



Evaluation of winter indoor thermal comfort in the vernacular rural architectural heritage of Iran (case studies: the troglodytic architecture of Meymand World Heritage complex and stone architecture of Riseh village of Shahrbabak)

Mohammad Mangeli

Architecture, urbanism and art faculty, Urmia University, Urmia, Iran

Mohsen Keshavarz

Art and Architecture faculty, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

Background and Objectives

Iran's vernacular architectural heritage includes fine examples of sustainable architecture which, in this type, minimal energy consumption, and the use of passive systems to create living comfort is the fundamental approach of this architecture to establish a suitable environment for human life. The importance of knowing its climate adaptation features and using its lessons for today's architecture has been less considered. The two most important types of Iranian vernacular architecture are troglodytic architecture and stone masonry architecture, most of them can be seen in the rural architecture of Iran. Troglodytic architecture creates human living space by digging in stone beds or condensed soil settlements. Stone architecture is the result of arranging pieces of rubble with mortar on top of each other and both types have the lowest energy exchange between indoor and outdoor. The thickness of their architectural layers provides a more accurate understanding of them by carefully studying the conditions of their climatic compatibility with the geography of their settlement and their behavior against climatic hashes.

Methods

This research focuses on a comparative analysis of thermal comfort levels across two distinct architectural styles in Iran's vernacular architecture, utilizing a statistical comparison research method to derive meaningful insights. Troglodytic architecture, which represents a unique and rare form of vernacular architectural heritage in Iran, is characterized by its methodology of creating habitable spaces through rock excavation. This approach enables significant interaction with the earth's thermal mass, facilitating natural heating and cooling mechanisms that are particularly advantageous in regions that experience both cold and hot climatic conditions.

The Maymand World Heritage Site is a quintessential example of troglodytic architecture, situated within Iran's semi-arid and hot climate zone. This research examines the indoor thermal comfort levels of four units within the Maymand architectural complex and compares these findings with four units from the traditional rural stone architecture found in Riseh, Shahr-e-Bābak. To achieve accurate and reliable results, indoor bioclimatic monitoring was meticulously conducted for seven days during the winter season. This monitoring allowed for the calculation of the Predicted Mean Vote (PMV) thermal comfort index for the selected buildings located at both sites.

Findings

The findings from this comparative study revealed that the PMV thermal comfort index stood at -2.12 for the Maymand rock-cut buildings, while it was recorded at -3.28 for the structures in stone masonry houses in Riseh. Additionally, an analysis of the indoor temperature averages for both type of

indigenous architectural complexes concerning their respective outdoor temperature averages yielded further insights. During the cold season, the indoor temperatures in Maymand and Riseh demonstrated significant variances from the outdoor temperatures, specifically showing differences of 13.27°C and 7.83°C, respectively. Notably, the Maymand structures exhibited superior performance, achieving a more favorable temperature difference of 5.44°C compared to their Riseh counterparts.

In conclusion, this research indicates that the architectural features of the Maymand buildings, which include substantial settlement layer thickness, low heat exchange coefficients in the walls, and effective utilization of groundmass temperature, have collectively fostered an environment conducive to thermal comfort. This architectural complex has achieved these favorable conditions with minimal energy consumption or, in some instances, entirely without it. Conversely, the traditional stone architecture in Riseh exhibits a thermal comfort level that is 54.7% lower, reflecting its less effective performance under similar environmental conditions when compared to the troglodytic structures of Maymand. The implications of these findings underscore the importance of architectural design in enhancing indoor thermal comfort, particularly in regions facing extreme climate variations.

Conclusion

The reason for this is the structural integrity of the troglodytic architecture and the depth of its penetration. Also, the level of contact with the open air and the influence of its temperature in stone masonry buildings is more than that of troglodytic architecture which is another reason for the lower level of thermal comfort in these buildings compared to the troglodytic architecture. In general, the characteristics of thermal comfort and energy consumption in troglodytic architectural heritage can provide many design patterns for today's architectural designers, such as more application of ground heating and utilization of materials with suitable thermal phases. Also, the need for more conservation of these two types of architecture becomes more important because unique examples like Maymand have many unknown architectural patterns that have not been studied yet.

Keywords

Maymand, Riseh, Thermal comfort, Troglodytic architecture, Rock-cut Architecture, Stone architecture,

- Ashrafi, M. (2022). Architectural Sustainability in the Cultural Landscape of Maymand. *Journal of Iranian Architecture Studies*, 9(17), 97–122. [In Persian] <https://doi.org/10.22052/9.17.97>
- Ghaedi, S. (2020). Underground spaces: A step towards sustainable development in Khuzestan Province, Iran. *Problemy Ekorozwoju*, 16(1), 193–200. [In Persian] <https://doi.org/10.35784/pe.2021.1.21>
- Goudini, J. (2020). Defining Troglodytic Architecture and its Design Methods Based on Iranian Examples. *Tunneling & Underground Space Engineering*, 9(3), 285–304. [In Persian] <https://doi.org/10.22044/tuse.2020.10150.1400>
- Khaksar, A., Tabadkani, A., Mofidi Shemirani, S. M., Hajirasouli, A., Banihashemi, S., & Attia, S. (2022). Thermal comfort analysis of earth-sheltered buildings: The case of meymand village, Iran. *Frontiers of Architectural Research*. <https://doi.org/10.1016/J.FOAR.2022.04.008>
- Mangeli, M., Abouei, R., & Mehdizadeh Saradj, F. (2018). A New Look at Unique Characteristics of Iran's Rock-Cut Architecture Settlements (Case Study: The World Heritage Site of Meymand Village, Shahre Babak). *Journal of Studies of Human Settlements Planning*, 12(4), 785–802. [In Persian]
- Mangeli, M., Aram, F., Abouei, R., & Mehdizadeh Saradj, F. (2022). A New Look at Excavation Techniques and Design of Rock-Cut Architectures. *Designs*, 6(4). <https://doi.org/10.3390/designs6040064>
- Martinez-Molina, A., Williamson, K., & Dupont, W. (2022). Thermal comfort assessment of stone historic religious buildings in a hot and humid climate during cooling season. A case study. *Energy and Buildings*, 262, 111997. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2022.111997>
- Rostam, N. G., Hojjati, A., Mahdaviinejad, M., & Mirlohi, M. (2014). Natural energy efficient materials for rock cut architecture in case of Kandovan, Iran. *Advanced Materials Research*, 935, 202–206. [In Persian]



<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.935.202>

- Sadooghi, A., Kibert, C., Sadeghi, F. M., & Jafari, S. (2019). Thermal performance analysis of a traditional passive cooling system in Dezful, Iran. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 83, 291–302. [In Persian] <https://doi.org/10.1016/J.TUST.2018.09.024>





پروہشگاہ علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

ارزیابی آسایش حرارتی درونی زمستانی در میراث معماری بومی روستایی ایران (نمونه‌های موردی: معماری دستکند مجموعه میراث جهانی میمند و معماری سنگی روستای ریشه شهر بابک)

محمد منگلی*

گروه مرمت بناهای تاریخی، دانشکده معماری، شهرسازی و هنر، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران (نویسنده مسئول).

محسن کشاورز

گروه مرمت بناهای تاریخی، دانشکده هنر و معماری صبا، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران.

چکیده

میراث معماری بومی ایران شامل نمونه‌های خوبی از معماری پایدار است که در آن حداقل مصرف انرژی و استفاده از سیستم‌های غیرفعال برای ایجاد آسودگی زیست، رویکرد بنیادین این معماری برای ایجاد محیطی مناسب برای زندگی انسان است. اهمیت شناخت ویژگی‌های تطابق اقلیمی آن و استفاده از آموزه‌های مستخرج از آن برای معماری امروز کمتر مورد توجه قرار گرفته است. مقایسه سطح آسایش حرارتی در دو گونه از این معماری هدف این پژوهش است که با روش پژوهش مقایسه آماری انجام شده است. مجموعه میراث جهانی میمند، نمونه کاملی از این نوع معماری در اقلیم نیمه گرم و خشک ایران است که میزان آسایش حرارتی داخلی ۴ واحد از بناهای آن با ۴ واحد از بناهای گونه معماری سنگی در ریشه شهر بابک، در این پژوهش مورد مقایسه قرار گرفته است. با استفاده از پایش بیوکلیماتیک داخلی بناهای منتخب در ۷ روز از فصل زمستان، شاخص آسایش حرارتی داخلی PMV برای این بناها در هر دو مکان محاسبه شد. نتایج نشان داد که این شاخص در میمند ۲/۱۲- و در ریشه ۳/۲۸- است. همچنین مقایسه دمای داخلی بناهای این دو مجموعه با دمای بیرونی آن‌ها نشان داد که در فصل سرد دمای محیط داخلی بناها در میمند و ریشه به ترتیب ۱۳/۲۷ و ۷/۸۳ درجه با دمای بیرونی متفاوت است و خانه‌های میمند با اختلاف ۵/۴۴ درجه سانتی‌گراد عملکرد بهتری دارند. می‌توان نتیجه گرفت که بناهای میمند با استفاده از ضخامت زیاد لایه بستر استقرار خود، ضریب تبادل حرارتی پایین جداره‌ها و استفاده از دمای توده زمین، شرایطی را در این مجموعه معماری فراهم کرده که بدون مصرف یا با حداقل مصرف انرژی آسایش حرارتی لازم برای سکونت انسان فراهم کند درحالی که در معماری سنگی سطح آسایش ۵۴/۷٪ نسبت به آن پایین‌تر است و عملکرد ضعیف‌تری به لحاظ آسایش حرارتی در شرایط مشابه نسبت به گونه دستکند دارد.

کلیدواژه‌ها: میمند، ریشه، آسایش حرارتی، معماری دستکند، معماری سنگی

* نویسنده مسئول مکاتبات با پست الکترونیک: m.mangeli@urmia.ac.ir

۱- مقدمه

پژوهش‌های مرتبط با رفتار حرارتی ابنیه و آسایش حرارتی به دلیل نقش و جایگاه بناها در سطح مصرف انرژی، یکی از گرایش‌های مطالعات امروزی معماری است (Santamouris & Vasilakopoulou, 2021). برای رسیدن به طراحی بهینه بناها با مصرف انرژی حداقلی، یکی از مواردی که می‌تواند موضوعیت پژوهشی برای رسیدن به الگوهای همساز با اقلیم باشد، بناهای تاریخی و میراث معماری بومی هر پهنه اقلیمی است، که منتج به معیارهایی برای طراحی شود و بخشی از مسیری باشد که به کاهش مصرف انرژی در بناهای امروزی ختم شود (De Dear et al., 2013). در میان انواع مختلف از معماری گذشته، می‌توان به نمونه‌هایی رسید که در ذات خود رفتار حرارتی مناسبی دارند و با کمترین میزان مصرف منابع انرژی، شرایط زندگی انسان را فراهم می‌کنند (Martínez-Molina et al., 2016) می‌توان با موضوعیت قرار دادن همین موارد، خصیصه‌های معماری آن‌ها را، که مرتبط با این امر هستند، بیشتر مورد توجه قرار داد. در میان انواع معماری بومی به عنوان یکی از شاخص‌های میراث معماری هر ناحیه که براساس دسترسی به منابع، مصالح و فنون در هر منطقه جغرافیایی شکل گرفته و (Zhai & Previtali, 2010; Gil-Crespo, 2014) و تکامل پیدا کرده‌اند (فرشیدفر و همکاران، ۱۴۰۲؛ Widera, 2021) می‌توان به نمونه‌ها متناسب با اقلیم دست یافت. از این موارد، معماری بومی دستکند و معماری بومی سنگی در نواحی کوهستانی، دو نمونه‌ای هستند که به دلیل استفاده از مصالح سنگی و توده سنگ با دو شکل متفاوت، می‌توانند زمینه مناسبی برای مطالعه در زمینه آسایش حرارتی باشند. معماری دستکند با حفر در توده سنگی یکپارچه و یا بسترهای خاکی متراکم به وجود می‌آید (اشرفی، ۱۳۹۹) (منگلی و همکاران، ۱۳۹۶). به دلیل ضخامت زیاد اجزای این معماری، رفتار حرارتی جرم توده آن موجب کمترین اتلاف انرژی می‌شود (Givoni, 1981; Agan, 2011). این ویژگی به همراه گرمایش با استفاده از دمای سنگ بستر و سطح تماس کم بنا با محیط بیرون می‌تواند شرایط آسایش حرارتی را برای انسان فراهم کند (Canas & Martín, 2004) که مقایسه سطح آسایش آن با نمونه دیگری از معماری بومی که بناهای ساخته شده با سنگ لاشه هستند، می‌تواند به درک بهتر ما از رفتار آسایشی حرارتی هر دو گونه منتهی شود. امری که در پژوهش‌های گذشته معماری بومی و آسایش حرارتی در بناهای تاریخی مورد توجه قرار نگرفته است. مسئله اساسی این است که در شرایط بحرانی امروز به لحاظ مصرف انرژی در بخش ساختمان، استفاده از دانش پایداری و آسایش اقلیمی در پناه معماری گذشته می‌تواند بخشی از راه حل باشد. میراث معماری ایران به خصوص معماری بومی دربرگیرنده روش‌ها، مصالح و فنونی است که زیست انسان را تسهیل می‌کند و می‌توان با شناخت بهتر از شرایط این معماری، از قابلیت گونه‌هایی که عملکرد اقلیمی بهتری دارند بهره جست. حال این سؤال مطرح می‌شود که بین سطح آسایش حرارتی در گونه‌های مختلف معماری بومی چه میزان اختلاف وجود دارد و در شرایط دمایی سرد کدام یک عملکرد بهتری برای ایجاد آسایش محیطی بدون مصرف انرژی دارند؟ این پژوهش با هدف تعیین محدوده آسایش دمایی درونی بناهای میراث معماری بومی ایران در دو گونه معماری دستکند و معماری سنگی در فصل سرد انجام شد و با استفاده از داده‌های اقلیمی برداشت شده از درون فضای بناها برای تعیین شاخص آسایش حرارتی PMV و مقایسه آن‌ها با یکدیگر اقدام شد تا به تفاوت سطح عملکرد رفتار این دو گونه معماری بومی در ایجاد آسایش زیست انسانی برسد. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند علاوه بر افزایش دانش ما از جنبه‌های ناشناخته معماری بومی ایران به دریافت الگوهایی از رفتار اقلیمی این بناها منجر شود و مشخص شود کدام یک از گونه‌های معماری بومی شرایط مناسب‌تری برای زیست انسان در ناملایمات جوی از لحاظ دمایی دارند. عواملی که در ایجاد این محیط مناسب در معماری بومی نقش دارند می‌تواند پس از شناسایی و مطالعه به عنوان ابزارهایی پایدار در معماری همساز با اقلیم امروز نیز استفاده شوند

۲- پیشینه پژوهش

سؤالات اساسی این پژوهش شامل این موارد است که سطح آسایش حرارتی داخلی بناهای معماری بومی ایران در فصل زمستان چه مقدار است؟ در شرایط برابر اقلیمی، چه میزان اختلاف بین سطح آسایش حرارتی زمستانی بین گونه دستکند

محمد منگلی

و گونه سنگی وجود دارد و کدام یک عملکرد آسایشی بهتری دارند؟ بر مبنای این سؤالات بنیادین شناخت موارد پژوهشی که در زمینه آسایش حرارتی در ابنیه بومی مطالعات انجام داده‌اند، ضرورت پیدا می‌کند. اما کمبود موارد پژوهشی که به آسایش حرارت این بناها در فصول سرد بپردازد، بیشتر به چشم می‌خورد (Yu et al., 2020b; Alkaff et al., 2016). مطالعات متعددی در زمینه مصرف انرژی و شرایط اقلیمی بناهای زیرزمینی به عنوان بخشی از بناهای دستکند انجام شده است (Yu et al., 2020b)، و در مواردی نیز عملکرد حرارتی آن‌ها با مدل‌سازی مورد بررسی قرار گرفته است (Yu et al., 2020b; Khaksar et al., 2022). نمونه‌هایی از مطالعات بناهای سنگی نیز نشان دادند که این بناها در فصول سرد و گرم رفتار حرارتی متفاوتی دارند و عملکرد آن‌ها در فصل سرد مناسب‌تر است (Martinez-Molina et al., 2022).

اما مقایسه میان شرایط آسایش حرارتی این دو گونه معماری با سایر نمونه‌ها انجام نشده است. (Khaksar et al., 2022) به مدل‌سازی رفتار حرارتی ۲۲ فضا در میمند پرداخت و نمونه بهینه آن‌ها را طراحی نمود که ۲۲٪ رفتار حرارتی مناسب‌تری داشتند. همچنین (Khaksar et al., 2022b) با مدل‌سازی عوامل اثرگذار بر آسایش حرارتی بناهای میمند دریافت که شکل پلان، مصالح و جرم حرارتی، نسبت بازشو به دیوار و ضخامت جداره‌ها، بیشترین اثر را بر شرایط آسایش حرارتی این بناها دارد. همچنین دریافتند که بناهای این مجموعه در فصل تابستان رفتار حرارتی مناسب‌تری دارند. در این راستا (Mangeli et al., 2023) نیز مقایسه رفتار حرارتی چهار نمونه از خانه‌های میمند در دو فصل تابستان و زمستان را انجام دادند و دریافتند که این بناها در تابستان شرایط زیست انسانی مناسب‌تری دارند.

شاخص آسایش حرارتی pmv به عنوان یکی از شاخص‌های اندازه‌گیری آسایش انسانی در فضای معماری ارجاع امکان قضاوت و مقایسه بین بناهای مختلف را در این زمینه فراهم می‌آورد و در این پژوهش به عنوان ابزار اندازه‌گیری رفتار آسایش حرارتی بناهای دستکند و سنگی مورد استفاده قرار گرفته است در این شاخص تعادل انرژی بین انسان و محیط محاسبه می‌شود (Bruse, 2009) و عوامل انسانی به همراه شرایط زیست اقلیمی و خرد اقلیمی بناها در تعیین سطح آن نقش دارند (Andersen et al., 2009; Fanger, 1986). این شاخص حدود ۸۹ درصد همبستگی با احساس آسایش حرارتی تجربه شده به وسیله ساکنان دارد (Monteiro, I. m., Alucci, 2009). همچنین روایی لازم در زمان استفاده یا بدون استفاده از سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی در بناها را دارد (Enescu, 2017). با نگاه به موارد پژوهشی انجام شده درمی‌یابیم که بیشتر آن‌ها تمرکز بر مطالعه یک بنا یا گونه خاص را برای شناخت رفتار حرارتی و اقلیمی دارند و مقایسه‌ای بین دو گونه مختلف معماری بومی را در این زمینه انجام نداده‌اند. لذا در پژوهش حاضر سعی در انجام این مقایسه برای معماری بومی ایران داریم تا به این نتیجه برسیم که در شرایط اقلیمی مشابه کدام یک از گونه‌های این معماری شرایط مناسب‌تری را برای زیست انسان بدون مصرف انرژی در فصل زمستان در درون خود فراهم می‌کنند.

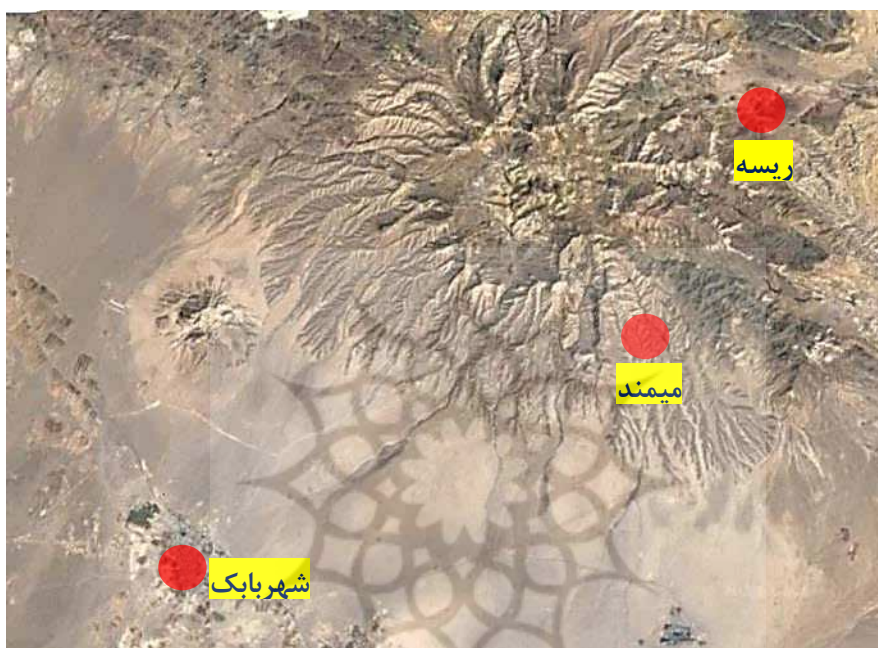
۳- روش بررسی

۳-۱- توصیف مجموعه‌های معماری منتخب

۳-۱-۱- میمند: مجموعه روستای دستکند میمند بزرگ‌ترین مجموعه معماری دستکند ایران محسوب می‌شود که قدمتی بیش از دو هزار سال دارد (اشرفی، ۱۳۹۹). این منظر فرهنگی در سال ۲۰۱۵ در فهرست میراث فرهنگی جهانی یونسکو ثبت شد (UNESCO World Heritage Centre, 2015). میمند مجموعه‌ای متشکل از حدود ۳۶۰ واحد معماری دستکند است که در دامنه‌های تپه‌ای از جنس رسوبات آذرآواری آذرین متشکل از توف و پامیس، در ارتفاع ۲۲۵۰ متر از سطح دریا حفر شده‌اند (Kiani et al., 2022). موقعیت جغرافیایی آن ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و ۵۵ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی، در نزدیکی شهر بابک در استان کرمان در مرکز ایران واقع شده است (شکل ۱). اقلیم کلی حاکم بر منطقه میمند طبق پهنه‌بندی اقلیمی کوپن جز کوهپایه‌ای نیمه‌بیابانی است (Kottek et al., 2006). میانگین بارندگی در میمند ۲۲۰ میلی‌متر در سال است. تمامی بناهای اصیل این مجموعه با ابزارهای ابتدایی در درون توده‌های سنگی یکپارچه حفر شده‌اند و نوعی از معماری ارگانیک (Taher Tolou Del et al., 2022) متناسب با اقلیم و شرایط معیشت مردمان ساکن این روستا شکل گرفته است (گودینی، ۱۳۹۹) (شکل ۲ و ۳). هنوز در تعدادی از خانه‌های این

روستا سکونت به شکل سنتی وجود دارد (Mangeli et al., 2022).

۱-۲-۳- روستای سنگی ریشه: روستای پلکانی ریشه به فاصله هوایی حدود ۳۷ کیلومتری از مرکز شهر بابک و ۹.۵ کیلومتری از میمند قرار دارد. ارتفاع این روستا از سطح دریا ۲۳۲۰ متر و در موقعیت جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی و ۵۵ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی قرار دارد (شکل ۱). میانگین بارندگی این روستا حدود ۳۲۰ میلیمتر در سال و به لحاظ اقلیمی شبیه به میمند است. معماری این روستا در دامنه‌های تپه‌ای با شیب زیاد شکل گرفته و شامل بناهای مسکونی ساخته شده از سنگ لاشه و ملات گل با پوشش تیرهای چوبی است. به دلیل تبعیت فرم کلی روستا از توپوگرافی محل، ساختاری پلکانی همانند بیشتر روستاهای سنگی کوهستانی دارد (شکل ۲ و ۳). نزدیکی این روستا به میمند شباهت‌های جغرافیایی، اقلیمی، اقتصادی و فرهنگی زیادی نیز بین آن‌ها به وجود آورده، ولی ساختار معماری آن‌ها دارای تفاوت اساسی است.



شکل ۱. موقعیت قرارگیری میمند و ریشه در محدوده شهرستان شهر بابک (maps.google.com)



شکل ۲. نمای کلی از دو روستای دستکند میمند و سنگی ریشه (نویسندگان)

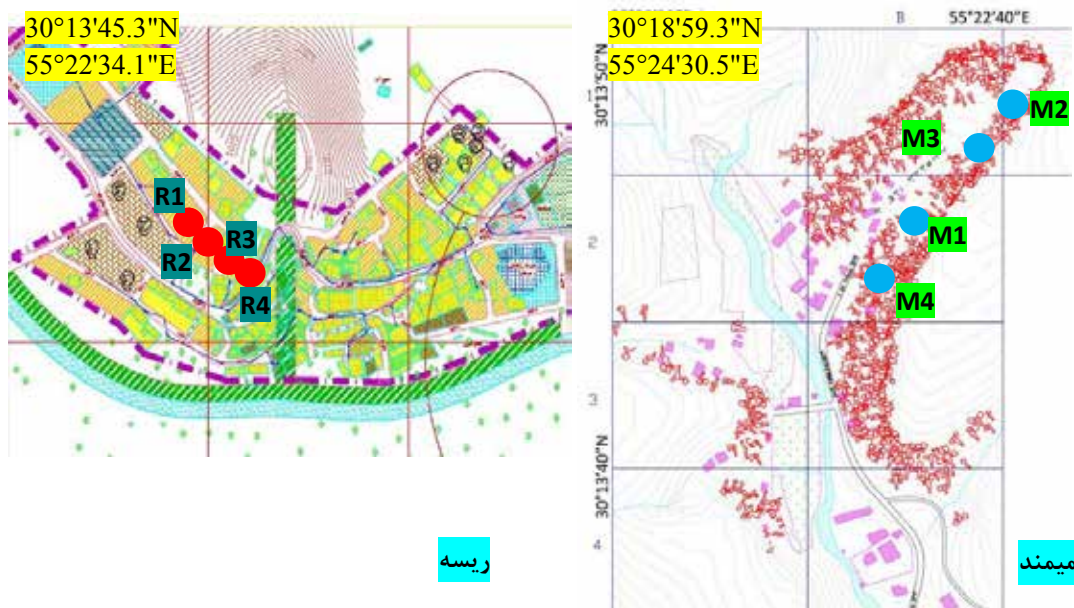


شکل ۳. نمای نزدیک از بافت و مصالح قالب معماری یک کیچه در میمند و یک بنا در ریسه (نویسندگان)

۳-۲- بناهای منتخب

بناهای انتخابی برای این پژوهش شامل ۴ واحد مسکونی در ۴ نقطه از بافت این دو مجموعه معماری است (شکل ۴). بناهای منتخب در میمند شامل ۲ واحد از آن‌ها که در دیواره سنگی صخره عمودی حفاری شده و ۲ واحد دیگر بر سطح شیبدار تپه است. دسترسی ۲ واحد حفر شده در سطح عمودی به فضای باز، به صورت مستقیم با فضایی نیم‌باز کم‌عمق است و ۲ واحد حفر شده در سطح شیبدار دارای فضای نیمه باز بزرگ‌تر با ترانشه به بیرون ارتباط دارند. این ترانشه‌ها در اصطلاح محلی «کیچه» نام دارند و نشان‌دهنده یک واحد سکونتی هستند. کف تمامی بناها از جنس سنگ بستر است و درهای چوبی با ضخامت ۵ سانتیمتر در آن‌ها نصب است. ضخامت میانگین دیوارها و سقف حداقل ۷۰ سانتیمتر می‌باشد (جدول ۱).

بناهای انتخاب شده برای پایش در ریسه تعداد ۴ واحد در نزدیکی یکدیگر در بخش قدیم بافت روستا (شکل ۴)، دارای دیوارهای با سنگ چینی با سنگ لاشه و ملات گل و آهک هستند که با سقف تیرپوش و تخته‌های چوبی پوشیده شده‌اند. درها و پنجره‌ها الحاقی و از جنس آهن بوده، آستر درونی دیوارها همگی از جنس ملات گچ و خاک و رویه گچ بوده‌اند که در حال حاضر به وسیله مالکان تغییرات زیادی در نوع پوشش سطوح دیوارهای داخلی ایجاد شده است و بیشتر آن‌ها الحاقی و غیراصیل می‌باشند. کف‌سازی آن‌ها از جنس موزاییک سیمانی و هر واحد به اندازه حدود ۲۰ سانتیمتر از جلو ورودی بالاتر ساخته شده است. ضخامت دیوارهای سنگچین حداقل ۵۰ سانتیمتر و ضخامت سقف حداقل ۲۰ سانتیمتر است. در جلو هرکدام از خانه‌ها فضای نیمه باز کم عمقی با میانگین عرض ۳۰ سانتیمتر واسط فضای داخل و بیرون است. تمامی بناهای اصیل این روستا فقط رو به سمت دره مرکزی دارای در و پنجره می‌باشند (جدول ۱).



شکل ۴. تصویر هوایی و موقعیت مکانی میمند و ریشه و محل قرارگیری بناهای منتخب برای پایش (پایگاه میراث جهانی میمند و بنیاد مسکن)

جدول ۱. مشخصات معماری بناهای منتخب برای پایش در میمند و ریشه (نویسندگان)

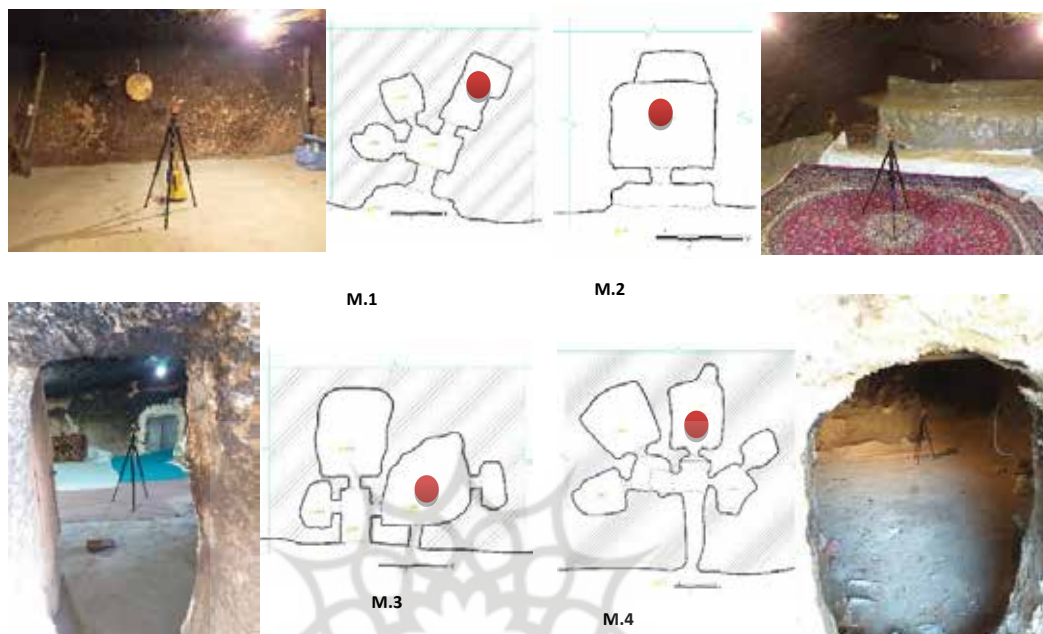
موقعیت	نام بنا	عمق (m)	عرض (m)	ارتفاع (m)	ضخامت دیوار (m)	ضخامت سقف (m)	مساحت بازشو (m ²)	مساحت بنا (m ²)	مساحت نیمه‌باز (m ²)	جهت جغرافیایی	مصالح اصلی
میمند	M1	۷٫۷	۴٫۸	۲٫۲	۱٫۲	۰٫۹	۱٫۱	۱۸٫۵	۰٫۷	شمال-غرب-جنوب شرق	رسوبات آذرآواری
	M2	۶	۵	۱٫۹	۰٫۷	۳	۱٫۲	۲۱	۰٫۹	شمال	رسوبات آذرآواری
	M3	۴٫۲	۴٫۹	۲	۱٫۳	۳٫۵	۱٫۳۵	۲۳	۱٫۲	شمال	رسوبات آذرآواری
	M4	۵٫۶	۴٫۷	۲٫۱	۱	۰٫۸	۱	۳۴	۳٫۱	شمال	رسوبات آذرآواری
ریسه	R1	۶٫۳	۳٫۵	۲٫۷	۰٫۶۵	۰٫۳	۱٫۶	۲۲	۱	جنوب	سنگ لاشه و ملات گل‌آهک
	R2	۶٫۲	۳٫۴	۲٫۷	۰٫۶۵	۰٫۳	۰٫۸	۲۲	۰٫۷	جنوب شرق	سنگ لاشه و ملات گل‌آهک
	R3	۵٫۸	۳	۲٫۶	۰٫۷	۰٫۳	۱٫۵	۱۸٫۵	۱٫۱	جنوب شرق	سنگ لاشه و ملات گل‌آهک
	R4	۶	۳٫۵	۲٫۸	۰٫۷	۰٫۲	۱٫۷	۲۴	۰٫۶	جنوب شرق	سنگ لاشه و ملات گل‌آهک

۳-۳- پایش محیطی

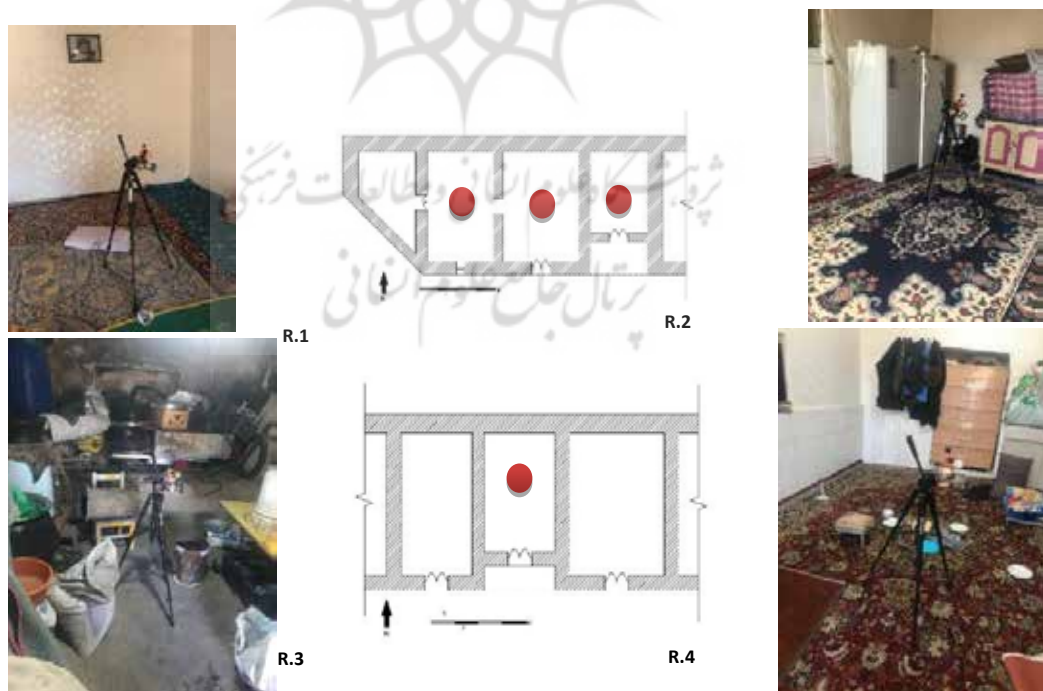
تعداد ۴ دستگاه سنجش اطلاعات دما و رطوبت در درون ۴ اتاق از ۴ بنای مختلف ذکر شده در بخش قبل، در میمند و به همین تعداد در ریشه نصب گردید که مشخصات آن‌ها در جدول (۲) آورده شده و داده‌ها به صورت هم‌زمان برداشت شده است. این دستگاه‌ها در ۱/۳ انتهایی اتاق‌ها در ارتفاع ۱۱۰ سانتیمتری از کف اتاق و به فاصله ۱ متر از دیوارهای داخلی و ۲ متری از دیوارهای سطوحی که در ورودی روی آن قرار داشت مطابق با استاندارد ANSI/ASHRAE 55 نصب شدند

محمد منگلی

(Turner et al., 2008; Eddy et al., 2017) (شکل ۵ و ۶). همچنین یک دستگاه در فضای باز برای سنجش داده‌های اقلیمی بیرون از بناها مستقر گردید. خانه‌های منتخب در زمان ثبت داده‌ها در هر دو مکان، خالی از سکنه و بدون استفاده از سیستم گرمایش بودند تا شرایط خالص وضعیت حرارتی آن‌ها در فصل سرد مورد بررسی قرار گیرد. داده‌های این دستگاه‌های در فواصل زمانی ۳ ساعته، در ۲ بازه زمانی ۳ و ۴ روزه و در مجموع ۷ روز در دی ماه ۱۴۰۱ جمع‌آوری شدند. تغییرات دمای هوا و رطوبت نسبی در داخل اتاق‌ها و فضای بیرون به‌صورت روزانه در شکل (۷) نشان داده شده است.



شکل ۵. نمایی از داخل بناهای منتخب میمند و محل نصب دستگاه پایش و جمع‌آوری داده‌ها (نویسندگان)



شکل ۶. نمایی از داخل بناهای منتخب ریسه و محل نصب دستگاه پایش و جمع‌آوری داده‌ها (نویسندگان)

محمد منگلی

ارزیابی آسایش حرارتی درونی زمستانی در میراث معماری بومی روستایی ایران
(نمونه‌های موردی: معماری دستکند مجموعه میراث جهانی میمند و معماری سنگی روستای ریسه شهر بابک)

جدول ۲. مشخصات فنی مدل و دقت دستگاه‌های پایش محیطی مورد استفاده برای گردآوری داده‌های اقلیمی (kestrelinstruments.com)

داده اندازه‌گیری شده	برند و مدل دستگاه	دامنه عملکرد دستگاه	تفکیک‌پذیری	دقت
دمای هوا درونی	Kestrel 5400 HST	-29 ° to 70 °C	0.1 °C	±0.5 °C
رطوبت نسبی درونی	Kestrel 5400 HST	10% to 90%	0.1 %	±2%
دمای هوا بیرونی	Kestrel 5400 HST	-29 ° to 70 °C	0.1 °C	±0.5 °C
رطوبت نسبی بیرونی	Kestrel 5400 HST	10% to 90%	0.1 %	±2%
سرعت جریان هوا بیرونی و درونی	Kestrel 5400 HST	0.4-40m/s	0.1m/s	20ft/min Or 3% larger of reading

۳-۴- ابزارهای تحلیل

برای تحلیل سطح شاخص آسایش حرارتی در بناهای میمند و ریشه بر مبنای داده‌های گردآوری شده از ابزار محاسبه CBE indoor thermal comfort tool استفاده شد که یک ابزار محاسبه و تصویرسازی آسایش حرارتی است. این ابزار به‌وسیله دانشگاه برکلی بر مبنای استانداردهای - ANSI/ASHRAE 55-2017, iso7730-2017, en16798:1 - 2019 توسعه داده شده است. ورودی‌های این ابزار شامل دما، رطوبت، سرعت جریان هوا، نرخ متابولیک، نوع پوشش لباس است و در استانداردهای مختلف میزان PMV را محاسبه می‌نماید (Tartarini et al., 2020). این ابزار برای محاسبه آسایش حرارتی فضای درونی بناها (indoor) توسعه داده شده و در این پژوهش برای محاسبه سطح PMV داخل بناهای مورد مطالعه، با استفاده از داده‌های اقلیمی جمع‌آوری شده درون ۴ بنای این دو مکان در بازه زمانی زمستان استفاده شده است. در تحلیل آسایش حرارتی این بناها سرعت جریان هوا در درون بناها به‌صورت میانگین ۰.۱ متر بر ثانیه و سطح پوشش افراد از نوع لباس زمستانی معمولی با $met=1$ و میزان متوسط فعالیت بدنی افراد، فعالیت ملایم با $clo=1.2$ در نظر گرفته شد.

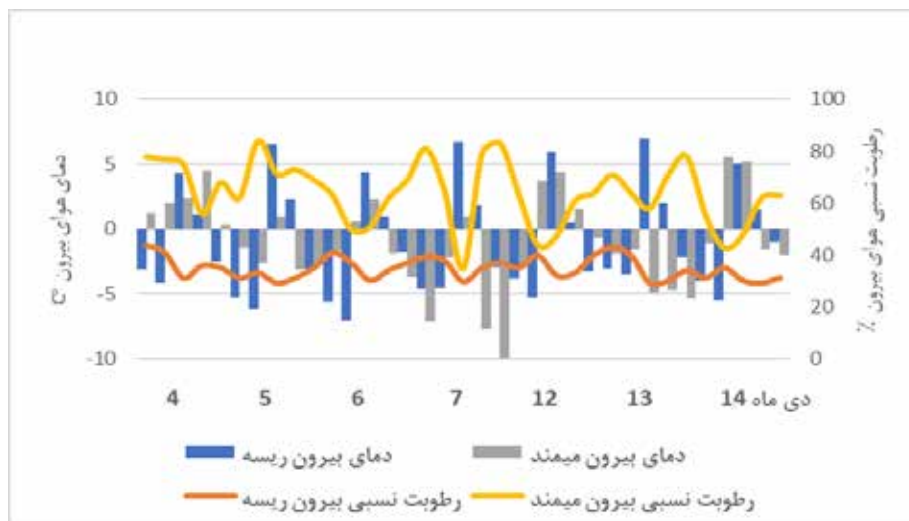
داده‌های مستخرج حاصل از پایش و محاسبه با ابزار تحلیل آسایش حرارتی، در هر دسته در نرم‌افزار spss ۲۶ با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای سنجش نرمال بودن مورد ارزیابی قرار گرفت و محاسبه و مقایسه میانگین و تحلیل آن‌ها با آزمون پارامتریک آنووا و تی دو نمونه‌ای انجام شد.

۴- نتایج

۴-۱- ارزیابی کلی دما و رطوبت بیرونی

شکل (۷) تغییرات دما و رطوبت نسبی هوای آزاد اندازه‌گیری شده در فصل سرد را نشان می‌دهد. میانگین دمای بیرون از خانه‌ها در میمند 9.8°C با انحراف معیار 3.65 محاسبه گردید. به‌صورت هم‌زمان میانگین دمای هوای آزاد در ریشه 9.1°C با انحراف معیار 4.15 به دست آمد. مقایسه میانگین دمایی این دو نقطه با یکدیگر نشان داد که تفاوت معناداری بین میانگین دمایی میمند با ریشه در روزهای ثبت داده‌ها وجود ندارد ($t(68)=0.81, p=0.936$). همچنین محاسبه میانگین درصد رطوبت نسبی در هر دو مکان نیز نشان داد، میانگین این داده در میمند و ریشه به‌ترتیب 64.1% با انحراف معیار 16.12 و 74.34% با انحراف معیار 4.35 می‌باشد. مقایسه میانگین رطوبت نسبی این دو مکان نیز نشان داد اختلاف آن‌ها معنادار است ($t(68)=13.45, p<0.001$). میانگین سرعت جریان هوا در منطقه در بازه زمانی ثبت داده‌ها 1.96 m/s با انحراف معیار 2.02 به دست آمد. تحلیل این وضعیت نشان می‌دهد به‌دلیل قرابت جغرافیایی این دو مجموعه معماری بومی و قرارگیری در پهنه اقلیمی مشابه، شرایط آب و هوایی دو مکان به‌لحاظ آماری با یکدیگر شباهت دارند.

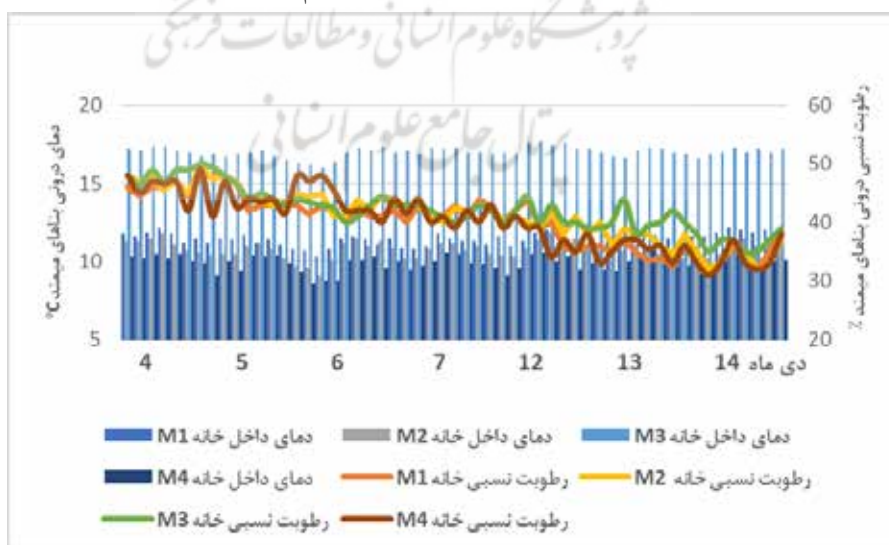
محمد منگلی



شکل ۷. مقایسه تغییرات دما و رطوبت در هوای آزاد میمند و ریشه در روزهای گردآوری داده‌ها (نویسندگان)

۴-۲- ارزیابی دما و رطوبت نسبی در داخل بناهای منتخب در میمند و ریشه

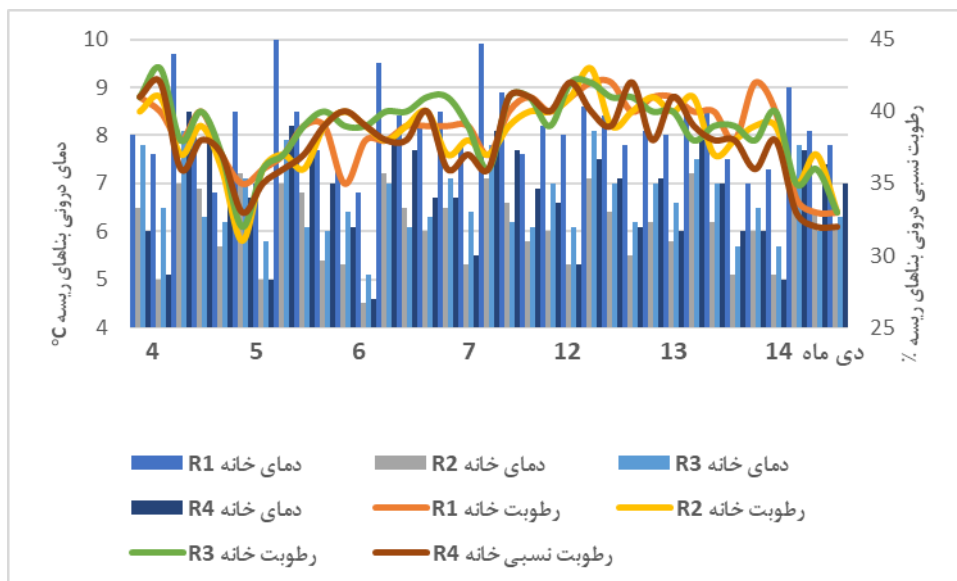
شکل (۸ و ۹) تغییرات دما و رطوبت نسبی در داخل ۴ بنای منتخب در میمند و ۴ بنای منتخب در روستای سنگی ریشه را نمایش می‌دهد. ارزیابی میانگین دمای داخل بناها نشان می‌دهد میانگین دمای آن‌ها در میمند و ریشه به ترتیب $12/29^{\circ}\text{C}$ با انحراف معیار $2/82$ و $6/92^{\circ}\text{C}$ با انحراف معیار $1/13$ است. مقایسه میانگین دمای داخلی بناها همچنین نشان داد بین میانگین دمای داخلی بناها در میمند با میانگین دمای داخلی بناها در ریشه اختلاف معناداری وجود دارد $(t(219,139)=64.48, 72.51, p<0.001)$. مقایسه میانگین رطوبت نسبی درونی این دو دسته از بنا نیز نشان داد میانگین رطوبت نسبی خانه‌های میمند و ریشه به ترتیب $40/97\%$ با انحراف معیار $4/49$ و $38/47\%$ با انحراف معیار $2/52$ است. همچنین بین میانگین آن‌ها نیز اختلاف معنادار است $(t(219,139)=135.18, 180.44, p<0.001)$. مقایسه اختلاف درجه دمایی بین دمای بیرون و داخل بناها در این دو مجموعه نشان می‌دهد که میزان این اختلاف در میمند و ریشه به ترتیب $13/27$ و $7/83$ درجه سانتی‌گراد است که بیانگر اختلاف دمایی بیشتر خانه‌های میمند با دمای بیرون است و این بناها نسبت به خانه‌های ریشه $5/44$ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر هستند.



شکل ۸. نمودار تغییرات دما و رطوبت نسبی در ۴ بنای منتخب در میمند (نویسندگان)

محمد منگلی

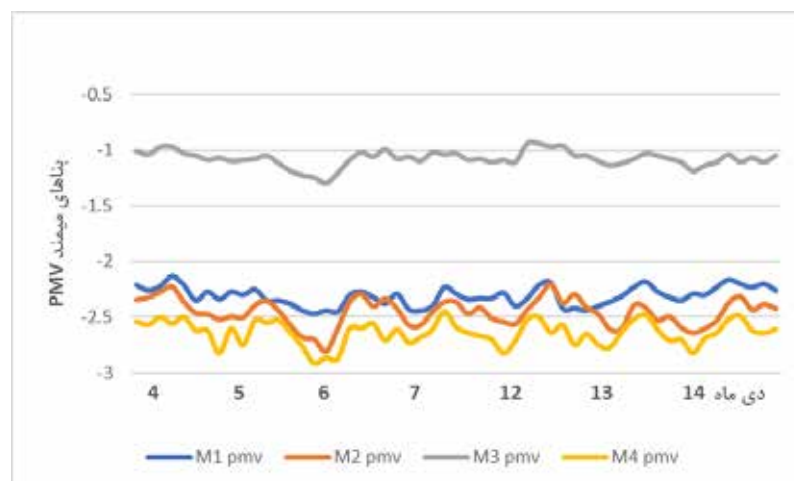
ارزیابی آسایش حرارتی درونی زمستانی در میراث معماری بومی روستایی ایران
(نمونه‌های موردی: معماری دستکند مجموعه میراث جهانی میمند و معماری سنگی روستای ریشه شهر بابک)



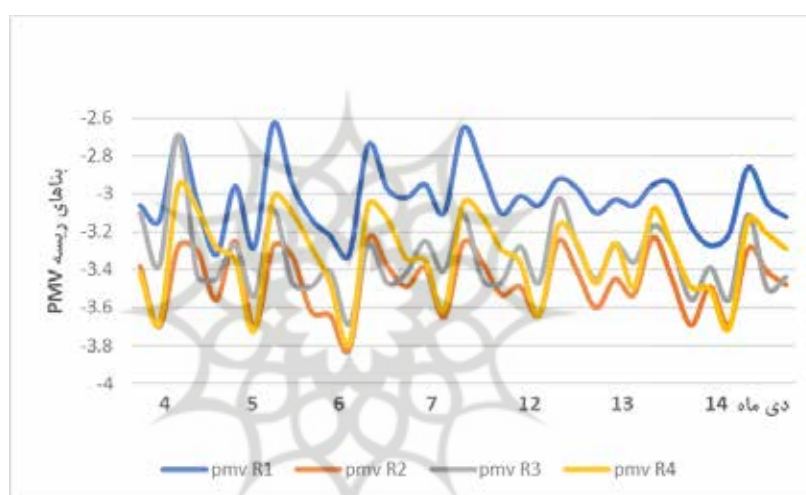
شکل ۹. نمودار تغییرات دما و رطوبت نسبی در ۴ بنای منتخب در ریشه (نویسندگان)

۳-۴- مقایسه سطح PMV داخلی بین بناهای منتخب در میمند و ریشه

شکل (۱۰ و ۱۱) میزان تغییرات سطح شاخص آسایش حرارتی PMV محاسبه شده بر مبنای داده‌های به دست آمده از مطالعه میدانی در میمند و ریشه را نشان می‌دهد. میانگین این شاخص در بناهای میمند و ریشه به ترتیب ۲/۱۲- با انحراف معیار ۰/۶۲۲ و ۳/۲۸- با انحراف معیار ۰/۲۴۸ محاسبه گردید. مقایسه میانگین این شاخص آسایش بین دو مکان نیز نشان داد اختلاف بین شاخص PMV در بناهای میمند با این شاخص در بناهای ریشه معنادار است ($t(219,139) = -50.50, -156.72, p < 0.001$). همچنین مقایسه بین میانگین PMV تک تک بناهای میمند با یکدیگر، حکایت از اختلاف معنادار سطح این شاخص مابین آن‌ها دارد و این مقایسه در مورد بناهای مورد ارزیابی در ریشه نیز بیانگر اختلاف معنادار بین سطح PMV داخلی بناهای این مجموعه با یکدیگر است. ارزیابی این شاخص برای این دو مجموعه بنا، همچنین نشان می‌دهد میزان تغییرات سطح PMV در بناهای میمند در طی شبانه‌روز تابع روند تغییرات آرام‌تری نسبت به میزان تغییرات آن در بناهای میمند است (مقایسه دو نمودار در شکل ۱۰ و ۱۱). علت این امر را می‌توان در تفاوت ذاتی معماری این دو مکان دانست؛ چرا که تغییرات دمایی در بناهای میمند بیشتر تابع تغییرات دمایی بستر استقرار است؛ در حالی که در بناهای سنگی ریشه، این تغییرات به دلیل گشودگی و تماس زیاد سطوح بنا با هوای بیرون، از تغییرات دمای هوای بیرون، بیشتر تأثیر می‌پذیرد، پس دامنه نوسانات آسایشی آن نیز بالاتر است. محاسبه درصد اختلاف بین میانگین این شاخص بین این دو دسته بنا در دو گونه متفاوت از معماری بومی، نشان می‌دهد بناهای دستکند مورد ارزیابی به صورت میانگین ۵۴/۷٪ و به میزان ۱/۱۵ واحد از شاخص PMV به محدوده آسایش حرارتی خنثی نزدیک‌تر بوده و عملکرد بهتری از خود نسبت به بناهای منتخب با معماری سنگی نشان می‌دهند.



شکل ۱۰. تغییرات سطح شاخص آسایش حرارتی PMV در خانه‌های میمند (نویسندگان)



شکل ۱۱. تغییرات سطح شاخص آسایش حرارتی PMV در خانه‌های ریشه (نویسندگان)

۵- بحث

ارزیابی و مقایسه شرایط اقلیمی داخلی بناهای منتخب مجموعه دستکند در مجموعه میراث جهانی میمند و روستای با معماری بومی سنگی ریشه در فصل زمستان برای سنجش شاخص PMV آن‌ها انجام شد. بناهای منتخب مورد سنجش در میمند همگی درون توده سنگ بستر استقرار این روستا حفر شده‌اند و تنها درهای چوبی ورودی آن‌ها تأمین‌کننده نور و تهویه آن‌ها است. نفوذ در عمق این بستر و ضخامت زیاد لایه سنگی که بنا در آن حفر شده، نوعی معماری زمین‌پناه را ایجاد کرده که توده زمین نقش اساسی در ثبات دمایی و رطوبتی و تنظیم شرایط زیست-اقلیمی در آن‌ها دارد. همچنین عمق نفوذ زیاد این بناها نیز نقش مهمی در ایجاد ثبات دمایی در این بناها دارد و میزان تبادلات دمایی بین فضای درون و بیرون را کاهش می‌دهد. از طرف دیگر بناهای منتخب در روستای سنگی ریشه همگی با سنگ چینی با سنگ لاشه و ملات گل و آهک ساخته شده‌اند. سقف این بناها با تیرهای اصلی چوبی و تخته‌پوش با لایه‌ای ضخیم از خاک رس عایق‌بندی شده‌اند. درهای دولنگه چوبی و فلزی و پنجره‌های با مساحت کم تنها عامل ارتباطی نور و تهویه طبیعی آن‌ها است. در تعیین رده احساس آسایش در شاخص PMV، عدد صفر نشان‌دهنده احساس آسایش حرارتی خنثی است و اعداد به ازاء هر واحد که به سمت منفی می‌روند، احساس آسایش حرارتی به سمت نسبتاً سرد، سرد و بسیار سرد تمایل پیدا می‌کند

محمد منگلی

ارزیابی آسایش حرارتی درونی زمستانی در میراث معماری بومی روستایی ایران
(نمونه‌های موردی: معماری دستکند مجموعه میراث جهانی میمند و معماری سنگی روستای ریشه شهر بابک)

(Fanger, 1986). بر این اساس، سطح PMV بناها در میمند در این فصل (۲/۱۲-) در محدوده آسایش سرد قرار دارد که با حداقل مصرف انرژی به محدوده خنثی آسایش حرارتی بین صفر تا ۱- قرار می‌گیرند. این شاخص به‌صورت هم‌زمان در بناهای سنگ‌چین ریشه (۳/۲۸-) در محدوده آسایش بسیار سرد قرار دارد که برای رسیدن به سطح آسایش خنثی در محدوده صفر تا ۱- به انرژی گرمایشی بیشتری نسبت به بناهای میمند نیاز دارند. مردمان ساکن در روستای میمند همواره در فصل زمستان به‌طور معمول در اوقات سرمای شدید، اقدام به استفاده از انرژی برای گرمایش این بناها می‌کنند و همین گرمایش مختصر به‌دلیل تبادلات حرارتی پایین ناشی از جرم توده، شرایط آسایش حرارتی را فراهم می‌کند؛ بدین معنی که در فصل زمستان، با حداقل مصرف انرژی محدوده آسایش فراهم و به پایداری نزدیک هستند. ازطرف دیگر، متغیر رطوبت نسبی نیز در این بناها در زمستان مورد مقایسه قرار گرفت که نشان می‌دهد رطوبت نسبی داخل این بناها در میمند در بیرون ۶۴/۱۱٪ و در داخل بناها ۴۰/۹۷٪ است و در ریشه این پارامتر در بیرون ۳۷/۷۴٪ و در داخل بناها ۳۸/۴۷٪ است. این اختلاف بیانگر این است که بناهای میمند اثر کمتری از سطح رطوبت نسبی هوای بیرون می‌پذیرند درحالی که بناهای ریشه اختلاف کمتری از تفاوت سطح رطوبت نسبی بین بیرون و درون را تجربه می‌کنند. ثبات نسبی نرخ تغییرات رطوبت نسبی داخلی بناهای میمند نشان از این دارد که رطوبت جذب شده توسط جداره سنگی به‌صورت یکنواخت و آرام به فضای داخل منتقل می‌شود. این روند آرام تغییرات در مورد دما نیز همانند رطوبت قابل مشاهده است.

تعداد محدودی مطالعات، در زمینه شناخت اقلیمی گونه‌های معماری بومی ایران انجام شده است. نتایج برخی از آن‌ها نشان می‌دهد که بناهای دستکند رفتار ثابت و یکنواخت با روند تغییرات آرام دمایی دارند. نمونه‌ای از آن در نتایج مطالعه بناهای دستکند زیرزمینی شهر دزفول در اقلیم گرم و مرطوب به‌چشم می‌خورد و علت آن را در عمق زیاد این بناها نسبت به سطح هوای آزاد یافته است (Sadooghi et al., 2019). همچنین نتایج پژوهشی دیگر نشان می‌دهد این گونه از بناها حدود ۵۹٪ از انرژی را درون خود حفظ می‌کنند که در مقایسه با بناهای خشتی با ۳۵٪ سطح حفاظت انرژی، عملکرد بهتری در زمینه مصرف انرژی دارند و دمای آن‌ها نیز در محدوده ۲۶/۷-۲۲/۸ درجه قرار دارد که به محدوده آسایش نزدیک است (Zhu & Tong, 2017). همچنین پژوهش خاکسار در زمینه تهیه نمودارهای زیست-اقلیمی در میمند نشان می‌دهد که بناهای این مکان در فصل گرم تطابق بیشتری نسبت به فصل سرد با شرایط آسایش دارند؛ علت آن عمق نفوذ این بناها و نسبت کم سطح بازشو به سطح کل بنا است (مرادی‌نسب و خاکسار، ۱۴۰۰)، که نتایج مقاله حاضر را تأیید می‌کند. البته نقش عمق نفوذ این بناها و میزان آن بر عملکرد آسایشی و تغییرات آرام آن در فصول مختلف در مدل‌سازی انجام شده در پژوهشی دیگر نیز، تأیید شد و نشان داد که بناهای با عمق بیشتر در توده زمین از نوسانات دمایی پایین‌تری برخوردارند (Khaksar et al., 2022) که با بررسی عمق نفوذ بناهای مورد مطالعه در میمند و مقایسه دما و رطوبت نسبی و سطح آسایش حرارتی آن‌ها با یکدیگر می‌توان آن را تأیید کرد.

پیدا کردن بنایی که امکان دسترسی به آن وجود داشته باشد و در زمان نصب دستگاه پایش و جمع‌آوری داده‌ها در فصل سرد خالی از سکنه باشد، محدودیتی بود که منجر به انتخاب تنها ۴ بنا از هر یک از دو مجموعه گردید. بنابراین تعمیم نتایج به دست آمده به تمامی بناهای هر دو گونه معماری بومی ایران نیازمند پژوهش وسیع‌تر با تعداد بناهای بیشتر و متنوع‌تر است.

۶- نتیجه‌گیری

این پژوهش سطح آسایش درونی PMV، تعداد ۴ بنای معماری دستکند مسکونی در مجموعه میراث معماری جهانی میمند و ۴ بنای معماری بومی سنگ‌چین کوهستانی را مورد ارزیابی و مقایسه در شرایط برابر اقلیمی قرار داد. سطح PMV داخلی بناها را محاسبه گردید و مشخص شد در فصل زمستان اختلاف معناداری بین سطح PMV داخلی این بناها در این دو مکان با یکدیگر وجود دارد. این شاخص در فصل زمستان و برای فضای داخلی نشان‌دهنده سطح آسایش سرد به میزان ۲/۱۲- و بسیار سرد به میزان ۳/۲۸- بود. اختلاف سطح آسایش حرارتی در بناهای میمند به میزان حدود

۷/۵۴٪ به سطح آسایش خنثی نسبت به بناهای ریشه نزدیک‌تر بود، همچنین اختلاف دمایی درون و بیرون خانه‌های هردو مکان نشان داد که بناهای میمند ۵/۴۴ درجه نسبت به خانه‌های ریشه در فصل زمستان گرم‌ترند.

این دو گونه از معماری بومی عملکرد آسایشی متفاوتی نسبت به یکدیگر در شرایط یکسان در فصل سرد دارند و بناهای دستکند محدوده آسایشی نزدیک‌تری به سطح آسایش خنثی را برای زندگی انسان را بدون مصرف انرژی، فراهم می‌کنند و بناهای دستکند شرایط آسایش حرارتی بهتری را دارند. محیط و بستر استقرار معماری دستکند به‌عنوان گونه‌ای که نگاهداشت انرژی در ذات آن است و تنظیم دمای درون آن تابع دمای بستر و توده سنگی حفاری آن است، در درجه اول بایستی در حفاظت از این بناها مد نظر قرار گیرد. نفوذ رطوبت به درون این بناها زمینه‌ساز تخریب و تغییرات دمایی درون آن‌هاست، لذا لازم است اقدامات لازم برای دفع آب‌های سطحی در محیط پیرامون این بناها در اولویت باشد. در مورد بناهای با معماری سنگی، لایه‌های عایق خاکی بام این بناها و سازه چوبی سقف و همچنین در و پنجره‌ها و ابعاد آن‌ها نقش اساسی در حفظ انرژی گرمایی درون این بناها را بر عهده دارند. همچنین انتخاب مصالح آستر دیوارها و پوشش کف آن‌ها در ایجاد دمای آسایش نقش دارند لذا در طراحی حفاظت از این ابنیه، هر نوع تغییری در نوع مصالح، ضخامت و ابعاد آن‌ها می‌تواند شرایط آسایش حرارتی درونی آن‌ها را تغییر دهد. به‌صورت کلی، عامل مهم برای هر دو نوع معماری، زیست پایدار، مداوم و متناسب انسان در درون این ابنیه است. که تضمین‌کننده اصلی بقای آن‌هاست و ایجاد شرایط مناسب آسایش حرارتی در درون این بناها نیز تابع حضور پایدار انسان و زندگی متناسب با آن فضا است.

این دو گونه از معماری بومی ایران به‌دلایلی همانند استفاده از گرمایش توده زمین، ضخامت زیاد لایه‌های بنا، سطح کم بازشوها و جنس بستر حفر بنا و نوع مصالح انتخابی، کمترین میزان اتلاف انرژی را دارند و دمای درون آن‌ها بیشتر به‌وسیله توده زمین و سنگ‌چینی ضخیم جداره‌ها تنظیم می‌شود. اثر مؤلفه‌های مذکور بر شرایط زیستی این دو گونه از معماری بومی می‌تواند زمینه پژوهش‌های دیگر باشد که به تکمیل دانش ما از جنبه‌های ناشناخته معماری در این بناها کمک کند. این دو گونه از معماری بومی، می‌توانند الگوی مناسبی برای معماری امروز باشد که دچار بحران اتلاف انرژی است. شناخت دقیق این معماری و رفتار آن زمینه را برای حفاظت و احیا بهتر این میراث ارزشمند فراهم می‌کند.

تحلیل نقش پدیده‌هایی موثر دیگری همانند شرایط جغرافیایی، ریخت معماری، اثر فن و طرح ساخت این بناها در میزان عملکرد آسایشی بناهای بومی، می‌تواند به تکمیل شناخت از این الگوهای کهن معماری کمک کند. شناخت کیفی تکنیک‌های خاص متناسب‌سازی زندگی انسان با این معماری بومی و نقش سبک زندگی در ایجاد آسایش در این دو نوع معماری، می‌تواند زمینه پژوهش‌های آتی در این حوزه باشد.

سپاس‌گزاری

از همراهی و همکاری مالکان محترم خانه‌های منتخب در میمند و ریشه در جهت فراهم آوردن امکان پایش بناها سپاس‌گزاریم.

تعارض منافع

تعارض منافی بین نویسندگان وجود ندارد.

منبع مالی

منابع مالی این پژوهش از طریق مشارکت نویسندگان تأمین شده است.

منابع

- اشرفی، مهناز (۱۳۹۹). پایداری در معماری استقرارگاه‌های منظر فرهنگی میمند. مطالعات معماری ایران، ۹ (۱۷)، ۹۷-۱۲۲.
- فرشیدفرضا، علیرضا، حسین، درخشی حسن (۱۴۰۲). طبقه‌بندی و تحلیل معماری صخره‌ای در شمال غرب ایران. فصلنامه علمی اثر؛ ۴۴ (۱): ۱۷-۲۰.
- گودینی جواد (۱۳۹۹). آرایه تعریفی از معماری کند و روش‌های طراحی آن، براساس مصادیق ایرانی. مهندسی تونل و فضاهای زیرزمینی. ۹ (۳): ۲۸۵-۳۰۴
- مرادی‌نسب حسین، خاکسار امیررضا (۱۴۰۰). بررسی تطابق معماری دستکند در ایران با عنصر اقلیمی درجه حرارت در دوره گرما؛ نمونه موردی: روستای دستکند میمند. نقش جهان - مطالعات نظری و فناوری‌های نوین معماری و شهرسازی. ۱۴۰۰: ۱۱ (۱): ۸۳-۹۳
- منگلی محمد، رضا ابویی، فاطمه مهدی زاده سراج، (۱۳۹۶). بازشناسی ویژگی‌های منحصر به فرد ساخت سکونتگاه‌های روستایی دستکند ایران (نمونه موردی: مجموعه میراث جهانی روستای میمند، شهربابک، استان کرمان). مجله مطالعات برنامه ریزی سکونتگاه‌های انسانی، ۱۲ (۴۱): ۷۸۵-۸۰۲.
- Agan, C. (2011). Investigation into the usage of Sanliurfa limestones in Turkey as underground storage cavern with regard to some engineering properties. *International Journal of Physical Sciences*, 6(33), 7629–7637. <https://doi.org/10.5897/IJPS11.250>
- Alkaff, S. A., Sim, S. C., & Eryina Efsan, M. N. (2016). A review of underground building towards thermal energy efficiency and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 692–713. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.085>
- Andersen, R. V., Toftum, J., Andersen, K. K., & Olesen, B. W. (2009). Survey of occupant behaviour and control of indoor environment in Danish dwellings. *Energy and Buildings*, 41(1), 11–16. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.07.004>
- Anselm, A. J. (2008). Passive annual heat storage principles in earth sheltered housing, a supplementary energy saving system in residential housing. *Energy and Buildings*, 40(7), 1214–1219. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.11.002>
- Barbero-Barrera, M. M., Gil-Crespo, I. J., & Maldonado-Ramos, L. (2014). Historical development and environment adaptation of the traditional cave-dwellings in Tajuña's valley, Madrid, Spain. *Building and Environment*, 82, 536–545. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.09.023>
- Bodach, S., Lang, W., & Hamhaber, J. (2014). Climate responsive building design strategies of vernacular architecture in Nepal. *Energy and Buildings*, 81, 227–242. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.06.022>
- Bruse, M. (2009). Analysing human outdoor thermal comfort and open space usage with the multi-agent system BOTworld. *The Seventh International Conference on Urban Climate*, July, 4.
- Canas, I., & Martín, S. (2004). Recovery of Spanish vernacular construction as a model of bioclimatic architecture. *Building and Environment*, 39(12), 1477–1495. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.04.007>
- Cardinale, N., Rospi, G., & Stazi, A. (2010). Energy and microclimatic performance of restored hypogeous buildings in south Italy: The "Sassi" district of Matera. *Building and Environment*, 45(1), 94–106. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.05.017>
- De Dear, R. J., Akimoto, T., Arens, E. A., Brager, G., Candido, C., Cheong, K. W. D., Li, B., Nishihara, N., Sekhar, S. C., Tanabe, S., Toftum, J., Zhang, H., & Zhu, Y. (2013). Progress in thermal comfort research over the last twenty years. *Indoor Air*, 23(6), 442–461. <https://doi.org/10.1111/ina.12046>
- Eddy, J., Alspach, P. F., Arens, E. A., Aynsley, R. M., Bean, R., Hartman, T. B., Heinzerling, D., Int-hout, D., Khalil, E. E., Mora, R., Offermann, F. J., Emmerich, S. J., Brundage, D. M., Ferguson, J. M., Gallagher, M. W., Grondzik, W. T., Hanson, S. S., Hedrick, R. L., & Humble, J. (2017). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. 2017.
- Enescu, D. (2017). A review of thermal comfort models and indicators for indoor environments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79(February), 1353–1379. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.175>
- Fabbri, K., & Pretelli, M. (2014). Heritage buildings and historic microclimate without HVAC technology: Malatestiana Library in Cesena, Italy, UNESCO Memory of the World. *Energy and Buildings*, 76, 15–31. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.051>
- Fanger, P. O. (1986). Thermal environment — Human requirements. *Environmentalist*, 6(4), 275–278. <https://doi.org/10.1007/BF02238059>

- Fröhlich, D., Gangwisch, M., & Matzarakis, A. (2019). Effect of radiation and wind on thermal comfort in urban environments - Application of the RayMan and SkyHelios model. *Urban Climate*, 27(May), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.10.006>
- Ghaedi, S. (2020). Underground spaces: A step towards sustainable development in Khuzestan Province, Iran. *Problemy Ekorozwoju*, 16(1), 193–200. <https://doi.org/10.35784/pe.2021.1.21>
- Gil-Crespo, I. J. (2014). Peri urban agriculture as a new strategy of urban development: A. *Vernacular Architecture: Towards a Sustainable Future*, 577–582. <https://doi.org/10.1201/b17393>
- Givoni, B. (1981). Earth-integrated buildings - an overview. *Architectural Science Review*, 24(2), 42–53. <https://doi.org/10.1080/00038628.1981.9696465>
- ISO 7730:2005(en) Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. (n.d.). <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:7730:ed-3:en>
- Khaksar, A., Tabadkani, A., Mofidi Shemirani, S. M., Hajirasouli, A., Banihashemi, S., & Attia, S. (2022). Thermal comfort analysis of earth-sheltered buildings: The case of meymand village, Iran. *Frontiers of Architectural Research*. <https://doi.org/10.1016/J.FOAR.2022.04.008>
- Kiani, M., Hashemi, M., Ajalloeian, R., & Benavente, D. (2022). Investigating the geological and geomechanical characteristics governing the weathering behavior of Meymand tuff. *Environmental Earth Sciences*, 81(2), 45. <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10169-3>
- Kocuyigit, F., Kavak Akpınar, E., & Biçer, Y. (2016). Experimental and theoretical study for the determination of thermal conductivity of porous building material made with pumice and tragacanth. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 30(21), 2357–2371. <https://doi.org/10.1080/01694243.2016.1182832>
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259–263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Li, Y., Geng, S., Zhang, X., & Zhang, H. (2017). Study of thermal comfort in underground construction based on field measurements and questionnaires in China. *Building and Environment*, 116, 45–54. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.02.003>
- Mangeli, M., Aram, F., Abouei, R., & Mehdizadeh Saradj, F. (2022). A New Look at Excavation Techniques and Design of Rock-Cut Architectures. *Designs*, 6(4). <https://doi.org/10.3390/designs6040064>
- Martínez-Molina, A., Tort-Ausina, I., Cho, S., & Vivancos, J. L. (2016). Energy efficiency and thermal comfort in historic buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 70–85. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.018>
- Martinez-Molina, A., Williamson, K., & Dupont, W. (2022). Thermal comfort assessment of stone historic religious buildings in a hot and humid climate during cooling season. A case study. *Energy and Buildings*, 262, 111997. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2022.111997>
- Matzarakis, A., Rutz, F., & Mayer, H. (2007). Modelling radiation fluxes in simple and complex environments - Application of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, 51(4), 323–334. <https://doi.org/10.1007/s00484-006-0061-8>
- MONTEIRO, L. M., ALUCCI, M. P. (2009). Thermal comfort index for the assessment of outdoor urban spaces in subtropical climates. *7th International Conference on Urban Climate*, July.
- Ole Fanger, P., & Toftum, J. (2002). Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates. *Energy and Buildings*, 34(6), 533–536. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00003-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00003-8)
- Review, A. (2021). Thermal Monitoring and Simulation of Earthen Buildings. A Review.
- Rostam, N. G., Hojjati, A., Mahdavejad, M., & Mirlohi, M. (2014). Natural energy efficient materials for rock cut architecture in case of Kandovan, Iran. *Advanced Materials Research*, 935, 202–206. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.935.202>
- Sadooghi, A., Kibert, C., Sadeghi, F. M., & Jafari, S. (2019). Thermal performance analysis of a traditional passive cooling system in Dezful, Iran. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 83, 291–302. <https://doi.org/10.1016/J.TUST.2018.09.024>
- Santamouris, M., & Vasilakopoulou, K. (2021). Present and future energy consumption of buildings: Challenges and opportunities towards decarbonisation. *E-Prime - Advances in Electrical Engineering*,

- Electronics and Energy*, 1, 100002. <https://doi.org/10.1016/J.PRIME.2021.100002>
- Taher Tolou Del, M. S., Sadooghi, Z., & Kamali Tabrizi, S. (2022). Recognition of defensive factors in the architectural heritage of Iran's organic ancient shelters. *Frontiers of Architectural Research*. <https://doi.org/10.1016/J.FOAR.2022.02.003>
 - Tartarini, F., Schiavon, S., Cheung, T., & Hoyt, T. (2020). CBE Thermal Comfort Tool: Online tool for thermal comfort calculations and visualizations. *SoftwareX*, 12, 100563. <https://doi.org/10.1016/J.SOFTX.2020.100563>
 - Turner, S. C., Paliaga, G., Lynch, B. M., Arens, E. A., Aynsley, R. M., Brager, G. S., Deringer, J. J., Ferguson, J. M., Filler, J. M., Hogeling, J. J., Int-hout, D., Kwok, A. G., Levy, H. F., Sterling, E. M., Stoops, J. L., Taylor, S. T., Tinsley, R. W., Cooper, K. W., Dean, K. W., ... Peterson, J. C. (2008). Ashrae 55-2010. *Encyclopedia of Finance, 2010*, 227–227.
 - UNESCO World Heritage Centre. (2015). *Cultural Landscape of Maymand*.
 - Walls, W., Parker, N., & Walliss, J. (2015). Designing with thermal comfort indices in outdoor sites. *Living and Learning: Research for a Better Built Environment*, 1117–1128.
 - Widera, B. (2021). Comparative analysis of user comfort and thermal performance of six types of vernacular dwellings as the first step towards climate resilient, sustainable and bioclimatic architecture in western sub-Saharan Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 140, 110736. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2021.110736>
 - Xiong, J., Li, A., Liu, C., Dong, J., Yang, B., Cao, J., & Ren, T. (2021). Probing the historic thermal and humid environment in a 2000-year-old ancient underground tomb and enlightenment for cultural heritage protection and preventive conservation. *Energy and Buildings*, 251, 111388. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2021.111388>
 - Yu, J., Kang, Y., & Zhai, Z. (John). (2020a). Advances in research for underground buildings: Energy, thermal comfort and indoor air quality. *Energy and Buildings*, 215, 109916. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2020.109916>
 - Yu, J., Kang, Y., & Zhai, Z. (John). (2020b). Advances in research for underground buildings: Energy, thermal comfort and indoor air quality. *Energy and Buildings*, 215, 109916. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2020.109916>
 - Zhai, Z. (John), & Previtali, J. M. (2010). Ancient vernacular architecture: characteristics categorization and energy performance evaluation. *Energy and Buildings*, 42(3), 357–365. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2009.10.002>
 - Zhu, J., & Tong, L. (2017). Experimental study on the thermal performance of underground cave dwellings with coupled Yaokang. *Renewable Energy*, 108, 156–168. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2017.02.051>
 - Zhu, J., Tong, L., Li, R., Yang, J., & Li, H. (2020). Annual thermal performance analysis of underground cave dwellings based on climate responsive design. *Renewable Energy*, 145, 1633–1646. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2019.07.056>



COPYRIGHTS

Copyright © 2024. This open-access journal is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.



نحوه ارجاع به این مقاله

منگلی، محمد و کشاورز، محسن (۱۴۰۳). ارزیابی آسایش حرارتی درونی زمستانی در میراث معماری بومی روستایی ایران (نمونه‌های موردی: معماری دستکند مجموعه میراث جهانی میمند و معماری سنگی روستای ریشه شهر بابک). *فصلنامه علمی اثر*، دوره ۴۵، شماره ۱ (۱۰۴): ۱۴۳-۱۵۸.

DOI: 10.22034/45.1.143

URL: <http://athar.richt.ir/article-2-1834-fa.html>

محمد منگلی

ارزیابی آسایش حرارتی درونی زمستانی در میراث معماری بومی روستایی ایران
(نمونه‌های موردی: معماری دستکند مجموعه میراث جهانی میمند و معماری سنگی روستای ریشه شهر بابک)