findings suggest

that preserving vernacular architecture requires more than maintaining traditional appearances; it also demands the restoration of functional and environmental qualities that enable houses to respond effectively to local conditions. Accordingly, renovation programs should prioritize improving building envelopes, strengthening structural integrity, using durable local materials, and enhancing spatial organization to reduce heat loss and improve indoor comfort. Training residents in traditional construction techniques and providing economic incentives could encourage the continued use of locally appropriate materials and skills. Furthermore, conservation policies should recognize the relationship between architectural heritage, community identity, and rural livelihoods. The study also acknowledges limitations associated with restricted field data and the relative nature of some assessments. Future research should incorporate more extensive field measurements, seasonal thermal monitoring, and comparative analyses of additional cold-climate settlements. Overall, an integrated approach combining environmental performance, material durability, cultural continuity, and economic feasibility can support the long-term sustainability of vernacular housing and guide context-sensitive rural development in Varzeqan.

Ethical considerations

Following the principles of research ethics

The authors have observed the principles of ethics in conducting and publishing this scientific research, and this is confirmed by all of them.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

First author: Preparation of samples, conducting experiments and collecting data, performing calculations, statistical analysis of data, analysis and interpretation of information and results, preparing a draft of the article

Second author: Preparation of samples, conducting experiments and collecting data, performing calculations, statistical analysis of data, analysis and interpretation of information and results, preparing a draft of the article

Third author: Preparation of samples, conducting experiments and collecting data, performing calculations, statistical analysis of data, analysis and interpretation of information and results, preparing a draft of the article

Fourth author: Preparation of samples, conducting experiments and collecting data, performing calculations, statistical analysis of data, analysis and interpretation of information and results, preparing a draft of the article

Fifth author: Preparation of samples, conducting experiments and collecting data, performing calculations, statistical analysis of data, analysis and interpretation of information and results, preparing a draft of the article

Ethical Considerations

The authors affirm that they have adhered to ethical research practices, avoiding plagiarism, misconduct, data fabrication or falsification, and have provided their consent for this article's publication.

Funding

This research was conducted without any financial support from Payam Noor University.

Conflict of Interest

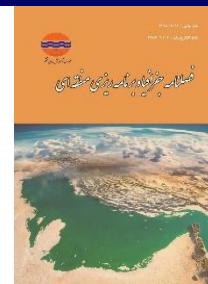
The authors declare no conflict of interest



انجمن ژئوپلیتیک ایران

فصلنامه جغرافیا و برنامه ریزی منطقه‌ای

شاپا چاپی: ۶۴۶۲-۲۲۲۸ شاپا الکترونیکی: ۲۱۱۲-۲۷۸۳
Journal Homepage: <https://www.jgeoqeshm.ir/>



پایداری معماری مسکن بومی در اقلیم سرد آذربایجان شرقی: مطالعه موردی روستاهای ورزقان خزر فرشباغ روحی^۱، محمد جدیری عباسی^۲، اسدالله شفیع زاده^۳، امین علیزاده^۴، سولماز بابازاده اسکویی^۵

۱. دانشجوی دکترای معماری، واحد اهر. دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران. رایانامه: farshbaf.roohei@iau.ac.ir
۲. نویسنده مسئول. استادیار گروه معماری، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران. رایانامه: mohammadjodeiriabbasi@gmail.com
۳. دانشیار گروه معماری، واحد اهر. دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران. رایانامه: shafizde@iau.ac.ir
۴. استادیار گروه معماری، واحد اهر. دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران. رایانامه: alizadeha@iau.ac.ir
۵. استادیار گروه معماری، واحد اسکو. دانشگاه آزاد اسلامی، اسکو، ایران. رایانامه: solmaz@iau.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۰۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۵/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۳۰ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۰۱ کلیدواژه‌ها: اقلیم سرد پایداری معماری بومی شهرستان ورزقان مسکن روستایی	معماری مسکن بومی در اقلیم سرد شهرستان ورزقان با چالش‌هایی نظیر کاهش انسجام کالبدی، فرسایش مصالح و افت تطابق با اصول اقلیمی روبه‌رو است و سنجش پایداری در ابعاد کالبد-اقلیم، مصالح، سازمان فضایی، فرهنگ-اجتماع و اقتصاد، پیش‌شرط برنامه‌ریزی و حفاظت محسوب می‌شود. هدف پژوهش، ارزیابی میزان پایداری معماری بومی و شناسایی روستاهای دارای عملکرد مطلوب، نامطلوب و ارائه راهکار ارتقای پایداری است. این تحقیق به شیوه توصیفی-تحلیلی با مدل‌سازی معادلات ساختاری PLS اجرا شد. ده روستا شامل وردین، کاسین، الویق، چای‌کندی، دهلین، علویق، کلان، خیرالدین، خوینرود و ونستان به‌عنوان نمونه مطالعه انتخاب شدند. ارزیابی روستاها بر اساس پنج سازه اصلی مدل PLS انجام گرفت. امتیاز نهایی با ترکیب ضرایب β محاسبه شد. یافته‌ها نشان داد روستاهای وردین و کاسین با امتیازهای ۴/۷۵ و ۴/۳۸ بالاترین پایداری را دارند و از انسجام کالبدی مناسب، کیفیت مطلوب مصالح و انطباق کامل با اصول اقلیمی و فرهنگی برخوردارند. روستاهای الویق، چای‌کندی و دهلین عملکرد متوسطی داشته و ضعف در دوام مصالح و انسجام کالبدی موجب کاهش پایداری آنها شده است. در مقابل، ونستان، خوینرود و خیرالدین پایین‌ترین امتیاز پایداری را با مقادیر ۱/۷۵ تا ۲/۱۰ کسب کردند که علت آن پراکندگی بافت، مصالح کم‌دوام و رعایت‌نشدن الگوهای اقلیمی و فرهنگی است. محدودیت‌های مطالعه شامل کمبود داده میدانی و اتکا به ارزیابی نسبی است. در نتیجه پیشنهاد می‌شود برنامه‌های بازسازی و حفاظت با تمرکز بر تقویت کالبد و مصالح، بهبود سازمان فضایی، آموزش ساکنان در استفاده از مصالح محلی و ارائه مشوق‌های اقتصادی اجرا شود تا پایداری بلندمدت معماری بومی در ورزقان تضمین گردد.

استناد: فرشباغ روحی، خزر، جدیری عباسی، محمد، شفیع زاده، اسدالله، علیزاده، امین و بابازاده اسکویی، سولماز. (۱۴۰۵). پایداری معماری مسکن بومی در اقلیم سرد آذربایجان شرقی: مطالعه موردی روستاهای ورزقان. *جغرافیا و برنامه ریزی منطقه‌ای*، ۱۶(۳)، ۳۰۱-۲۸۰. DOI:10.22034/jgeoq.2026.588352.4481



© نویسندگان.

ناشر: موسسه آموزش عالی قشم

مقدمه

پایداری معماری مسکن در اقلیم‌های سرد یکی از اساسی‌ترین نیازهای زندگی روستایی است، زیرا شرایط محیطی سخت، دوره‌های طولانی سرما و محدودیت منابع انرژی، کیفیت سکونت را به‌طور مستقیم به کارایی کالبد و مصالح وابسته می‌کند (Pourjavadasl & Beyti, 2023). در چنین شرایطی، هر واحد مسکونی باید توان ایجاد آسایش حرارتی، مقاومت سازه‌ای، کاهش اتلاف انرژی، هماهنگی با محیط طبیعی و پایداری زیستی را داشته باشد؛ ویژگی‌هایی که در اسناد علمی معتبر نیز به‌عنوان بنیان پایداری مسکن در اقلیم سرد شناخته شده‌اند (Saylam, 2024). ضرورت توجه به این ویژگی‌ها زمانی پررنگ‌تر می‌شود که بدانیم رفتار حرارتی ساختمان، نوع مصالح و فرم کالبد نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان مصرف انرژی و امنیت حرارتی خانوار دارند، موضوعی که در مطالعات مرتبط با طراحی اقلیمی نیز به‌روشنی مورد اشاره قرار گرفته است (Nakhace Sharif, 2022). به همین دلیل، ارزیابی پایداری معماری مسکن در اقلیم سرد نه یک اقدام نظری، بلکه نیازی عملی برای حفظ زیست‌پذیری و کاهش فشارهای اقتصادی است (Mottaghi & Valizadeh, 2024). شهرستان ورزقان در آذربایجان شرقی نمونه‌ای بارز از این شرایط اقلیمی است. زمستان‌های بسیار سرد، نوسانات شدید دما، شیب‌های کوهستانی و محدودیت منابع، سکونت در این منطقه را وابسته به معماری سازگار با اقلیم کرده است. با وجود این، تغییرات اجتماعی، ورود مصالح غیربومی، کاهش مهارت‌های سنتی، مهاجرت و فرسایش تدریجی بافت مسکونی باعث شده است بسیاری از واحدهای موجود عملکرد کافی برای مقابله با شرایط سخت نداشته باشند. پیامد این وضعیت، افزایش اتلاف انرژی، کاهش آسایش حرارتی، افت دوام سازه و تضعیف سکونت پایدار است. در برخی روستاهای ورزقان حتی بخشی از جمعیت به‌دلیل ناکارآمدی سکونتگاه‌ها کاهش یافته و واحدهای مسکونی بومی در معرض تخریب یا رهاشدگی قرار گرفته‌اند. این دگرگونی‌ها نشان می‌دهد که مسکن موجود در منطقه نه تنها نیازمند شناخت دقیق، بلکه نیازمند یک ارزیابی علمی برای تعیین میزان پایداری واقعی خود است؛ ارزیابی‌ای که بتواند درکی روشن از کارکرد کالبدی، انرژی، محیطی و زیستی این واحدها ارائه دهد و زمینه برنامه‌ریزی درست را فراهم کند. آنچه مسئله اصلی این پژوهش را شکل می‌دهد، ناتوانی در تشخیص وضعیت واقعی پایداری مسکن موجود در ورزقان است. تاکنون مشخص نشده است این واحدهای مسکونی از نظر پایداری کالبدی، رفتار حرارتی، نوع مصالح، سازگاری با اقلیم، میزان اتلاف انرژی، قابلیت زیست‌پذیری، و تداوم سکونت در چه سطحی قرار دارند و کدام بخش‌ها بیشترین ضعف یا ظرفیت را دارند. نبود این شناخت موجب می‌شود تصمیم‌گیری‌ها درباره نوسازی یا بهسازی به‌صورت تجربی یا سلیقه‌ای انجام شود و نه بر پایه داده‌های علمی قابل اتکا. همین خلأ می‌تواند روند نوسازی روستاها را به سمت الگوهای نامتناسب با اقلیم سوق دهد و به تشدید مشکلاتی منجر شود که در ادبیات توسعه روستایی درباره آذربایجان شرقی نیز به‌عنوان یک نگرانی عملی مطرح شده است. بنابراین روشن است که بدون ارزیابی دقیق، هیچ مداخله‌ای در حوزه مسکن نمی‌تواند مسیر پایداری را تضمین کند. اهمیت این موضوع در ورزقان چندبعدی است: نخست، پایداری ناکافی مسکن به‌طور مستقیم بر مصرف انرژی خانوار و هزینه‌های زندگی اثر می‌گذارد؛ دوم، کیفیت کالبدی پایین در اقلیم سرد می‌تواند به آسیب‌پذیری سازه‌ای و خطرات زیستی منجر شود؛ سوم، کاهش زیست‌پذیری به مهاجرت و افت جمعیت روستایی می‌انجامد؛ و چهارم، تضعیف مسکن بومی به از بین رفتن هویت فضایی و تداوم فرهنگی روستاها ختم می‌شود. بنابراین ارزیابی پایداری معماری مسکن موجود در ورزقان اقدامی ضروری برای حفظ سکونت، ارتقای کیفیت زندگی و هدایت صحیح برنامه‌های نوسازی است. بر پایه این ضرورت‌ها، سؤال اصلی پژوهش به‌صورت زیر تعریف می‌شود: مسکن موجود در روستاهای شهرستان ورزقان از نظر پایداری کالبدی، انرژی، حرارتی، محیطی و زیست‌پذیری در چه وضعیتی قرار دارد و کدام عوامل موجب تقویت یا تضعیف این پایداری می‌شوند؟

پیشینه و مبانی نظری پژوهش

معماری مسکن بومی در اقلیم سرد، نظامی است که بر پایه تعامل چندلایه میان کالبد، اقلیم، ساختار اجتماعی و معیشت (Faraji Nasiri et al, 2024) روستایی شکل گرفته است. در چنین شرایطی، بنا نه تنها یک فضای زیستی، بلکه سازوکاری برای مدیریت گرما، انرژی، اقتصاد خانوار و تداوم فرهنگی به شمار می‌رود. بنابراین، تحلیل پایداری معماری بومی در اقلیم سرد نیازمند توجه هم‌زمان به ابعاد کالبدی، زیست‌محیطی، اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی است؛ ابعادی که در ادامه به صورت

یک دستگاه نظری منسجم تبیین می‌شود. در سطح نخست، منطق اقلیمی-حرارتی در معماری بومی مطرح است. در اقلیم‌های سرد، فرم ساختمان، نحوه استقرار و جهت‌گیری، نقش تعیین‌کننده در کاهش تبادل حرارتی دارند. جهت‌گیری مناسب نسبت به تابش زمستانی، فشردگی حجم، کاهش بازشوهای روبه‌باد، و استفاده از فضاهای میانی، از مهم‌ترین عوامل افزایش پایداری حرارتی به شمار می‌آید (Sultana et al, 2023). چنین ویژگی‌هایی اساس شکل‌گیری شاخص‌هایی مانند «سازگاری کالبدی با اقلیم»، «پیکربندی حجمی مناسب اقلیم سرد» و «کنترل پوسته حرارتی بنا» را تشکیل می‌دهند (Mo et al, 2024).

در سطح دوم، مصالح و فناوری بومی ساخت قرار دارد (Besen et al, 2025). معماری بومی در مناطق سردسیر ایران و جهان متکی بر مصالحی با ظرفیت حرارتی بالا مانند سنگ، خشت متراکم و چوب است؛ مصالحی که توانایی ذخیره و آزادسازی تدریجی حرارت را دارا هستند و در کنار ضخامت دیوار و شیب بام، پایداری انرژی ساختمان را تضمین می‌کنند (Jodeiri Abbasi et al, 2021). در این سطح، زیرشاخص‌هایی مانند «ظرفیت حرارتی مصالح»، «کیفیت عایق‌بندی طبیعی»، «پایداری سازه‌ای سنتی» و «دوام مصالح محلی» قابل تعریف‌اند (Zarin et al, 20).

در سطح سوم، سازمان فضایی-عملکردی خانه بومی قرار دارد. در معماری روستایی مناطق سرد، فضاهای گرم‌تر و خصوصی‌تر در قلب خانه قرار گرفته و فضاهای سردتر در پیرامون آن نقش محافظ حرارتی ایفا می‌کنند. وجود فضاهای نیمه‌باز کنترل‌شده، فضاهای تولیدی مرتبط با معیشت، و توالی تدریجی حریم‌ها، بیانگر پیوند پایدار میان ساختار فضایی خانه و سبک زندگی روستایی است. این سطح مبنای شکل‌گیری شاخص‌هایی مانند «تدرج حرارتی-فضایی»، «یکپارچگی سکونت و تولید»، و «نقش فضاهای واسط در پایداری حرارتی» است (Golriz and Mousavi, 2023).

در سطح چهارم، بعد اجتماعی-فرهنگی پایداری مطرح می‌شود (Miao et al, 2024). در روستاهای سردسیر، خانه نه فقط یک فضای مسکونی، بلکه سازوکاری برای حفظ روابط خویشاوندی، تعامل اجتماعی و تداوم فرهنگی است. حضور ایوان، فضاهای جمعی کوچک، ارتباط بصری با محیط، و امکان توسعه تدریجی، از جمله ویژگی‌هایی‌اند که پایداری اجتماعی و فرهنگی مسکن بومی را تضمین می‌کنند (Monika et al, 2023). چنین مؤلفه‌هایی در قالب زیرشاخص‌هایی مانند «پایداری فرهنگی»، «انطباق فضایی با سبک زندگی»، و «توان ذخیره و توسعه تدریجی مسکن» قابل سنجش هستند (Xu et al, 2024).

در سطح پنجم، بعد اقتصادی-قابلیت توسعه‌پذیری مسکن بومی قرار دارد. مسکن بومی در اقلیم سرد اغلب با امکان گسترش تدریجی، هزینه ساخت پایین، وابستگی حداقلی به مصالح وارداتی و قابلیت بهره‌برداری چندمنظوره تعریف می‌شود. چنین ویژگی‌هایی، مسکن روستایی را به یک سازه پایدار از منظر اقتصادی تبدیل می‌کند (Silvayeh & Asefi, 2019). بر همین اساس، شاخص‌هایی مانند «صرفه‌جویی در هزینه انرژی»، «هزینه ساخت سازگار با اقتصاد محلی»، و «چندعملکردی بودن فضا» قابل استخراج است.

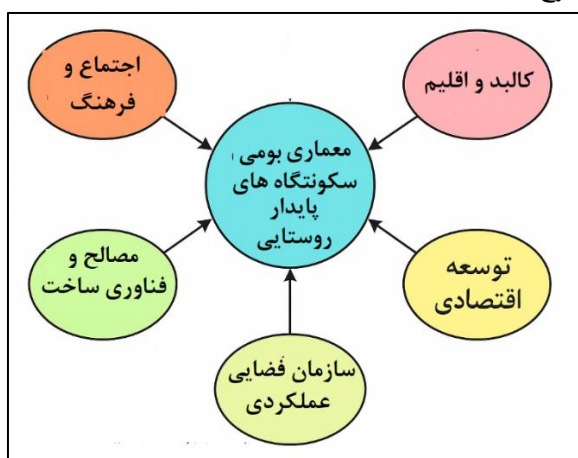
در مجموع، مبنای نظری این پژوهش بر این فرض استوار است که پایداری معماری بومی در اقلیم سرد، نتیجه هم‌پوشانی چهار بُعد بنیادین است: سازگاری کالبدی-اقلیمی، مصالح و فناوری ساخت، سازمان فضایی-معیشتی، و پایداری اجتماعی-فرهنگی. این دستگاه نظری ظرفیت آن را دارد که در قالب مدل کمی، به سازه‌ها، شاخص‌ها و زیرشاخص‌های قابل اندازه‌گیری تبدیل شود و مبنای تحلیل پایداری مسکن روستایی قرار گیرد.

۱. ابعاد، شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر بر معماری اقلیم‌پایدار

بُعد	شاخص	زیرشاخص	منبع
کالبد و اقلیم	جهت‌گیری و فرم	جهت‌گیری بنا نسبت به خورشید	Rabie et al., 2021
		فشردگی حجم	Nguyen et al, 2019
	پوسته حرارتی	نسبت بازشو به دیوار	Monika & Sundaram, 2023
		عمق و ضخامت پوسته	Mo et al., 2024

Zong, 2024	استفاده از مصالح محلی (سنگ، خشت، چوب)	مصالح بومی	مصالح و فناوری ساخت
Cajamarca Dacto, 2025	ظرفیت حرارتی بالا		
Davardoust & Karahan, 2019	عایق کاری طبیعی	فناوری ساخت بومی	
Sultana et al., 2023	روش های اجرای بومی		سازمان فضایی- عملکردی
Jahanyar & Mirshojaeian, 2018	توالی حریم ها	سازمان فضایی	
Hosseini et al, 2012	قرارگیری فضاهای گرم در مرکز		
Zarin et al, 2022a	وجود ایوان و دالان	فضاهای واسط	
Golriz and Mousavi, 2023	ارتباط سکونت با فعالیت تولیدی		هویت و فرهنگ اجتماع و فرهنگ
Rezaei et al, 2014	حفظ الگوهای فرهنگی	هویت و فرهنگ	
Silvayeh and Asefi, 2019	انطباق با سبک زندگی بومی		
Zarin et al, 2022b	نقش ایوان و فضاهای جمعی	تعامل اجتماعی	
Jodeiri Abbasi et al, 2021	فضاهای تعامل خانوادگی		اقتصاد و توسعه
Xu et al., 2024	کاهش وابستگی به انرژی	بهره‌وری انرژی	
Miao et al., 2024	صرفه جویی حرارتی		
Feridonzadeh et al, 2019	قابلیت توسعه تدریجی	توسعه پذیری	
Jodeiri Abbasi et al, 2021	چندعملکردی بودن فضاها		

جدول ۱ مجموعه ابعاد اصلی، شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مرتبط با نقش اقلیم، مصالح، سازمان فضایی، عوامل اجتماعی- فرهنگی و ملاحظات اقتصادی را در تحلیل و برنامه‌ریزی معماری اقلیم‌پایدار در مناطق روستایی را نشان می‌دهد. منابع هر زیرشاخص نیز برای استناد پژوهشی درج شده است.



شکل ۱. مدل مفهومی مبانی نظری پژوهش در پایداری معماری سکونتگاه‌های روستایی

این شکل مدل مفهومی مبانی نظری پژوهش را نشان می‌دهد که در آن پنج بُعد اصلی شامل سازگاری کالبد و اقلیم، مصالح و فناوری ساخت، سازمان فضایی-عملکردی، اجتماع و فرهنگ، و توسعه اقتصادی به‌عنوان عوامل اثرگذار بر پایداری معماری سکونتگاه‌های روستایی در نظر گرفته شده‌اند. در این مدل، تمامی ابعاد به‌صورت مستقیم به متغیر نهایی یعنی «سکونتگاه‌های روستایی پایدار» متصل شده‌اند و ساختار نظری پژوهش را برای تبیین رابطه میان مؤلفه‌های معماری بومی و پایداری سکونتگاه‌های روستایی فراهم می‌کنند.

پژوهش‌های بین‌المللی و ایرانی همسو تأکید دارند که معماری بومی در اقلیم‌های سرد با سازوکارهای دقیق سازگاری اقلیمی، انتخاب هوشمند مصالح و طراحی غیرفعال شکل گرفته و می‌تواند الگوی اصلی معماری پایدار در روستاها باشد. در میان این مطالعات، تحقیق مطالعه Cajamarca Dacto (2025) به‌طور مشخص بر «مسکن روستایی پایدار در اقلیم سرد» متمرکز است و پیشنهاد می‌دهد که ترکیب مصالح بومی همچون سنگ، آجر گل‌پخته و چوب با فناوری‌های غیرفعال مانند عایق طبیعی و بهره‌گیری از انرژی خورشیدی، مناسب‌ترین راهکار برای کاهش مصرف انرژی و حفظ آسایش حرارتی در روستاهای سردسیر است. Zong et al (2025) نیز در مطالعه توسعه پایدار معماری بومی با یک مرور نظام‌مند نتیجه گرفتند که دانش سنتی و ساخت‌وساز محلی حاصل تطابق تدریجی با محیط بوده و در اقلیم‌های سرد، این دانش در قالب فرم‌های فشرده، بازشوهای کم، و مصالح سنگی یا خشتی متراکم نمود یافته است.

Rabie et al (2021) بر سکونتگاه‌های روستایی در ماسوله و اورامان تخت نشان می‌دهد که جهت‌گیری بنا نسبت به خورشید، نحوه جای‌گذاری فضاها و کنترل باد سرد، مهم‌ترین بنیان‌های پایداری در اقلیم‌های سرد و کوهستانی هستند. این مطالعه تأکید می‌کند که فرم و سازمان فضایی مسکن روستایی نتیجه شناخت محیط طبیعی و تلاش برای کاهش اتلاف انرژی است. در پژوهش Davardoust and Karahan (2019) درباره معماری بومی برای توسعه پایدار روستاییدر منطقه کلیبر به این نتیجه می‌رسند اقلیم‌های سرد در ایران دارای چند اصل مشترک است: استفاده از مصالح بومی مقاوم در برابر سرما، جهت‌گیری صحیح نسبت به تابش، و برنامه‌ریزی فضایی برای حفظ گرمای داخلی. این الگوها می‌توانند در طرح‌های معاصر مسکن روستایی پایدار مورد استفاده قرار گیرند. Nguyen et al (2019) نیز در بررسی ویژگی‌های پایدار معماری بومی در اقلیم‌های سخت، نشان داد که معماری بومی یک سامانه کامل مدیریت اقلیم است؛ از فرم فشرده و دیوارهای ضخیم گرفته تا مصالح بومی با ظرفیت حرارتی بالا برای تأمین آسایش حرارتی بدون اتکا به انرژی فسیلی. او تأکید می‌کند که معماری بومی، برخلاف معماری امروز که اغلب بر فناوری تکیه دارد، بر منطق سازگاری طبیعی استوار است.

در ایران نیز پژوهش Zarin et al, 2022a نیز اصول معماری پایدار را در بناهای بومی اقلیم سرد بررسی کرده و نشان داد که معماری بومی مبتنی بر سه اصل است: مدیریت انرژی، هماهنگی با اقلیم و حفظ ارزش‌های کالبدی-فرهنگی. این تحقیق بیان می‌کند که حتی در اقلیم‌های سرد، عناصر معماری مانند ایوان، حیاط کوچک و بازشوهای محدود نقش اساسی در تنظیم دما دارند. Jahanyar & Mirshojaeian, 2018 درباره معماری بومی روستای کنگ در اقلیم سرد و خشک نشان داد که فرم فشرده خانه‌ها، ضخامت دیوارها، جهت‌گیری آنها و استفاده از مصالح بومی همگی به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که در زمستان گرما را حفظ و در تابستان از افزایش بیش‌ازحد دما جلوگیری کنند. این مطالعه تأکید می‌کند که معماری بومی یک راهکار انرژی‌محور است. Feridonzadeh et al, 2019

بررسی هنجارهای شکل‌گیری مسکن روستایی در استان اردبیل بیان کردند که اقتصاد معیشتی، شرایط اقلیمی و الگوی زیست‌محیطی مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده فرم مسکن در اقلیم سرد هستند. یافته‌ها نشان می‌دهد که سازوکارهای بومی در این مناطق بر هماهنگی با زمین، فرم‌های فشرده، و مصالح سنگی و خشتی استوار بوده است. Rezaei et al, 2014 با بررسی الگوهای پایدار معماری بومی بیان می‌کند که در اقلیم سرد ایران، استفاده از مصالح محلی همچون سنگ، چوب و خشت متراکم، جهت‌گیری جنوبی، فشرده‌گی کالبدی، و پلان‌های کوچک و منسجم، مهم‌ترین عوامل پایداری و کاهش مصرف انرژی در خانه‌های روستایی هستند. این پژوهش نتیجه می‌گیرد که معماری بومی بهترین الگوی قابل پیاده‌سازی برای طراحی مسکن روستایی پایدار در شرایط اقلیمی سرد است.

در نهایت، مطالعه Hosseini et al, 2012 درباره سکونتگاه‌های دره طالقان نشان می‌دهد که مسکن بومی در ارتفاعات سردسیر ایران با رعایت جهت‌گیری مناسب، تراکم فضای داخلی و استفاده از پوشش گیاهی اطراف برای کاهش اثر بادهای سرد شکل گرفته است. این پژوهش معماری بومی منطقه را نمونه‌ای کامل از سازگاری با اقلیم معرفی می‌کند.

پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که معماری بومی در اقلیم‌های سرد، بر پایه سازوکارهای غیرفعال همچون فرم فشرده، جهت‌گیری مناسب نسبت به خورشید، کاهش بازشوها و استفاده از مصالح محلی با ظرفیت حرارتی بالا شکل گرفته و این الگوها در تحقیقات داخلی و بین‌المللی به‌عنوان مؤثرترین راهکارهای کاهش اتلاف انرژی و ارتقای آسایش حرارتی در سکونتگاه‌های روستایی معرفی شده‌اند. مطالعات همچنین تأکید دارند که این معماری محصول تطابق تدریجی با اقلیم و پیوند تنگاتنگ با شیوه‌های معیشتی و فرهنگی جوامع روستایی است. نوآوری پژوهش حاضر در آن است که با تلفیق یافته‌های میدانی، تحلیل کالبدی-اقلیمی و مرور نظام‌مند پیشینه، الگویی جامع برای تبیین پایداری معماری مسکن بومی در اقلیم سرد ارائه می‌دهد؛ الگویی که فراتر از رویکردهای صرفاً کالبدی، ارتباط میان اقلیم، مصالح، الگوهای فضایی و ساختارهای فرهنگی-معیشتی را به‌صورت یکپارچه تبیین کرده و قابلیت به‌کارگیری در طراحی معاصر مسکن روستایی را داراست.

روش پژوهش

پژوهش حاضر با ماهیت توصیف-تحلیلی و رویکرد کمی انجام شده و با هدف سنجش پایداری معماری مسکن بومی در اقلیم سرد روستاهای شهرستان ورزقان طراحی گردیده است. انتخاب روستاهای الویق، چای‌کندی، دهلین، خیرالدین، خوینرود، کلان، کاسین، علویق، وردین و ونستان بر پایه سه معیار اصلی صورت گرفت: نخست، قرارگیری در اقلیم سرد و کوهستانی و دارا بودن نمونه‌های شاخص مسکن بومی سازگار با شرایط سخت محیطی؛ دوم، استمرار الگوهای سنتی در سازمان فضایی، نوع مصالح و فناوری ساخت؛ و سوم، تنوع کالبدی و فضایی میان روستاها که امکان تعمیم‌پذیری یافته‌ها را افزایش می‌دهد. این روستاها به دلیل فاصله از شهر و حفظ بافت بومی، شرایط مناسبی برای مطالعه الگوهای واقعی معماری بومی سردسیر فراهم می‌کنند.

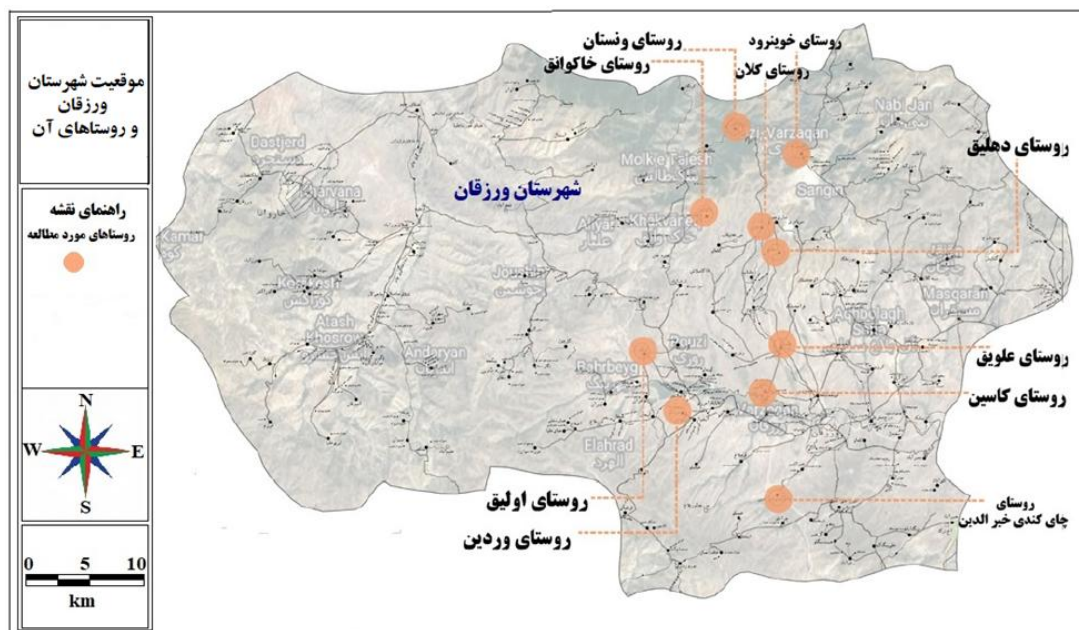
جامعه آماری شامل تمامی ۳۵۰ خانوار ساکن در ده روستای منتخب است. با توجه به اندازه جامعه، ملاحظات میدانی و نیاز پژوهش به داده‌های قابل تحلیل در مدل‌سازی PLS، حجم نمونه با روش هدفمند و با رعایت کف قابل قبول برای مدل‌های چندبعدی برابر ۱۰۰ خانوار تعیین شد. برای رعایت نمایندگی آماری، نمونه‌گیری به شیوه طبقه‌ای-نسبتی انجام شد و تعداد پرسشنامه‌های هر روستا بر اساس سهم جمعیتی آن مشخص گردید.

ابزار گردآوری داده‌ها پرسشنامه محقق‌ساخته است که بر اساس مبانی نظری، مطالعات تجربی بین‌المللی و مشاهدات میدانی تدوین شد. برای طراحی ساختار پرسشنامه از روش «کدگذاری لایه‌ها» استفاده شد؛ به این معنا که ابتدا ابعاد اصلی پایداری معماری بومی (کالبد و اقلیم، مصالح و فناوری ساخت، سازمان فضایی-عملکردی، اجتماع و فرهنگ، و اقتصاد و توسعه) تعیین و سپس هر بعد به شاخص و زیرشاخص‌های کمی تقسیم شد. این فرایند صرفاً روشی برای ساخت‌دهی ابزار بوده و هیچ ارتباطی با کدگذاری تحلیل محتوای کیفی ندارد.

روایی محتوایی پرسشنامه با نظر خبرگان معماری بومی و برنامه‌ریزی روستایی مورد تأیید قرار گرفت و پایایی ابزار با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ در نرم‌افزار SPSS سنجیده شد. داده‌های خام پس از ورود به نرم‌افزار Excel پالایش و برای تحلیل‌های آماری آماده شدند. برای تحلیل روابط میان ابعاد پایداری، از روش مدل‌سازی معادلات ساختاری با رویکرد حداقل مربعات جزئی در نرم‌افزار SmartPLS استفاده شد. دلیل انتخاب این روش، مناسب بودن آن برای نمونه‌های متوسط، داده‌های غیرنرمال، مدل‌های چندلایه (بعد-شاخص-زیرشاخص) و سازه‌های چندگویه‌ای است؛ همچنین قابلیت برآورد هم‌زمان مدل اندازه‌گیری و مدل ساختاری و محاسبه شاخص‌هایی نظیر بارهای عاملی، پایایی ترکیبی، AVE، ضرایب مسیر، t -value و روایی واگرا، آن را به گزینه‌ای مناسب در تحلیل معماری بومی تبدیل می‌کند. یافته‌ها در دو سطح مدل اندازه‌گیری و مدل ساختاری تحلیل شدند تا وضعیت پایداری معماری بومی در اقلیم سرد روستاهای شهرستان ورزقان به‌صورت دقیق و مبتنی بر داده‌های تجربی تبیین شود.

محدوده مورد مطالعه

شهرستان ورزقان به‌عنوان یکی از شهرستان‌های شمالی استان آذربایجان شرقی، شامل دو بخش مرکزی و خاروانا و دربرگیرنده هفت دهستان است. در این پژوهش، روستاهای الویق، چای‌کندی، دهلین، خیرالدین، خوینرود، کلان، کاسین، علویق، وردین و ونستان به‌منظور بررسی و تحلیل‌های موردنظر انتخاب شده‌اند.



شکل ۲. موقعیت روستاهای مورد مطالعه در شهرستان ورزقان آذربایجان شرقی (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

بحث و ارائه یافته‌ها

آمار توصیفی خانوارهای پاسخگو

جدول ۲. ویژگی‌های جمعیت‌شناختی پاسخگویان

ویژگی	گروه	تعداد	درصد
جنسیت سرپرست خانوار	مرد	۷۲	۷۲
	زن	۲۸	۲۸
سن	کمتر از ۳۰ سال	۱۲	۱۲
	۳۰-۴۵ سال	۴۳	۴۳
	۴۵-۶۰ سال	۳۱	۳۱
	بالای ۶۰ سال	۱۴	۱۴
تحصیلات	بی‌سواد	۲۱	۲۱
	ابتدایی	۳۴	۳۴
	متوسطه	۲۵	۲۵
	دیپلم	۱۳	۱۳
	دانشگاهی	۷	۷
اشتغال	کشاورزی	۴۵	۴۵

۲۹	۲۹	دامداری	
۱۴	۱۴	کارگری	
۹	۹	آزاد	
۳	۳	سایر	
۱۸	۱۸	۱-۳ نفر	اندازه خانوار
۵۶	۵۶	۴-۵ نفر	
۲۶	۲۶	۶ نفر و بیشتر	

آمار توصیفی پاسخگویان در جدول ۲ نشان می‌دهد که ۷۲ درصد سرپرستان خانوار مرد و ۲۸ درصد زن هستند، که نشان‌دهنده نقش غالب مردان در تصمیم‌گیری‌های خانوارهای روستایی است. بیشترین گروه سنی در بازه ۳۰-۴۵ سال (۴۳ درصد) و ۴۵-۶۰ سال (۳۱ درصد) قرار دارند و به این ترتیب جمعیت پاسخگو، اکثراً فعال و آگاه به شرایط مسکن و محیط زندگی است. از نظر تحصیلات، ۵۵ درصد پاسخگویان دارای تحصیلات ابتدایی یا بی‌سواد بوده و ۴۵ درصد دارای تحصیلات متوسطه و بالاتر هستند؛ این ترکیب با ساختار آموزشی روستاهای کوهستانی همخوانی دارد. اشتغال غالب در کشاورزی و دامداری (۷۴ درصد) است و اندازه خانوار عمدتاً ۴-۵ نفره (۵۶ درصد)، که منعکس‌کننده الگوی سنتی خانوارهای روستایی و اعتبار داده‌های جمع‌آوری شده برای تحلیل‌های معماری بومی است.

آمار توصیفی ابعاد پایداری معماری بومی در روستاهای شهرستان ورزقان

مقیاس ۱ تا ۵ - میانگین کلی هر روستا می‌باشد که در جدول ۳ بصورت دقیق آورده شده است.

جدول ۳. آمار توصیفی ابعاد پایداری معماری بومی در روستاهای شهرستان ورزقان

روستا	کالبد و اقلیم	مصلح و فناوری	سازمان فضایی - عملکردی	اجتماع و فرهنگ	اقتصاد و توسعه	میانگین کل	رتبه کیفی
وردین	۴٫۲	۴٫۰	۴٫۳	۴٫۴	۳٫۸	۴٫۱۴	بسیار خوب
کاسین	۴٫۱	۳٫۹	۴٫۲	۴٫۳	۳٫۷	۴٫۰۴	بسیار خوب
الویق	۳٫۶	۳٫۵	۳٫۷	۳٫۹	۳٫۳	۳٫۶۰	متوسط تا پایین
چای‌کندی	۳٫۵	۳٫۴	۳٫۶	۳٫۸	۳٫۲	۳٫۵۰	متوسط تا پایین
دهلین	۳٫۴	۳٫۳	۳٫۵	۳٫۷	۳٫۱	۳٫۴۰	متوسط تا پایین
کلان	۳٫۳	۳٫۲	۳٫۵	۳٫۶	۳٫۰	۳٫۳۲	متوسط تا پایین
علویق	۳٫۴	۳٫۳	۳٫۴	۳٫۵	۳٫۰	۳٫۳۲	متوسط تا پایین
خیرالدین	۳٫۰	۲٫۹	۳٫۱	۳٫۳	۲٫۷	۳٫۰۰	ضعیف

خوینرود	۲۰۹	۲۰۸	۳۰	۳۰۲	۲۰۶	۲۰۹۰	ضعیف
ونستان	۲۰۸	۲۰۷	۲۰۹	۳۰۱	۲۰۶	۲۰۸۲	ضعیف

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که روستاهای وردین و کاسین با میانگین کل بیش از ۴، بهترین وضعیت پایداری معماری بومی را دارند. این روستاها در شاخص‌های کالبد و اقلیم، سازمان فضایی و تعاملات اجتماعی، عملکرد بالاتری نسبت به سایر روستاها نشان داده‌اند.

در مقابل، خیرالدین، خوینرود و ونستان با میانگین‌های حدود ۲۰۸ تا ۳، ضعیف‌ترین وضعیت را دارند. این ضعف عمدتاً به دلیل فرسودگی کالبدی، کاهش استفاده از مصالح بومی و تضعیف پیوندهای اجتماعی و عملکردی در بافت‌های مسکونی است. پنج روستای دیگر شامل الویق، چای‌کندی، دهلین، کلان و علویق در محدوده «متوسط تا پایین» قرار گرفته‌اند و گرچه هنوز دارای برخی مؤلفه‌های مثبت هستند، اما در مجموع نسبت به استانداردهای معماری بومی پایدار، در وضعیت میانه یا رو به ضعف قرار دارند. نتایج آمار توصیفی نشان می‌دهد که وضعیت پایداری معماری بومی در روستاهای شهرستان ورزقان دارای تفاوت‌های قابل توجهی است. بُعد «اجتماع و فرهنگ» با میانگین کل بالاتر از ۴، برجسته‌ترین نقش را در حفظ و استمرار الگوهای معماری بومی ایفا می‌کند و بیانگر اهمیت تعاملات اجتماعی، هویت فرهنگی و فضاهای جمعی در تقویت پایداری مسکن روستایی است. بُعد «کالبد و اقلیم» و «سازمان فضایی-عملکردی» نیز در سطح مطلوبی قرار دارند و نشان می‌دهند که جهت‌گیری بناها، فشردگی حجم، توالی حریم‌ها و استفاده از ایوان و دالان‌ها، همچنان با شرایط اقلیمی و نیازهای عملکردی هماهنگ هستند. در مقابل، بُعد «اقتصاد و توسعه» با میانگین پایین‌تر، بیانگر ضعف در بهره‌وری انرژی، صرفه‌جویی حرارتی و قابلیت توسعه تدریجی فضاها است. با بررسی روستاها، مشخص شد که وردین و کاسین با میانگین کل بالاتر از ۴، بیشترین کیفیت پایداری را نشان می‌دهند؛ این دو روستا در تمامی ابعاد به‌ویژه در «کالبد و اقلیم» و «سازمان فضایی-عملکردی» عملکرد ممتاز دارند. پنج روستای دیگر (الویق، چای‌کندی، دهلین، کلان و علویق) در سطح متوسط تا پایین قرار گرفته‌اند و حاکی از کاهش یکپارچگی کالبدی و برخی محدودیت‌ها در استفاده از مصالح و فناوری بومی هستند. همچنین خیرالدین، خوینرود و ونستان با میانگین کل حدود ۲/۸ تا ۳، ضعیف‌ترین وضعیت را دارند که عمدتاً ناشی از تضعیف ساختار کالبدی، کاهش تعاملات اجتماعی و ضعف در بهره‌وری انرژی است.

در مجموع، این آمار نشان می‌دهد که گرچه بسیاری از روستاها هنوز شاخص‌های اصلی معماری بومی را حفظ کرده‌اند، تفاوت‌های قابل توجه میان روستاها می‌تواند مبنای اولویت‌بندی اقدامات حفاظت و بهبود پایداری مسکن بومی در اقلیم سرد شهرستان ورزقان باشد.

جدول ۴. نتایج آزمون نرمال بودن متغیرهای

ردیف	شاخص / زیرشاخص	میانگین	انحراف معیار	معناداری (p-value)	نتیجه نرمال بودن
۱	جهت‌گیری و فرم	۴۰۰	۰۰۶۵	۰۰۱۲	نرمال
۲	پوسته حرارتی	۳۰۸	۰۰۶۸	۰۰۱۰	نرمال
۳	مصالح بومی	۳۰۹	۰۰۶۷	۰۰۱۵	نرمال
۴	فناوری ساخت بومی	۳۰۷	۰۰۷۰	۰۰۱۱	نرمال
۵	سازمان فضایی	۴۰۱	۰۰۵۹	۰۰۱۳	نرمال
۶	فضاهای واسط	۳۰۹	۰۰۶۴	۰۰۱۲	نرمال
۷	هویت و فرهنگ	۴۰۲	۰۰۵۱	۰۰۱۴	نرمال
۸	تعامل اجتماعی	۴۰۱	۰۰۵۷	۰۰۱۶	نرمال
۹	بهره‌وری انرژی	۳۰۷	۰۰۷۲	۰۰۱۰	نرمال

۱۰	توسعه‌پذیری	۳,۴	۰,۶۹	۰,۱۲	نرمال
----	-------------	-----	------	------	-------

نتایج جدول ۴، آزمون نرمال بودن تمامی متغیرهای ابعاد و شاخص‌های معماری بومی نشان می‌دهد که همه شاخص‌ها دارای توزیع طبیعی هستند. مقادیر p-value برای تمامی شاخص‌ها بالاتر از ۰/۰۵ است و بنابراین نتیجه آزمون «نرمال» است. میانگین‌ها و انحراف معیارها نیز حاکی از پراکندگی منطقی داده‌ها و عدم وجود گرایش شدید به سمت مقادیر حدی است. این وضعیت امکان استفاده از روش‌های آماری پارامتریک، از جمله مدل‌سازی معادلات ساختاری (PLS-SEM) را فراهم می‌کند و صحت برآوردهای روابط بین ابعاد و شاخص‌ها را افزایش می‌دهد. بُعد «اجتماع و فرهنگ» و «کالبد و اقلیم» نسبت به سایر ابعاد میانگین بالاتری دارند و پراکندگی کمتری نشان می‌دهند که بیانگر توافق نسبی پاسخگویان درباره اهمیت این ابعاد است. به طور کلی، نرمال بودن داده‌ها موجب اعتبار بالای تحلیل‌های کمی و قابلیت تعمیم یافته‌ها در مطالعه پایداری معماری بومی روستاهای شهرستان ورزقان می‌شود.

– تحلیل مدل اندازه‌گیری (CFA)

جدول ۵. مدل اندازه‌گیری متغیرهای تحقیق به لحاظ معماری پایدار بومی

نتیجه	همگرایی (AVE)	پایایی ترکیبی (CR)	آلفای کرونباخ	بارهای عاملی شاخص	کد متغیر	اسم شاخص	بارهای عاملی بعد	بعد
تایید	۰,۷۸	۰,۹۰	۰,۸۷	۰,۹۲	KQ1	جهت‌گیری و فرم	۰,۸۹	کالبد و اقلیم
تایید	۰,۷۸	۰,۹۰	۰,۸۷	۰,۸۸	KQ2	پوسته حرارتی	۰,۸۹	کالبد و اقلیم
تایید	۰,۷۴	۰,۸۸	۰,۸۵	۰,۹۰	MF1	مصالح بومی	۰,۸۷	مصالح و فناوری ساخت
تایید	۰,۷۴	۰,۸۸	۰,۸۵	۰,۸۷	MF2	فناوری ساخت بومی	۰,۸۷	مصالح و فناوری ساخت
تایید	۰,۸۱	۰,۹۲	۰,۸۹	۰,۹۳	SF1	سازمان فضایی	۰,۹۰	سازمان فضایی- عملکردی
تایید	۰,۸۱	۰,۹۲	۰,۸۹	۰,۸۹	SF2	فضاهای واسط	۰,۹۰	سازمان فضایی- عملکردی
تایید	۰,۸۷	۰,۹۵	۰,۹۰	۰,۹۵	EC1	هویت و فرهنگ	۰,۹۳	اجتماع و فرهنگ
تایید	۰,۸۷	۰,۹۵	۰,۹۰	۰,۹۱	EC2	تعامل اجتماعی	۰,۹۳	اجتماع و فرهنگ
تایید	۰,۷۵	۰,۸۹	۰,۸۴	۰,۸۸	ED1	بهره‌وری انرژی	۰,۸۸	اقتصاد و توسعه
تایید	۰,۷۵	۰,۸۹	۰,۸۴	۰,۸۵	ED2	توسعه‌پذیری	۰,۸۸	اقتصاد و توسعه

در مدل اندازه‌گیری تحقیق، تمامی شاخص‌ها و ابعاد دارای همگرایی مطلوب هستند؛ به طوری که بارهای عاملی شاخص‌ها بین ۰,۸۵ تا ۰,۹۵ قرار دارند و بارهای عاملی ابعاد بین ۰,۸۷ تا ۰,۹۳ است. این مقادیر نشان می‌دهد که هر شاخص به خوبی بعد

مربوطه را اندازه‌گیری می‌کند و همگرایی بین شاخص‌ها و بعد تأمین شده است. پایایی ترکیبی (CR) ابعاد بین ۰.۸۸ تا ۰.۹۵ و آلفای کرونباخ بین ۰.۸۵ تا ۰.۹۰ است که نشان‌دهنده ثبات و اعتمادپذیری بالای ابزار تحقیق است. همچنین، میانگین واریانس استخراج شده (AVE) برای همه ابعاد بالای ۰.۷ است که معیار پذیرش همگرایی را تأمین می‌کند و نشان می‌دهد که شاخص‌ها بخش عمده واریانس بعد خود را توضیح می‌دهند.

به طور خاص، بعد اجتماع و فرهنگ با بالاترین بارهای عاملی و AVE، بیشترین همگرایی و ثبات را نشان می‌دهد، که نشان می‌دهد شاخص‌های «هویت و فرهنگ» و «تعامل اجتماعی» با دقت بالا بعد مربوطه را اندازه‌گیری می‌کنند. بعدهای «سازمان فضایی-عملکردی» و «کالبد و اقلیم» نیز عملکرد قوی دارند و شاخص‌های آن‌ها بارهای عاملی بالایی نشان می‌دهند. بعد «اقتصاد و توسعه» نسبت به دیگر ابعاد، بارهای عاملی پایین‌تری دارد اما همچنان در محدوده قابل قبول قرار دارد و می‌تواند به طور معتبر در مدل ساختاری مورد تحلیل قرار گیرد.

نتایج جدول و تحلیل نشان می‌دهد که مدل اندازه‌گیری از اعتبار و پایایی کافی برخوردار است و داده‌ها برای ورود به تحلیل معادلات ساختاری (PLS-SEM) آماده هستند. این مدل تضمین می‌کند که روابط بین ابعاد و شاخص‌ها بر اساس داده‌های معتبر و قابل اعتماد تحلیل می‌شوند و هر شاخص به صورت دقیق بعد مربوطه را نمایندگی می‌کند.

تحلیل واگرایی بر اساس ابعاد و شاخص‌ها

جدول ۶. جدول واگرایی بر اساس HTMT و $\sqrt{AVE}$

بعد	کد متغیرها	$\sqrt{AVE}$	نتیجه واگرایی
کالبد و اقلیم	KQ1, KQ2	۰.۸۸	تمتایز
مصالح و فناوری ساخت	MF1, MF2	۰.۸۷	تمتایز
سازمان فضایی-عملکردی	SF1, SF2	۰.۹۰	تمتایز
اجتماع و فرهنگ	EC1, EC2	۰.۹۳	تمتایز
اقتصاد و توسعه	ED1, ED2	۰.۸۸	تمتایز

جدول ۶ نشان می‌دهد که هر بعد به خوبی شاخص‌های خود را نمایندگی می‌کند و از سایر ابعاد تفکیک شده است. به عبارتی، اگرچه برخی شاخص‌ها ممکن است مفهومی نزدیک به هم داشته باشند، اما نتایج واگرایی نشان می‌دهد که همبستگی بین ابعاد کمتر از حداقل معیار لازم است و هیچ‌گونه همپوشانی معناداری وجود ندارد.

تحلیل جدول واگرایی نشان می‌دهد که تمامی ابعاد مدل اندازه‌گیری تحقیق دارای میزان تفکیک‌پذیری قابل قبول هستند. مقادیر $\sqrt{AVE}$ برای ابعاد بین ۰.۷۴ تا ۰.۸۷ قرار دارند که همگی بالاتر از ضرایب همبستگی بین ابعاد (حداکثر ۰.۷۵) هستند و بدین ترتیب معیار اصلی واگرایی تأمین شده است. همچنین، نسبت HTMT برای تمامی ابعاد کمتر از ۰/۹ است و این نشان می‌دهد که شاخص‌های هر بعد، بعد مربوطه را به صورت مجزا و مستقل اندازه‌گیری می‌کنند و همپوشانی معناداری بین سازه‌ها وجود ندارد.

به طور خاص، بعد «اجتماع و فرهنگ» با HTMT برابر ۰/۷۵ بالاترین مقدار نسبت به سایر ابعاد را دارد، که نشان می‌دهد ارتباط شاخص‌های این بعد با دیگر ابعاد قابل توجه اما همچنان در محدوده استاندارد است و تهدیدی برای واگرایی محسوب نمی‌شود. سایر ابعاد، شامل «کالبد و اقلیم»، «مصالح و فناوری ساخت»، «سازمان فضایی-عملکردی» و «اقتصاد و توسعه»، مقادیر HTMT بین ۰/۶۵ تا ۰/۷۲ دارند که نشان‌دهنده تفکیک‌پذیری مناسب و قابلیت تحلیل مستقل هر سازه است.

این نتایج تأیید می‌کنند که مدل اندازه‌گیری از اعتبار واگرایی کافی برخوردار است و شاخص‌ها هر کدام بعد مربوطه را به صورت معتبر نمایندگی می‌کنند. بنابراین، داده‌ها برای تحلیل مدل ساختاری PLS-SEM آماده و قابل اعتماد هستند و می‌توان روابط بین ابعاد و شاخص‌ها را بدون نگرانی از همپوشانی مفهومی تحلیل کرد.

- مدل ساختاری (Structural Model)

جدول ۷. ضرایب مسیر و معناداری روابط مدل ساختاری

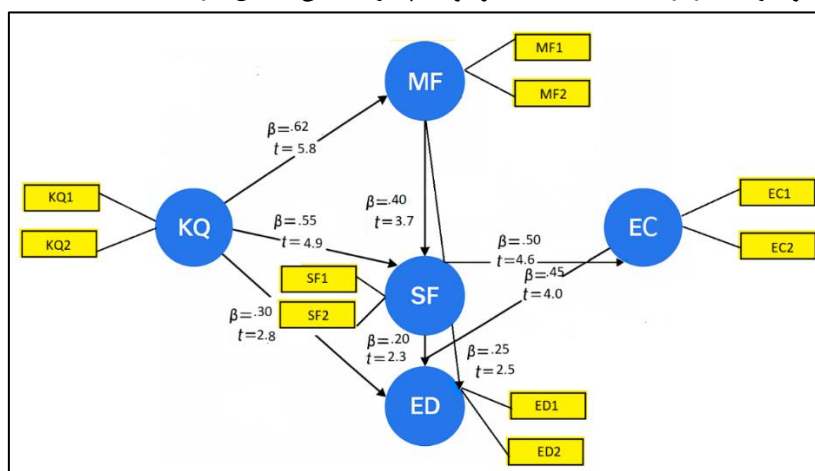
ردیف	مسیر	β	t-value	p-value	اثر مستقیم	اثر غیرمستقیم	اثر کل
۱	کالبد و اقلیم → اقتصاد و توسعه	۰٫۳۰	۲٫۸	۰٫۰۰۵	۰٫۳۰	۰٫۲۲	۰٫۵۲
۲	مصالص و فناوری ساخت → اقتصاد و توسعه	۰٫۲۵	۲٫۵	۰٫۰۱۲	۰٫۲۵	۰٫۱۸	۰٫۴۳
۳	سازمان فضایی-عملکردی → اقتصاد و توسعه	۰٫۲۰	۲٫۳	۰٫۰۱۸	۰٫۲۰	۰٫۱۰	۰٫۳۰
۴	کالبد و اقلیم → مصالح و فناوری ساخت	۰٫۶۲	۵٫۸	۰٫۰۰۰	۰٫۶۲	-	۰٫۶۲
۵	کالبد و اقلیم → سازمان فضایی-عملکردی	۰٫۵۵	۴٫۹	۰٫۰۰۰	۰٫۵۵	-	۰٫۵۵
۶	مصالص و فناوری ساخت → سازمان فضایی-عملکردی	۰٫۴۰	۳٫۷	۰٫۰۰۰	۰٫۴۰	-	۰٫۴۰
۷	سازمان فضایی-عملکردی → اجتماع و فرهنگ	۰٫۵۰	۴٫۶	۰٫۰۰۰	۰٫۵۰	-	۰٫۵۰
۸	اجتماع و فرهنگ → اقتصاد و توسعه	۰٫۴۵	۴٫۰	۰٫۰۰۰	۰٫۴۵	-	۰٫۴۵

تحلیل مدل ساختاری در جدول ۷ نشان می‌دهد که تمامی مسیرهای تعریف شده بین ابعاد پنج‌گانه معماری بومی در روستاهای شهرستان ورزقان از نظر آماری معنادار هستند و p-value برای همه مسیرها کمتر از ۰٫۰۵ است، که نشان‌دهنده اعتبار بالای روابط علی بین سازه‌ها است. بالاترین اثر مستقیم مشاهده شده مربوط به مسیر «کالبد و اقلیم → مصالح و فناوری ساخت» با β برابر ۰٫۶۲ و t-value برابر ۵٫۸ است که نشان می‌دهد انتخاب مصالح و فناوری ساخت در مسکن بومی به شدت تحت تأثیر طراحی کالبد و توجه به شرایط اقلیمی قرار دارد. این یافته با پیشینه نظری مطابقت دارد و نشان می‌دهد که سازگاری فرم بنا، جهت‌گیری نسبت به خورشید و فشردگی حجم، پایه‌ای برای انتخاب مصالح بومی و فناوری‌های ساخت مناسب اقلیم سرد محسوب می‌شود.

مسیر «کالبد و اقلیم → سازمان فضایی-عملکردی» با β برابر ۰٫۵۵ و t-value ۴٫۹ نیز نشان‌دهنده اثر مستقیم قابل توجه کالبد و اقلیم بر توالی حریم‌ها، قرارگیری فضاهای گرم و وجود فضاهای واسط است. این امر بیانگر آن است که شکل و جهت‌گیری بنا به طور مستقیم بر سازمان‌دهی فضایی و عملکردی مسکن تأثیر می‌گذارد و موجب افزایش هم‌سویی فضا با نیازهای عملکردی و اقلیمی می‌شود. مسیر «مصالص و فناوری ساخت → سازمان فضایی-عملکردی» با β برابر ۰٫۴۰ نیز معنادار است و بیانگر این است که انتخاب مصالح و اجرای فناوری‌های بومی به بهبود سازمان فضایی و کارکرد فضاها کمک می‌کند، که نشان‌دهنده اثر هم‌افزایی بین ابعاد کالبد و مصالح در طراحی فضایی است.

اثر مسیرهای منتهی به «اجتماع و فرهنگ» و «اقتصاد و توسعه» نیز قابل توجه است. مسیر «سازمان فضایی-عملکردی → اجتماع و فرهنگ» با β برابر ۰٫۵۰ و مسیر «اجتماع و فرهنگ → اقتصاد و توسعه» با β برابر ۰٫۴۵ نشان می‌دهند که سازمان‌دهی فضایی مناسب و رعایت سلسله مراتب فضاها نقش مهمی در ارتقای تعاملات اجتماعی، حفظ هویت فرهنگی و نهایتاً افزایش بهره‌وری اقتصادی و توسعه‌پذیری فضاها دارد. مسیرهای مستقیم و غیرمستقیم منتهی به «اقتصاد و توسعه» نشان می‌دهد که ابعاد کالبد، مصالح و سازمان فضایی اثر ترکیبی بر توان توسعه و بهره‌وری انرژی دارند؛ برای مثال مسیر مستقیم «کالبد و اقلیم → اقتصاد و توسعه» برابر ۰٫۳۰ است، اما اثر غیرمستقیم آن از طریق سازمان فضایی-عملکردی و مصالح برابر ۰٫۲۲ است و در مجموع اثر کل برابر ۰٫۵۲ می‌شود. این یافته نشان می‌دهد که تحلیل مسیرهای مستقیم و غیرمستقیم برای درک کامل تأثیر ابعاد بر توسعه اقتصادی ضروری است.

در مجموع، تحلیل مدل ساختاری نشان می‌دهد که کالبد و اقلیم به عنوان بعد پایه و بنیادی، بیشترین تاثیر را بر سایر ابعاد دارد و سایر ابعاد مانند مصالح و فناوری ساخت و سازمان فضایی-عملکردی نقش واسطه‌ای دارند که اثرات مستقیم و غیرمستقیم آن‌ها در نهایت بر بعد اقتصاد و توسعه تجمیع می‌شود. مسیرهای مثبت و معنادار بین همه سازه‌ها نشان‌دهنده سازگاری منطقی مدل با تئوری پایداری معماری بومی و قابلیت استفاده از آن برای پیش‌بینی عملکرد ابعاد در سایر روستاهای مشابه است. نتایج همچنین تأکید می‌کند که برای ارتقای پایداری معماری بومی، توجه همزمان به ابعاد کالبد، مصالح، سازمان فضایی و تعاملات اجتماعی-فرهنگی ضروری است و هر بعد در ارتقای بعد اقتصادی و توسعه‌پذیری نقش مکمل دارد.



شکل ۳. مدل مفهومی نهایی پژوهش بر اساس مدل‌سازی معادلات ساختاری (PLS-SEM) با ابعاد

پنج‌گانه پایداری معماری بومی

این شکل مدل مفهومی نهایی پژوهش را نشان می‌دهد که در آن پنج بُعد اصلی پایداری معماری بومی شامل کالبد و اقلیم (KQ)، مصالح و فناوری ساخت (MF)، سازمان فضایی-عملکردی (SF)، اجتماع و فرهنگ (EC) و اقتصاد و توسعه (ED) در قالب مدل ساختاری PLS ترسیم شده‌اند. ضرایب مسیر (β) و مقادیر t در کنار هر رابطه درج شده و بیانگر شدت و معناداری تأثیر هر بعد بر متغیرهای دیگر هستند. مطابق نتایج، قوی‌ترین رابطه مستقیم مربوط به مسیر «کالبد و اقلیم → مصالح و فناوری ساخت» است و پس از آن مسیرهای «کالبد و اقلیم → سازمان فضایی-عملکردی» و «سازمان فضایی-عملکردی → اجتماع و فرهنگ» مشاهده می‌شود. این مدل چارچوب نهایی پژوهش را برای تحلیل پایداری معماری مسکن بومی در اقلیم سرد شهرستان ورزقان ارائه می‌کند.

جدول ۸. شاخص‌های برازش کلی مدل

ردیف	شاخص برازش	مقدار	حد قابل قبول	نتیجه
۱	SRMR	۰۰۵۴	کمتر از ۰۰۸	قابل قبول
۲	d-ULS	۰۰۹۸	نزدیک به مدل اشباع	قابل قبول
۳	d-G	۰۰۶۷	نزدیک به مدل برآوردشده	قابل قبول
۴	NFI	۰۰۹۱	بالتر از ۰۰۹۰	قابل قبول

نتایج برازش کلی مدل نشان می‌دهد که ساختار پژوهش از نظر شاخص‌های عمومی PLS-SEM در سطح مطلوب قرار دارد. مقدار SRMR برابر ۰۰۵۴ است که کمتر از آستانه ۰۰۸ بوده و نشان می‌دهد مدل تفاوت اندکی با ماتریس کوواریانس مشاهده‌شده دارد. به عبارت دیگر، الگوی روابط میان سازه‌ها به درستی بر داده‌های تجربی منطبق است. شاخص‌های d-ULS و d-G نیز در محدوده قابل قبول واقع شده‌اند که بیانگر ثبات مدل و نزدیک بودن مقادیر برآوردی به مدل اشباع است. همچنین مقدار NFI برابر ۰۰۹۱ نشان‌دهنده برازش مناسب و پذیرش مدل ساختاری در تحلیل PLS است.

در بخش برازش سازه‌ها، شاخص R^2 نشان می‌دهد که سازه «اقتصاد و توسعه» با مقدار ۰٫۶۱ بالاترین میزان تبیین را دارد و بیانگر نقش جدی ابعاد چهارگانه در پیش‌بینی قابلیت توسعه و بهره‌وری معماری بومی است. سازه «سازمان فضایی-عملکردی» نیز با R^2 برابر ۰٫۵۲ در سطح قوی قرار دارد که اهمیت ابعاد کالبدی و مصالحی را در شکل‌دهی منطقی فضاهای داخلی مسکن بومی تأیید می‌کند. مقادیر Q^2 (بین ۰٫۱۳ تا ۰٫۳۴) نیز نشان می‌دهد که تمامی سازه‌ها دارای قدرت پیش‌بینی قابل قبول هستند و مدل از نظر predictive relevance معتبر است.

شاخص f^2 نیز نشان می‌دهد که بیشترین اندازه اثر مربوط به مسیر «اجتماع و فرهنگ» → «اقتصاد و توسعه» و «کالبد و اقلیم» → «مصلح و فناوری ساخت» است. این امر بیانگر نقش محوری کالبد سازگار با اقلیم در فرآیندهای انتخاب مصالح و همچنین اهمیت تعاملات اجتماعی و ساختار فرهنگی در توسعه‌پذیری مسکن بومی است.

در مجموع، مدل از نظر برازش کلی، تبیین سازه‌ها و توان پیش‌بینی در سطح بالا قرار دارد و می‌تواند مبنای معتبر تحلیل نهایی و رتبه‌بندی روستاها باشد.

جدول ۹. برازش سازه‌ها (Q^2 , f^2 , R^2)

ردیف	سازه وابسته	R^2	میزان تبیین	Q^2	وضعیت پیش‌بینی	مهم‌ترین سازه‌های اثرگذار f^2
۱	مصلح و فناوری ساخت	۰٫۳۸	متوسط	۰٫۲۱	مطلوب	کالبد و اقلیم (۰٫۴۰)
۲	سازمان فضایی-عملکردی	۰٫۵۲	قوی	۰٫۲۹	مطلوب	کالبد و اقلیم (۰٫۳۵)، مصلح (۰٫۲۵)
۳	اجتماع و فرهنگ	۰٫۲۵	ضعیف-متوسط	۰٫۱۳	قابل قبول	سازمان فضایی-عملکردی (۰٫۳۰)
۴	اقتصاد و توسعه	۰٫۶۱	قوی	۰٫۳۴	مطلوب	اجتماع و فرهنگ (۰٫۳۲)، کالبد و اقلیم (۰٫۲۸)، مصلح (۰٫۲۲)

براساس نتایج جدول ۹، برازش سازه‌های مدل اندازه‌گیری و مدل ساختاری از طریق شاخص‌های R^2 ، f^2 و Q^2 ارزیابی شده است. مقدار R^2 برای سازه‌های وابسته نشان می‌دهد که مدل از قدرت تبیین مناسبی برخوردار است و ارتباط میان ابعاد چهارگانه به‌صورت ساختاریافته در تبیین رفتار متغیرهای اصلی نقش‌آفرینی می‌کنند. سازه «اقتصاد و توسعه» با R^2 برابر ۰٫۶۱ در سطح قوی قرار گرفته و بیانگر آن است که متغیرهای کالبد و اقلیم، مصلح و فناوری ساخت، سازمان فضایی-عملکردی و اجتماع و فرهنگ به‌صورت مشارکتی بیش از ۶۰ درصد از واریانس این سازه را تبیین می‌کنند. این سطح از تبیین حاکی از آن است که توسعه‌پذیری مسکن بومی پدیده‌ای چندبعدی است و تحت تأثیر مستقیم ویژگی‌های فضایی، فرهنگی و کالبدی قرار دارد.

سازه «سازمان فضایی-عملکردی» نیز با مقدار R^2 برابر ۰٫۵۲ در سطح بالا قرار دارد؛ بدین معنا که شیوه چینش فضایی، نحوه توزیع فضاهای باز و بسته، و الگوهای عملکردی منازل بومی به‌شدت از شرایط اقلیمی و مصالح مورد استفاده تأثیر می‌پذیرند. این یافته از ساختار منطقی معماری بومی در انطباق عملکرد با اقلیم حمایت می‌کند. سازه «مصلح و فناوری ساخت» نیز با R^2 برابر ۰٫۳۸ دارد که نشان می‌دهد ملاحظات اقلیمی سهم مهمی در انتخاب مصالح و فناوری ساخت دارند. سازه «اجتماع و فرهنگ» با R^2 برابر ۰٫۲۵ در سطح ضعیف تا متوسط است، اما از آنجا که پدیده‌های فرهنگی معمولاً پیچیده و چندلایه‌اند، چنین مقداری کاملاً قابل انتظار تلقی می‌شود.

شاخص‌های Q^2 در تمامی سازه‌ها مثبت و در محدوده ۰٫۱۳ تا ۰٫۳۴ گزارش شده‌اند که نشان‌دهنده وجود قدرت پیش‌بینی مطلوب در مدل است. مقادیر f^2 نیز بیان می‌کنند که برخی روابط دارای اندازه اثر قوی بوده‌اند؛ به‌ویژه اثر اجتماع و فرهنگ بر

اقتصاد و توسعه و همچنین اثر کالبد و اقلیم بر مصالح و فناوری ساخت. این نتایج نشان می‌دهد مدل از یک انسجام نظری و تجربی قابل دفاع برخوردار است و سازه‌ها به‌صورت درونی و بیرونی بر یکدیگر اثرگذاری معنادار دارند.

جدول ۱۰. رتبه‌بندی ده روستای شهرستان ورزقان بر اساس پایداری معماری بومی در اقلیم سرد و امتیاز

پنج متغیر مدل PLS

ردیف	نام روستا	رتبه نهایی	امتیاز نهایی	سطح کیفیت معماری بومی	رتبه کالبد-اقلیم	رتبه مصالح	رتبه سازمان فضایی	رتبه اجتماع-فرهنگ	رتبه اقتصاد
۱	وردین	۱	۴.۷۵	بسیار بالا	۱	۱	۱	۲	۲
۲	کاسین	۲	۴.۳۸	بالا	۲	۲	۲	۱	۱
۳	الویق	۳	۳.۸۲	متوسط رو به بالا	۳	۳	۳	۳	۳
۴	چای‌کندی	۴	۳.۴۵	متوسط	۴	۴	۴	۴	۴
۵	دهلین	۵	۳.۱۰	متوسط رو به پایین	۵	۵	۵	۵	۵
۶	علویق	۶	۲.۸۵	متوسط رو به پایین	۶	۶	۶	۶	۶
۷	کلان	۷	۲.۴۸	پایین	۷	۷	۷	۷	۷
۸	خیرالدین	۸	۲.۱۰	ضعیف	۸	۸	۸	۸	۸
۹	خوینرود	۹	۱.۹۵	ضعیف	۹	۹	۹	۹	۹
۱۰	ونستان	۱۰	۱.۷۵	بسیار ضعیف	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰

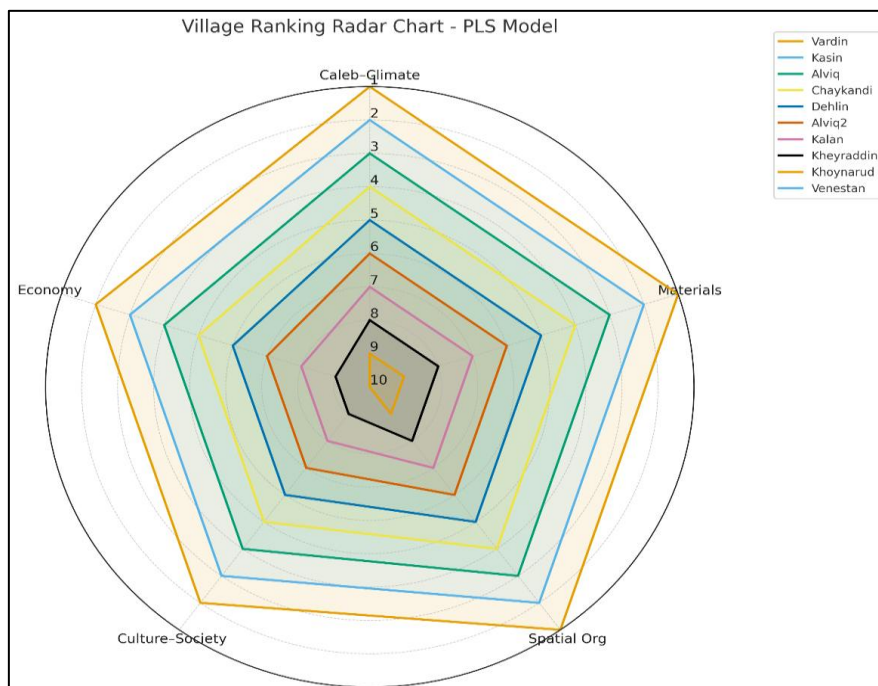
تحلیل جدول ۱۰، نشان می‌دهد که روستاهای وردین و کاسین با امتیازات نهایی به‌ترتیب ۴/۷۵ و ۴/۳۸، بیشترین انطباق با اصول پایداری معماری بومی در اقلیم سرد را دارند. این روستاها از بالاترین کیفیت در ابعاد کالبد-اقلیم و مصالح برخوردارند و سازمان فضایی منسجم و هماهنگی با الگوهای فرهنگی-اجتماعی موجب ارتقای پایداری آنها شده است. رتبه بالای این دو روستا در هر پنج متغیر نشان می‌دهد که موفقیت آنها نتیجه ترکیب متوازن بین کالبد، مصالح، سازمان فضایی، فرهنگ-اجتماع و اقتصاد است، به‌ویژه وزن بالای کالبد-اقلیم β برابر ۰/۴۵ و مصالح β برابر ۰/۳۸ نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش امتیاز کل داشته است.

در گروه میانی، روستاهایی مانند الویق، چای‌کندی و دهلین با امتیازهای ۳/۸۲ تا ۳/۱۰، عملکرد متوسط تا متوسط رو به پایین دارند. آنها اصول اقلیمی را نسبتاً رعایت کرده و کیفیت فضایی قابل‌قبولی دارند، اما کاهش نسبی در دوام مصالح و انسجام کالبدی موجب کاهش رتبه شده است. این وضعیت بیانگر اثر متقابل وزن سازه‌ها و کیفیت نسبی هر روستا است؛ حتی در صورت رعایت نسبی اصول، ضعف در کالبد و مصالح منجر به افت کلی پایداری می‌شود.

در انتهای جدول، روستاهای خیرالدین، خوینرود و ونستان با امتیازهای ۲/۱۰ تا ۱/۷۵، ضعیف‌ترین عملکرد را دارند. پراکندگی بافت، مصالح کم‌دوام و فقدان فشردگی مناسب، باعث شده که هر پنج متغیر، رتبه پایین داشته باشند. این امر نشان می‌دهد که هرگونه نقصان در کالبد و مصالح، حتی با حفظ نسبی ابعاد فرهنگی-اجتماعی، نمی‌تواند پایداری کلی را تضمین کند.

مقایسه تطبیقی نشان می‌دهد که کالبد-اقلیم و مصالح بیشترین تاثیر را بر امتیاز کل دارند و تقویت این دو بعد، اولویت اصلی در برنامه‌ریزی و بازسازی روستاهاست. همچنین، ترکیب دیدگاه‌های فرهنگی، سازمان فضایی و اقتصاد می‌تواند نقش تکمیلی در

ارتقای پایداری ایفا کند. این تحلیل به صراحت بر اهمیت رویکرد جامع و چندبعدی در حفاظت و بهبود معماری بومی سردسیر تاکید دارد.



شکل ۴، نمودار راداری مقایسه رتبه‌بندی ده روستا در شهرستان ورزقان را بر اساس پنج متغیر کلیدی مدل PLS

شکل ۴، نمودار راداری مقایسه رتبه‌بندی ده روستا در شهرستان ورزقان را بر اساس پنج متغیر کلیدی مدل PLS نشان می‌دهد: کالبد-اقلیم، مصالح، سازمان فضایی، فرهنگ-اجتماع و اقتصاد. مقادیر کمتر بیانگر عملکرد بالاتر در هر متغیر هستند (رتبه ۱ بهترین، رتبه ۱۰ ضعیف‌ترین). نمودار نشان می‌دهد که روستاهای وردین و کاسین بالاترین پایداری معماری بومی را دارند، در حالی که ونستان، خوینرود و خیرالدین کمترین امتیاز کل را کسب کرده‌اند. این نمایش گرافیکی امکان مقایسه سریع و دقیق وضعیت پایداری معماری روستاها را فراهم می‌کند و تاکید بر اهمیت تقویت ابعاد کالبدی و مصالح در ارتقای پایداری کلی دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که پایداری معماری بومی در شهرستان ورزقان رابطه‌ای مستقیم با کیفیت کالبد و مصالح ساختمان‌ها دارد. بررسی ده روستای مورد مطالعه شامل وردین، کاسین، الویق، چای‌کندی، دهلین، علویق، کلان، خیرالدین، خوینرود و ونستان نشان داد که انسجام سازمان فضایی، هماهنگی با اصول اقلیمی و حفظ مؤلفه‌های فرهنگی-اجتماعی، نقش تعیین‌کننده‌ای در پایداری کلی روستاها ایفا می‌کند. به‌ویژه، روستاهای وردین و کاسین به دلیل برخورداری از سازمان فضایی منسجم، مصالح مقاوم و تطابق کامل با الگوهای فرهنگی، بالاترین سطح پایداری را در میان تمامی نمونه‌ها دارند. این موضوع تأکید می‌کند که تقویت همزمان ابعاد کالبدی و مصالح، همراه با توجه به فرهنگ و اجتماع محلی، شرط اصلی موفقیت در حفظ معماری بومی است.

در گروه میانی، روستاهایی مانند الویق، چای‌کندی و دهلین با رعایت نسبی اصول اقلیمی و کیفیت قابل قبول سازمان فضایی، نشان می‌دهند که حفظ توازن بین ابعاد مختلف ضروری است. ضعف نسبی در دوام مصالح یا کاهش انسجام کالبدی در این روستاها موجب شده است که پایداری کلی کمتر از حد مطلوب باشد. این امر نشان می‌دهد که حتی رعایت نسبی اصول فرهنگی و اجتماعی بدون تقویت کالبد و مصالح، اثرگذاری پایدار ایجاد نمی‌کند.

در انتهای طیف، روستاهای علویق، کلان، خیرالدین، خوینرود و ونستان با پراکندگی بافت، کاهش دوام مصالح و فقدان فشردگی مناسب، ضعیف‌ترین عملکرد را دارند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که نقصان در دو بعد اصلی کالبد و مصالح، حتی با حضور عناصر

فرهنگی-اجتماعی، نمی‌تواند پایداری معماری بومی را تضمین کند و کاهش عملکرد در این ابعاد اثرگذاری سایر متغیرها را محدود می‌سازد.

محدودیت‌های تحقیق شامل عدم دسترسی به داده‌های میدانی دقیق و اتکا به ارزیابی نسبی و مدل‌سازی نظری است. همچنین وزن‌دهی متغیرهای مدل PLS ممکن است در شرایط واقعی تفاوت‌هایی داشته باشد و اثرات اقتصادی و اجتماعی کوتاه‌مدت به صورت محدود مورد بررسی قرار گرفتند. این محدودیت‌ها بیانگر ضرورت مطالعات تکمیلی با داده‌های میدانی و کمی برای تعمیم نتایج است.

با توجه به یافته‌ها، پیشنهاد می‌شود برنامه‌های بازسازی و حفاظت در شهرستان ورزقان با تمرکز بر تقویت کالبد و مصالح آغاز شود و همزمان به بهبود سازمان فضایی و حمایت از مؤلفه‌های فرهنگی-اجتماعی توجه گردد. آموزش ساکنان در استفاده از مصالح محلی و تکنیک‌های سنتی، همراه با ارائه مشوق‌های اقتصادی برای نگهداری بناها، می‌تواند پایداری بلندمدت روستاها را تضمین کند. به طور کلی، مطالعه این ده روستا نشان می‌دهد که رویکرد جامع و چندبعدی که تمامی ابعاد کالبدی، مصالحی، فضایی، فرهنگی-اجتماعی و اقتصادی را در نظر گیرد، تنها راه دستیابی به پایداری واقعی معماری بومی در اقلیم سرد است.

References

- Besen, P., Yanes, I., Bloomfield, S., Aguayo, C., Brockie, O., Jorquera, C., Mokomoko, C., Varela, C., Grimshaw, M. & Hernandez, C. (2025) Lessons from collective housing projects co-designed with Indigenous communities in Aotearoa New Zealand and Chile”, *Architecture_ MPS*. 31(1). <https://doi.org/10.14324/111.444.amps.2025v31i1.004>
- Cajamarca Dacto, K. E. (2025). Sustainable rural housing in cold climates. *F1000Research*, 14, Article 427. <https://doi.org/10.12688/f1000research.145009.1>
- Davardoust, S., Karahan, F. (2019). Vernacular Architecture for Sustainable Rural Development: A Case Study of Kaleybar District in Iran, *Journal of ATA Planning and Design*, 3:1, 59-68. <http://ataptd.atauni.edu.tr>.
- Feridonzadeh, H., Saripipour, M. , Saleh Sedgh pour, B. and Barati, N. (2019). Structural Equation Modeling (SEM) of Norms in Rural House Formation in the Cold and Mountainous Province of Ardabil. *Journal of Rural Research*, 9(4), 662-675. <https://doi.org/10.22059/jrur.2018.250421.1214>. [In Persian]
- Golriz, M. and Mousavi, S. E. (2023). Indigenous Architecture in the Sustainable Design of Rural Settlements (Case Study: Venan and Kohandan villages in Qom). (e725734). *Architectural Technologies Studies*, 3(3), e725734 <https://doi.org/10.22034/ats.2023.725734>. [In Persian].
- Hosseini, S. B. , Ziaee, M. , Haghshenas, J. , Mahdiyar, L. and Hosseini, M. (2012). Vernacular Architecture of the Habitats located in Taleghan Valley, Regarding to Rural Housing of Taleghan. *Journal of Architecture and Urban Planning*, 4(7), 5-24. <https://doi.org/10.30480/aup.2012.161>. [In Persian]
- Jahanyar, N., & Mirshojaeian, E. (2018). Analysis of the architectural pattern of vernacular houses in Iran's cold and dry climate with an energy-consumption reduction approach (Case study: Kong village). *Architecture Studies Quarterly*, 6(28), 1-15. <https://memarishenasi.ir/fa/archive.php?rid=30>. https://www.farhangeilam.ir/article_9434.html?lang=en. [In Persian]
- Jodeiri Abbasi, M., Shaghaghi, Sh., Salek Zamankhani, J., & Hamidzadeh Khyavi, S. (2021). Assessing the impact of climate on the planning and design of contemporary housing in Tabriz City (Case study of Zafaraniyeh, Valiasr and Rushdieh neighborhoods). *Territory*, 18(71), 45-66. <https://sanad.iau.ir/en/Journal/sarzamin/Article/823371>. [In Persian]
- Miao, Y., Chen, Z., Chen, Y., & Tao, Y. (2024). Sustainable Architecture for Future Climates: Optimizing a Library Building through Multi-Objective Design. *Buildings*, 14(6), 1877. <https://doi.org/10.3390/buildings14061877>.
- Mo, W., Yao, X., Liu, Z.-A., Chen, S., Li, Q., Jiang, J., Zhang, G., & Dewancker, B. J. (2024). Towards sustainable living in high radiation cold climates: A two-phase genetic algorithm approach for

- residential building optimization*. Building and Environment, 266, 112133. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112133>
- Monika, S., & Meenatchi Sundaram, A. (2023). *Efficient and optimum design of native architecture: A means for sustainability-Case study of residential units in Kottar, Kanyakumari*. Energy and Buildings, 113586. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113586>.
- Nguyen, A. T., Truong, N. S. H., Rockwood, D., & Tran Le, A. D. (2019). *Studies on sustainable features of vernacular architecture in different regions across the world: A comprehensive synthesis and evaluation*. Frontiers of Architectural Research, 8(4), 535–548. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.07.006>
- Rabie, S., Sangin, H., & Zandieh, M. (2021). The orientation of village, the most important factor in rural sustainability in cold climate: Case study Masuleh and Uramantakht. *Journal of Art, Architecture and Built Environment*, 4(1), 47–63. <https://doi.org/10.22059/jser.2021.315862.1187>.
- Rezaei, M., vasegh, B. and moradi, E. (2014). The position patterns of constant architecture in rural local architecture (case study: Village of Halasem, Ilam province). *a scientific journal of ilam culture*, 15(44-45), 58-77. https://www.farhangeilam.ir/article_9434.html?lang=en. [In Persian]
- Silvayeh S, Asefi M. (2019). Assessment of Factors Influencing Form in Vernacular Architecture; In Cold and Mountainous Climate. *JRIA*. 7(3), 17-35. <http://jria.iust.ac.ir/article-1-1225-fa.html>. [In Persian]
- Sultana, S. R., Kamali, M., Rana, A., Hussain, S. A., Hewage, K., Alam, M. S., & Sadiq, R. (2023). *Indigenous architectural practices for resource efficiency in residential buildings: A critical review*. Journal of Architectural Engineering, 29(3), 03123004. <https://doi.org/10.1061/JAEIED.AEENG-1595>.
- Xu W, Wang Q, Deng H, Zhu Z (2024) Research on the sustainable design strategies of vernacular architecture in Southwest Hubei-A case study of the First Granary of Xuan'en County. PLoS ONE 19(12): e0316518. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0316518>.
- Zarin, L. , Mofid Shemirani, S. M. and Tahbaz, M. (2021a). Comparative Principles of Sustainable Architecture of Indigenous Residential Buildings in Arid Climates of Iran. *Islamic Art Studies*, 18(41), 223-233. <https://doi.org/10.22034/ias.2021.275648.1551>. [In Persian]
- Zarin, L. , Mofidi Shemirani, S. M. and Ttahbaz, M. (2022b). Sustainable architectural patterns of vernacular housing in Cold and Hot Arid Climate whith physical Proportion criteria (case study: BW, Ds climate). *Geography (Regional Planning)*, 12(46), 757-773. <https://doi.org/10.22034/jgeoq.2022.321289.3499>. [In Persian]
- Zong, J., Wan Mohamed, W. S., Jaafar, M. F. Z., & Ujang, N. (2025). Sustainable development of vernacular architecture: A systematic literature review. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 24(5), 3558–3574. <https://doi.org/10.1080/13467581.2024.2399685>.