

Analysis of Climatic Adaptability and Heating and Cooling Arrangements of Achaemenid Architecture (Case Study: Persepolis Complex)

Hamed Hajilooei¹ , Kazem Mollazadeh² , Morteza Maleki³

Type of Article: **Research**

Pp: 115-140

Received: 2023/04/30; Revised: 2023/05/05; Accepted: 2023/05/12

 <https://doi.org/10.61882/PJAS.855>

Abstract

It is possible to study the climate adaptability of past and present architecture by benefiting from the sciences of archeology, architecture, geography, applied climatology and paleoclimatology. Conducting such studies in connection with the complex of Persepolis in Marvdasht plain belonging to the Achaemenid period adds new information to the scope of our knowledge of the architecture of the mentioned period. The current research seeks to evaluate three main questions: 1) What were the physical components of the architecture of Persepolis complex in order to adapt it to climatic conditions? 2) How effective were these components in line with the mentioned issue? And 3) What were the non-physical heating or cooling arrangements of the complex? The necessary information has been collected by library and field methods and analyzes of four software, AutoCAD, Climate Consultant, Ecotect, and DesignBuilder in the field of energy and architecture and processed in a descriptive-analytical way. The physical components of the architecture of the complex include its orientation towards the south with a northwest-southeast stretch, high density and height of buildings and the creation of passages with a small width, the use of mud-brick in the construction of walls and the creation of a flat covering of wooden beams, the installation of side doors and windows in the walls. South in most of the buildings are the construction of the pillared porch at the entrance of most of the buildings. These components are effective in using the radiant heat of the sun to heat the residents in some hours in the time range from October to April. However, the application of these solutions from November to March (1632 hours in total) is not enough, and heat production was needed. Probably, in order to achieve thermal comfort, the residents had time management in holding gatherings and used non-physical heating arrangements similar to portable open fire-place from the palaces of the Assyrian Empire. Finally, the climatic adaptability of the complex to the Marvdasht plain and the adoption of suitable heating and cooling measures in it have ensured the thermal comfort of the residents.

Keywords: Environmental Archeology, Persepolis Complex, Thermal Comfort in Achaemenid Architecture, Climatic Adaptability.

1. M. A. in archaeology, Faculty of Art and Architecture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.
2. Associate Professor, Department of Archaeology, Faculty of Art and Architecture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran (Corresponding Author). **Email:** mollazadeh@basu.ac.ir
3. Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.

Citations: Hajilooei, H., Mollazadeh, K. & Maleki, M., (2025). "Analysis of Climatic Adaptability and Heating and Cooling Arrangements of Achaemenid Architecture (Case Study: Persepolis Complex)". *Parseh J. Archaeol Stud.*, 9(32): 115-140. <https://doi.org/10.61882/PJAS.855>

Home page of this Article: <https://journal.richt.ir/mbp/article-1-855-en.html>



Parseh Journal of Archaeological Studies (PJAS)

Journal of Archeology Department of Archeology Research Institute, Cultural Heritage and Tourism Research Institute (RICTH), Tehran, Iran

Publisher: Cultural Heritage and Tourism Research Institute (RICTH).

Copyright © 2025 The Authors. Published by Cultural Heritage and Tourism Research Institute (RICTH). This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

© The Author(s)



Introduction

Creating ecological stability between man-made and nature is necessary for the continuation of life. Architecture is one of the aspects of human life that has a direct relationship with climatic conditions. The formation of native architectural styles throughout history shows the extent of knowledge of the ethnic groups from the climatic conditions of the surrounding environment, which is based on the reading of the geographical, historical and social background of the region (Moazzen & Sad berenji, 1400: 168). When the climatic conditions in a region are favorable, human life is formed and continues there. These conditions are different in different parts of the world and it is necessary to use elements in the architectural body of the building with the aim of complying with the mentioned conditions. Archaeological evidence shows that humans have been aware of this issue since prehistoric times and have taken steps towards the optimal use of natural factors and reducing their negative consequences. The architecture of the residential and religious buildings discovered in Tepe Zagheh (Malek Shahmirzadi, 2011: 326-327) and the architectural works obtained from the V cultural period of the Tepe Sagzabad (Talaie, 2015: 145-145) are proof of such knowledge. By adopting suitable cooling and heating measures in the architectural body of the building, a mental condition is created in the residents that express their satisfaction with the thermal conditions of the environment, and it is called the thermal comfort range (Hejazizadeh & Karbalai Darei, 2014: 22).

Historical documents and archaeological data related to the Achaemenid Empire have been discovered from different parts of their territory, and architectural remains are among these discoveries. The architectural complex uncovered in the vicinity of Persepolis in Marvdasht plain is one of the architectural remains left over from the Achaemenid period. The architecture of this complex is in a way that has certain proportions and the Peymoon system (Javnmardi & et al., 2018: 123). The architectural body of each building must match the climatic conditions of the surrounding environment as much as possible in order to ensure the thermal comfort of its inhabitants. If the physical adaptability of the architecture is not enough, cooling and heating measures are taken to produce cold or heat in the building. The problem of the current research is to know the physical components of the architecture and the heating and cooling solutions thought in the architecture of the Persepolis complex in accordance with the climatic conditions of the Marvdasht plain, which can bring information about the adaptation of the architecture to the climatic conditions in the Achaemenid period.

Identified Traces

The physical components of the Achaemenid architecture of Persepolis, in order to implement these arrangements, include the orientation of the complex in relation to the

azimuth of sunlight towards the south with a northwest-southeast extension, which is exposed to an average of the maximum amount of solar radiation energy and its optimal value. Due to the gradual construction of the complex, the high density and height of the buildings has caused the creation of passages and two courtyards with a small width, which has reduced the area of the movement field of unfavorable winds, shading the openings on hot days and causing a lot of failure in the passages. The use of mud-brick in the construction of walls and the creation of a flat covering of wooden beams with a large thickness, which has a high capacity and thermal delay, prevents the loss of heat on cold days and reduces the entry of heat from the outside into the interior of buildings on hot days. Installing openings in the northwest-southeast azimuth is an average of the maximum radiant heat (east) and optimal (east-west with south view) azimuths, and the amount of heat received from sunlight is suitable for hot and cold days of the year. Most likely, the doors and windows are closed on cold days. The construction of pillared porches in most buildings also played a role in adjusting the air inside. Applying these solutions in most of the hours from November to March, which is calculated as a total of 1632 hours, is not enough to ensure the thermal comfort of the residents of the complex, and heat production is needed.

Conclusion

Considering the great and well-studied achievements of the architects and master craftsmen of Persepolis in various architectural, technical and artistic fields, it is expected that they will have significant achievements in the field of adaptation of architecture to the environment and heating and cooling arrangements. Based on the analysis of the climatic conditions of Marvdasht Plain and the thermal comfort of its residents, it is more necessary to comply with the heating measures compared to the cooling measures in the architecture of a building in the mentioned area for climate adaptation and providing the thermal comfort of the residents. Natural heating measures include the use of heat from sunlight, which relieves the cold stress of the residents in some hours in the time range of October to April. The cooling arrangements also include shading on the openings and natural air ventilation, which provides thermal comfort to the residents from April to May and from September to October in some hours and in the middle days of the two mentioned periods at all hours of the day and night. There was no need for cooling during the year. In this collection, wall-mounted heaters similar to the examples of the third floor of Babajan Tepe Lorestan have not been identified. For this reason, it is likely that the inhabitants used portable metal fire-place similar to the Assyrian types and provided the necessary heat. Finally, the present research shows that the architects of Persepolis complex, as well as having mastered various architectural techniques, also had sufficient knowledge in relation to various aspects of climate adaptability and the

adoption of heating and cooling measures in order to ensure the thermal comfort of the residents in different months of the year.

Acknowledgements

The authors wish to express their gratitude to the anonymous reviewers of the journal whose valuable comments have enriched the content of this article.

Observation Contribution

This article is derived from the first author's dissertation, supervised by the second author and advised by the third author. Accordingly, the material was collected by the first author and the manuscript was written under the supervision of the second and third authors.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest and that all ethical standards for citation and publishing have been fully observed.

تحلیل انطباق‌پذیری اقلیمی و تمهیدات گرمایشی و سرمایشی معماری هخامنشی (مطالعه موردی: مجموعه تخت جمشید)

حامد حاجیلویی^I، کاظم ملازاده^{II} ID، مرتضی ملکی^{III}

نوع مقاله: پژوهشی

صص: ۱۴۰ - ۱۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۰؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۹

شناسه دیجیتال (DOI): <https://doi.org/10.61882/PJAS.855>

چکیده

مطالعه انطباق‌پذیری اقلیمی معماری حال و گذشته با بهره‌مندی از علوم باستان‌شناسی، معماری، جغرافیا، اقلیم‌شناسی کاربردی و دیرین‌اقلیم‌شناسی امکان‌پذیر است. انجام چنین مطالعاتی در ارتباط با مجموعه تخت جمشید در دشت مرودشت متعلق به دوره هخامنشی، اطلاعات نوینی به گستره دانسته‌هایمان از معماری دوره مذکور می‌افزاید. پژوهش حاضر به دنبال ارزیابی سه پرسش اصلی است؛ (۱) مؤلفه‌های کالبدی معماری مجموعه تخت جمشید به منظور انطباق‌پذیری آن با شرایط اقلیمی چه بوده است؟ (۲) میزان اثربخشی این مؤلفه‌ها در راستای موضوع مذکور در چه حد بوده است؟ و (۳) تمهیدات گرمایشی یا سرمایشی غیرکالبدی مجموعه چه بوده است؟ اطلاعات لازم به روش‌های کتابخانه‌ای و میدانی و تحلیل‌های چهار نرم‌افزار اتوکد، کلایمت کنسالتنت، اکوتکت و دیزاین‌بیلدر در حوزه انرژی و معماری گردآوری و به روش توصیفی-تحلیلی پردازش شده است. مؤلفه‌های کالبدی معماری مجموعه شامل جهت‌گیری آن به سمت جنوب با کشیدگی شمال غربی-جنوب شرقی، تراکم و ارتفاع زیاد بناها و ایجاد معابر با عرض کم، استفاده از خشت در ساخت دیوارها و ایجاد پوشش مسطح تیر چوبی، تعبیه درگاه‌ها و پنجره‌های جانبی در دیوارهای جنوبی در اغلب بناها، ساخت ایوان ستون‌دار در ورودی اغلب بناها است. این مؤلفه‌ها در استفاده از حرارت تابشی خورشید جهت گرمایش ساکنان در برخی ساعات در محدوده زمانی اواسط مهر تا اواسط فروردین مؤثر است. اما به‌کارگیری این راهکارها از اواسط آبان تا اواسط اسفند (در مجموع ۱۶۳۲ ساعت) کافی نیست و به تولید گرما نیاز بوده است. به احتمال، ساکنان جهت دستیابی به آسایش حرارتی، در برگزاری گردهمایی‌ها مدیریت زمانی داشته و از تمهیدات گرمایشی غیرکالبدی مشابه منقل‌های آتش قابل حمل مکشوف از کاخ‌های امپراتوری آشور استفاده می‌کرده‌اند؛ درنهایت، انطباق‌پذیری اقلیمی مجموعه با دشت مرودشت و اتخاذ تمهیدات گرمایشی و سرمایشی مناسب در آن باعث تأمین آسایش حرارتی ساکنان می‌شده است.

کلیدواژگان: باستان‌شناسی محیطی، معماری هخامنشی، مجموعه تخت جمشید، آسایش حرارتی، انطباق‌پذیری اقلیمی.

I. کارشناسی ارشد باستان‌شناسی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

II. دانشیار گروه باستان‌شناسی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران (نویسنده مسئول).

Email: mollazadeh@basu.ac.ir

III. استادیار گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

ارجاع به مقاله: حاجیلویی، حامد؛ ملازاده، کاظم؛ ملکی، مرتضی، (۱۴۰۴). «تحلیل انطباق‌پذیری اقلیمی و تمهیدات گرمایشی و سرمایشی معماری هخامنشی (مطالعه موردی: مجموعه تخت جمشید)». مطالعات باستان‌شناسی پارسه، ۹ (۳۲): ۱۴۰-۱۱۵. <https://doi.org/10.61882/PJAS.855>

صفحه اصلی مقاله در سامانه نشریه: <https://journal.richt.ir/mbp/article-1-855-fa.html>



فصلنامه علمی مطالعات باستان‌شناسی پارسه
نشریه پژوهشکده باستان‌شناسی، پژوهشگاه
میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران

ناشر: پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری

© حق انتشار این مستند، متعلق به نویسنده(گان) آن است. © ۱۴۰۴ ناشر این مقاله، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری است. این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است.

Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International license
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

© The Author(s)



مقدمه

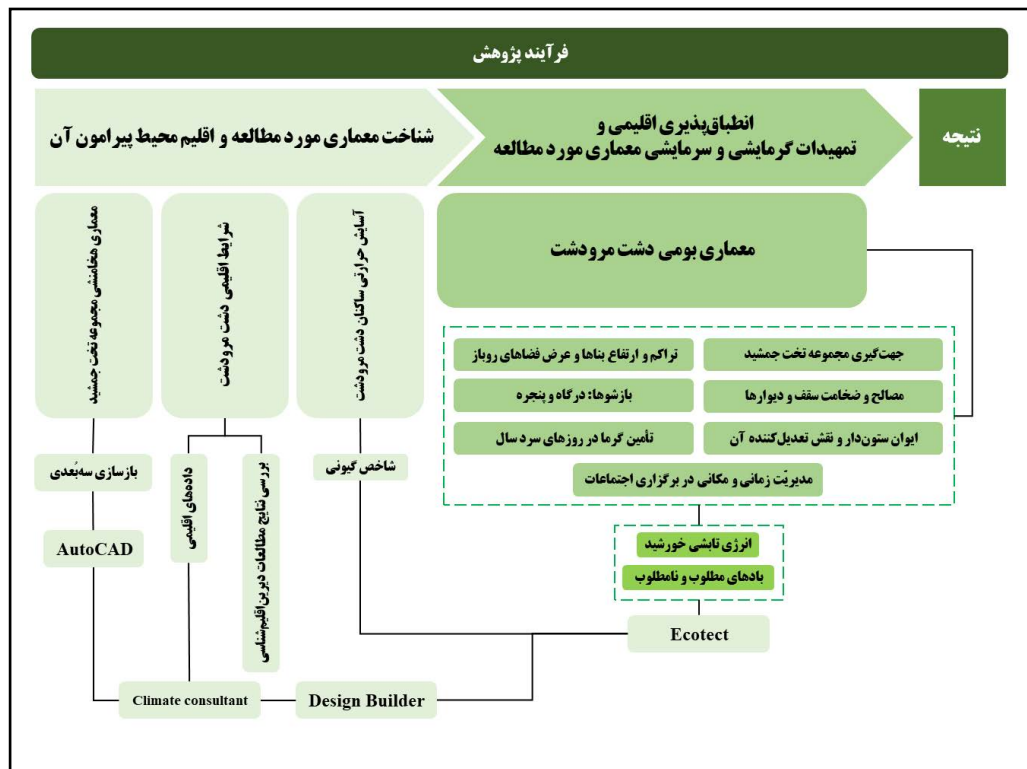
ایجاد پایداری بوم‌شناختی میان ساخته‌های دست بشر و طبیعت جهت تداوم حیات ضروری است. معماری، یکی از جنبه‌های زندگی انسان است که دارای رابطه مستقیم با شرایط اقلیمی است. شکل‌گیری شیوه‌های بومی معماری در طول تاریخ، میزان شناخت اقوام را از شرایط اقلیمی محیط پیرامون نشان می‌دهد که بنابر خوانش بستر جغرافیایی، تاریخی و اجتماعی منطقه صورت می‌گیرد (مؤذن و ص برنجی، ۱۴۰۰: ۱۶۸). بازخوانی مفاهیم پنهان در معماری بومی معطوف به زمان و مکان شکل‌گیری مفاهیم و الگوهای زیستی و سکونتی است که رابطه عناصر معماری، انسان و محیط را مشخص می‌کند (محبوبی و آذر، ۱۳۹۹: ۱۴۰). زمانی که شرایط اقلیمی در یک منطقه مساعد باشد، حیات انسانی در آن شکل گرفته و ادامه می‌یابد. این شرایط در نقاط مختلف جهان گوناگون بوده و به‌کارگیری مؤلفه‌هایی در کالبد معماری بنا با هدف انطباق با شرایط مذکور ضرورت دارد. شواهد و مدارک باستان‌شناسی نشان می‌دهند انسان از دوران پیش‌ازتاریخ نسبت به این موضوع آگاهی داشته و در راستای بهره‌برداری بهینه از عوامل طبیعی و کاهش پیامدهای منفی آن‌ها گام برداشته است. معماری بناهای مسکونی و مذهبی مکشوف در تپه زاغه (ملک شه‌میرزادی، ۱۳۹۱: ۳۲۶-۳۲۷) و آثار معماری به‌دست آمده از دوره فرهنگی V تپه سگزآباد (طلایی، ۱۳۸۵: ۱۴۵-۱۴۶) گواه چنین شناختی است. با اتخاذ تمهیدات سرمایشی و گرمایشی مناسب در کالبد معماری بنا، شرایطی ذهنی در ساکنان ایجاد می‌شود که بیان‌کننده احساس رضایت او از شرایط حرارتی محیط است و به آن محدوده آسایش حرارتی گفته می‌شود (حجازی‌زاده و کربلائی‌درئی، ۱۳۹۴: ۲۲). مطالعه این محدوده در فضای داخلی و خارجی بنا در زیرمجموعه علم اقلیم‌شناسی کاربردی با عنوان «معماری‌های هم‌ساز با اقلیم» قابل مطالعه است (قانقرمه و روشن، ۱۳۹۷: ۱۲۸).

مدارک تاریخی و داده‌های باستان‌شناسی مرتبط با امپراتوری هخامنشی از نقاط مختلف قلمروی آنان کشف شده‌اند که بقایای معماری از جمله این کشفیات محسوب می‌شوند. مجموعه معماری مکشوف در محوطه تخت جمشید در دشت مرو دشت از بقایای معماری به‌جای مانده از دوره هخامنشی است. معماری این مجموعه به‌نحوی است که دارای تناسب معین و نظام پیمون است (جوآنمردی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۲۳). کالبد معماری هر بنا جهت تأمین آسایش حرارتی ساکنان آن باید تا حد امکان با شرایط اقلیمی محیط پیرامون آن تطابق داشته باشد. اگر انطباق‌پذیری کالبدی معماری کفایت نکند، تمهیدات سرمایشی و گرمایشی جهت تولید برودت یا حرارت در بنا اتخاذ می‌شوند. مسئله پژوهش حاضر شناخت مؤلفه‌های کالبدی معماری و راهکارهای گرمایشی و سرمایشی اندیشیده‌شده در معماری مجموعه تخت جمشید متناسب با شرایط اقلیمی دشت مرو دشت است که می‌تواند اطلاعاتی در مورد نحوه انطباق‌پذیری معماری با شرایط اقلیمی در دوره هخامنشی به‌همراه داشته باشد.

انطباق‌پذیری اقلیمی و راهکارهای سرمایشی و گرمایشی به‌کار گرفته شده در معماری دوران باستان با استفاده از علوم باستان‌شناسی، معماری، جغرافیا، اقلیم‌شناسی کاربردی و دیرین‌اقلیم‌شناسی قابل مطالعه و بررسی است. مطالعه یک بنای باستانی در این راستا در حیطه شاخه‌ای از علم باستان‌شناسی با عنوان «باستان‌شناسی محیطی» قرار می‌گیرد. از آنجایی که چنین مطالعاتی در مورد بناهای دوران تاریخی و پیش‌ازتاریخ ایران انجام نشده است، پژوهش حاضر سرآغازی بر انجام این‌گونه مطالعات بوده و می‌تواند در ارتباط با سایر بناهای دوره هخامنشی، بناهای دوران پیش‌ازتاریخ، ایلام، ماد، سلوکی، اشکانی و ساسانی نیز انجام شود. مطالعه معماری مجموعه تخت جمشید به‌عنوان یکی از بقایای معماری هخامنشی از این دیدگاه می‌تواند مطالب جدیدی به گستره دانسته‌هایمان از دوره مذکور، معماری‌های محوطه‌های هم‌افق یا با شرایط اقلیمی مشابه دشت مرو دشت بیافزاید.

پرسش‌های پژوهش: پژوهش حاضر درصدد پاسخ به سه پرسش اصلی است؛ (۱) مؤلفه‌های کالبدی معماری مجموعه تخت جمشید با هدف انطباق پذیری آن با شرایط اقلیمی چه بوده است؟ (۲) میزان اثربخشی مؤلفه‌های مذکور در راستای این موضوع در چه حد بوده است؟ و (۳) تمهیدات گرمایشی یا سرمایشی غیر کالبدی مجموعه چه بوده است؟

روش پژوهش: مطالب این پژوهش با استفاده از روش‌های کتابخانه‌ای، میدانی و تحلیل نرم‌افزارهای حوزه انرژی و معماری گردآوری و سپس به روش توصیفی-تحلیلی پردازش شده‌اند (شکل ۱). ابتدا آن دسته از جزئیات مجموعه تخت جمشید که در بحث معماری مؤثر است، مطالعه شده و در موارد ضروری طبق شواهد موجود و با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی شده است. در این ارتباط، شبیه‌سازی سه‌بعدی بقایای معماری مجموعه که در قالب نرم‌افزار اتوکد^۱ تهیه شده، وارد نرم‌افزار دیزاین بیلدر^۲ شده و در راستای اهداف پژوهش مورد تحلیل قرار گرفته است. جهت انجام چنین پژوهش‌هایی، آگاهی از شرایط اقلیمی منطقه در بلندمدت ضرورت دارد؛ به همین سبب، شرایط اقلیمی دشت مرودشت در محدوده زمانی سال‌های ۱۹۹۷-۲۰۲۲ م. مورد مطالعه قرار گرفته و داده‌های خام اقلیمی لازم توسط نرم‌افزار کلایمت کنسالنت^۳ از طریق درگاه اینترنتی انرژی پلاس^۴ استخراج شده است. این درگاه اینترنتی، اطلاعات خود را از داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی به دست می‌آورد. در ادامه، با وارد کردن اطلاعات مذکور به نرم‌افزار دیزاین بیلدر، خروجی‌های کمی و نموداری درمورد ارتباط داده‌های یادشده با آسایش حرارتی ساکنان به دست آمده است. مطالعات دیرین اقلیم‌شناسی دوره هخامنشی نیز در این راستا مطالعه شده و سپس براساس تحلیل شرایط اقلیمی دشت مذکور و آسایش حرارتی ساکنان آن، انطباق پذیری مؤلفه‌های کالبدی و غیرکالبدی مجموعه مورد بررسی قرار گرفته است. در این مرحله نیز از نرم‌افزار اکوتکت^۵ برای تشخیص جهت‌گیری بهینه منطقه استفاده شده است.



شکل ۱: نمودار فرآیند انجام پژوهش (سلسله‌مراتب با رنگ‌بندی و خطوط مشخص شده است)، (نگارندگان، ۱۴۰۱).
 Fig. 1: Diagram of the research process (hierarchy is indicated by color and lines), (Authors, 2022).

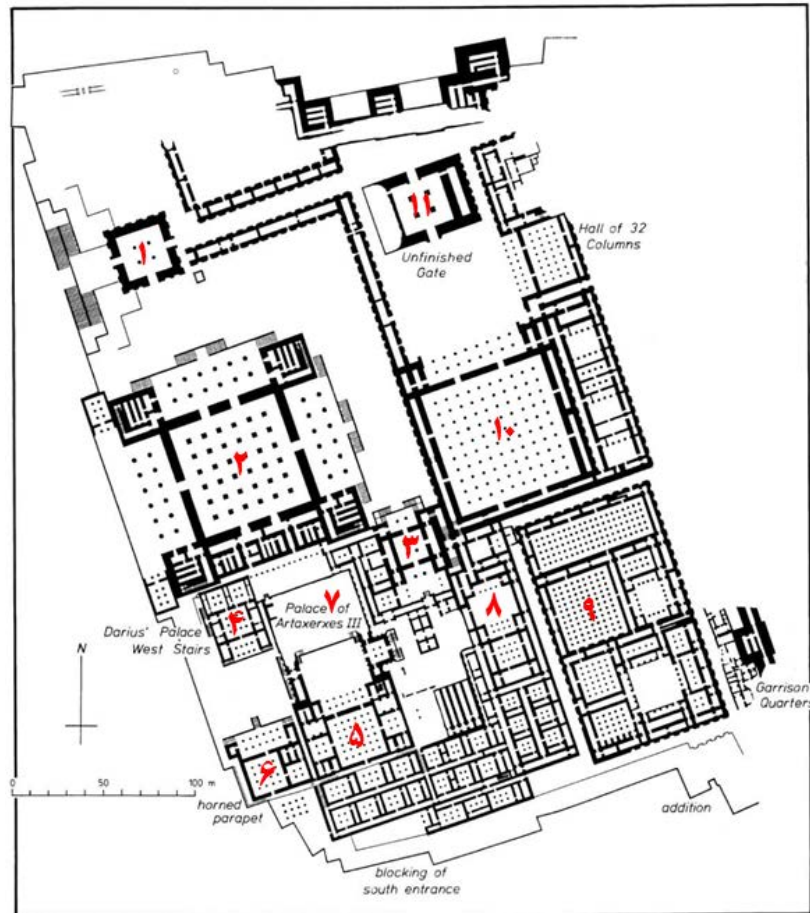
پیشینه پژوهش

کاوش‌های باستان‌شناسی در محوطه تخت جمشید در سال ۱۳۱۰ ه.ش. / ۱۹۳۱ م. به وسیله «جیمز هنری برستد» آغاز و پس از او توسط افراد دیگری از جمله «ارنست امیل هرتسفلد»^۷ و «اریک فردریش اشمیت»^۸ پیگیری شد (اشمیت، ۱۳۴۲: IX). «سامی» در کتاب خود، تخت جمشید را شرح داده است (سامی، ۱۳۳۴). اشمیت نیز نتایج کاوش خود را در سه جلد به صورت گزارش منتشر کرده که در بخشی از جلد نخست آن به بقایای معماری مکشوف پرداخته است (Schmidt, 1953; اشمیت، ۱۳۴۲). «شهبازی»، این مجموعه را در قالب کتابی توصیف کرده است (شهبازی، ۱۳۸۴). «کرفتر»، طرح‌های بازسازی شده تخت جمشید را در کتاب خود ارائه کرده است (Krefter, 1971; کرفتر، ۱۳۸۸). «کودلا» نیز در بخشی از رساله مقطع دکتری خود به معماری دروازه‌های تخت جمشید پرداخته است (Codella, 2007). تاکنون پژوهشی در ارتباط با انطباق‌پذیری اقلیمی و تمهیدات سرمایشی و گرمایشی معماری دوران تاریخی ایران و به‌طور خاص دوره هخامنشی انجام نشده است؛ اما مقالاتی در مورد معماری دوران اسلامی و معاصر ایران منتشر شده است. «حجازی‌زاده» و «کربلائی‌درئی» در مطالعه‌ای کلی به آسایش حرارتی در ایران پرداخته‌اند (حجازی‌زاده و کربلائی‌درئی، ۱۳۹۴). «ظهوری قره‌دریوشلو»، معماری سازگار با اقلیم سرد و کوهستانی اردبیل را در مورد خانه‌های تاریخی این شهر مطالعه کرده است (ظهوری قره‌دریوشلو، ۱۳۹۴). «برزگر» و «حیدری» نیز به بررسی نقش عمق و سایه در معماری خانه‌های سنتی شیراز پرداخته‌اند (برزگر و حیدری، ۱۳۹۶). «زنگنه» و «برزگر»، میزان آسایش حرارتی داخلی و خارجی بخش‌هایی از خانه‌تولایی شیراز را با یک‌دیگر مقایسه کرده‌اند (زنگنه و برزگر، ۱۳۹۷). «نژادابراهیمی» و «تأملی»، جهت‌گیری معماری خانه‌های تبریز را مورد مطالعه قرار داده‌اند (نژادابراهیمی و تأملی، ۱۳۹۷). «زارع مهذبیه» و همکارانش، کیفیت محیطی فضای داخلی خانه نعمتی شیراز را در ارتباط با آسایش حرارتی بررسی کرده‌اند (زارع مهذبیه و همکاران، ۱۳۹۸). «کرمی‌راد» و همکارانش، میزان آسایش حرارتی را در حیاط خانه‌های قاجاری شیراز تحلیل کرده‌اند (کرمی‌راد و همکاران، ۱۳۹۸). «جعفریان» و همکارانش، تأثیر سایه بر آسایش حرارتی را در فضای باز مطالعه کرده‌اند (جعفریان و همکاران، ۱۳۹۹). «ثروتی» و «لطیفی»، معیارهای اقلیمی را براساس کیفیت و جهت‌یابی باد غالب در ارتباط با طراحی مدل جغرافیایی میدان نبوت شرق تهران ارزیابی کرده‌اند (ثروتی و لطیفی، ۱۴۰۰). «کریم‌زاده» و همکارانش، عملکرد عناصر اقلیمی را در ایوان خانه‌های تاریخی شیراز مورد سنجش قرار داده‌اند (کریم‌زاده و همکاران، ۱۴۰۰). بقایای تمهیدات گرمایشی کالبدی و غیرکالبدی در معماری برخی محوطه‌های متقدم نسبت به تخت جمشید کشف شده‌اند. «گاف» در گزارش کاوش باباجان‌تپه لرستان، بخاری‌های دیواری مکشوف از طبقه III را معرفی کرده است (Goff, 1970: 146; 1977: 105-107). «کرتای» در بخشی از کتاب خود به توصیف منقل‌های فلزی آتش مکشوف از کاخ‌های امپراتوری آشور پرداخته است (Kertai, 2015: 185-186). «تورنر» نیز در مقاله‌ای، مؤلفه‌های کالبدی معماری و شیوه گرمایش کاخ‌های مذکور را بررسی کرده است (Turner, 1970).

معماری تخت جمشید

احداث مجموعه تخت جمشید در حدود سال ۵۱۸ پ.م. در دوره فرمان‌روایی «داریوش اول» آغاز شد. این روند در دوران حکومت «خشایارشا» و «اردشیر اول» گسترش پیدا کرده و در مقیاس کمتری تا زمان حکومت «اردشیر سوم» و پایان دوره هخامنشی ادامه یافته است. بناهای اصلی مجموعه شامل: دروازه ملل، کاخ آپادانا، کاخ مرکزی، کاخ تچر، کاخ هدیش، کاخ اردشیر اول، کاخ اردشیر سوم، حرم‌سرا، خزانه، تالار تخت و دروازه ناتمام می‌شوند (شکل‌های ۲ و ۳). طول اضلاع شمالی، جنوبی، شرقی و غربی صفا به ترتیب ۳۰۰، ۲۹۰، ۴۳۰ و ۴۵۵ متر و وسعت آن در حدود ۱۳۰۵۰۰ مترمربع است.

ارتفاع آن در محل لبه غربی حیاط غربی آپادانا نسبت به سطح دشت به بیش از ۱۴ متر می‌رسد. عمده مصالح استفاده شده در ساختمان بناها، خشت‌هایی به ابعاد ۱۳×۳۳×۳۳ سانتی‌متر بوده‌اند که با ملاط گل به‌کار گرفته شده و با دولایه از گچی به رنگ سبز و گل‌وگچ اندود شده‌اند. ضخامت دیوارها نیز به ۵-۶ متر می‌رسد. تمامی بناهای مجموعه شامل تالار ستون‌دار و فضای باز در بخش‌های پیرامونی یا میانی به‌عنوان حیاط بوده‌اند. معماری دو بنای خزانه و حرم‌سرا به‌صورت درون‌گرا بوده که حیاط آن‌ها در میان بنا ایجاد شده و دارای فضای سبز و حوض آب کوچکی بوده است. بناهایی که حیاط داشته‌اند، از ایوان ستون‌دار در مقابل درگاه ورودی خود برخوردار بوده‌اند. ارتفاع ستون‌های بناها نسبت به یک‌دیگر متفاوت بوده است. این مقدار در آپادانا به بیش از ۱۹ می‌رسیده است. بازشوهای مرتبط با فضای خارجی شامل درگاه‌ها و پنجره‌ها می‌شده که پنجره‌ها به احتمال دارای دریچه چوبی بوده‌اند. عمق و عرض اغلب این درگاه‌ها در حدود ۳-۵ متر بوده است. ابعاد درگاه‌های بناهای دروازه ملل و دروازه ناتمام به اندازه‌ای بوده است که نیاز به تعبیه پنجره را منتفی کرده است؛ زیرا به‌عنوان فضای انتظار جهت ورود به فضای دیگری استفاده می‌شده‌اند و بیش از چند ساعت در آن‌ها اسکان صورت نمی‌گرفته است. به‌نظر می‌رسد پوشش بناهای اصلی مجموعه نیز به‌صورت مسطح با تیر چوبی و در برخی قسمت‌ها به شکل طاق و تویزه خشتی بوده است (اشمیت، ۱۳۴۲: ۵۹-۲۷۸؛ شهبازی، ۱۳۸۴: ۴۳-۲۲۰).



شکل ۲: نقشه مجموعه بقایای معماری تخت جمشید؛ (۱) بنای دروازه ملل، (۲) کاخ آپادانا، (۳) کاخ مرکزی، (۴) کاخ تاجر، (۵) کاخ هدیش، (۶) کاخ اردشیر اول، (۷) کاخ اردشیر سوم، (۸) بنای حرم‌سرا، (۹) بنای خزانه، (۱۰) تالار تخت و (۱۱) بنای دروازه ناتمام (Roaf, 1983: 155).
 Fig. 2: Map of the architectural remains of Persepolis complex; 1) Gate of Nations Building, 2) Apadana Palace, 3) Central Palace, 4) Tachara palace, 5) Hadish Palace, 6) Palace of Ardashir I, 7) Palace of Ardashir III, 8) Harem Building, 9) Treasury Building, 10) Throne Hall, and 11) Unfinished Gate Building (Roaf, 1983: 155).



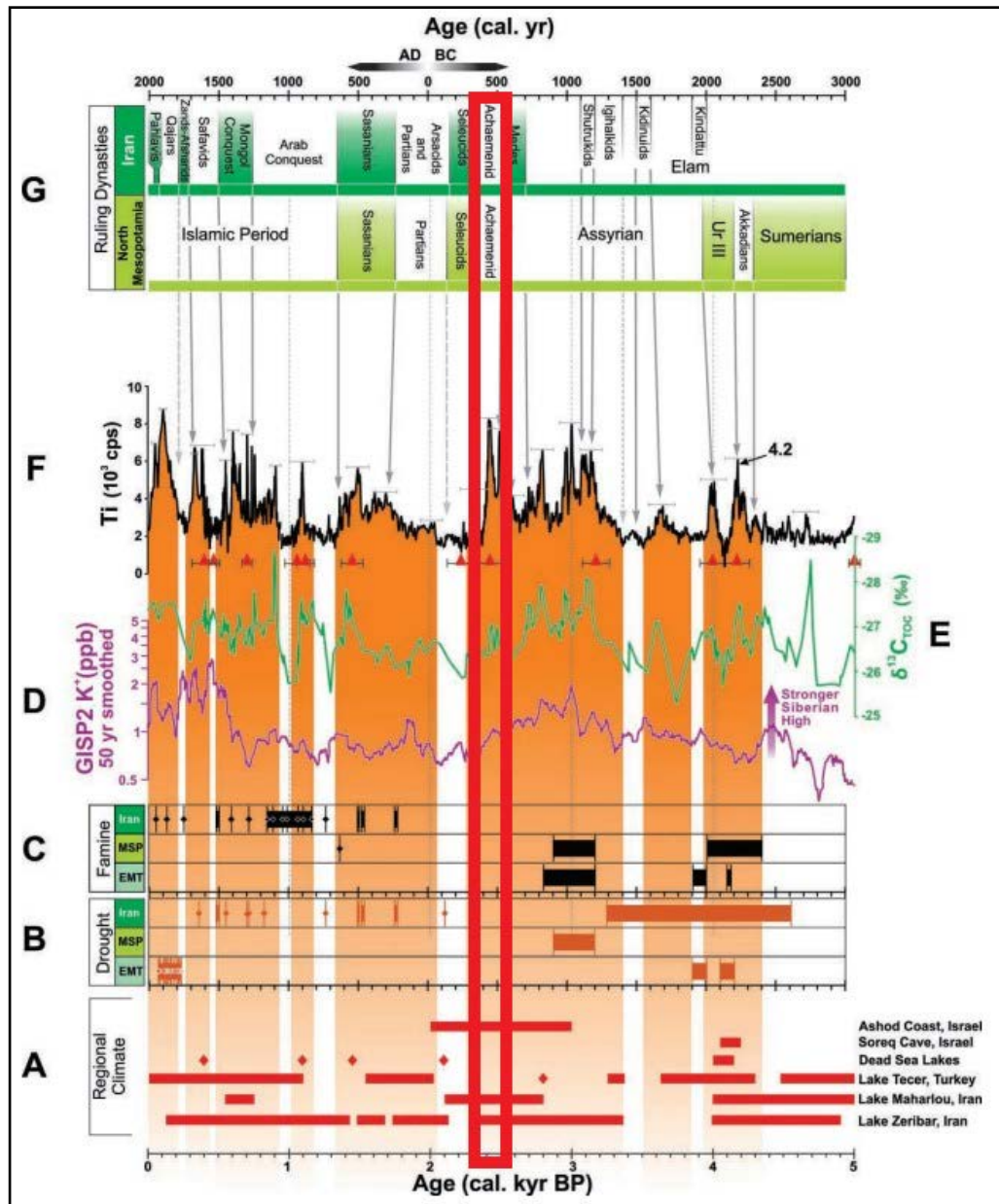
شکل ۳: بازسازی مجموعه تخت جمشید براساس شواهد و مدارک علمی (©Persepolis3D).
 Fig. 3: Reconstruction of the Persepolis complex based on scientific evidence (©Persepolis3D).

شرایط اقلیمی دشت مرو دشت و آسایش حرارتی ساکنان آن

دشت مرو دشت در دامنه‌های جنوب شرقی رشته‌کوه زاگرس در منطقه‌ای پربارش، معتدل و مرطوب واقع شده و ارتفاع آن از سطح آب‌های آزاد در محل صفت تخت جمشید ۱۷۷۰ متر است. این دشت با پاییز و زمستان‌های پربارش و تابستان‌های گرم و خشک همراه است. چهار توده آب‌وهوایی، دشت مرو دشت را در طول سال تحت تأثیر قرار می‌دهند. توده سودانی از شمال شرقی قاره آفریقا نشأت گرفته و پس از عبور از دریای سرخ و دریافت رطوبت از پهنه‌های رطوبتی از سمت جنوب غربی وارد منطقه می‌شود. تأثیرگذاری این توده در فصل زمستان بیشتر بوده و باعث افزایش بارش می‌شود. توده کم‌فشار مدیترانه‌ای از اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه از اوایل پاییز تا اوایل بهار جریان یافته و باعث افزایش بارش می‌شود. توده خشک سیبری در اختلاط با توده‌های مرطوب غربی و جنوب غربی در برخی سال‌ها باعث برودت هوا و بارش برف می‌شود. توده‌های حاره‌ای قاره‌ای نیز در فصل تابستان از سوی شبه جزیره عربستان وارد مرو دشت شده و میزان حرارت هوا را افزایش می‌دهند. بروز مقطعی گرد و غبار از دیگر پیامدهای ورود این توده آب‌وهوایی به منطقه است (دهقانی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۳۱-۱۳۲). موقعیت جغرافیایی دشت مرو دشت به نحوی است که توده‌های آب‌وهوایی حرارت‌زا، بارش‌زا (در روزهای سرد سال) و بارش‌زای تابستانه بر آن تأثیرگذار هستند (حاتمی بهمن بیگلو و خوشحال دستجردی، ۱۳۸۹: ۱۳۰-۱۴۲).

براساس مطالعات دیرین اقلیم‌شناسی روی نهشته‌های دریاچه مهارلوی شیراز، آب‌وهوای منطقه مذکور در دوره هخامنشی مساعد و پایدار بوده است (Mathews & Fazeli Nashli, 2022: 398)، (شکل ۴).

میزان دمای خشک و رطوبت نسبی هوای دشت مرو دشت به صورت ساعتی در ماه‌های مختلف سال نسبت به محدوده آسایش حرارتی ساکنان با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر براساس داده‌های اقلیمی نرم‌افزار کلایمت کنسالنتن تحلیل شده است (شکل ۵). محور افقی، ساعات شبانه‌روز و محور عمودی، میزان دمای خشک و رطوبت نسبی به ترتیب برحسب درجه سانتی‌گراد (C°) و درصد و با نقطه چین زرد و سبز مشخص شده است. میزان دمای خشک از

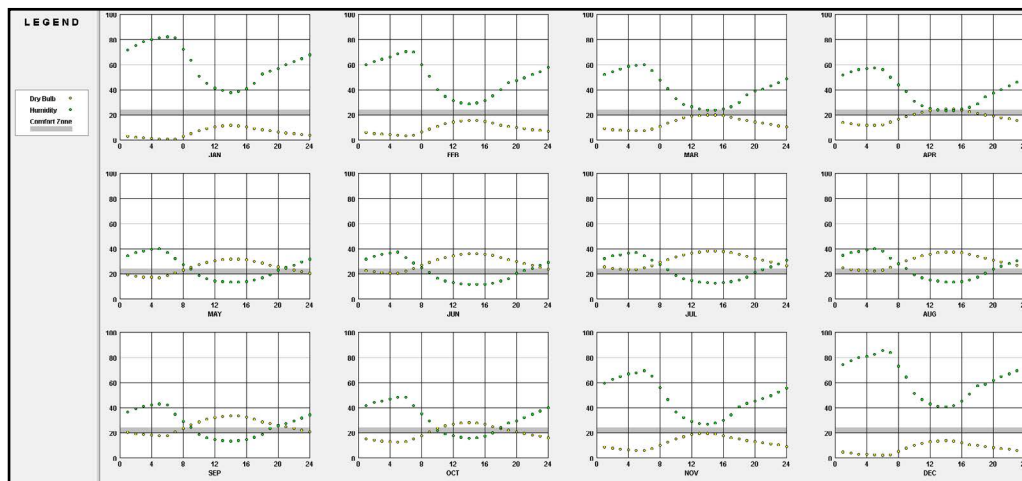


شکل ۴: نمودار مطالعات دیرین اقلیم‌شناسی در ارتباط با ایران و منطقه شمال بین‌النهرین در بازه زمانی سال‌های ۳۰۰۰ پ.م. تا ۲۰۰۰ م. (بخش قرمز رنگ مربوط به دوره هخامنشی است). (Matthews & Fazeli Nashli, 2022: 398).

Fig. 4: Diagram of paleoclimatological studies related to Iran and the northern Mesopotamia region in the period 3000 BC to 2000 AD (the red part corresponds to the Achaemenid period), (Matthews & Fazeli Nashli, 2022: 398).

اواسط آبان تا اواسط اسفند در تمامی ساعات شبانه‌روز پایین‌تر از آسایش حرارتی است. علت این موضوع، ورود توده‌های سرمازای سودانی، کم‌فشار مدیترانه‌ای و سیبریایی به منطقه است. برودت هوا در این مدت به حدی است که در برخی ساعات شبانه‌روز به تولید حرارت نیاز است؛ اما، میزان دمای خشک در دیگر ماه‌های سال به دلیل ورود توده‌های حاره‌ای قاره‌ای به منطقه به اندازه‌ای است که تولید گرما ضرورتی ندارد. میزان رطوبت نسبی هوا نیز از اواسط آبان تا اواسط فروردین در تمامی ساعات بیش از آسایش حرارتی قرار دارد؛ اما از اواسط اردیبهشت تا اواسط مهر به میزان قابل توجهی کاهش یافته و حتی در برخی ساعات بعد از ظهر پایین‌تر از آسایش حرارتی ساکنان قرار می‌گیرد.

بیشینه میزان دمای خشک هوا در دشت مرودشت در ساعات ۱۴-۱۵ است و پس از آن روند کاهشی به خود می‌گیرد تا در ساعات ۴-۶ به کمینه مقدار خود می‌رسد؛ پس از آن به طور مجدد دچار افزایش می‌شود.

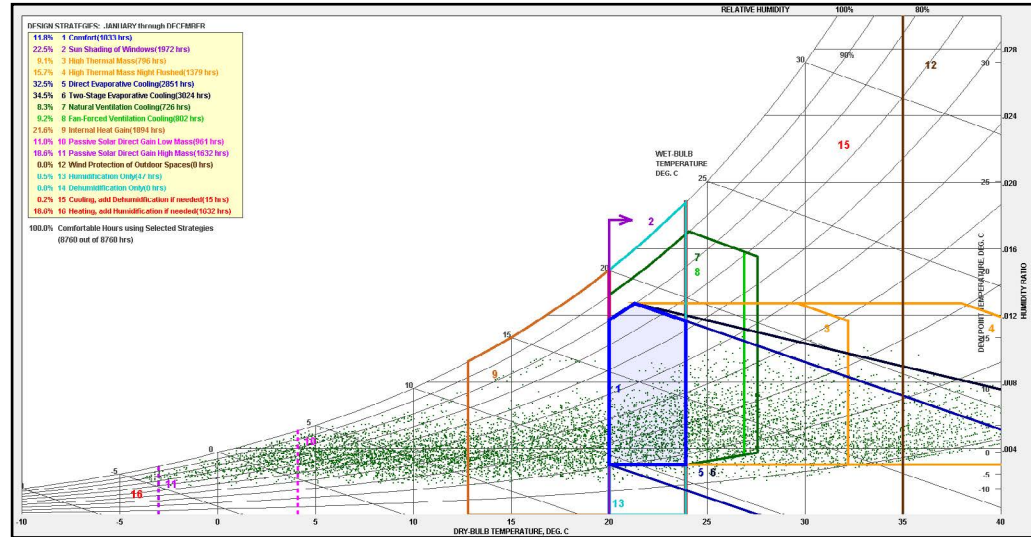


شکل ۵: نمودار سنجش میزان دمای خشک و رطوبت نسبی هوای دشت مرودشت در ساعات مختلف هر ماه نسبت به محدوده آسایش حرارتی ساکنان آن (نگارندگان، ۱۴۰۱).

Fig. 5: Diagram measuring the dry temperature and relative humidity of the Marvdasht plain at different times of each month in relation to the thermal comfort range of its residents (Authors, 2022).

اغلب نمودارهای سنجش میزان آسایش حرارتی براساس میزان دما و رطوبت نسبی عمل می‌کنند (عیالی و موحد، ۱۳۹۵: ۱۶۲). گیونی^۱، یکی از این نمودارها است که شرایط آسایش حرارتی ساکنان دشت مرودشت را با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر و براساس داده‌های اقلیمی نرم‌افزار کلایمت کنسالتنت در مقیاس ۳۶۵ روز معادل ۸۷۶۰ ساعت (یک سال هجری شمسی) تحلیل کرده و آن دسته از نتایج حاصل شده را که در راستای محور پژوهش حاضر قرار دارد، در جدول آورده شده است (شکل ۶، جدول ۱). محور افقی نمودار، میزان دمای خشک هوا برحسب درجه سانتی‌گراد و محور عمودی آن، میزان رطوبت نسبی برحسب درصد را نشان می‌دهد. محدوده هر نمودار با رنگ و شماره مجزا مشخص شده است. نقاط سبزرنگ نیز نشان‌دهنده شرایطی است که با اتخاذ تمهیداتی می‌توان ساکنان را در آسایش حرارتی قرار داد. براین اساس، ساکنان منطقه به میزان ۱۱/۸٪ معادل ۱۰۳۳ ساعت (بخش شماره ۱) در طول سال در آسایش حرارتی قرار دارند که دمای $20^{\circ}\text{C} - 23/5$ و رطوبت نسبی ۱۰-۸۰٪ را شامل می‌شود. چنین شرایطی از اواسط اسفند تا اواسط مهر در برخی ساعات رخ می‌دهد. هر یک از راهکارها به میزان درج شده در جدول ۱ می‌تواند باعث افزایش میزان آسایش حرارتی ساکنان شود. استفاده از حرارت نور خورشید از اواسط آبان تا اواسط اسفند در ساعات سرد جهت کاهش تنش سرمایی ساکنان کافی است؛ ولی برخی ساعات روزهای دیگر بازه زمانی مذکور که در مجموع ۱۶۳۲ ساعت محاسبه شده است، میزان دمای خشک به زیر $9^{\circ}\text{C} - 10$ رسیده و گرمایش طبیعی کافی نبوده و نیاز به تولید گرما وجود دارد. سایه اندازی روی بازشوها و کوران یا تهویه طبیعی هوا از اواسط اردیبهشت تا اواسط مهر تا حدودی نیاز سرمایشی ساکنان را تأمین کرده و در سایر روزهای سال نیز تنها در مجموع ۱۵ ساعت نیاز به تولید برودت است که مقدار ناچیزی به شمار می‌رود؛ بنابراین، رعایت تمهیدات گرمایشی در کالبد معماری در مقایسه با تمهیدات سرمایشی جهت دستیابی به آسایش حرارتی در دشت مرودشت ضرورت بیشتری دارد. هر یک از تمهیدات گرمایشی و سرمایشی

مندرج در جدول ۱، با توجه به مؤلفه‌های کالبدی معماری مجموعه تخت جمشید در بخش بعدی تحلیل شده است.



شکل ۶: نمودار تحلیل شرایط آسایش حرارتی ساکنان دشت مرودشت براساس شاخص گیونی (نگارندگان، ۱۴۰۱).

Fig. 6: Diagram of thermal comfort conditions analysis of residents of Marvdasht Plain based on the Givoni model (Authors, 2022).

جدول ۱: نتایج حاصل از نمودار تحلیل شرایط آسایش حرارتی ساکنان دشت مرودشت براساس شاخص گیونی (نگارندگان، ۱۴۰۱).
Tab. 1: Results from the analysis of thermal comfort conditions of residents of Marvdasht Plain based on the Givoni model (Authors, 2022).

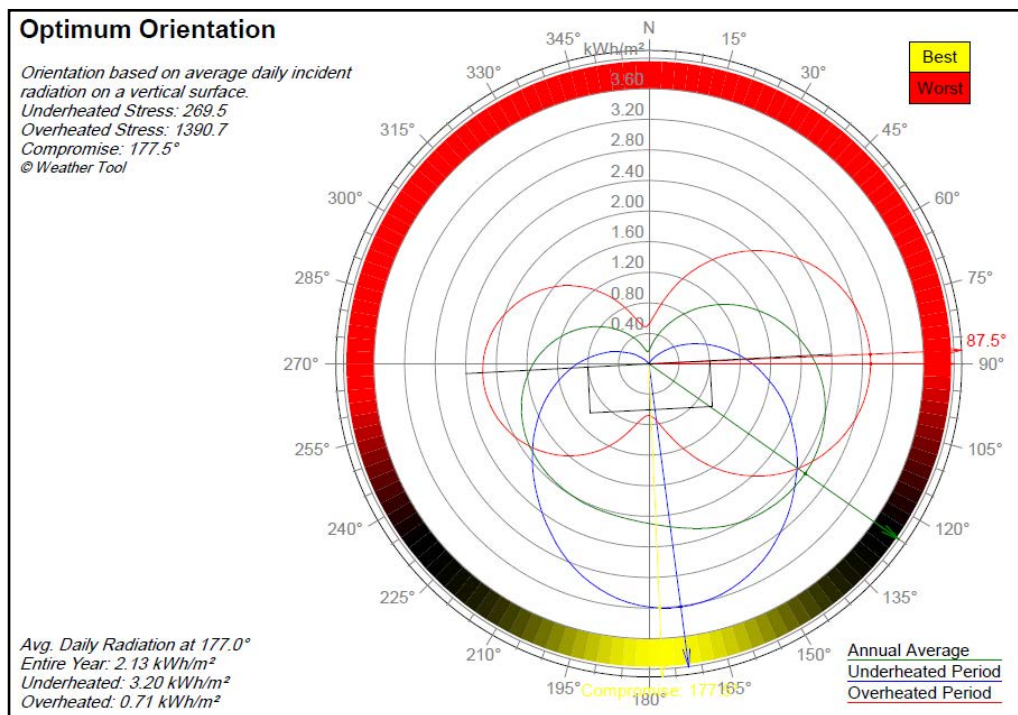
میزان تأثیر گذاری بر آسایش حرارتی ساکنان		شماره بخش مربوطه در نمودار	ماهیت	مفهوم محدوده
میزان ساعات	درصد			
۱۰۳۳	۱۱/۸	۱	آسایش	آسایش حرارتی
۱۹۷۲	۲۲/۵	۲	سرمایشی	سایه‌اندازی روی بازشوها
۷۲۶	۸/۳	۷	سرمایشی	تهویه طبیعی
۹۶۱	۱۱	۱۰	گرمایشی	استفاده از حرارت غیر فعال نور خورشید
۰	۰	۱۲	گرمایشی	کاهش تأثیر گذاری باد
۴۷	۰/۵	۱۳	سرمایشی	رطوبت‌زایی
۰	۰	۱۴	گرمایشی	رطوبت‌زدایی
۱۵	۰/۲	۱۵	سرمایشی	تولید بروودت
۱۶۳۲	۱۸/۶	۱۶	گرمایشی	تولید حرارت

انطباق پذیری اقلیمی و تمهیدات گرمایشی و سرمایشی مجموعه تخت جمشید - جهت گیری مجموعه تخت جمشید

جهت‌گیری بنا، یکی از مؤلفه‌هایی است که در مواجهه با عوامل طبیعی در مبحث گرمایش و سرمایش نقش تعیین‌کننده دارد (تابان و همکاران، ۱۳۹۱: ۲). برآیند میزان تأثیرگذاری عوامل طبیعی بر این موضوع باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود (کرمی‌کردعلیوند و نارنگی‌فرد، ۱۳۹۶: ۹۸).

میزان تعادل در نقشه بنا، وضعیت معماری بناها در همسایگی با یک‌دیگر، سنت‌های فرهنگی، منظر و شیب زمین از عواملی است که می‌تواند در جهت‌گیری نقش داشته باشد (نژاد ابراهیمی و تأملی، ۱۳۹۷: ۵). کالبد معماری بنا در هر اقلیمی باید به نحوی طراحی شود که بیشینه میزان حرارت حاصل از تابش نور خورشید را به‌عنوان عامل طبیعی عمده در گرمایش در روزهای سرد و کمینه میزان آن را در روزهای گرم دریافت کند (ثروتی و لطیفی، ۱۴۰۰: ۲۵۷). بهره‌مندی مناسب کالبد معماری بنا در دشت مرودشت از حرارت نور خورشید (انرژی تابشی غیر فعال) به میزان ۱۱٪ معادل ۹۶ ساعت می‌تواند به مدت زمان آسایش حرارتی ساکنان بیافزاید که در برخی ساعات که دما $10^{\circ}\text{C} - 18^{\circ}\text{C}$ با هر میزان رطوبت نسبی است، نیاز حرارتی ساکنان را برطرف می‌کند (شکل ۶، جدول ۱). این شرایط از اواسط مهر تا اواسط فروردین در برخی ساعات برای آسایش حرارتی ساکنان مناسب است (شکل ۵).

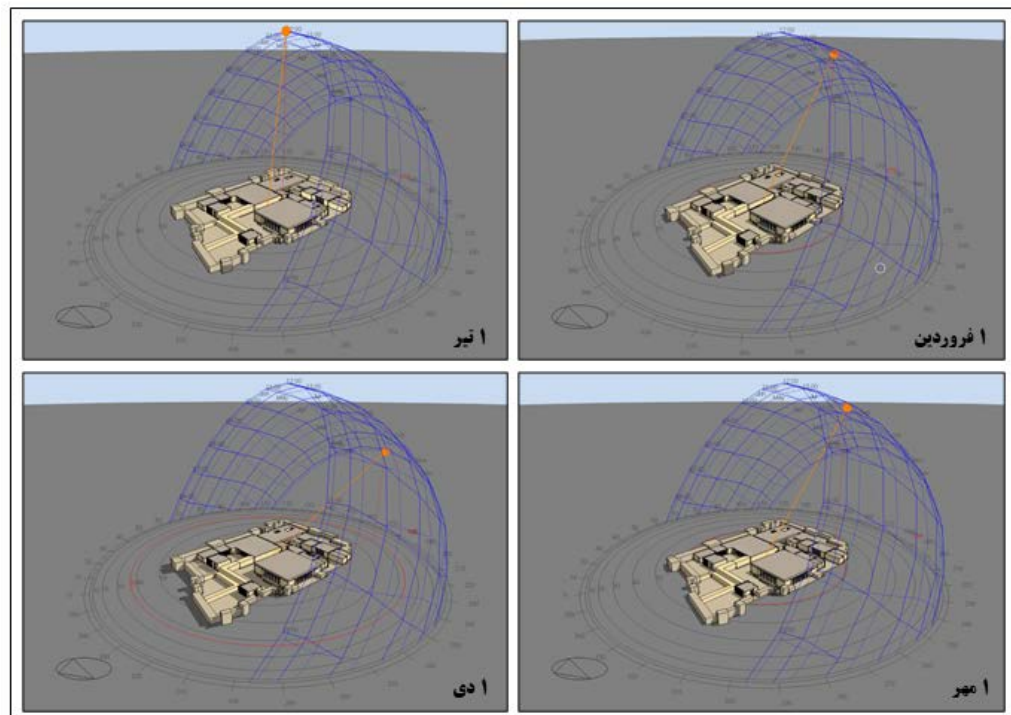
جهت‌گیری بهینه بنا نسبت به آزیموت^{۱۰} تابش نور خورشید در دشت مرودشت با استفاده از نرم‌افزار اکوتکت و براساس شرایط اقلیمی روزانه مشخص شده است (شکل ۷). بر این اساس، بیشینه میزان حرارت نور خورشید در آزیموت $87.5^{\circ} - 90^{\circ}$ ، یعنی از سمت شرق دریافت می‌شود. بیشینه و کمینه انرژی تابشی در این آزیموت به ترتیب $2/92$ و $0/48$ کیلووات ساعت بر مترمربع است. جهت‌گیری بهینه در آزیموت $177/5^{\circ}$ ، یعنی به‌طور تقریبی جهت جنوب محسوب می‌شود. بیشینه و کمینه حرارت دریافتی در این آزیموت به ترتیب $3/20$ و $0/71$ کیلووات ساعت بر مترمربع است. میانگینی از دو آزیموت مذکور نیز آزیموت 125° است که بیشینه و کمینه حرارت تابشی در آن به ترتیب برابر با $2/50$ و $0/18$ کیلووات ساعت بر مترمربع است؛ بنابراین، جهت‌گیری بهینه بنا در دشت مرودشت به‌طور تقریبی با کشیدگی در راستای شرقی-غربی و رو به سوی جنوب است.



شکل ۷: نمودار جهت‌گیری بهینه بنا در دشت مرودشت (نگارندگان، ۱۴۰۱).

Fig. 7: Diagram of the optimal building orientation in the Marvdasht plain (Authors, 2022).

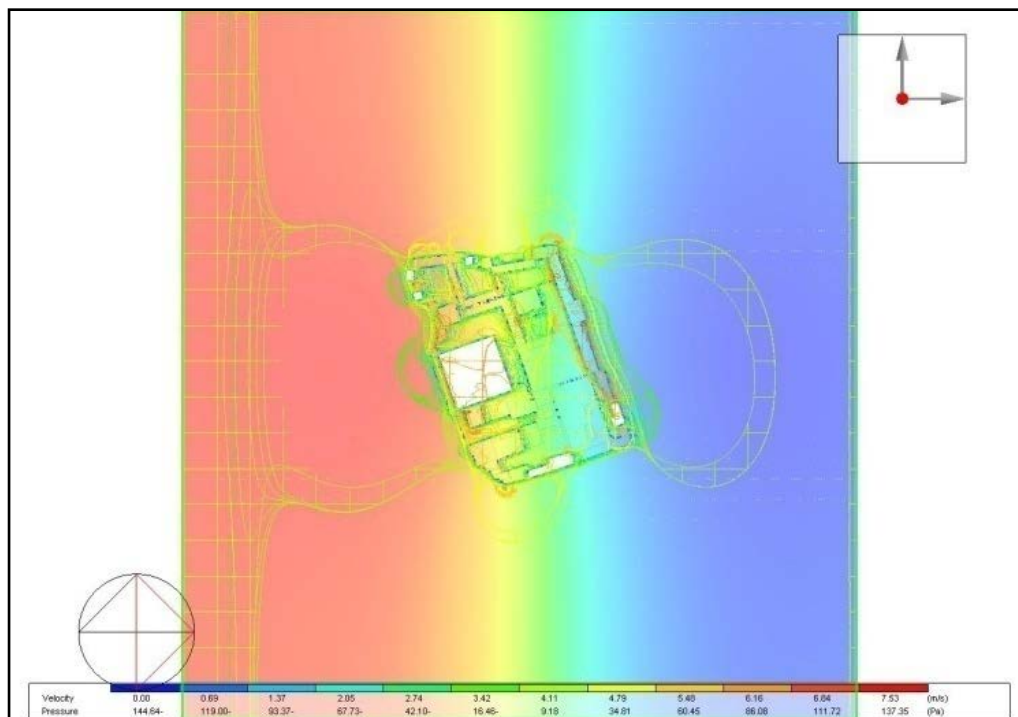
نتایج حاصل از نرم افزار اکوتکت با شبیه سازی مجموعه در نرم افزار دیزاین بیلدر و آزیموت تابش نور خورشید در ساعت ۱۲ ظهر روز نخست هر فصل سال نسبت به آن مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۸). راستای قرارگیری مجموعه تخت جمشید و کشیدگی آن به طور تقریبی شمال غربی - جنوب شرقی است. به نظر می رسد با توجه به مکان گزینی احداث مجموعه تخت جمشید بر دامنه کوه رحمت و پیروی آن از راستای کشیدگی کوه، جهت گیری مجموعه مطابق با آزیموت بهینه تابش نور خورشید نیست؛ زیرا جهت دامنه کوه رحمت امکان ساخت مجموعه با کشیدگی در راستای بهینه را نمی داده است؛ گرچه محدودیتی از لحاظ وسعت در مراحل ابتدایی ساخت وسازها وجود نداشته و با گسترش مجموعه به وجود آمده است.



شکل ۸: طرح های جهت گیری معماری مجموعه تخت جمشید (شبیه سازی شده)؛ آزیموت تابش خورشید در روز نخست هر یک از فصول سال در ساعت ۱۲ (نگارندگان، ۱۴۰۱).

Fig. 8: Architectural orientation plans of the Persepolis complex (simulated); azimuth of the sun's radiation on the first day of each season of the year at 12 o'clock (Authors, 2022).

مطالعات نشان می دهند عامل باد در میان متغیرهای اقلیمی بیش از سایر متغیرها در روزهای سرد بر آسایش حرارتی ساکنان اقلیم سرد و خشک مؤثر است (یادگاری و سجادزاده، ۱۴۰۰: ۲۴). جهت گیری مناسب بنا در مواجهه با باد نامطلوب باعث می شود باد عرض کمتری از بنا را دربر گرفته و از تأثیرگذاری آن کاسته شود (همان: ۲۴-۲۵). اجرای این راهکار در مجموعه تخت جمشید تأثیری بر گرمایش بناهای مجموعه ندارد؛ اما در سرمایش آن ها مؤثر است (شکل ۶، جدول ۱). جهت گیری مجموعه به نحوی است که کوه رحمت تأثیرگذاری بادهای شمالی و شمال شرقی را بسیار کاهش می دهد؛ هم چنین نسبت به راستای حرکتی بادهای گرم جنوبی در اواسط تابستان از کمترین سطح تماس خارجی با آن برخوردار بوده و پشت به مسیر حرکتی آن ها دارد تا میزان تأثیرگذاری بادهای گرم و نامطلوب تا حد امکان کاهش یابد (شکل ۹). بادهای جنوب غربی نیز سرد و مطلوب بوده و جریان حرکتی آن ها عمود بر مجموعه است.



شکل ۹: طرح برآیند سالانه تأثیرگذاری جهت، سرعت و میزان تأثیرگذاری باد بر پوسته خارجی معماری مجموعه تخت جمشید (شبیه‌سازی شده)، دید پرنده به صورت عمود (نگارندگان، ۱۴۰۱).

Fig. 9: Annual result plot of the influence of wind direction, speed, and intensity on the external architectural shell of the Persepolis complex (simulated), bird's eye view vertically (Authors, 2022).

تراکم و ارتفاع بناها و عرض فضاهای روباز

تراکم و ارتفاع بناها و عرض معابر روباز در میزان دریافت حرارت نور خورشید و تأثیرگذاری باد مؤثر است (محبوبی و آذر، ۱۳۹۹: ۱۴۷). با افزایش مساحت و مدت زمان سایه‌اندازی، بخشی از سرمایه‌های بنا تأمین شده و با کاهش آن، بخشی از نیاز گرمایشی بنا برطرف می‌شود (تابان و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۰). محصور بودن نسبی بنا باعث ایجاد سایه در فضای خارجی آن، به خصوص در مقابل آستانه درگاه ورودی به فضای داخلی و روی دیوار بنا در روزهای گرم و گردش جریان هوای گرم در منطقه سایه می‌شود که دمای آن را پیش از تأثیرگذاری بر سطح دیوارهای خارجی و ورود به فضای داخلی کاهش می‌دهد (برزگر و حیدری، ۱۳۹۶: ۲۴). سایه‌اندازی مناسب روی بازشوها باعث افزایش آسایش حرارتی ساکنان مجموعه تخت جمشید به میزان ۲۲/۵٪ معادل ۱۹۷۲ ساعت شده و لزوم به‌کارگیری آن در دماهای بیش از 20°C با هر میزان رطوبت نسبی است (شکل ۶، جدول ۱). این راهکار سرمایه‌های از اواسط اردیبهشت تا اواسط مهر در منطقه مؤثر است (شکل ۵).

بادهای گرم توده‌های آب‌وهوایی حاره‌ای قاره‌ای در روزهای گرم با عبور از مناطق سایه در فضای خارجی بناهای مجموعه در ساعات قبل و بعد از ظهر که مساحت بخش‌های سایه بیشتر است، دامایش کاهش یافته و سپس بر بنا تأثیر می‌گذارد. با توجه به این که آزیموت تابش نور خورشید در روزهای سرد به صورت مایل و در روزهای گرم به راستای عمود نزدیک‌تر است، تراکم زیاد بناهای مجموعه پس از احداث تمامی بناها، در روزهای مذکور به ترتیب در گرمایش و سرمایه‌های آن تأثیر مناسبی داشته است (شکل ۸).

تناسب میان مساحت بازشوها و حیاطها در معماری در ارتباط با کوران هوا مؤثر است (پسران و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۱۶). با وجود ساخت تدریجی بناهای مجموعه تخت جمشید، براساس کاربری هر بنا، فضای باز در بخش‌های پیرامونی یا میانی آن‌ها در نظر گرفته شده که به عنوان حیاط

استفاده می‌شده است. با توجه به کاربری آپادانا و تالار تخت، به نظر می‌رسد وسعت بیشتری برای حیاط آن‌ها نسبت به حیاط بناهای دیگر در نظر گرفته شده تا برخی اجتماعات در روزهای معتدل و گرم سال در آن‌ها برگزار شود. بنای خزانه که مدتی به عنوان فضای اداری و سپس به عنوان محل نگه‌داری برخی اشیای سلطنتی مورد استفاده بوده، به همراه بنای حرم‌سرا دارای فضاهای روباز در بخش‌های میانی خود بوده است. به نظر می‌رسد با توجه به معماری درون‌گرای دو بنای حرم‌سرا و خزانه، حیاط‌های دو بنای مذکور دارای فضای سبز، حوض آب و آب‌راهه بوده تا کوران هوای خنک و مطلوب در روزهای گرم سال در آن‌ها ایجاد شود.

مصالح و ضخامت سقف و دیوارها

استفاده از مصالحی با ظرفیت حرارتی بالا در کف‌سازی، محوطه‌سازی و جداره‌های خارجی بنا در جهت گرمایش آن مؤثر است (منشی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۲۲). پوسته خارجی بنا به عنوان مرز تبادل حرارت میان فضای داخلی و خارجی در سرمایش و گرمایش آن نقش دارد (کریم‌زاده و همکاران، ۱۴۰۰: ۹۰). گرما همواره از محیطی با دمای بیشتر به محیطی با دمای کمتر منتقل می‌شود (منشی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۱۵). استفاده از مصالح رسانای گرما با جرم زیاد باعث جذب و آزادسازی حرارت به صورت تدریجی شده و نوسان دمای داخلی بنا را کاهش می‌دهد (طاهباز و همکاران، ۱۳۹۳: ۳۲-۳۳). دیوارهای ضخیم و سقف‌های سنگین چندلایه، گرما را حبس می‌کند و تهویه باید از طریق بازشوها صورت بگیرد (محبوبی و آذر، ۱۳۹۹: ۱۴۷). یکی از مصالح با ظرفیت حرارتی بالا، خشت است (زنگنه و برزگر، ۱۳۹۷: ۶۶). مصالح سقف و اندود سطح خارجی آن نیز در مواجهه با حرارت نور خورشید، بر دمای فضای داخلی بنا مؤثر است (جعفریان و همکاران، ۱۳۹۷: ۷). سقف‌های تیرپوش، نقش عایق حرارتی دارد (ظهوری‌قره‌درویشلو، ۱۳۹۴: ۲۲۸). معماران مجموعه تخت جمشید با توجه به معماری بومی منطقه در ساخت دیوارها از خشت استفاده کرده‌اند. پوشش مسطح تیر چوبی بناها و خشت‌های به‌کار رفته در دیوارهای قطور مجموعه در روزهای سرد در مقابل بادهای موسمی نامطلوب، کمینه حرارت ممکن را از خود عبور می‌دهد. با کاهش دمای فضای خارجی بنا نسبت به فضای داخلی آن، مقداری از حرارت داخل وارد بافت دیوار شده و با پیش‌روی در آن، هر لایه مقداری از حرارت را در خود ذخیره می‌کند. استفاده از چنین تمهیدی در مرودشت که منابع آبی گسترده در دسترس نبوده و به تبع این موضوع، اختلاف دمای شب و روز زیاد است، در کاهش نوسانات دمایی فضای داخلی بنا مؤثر است.

بازشوها: درگاه و پنجره

از آنجایی که بخش‌های فوقانی دیوارهای بناهای مجموعه برجای نمانده است، اطلاعات دقیقی در ارتباط با پنجره و نورگیر در دست نیست. به منظور دریافت انرژی تابشی خورشید و بادهای مطلوب به گشودگی‌های فضایی در بنا، یعنی بازشوها نیاز است (منشی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۲۲). راستای قرارگیری بازشوها نسبت به آزمون تابش نور خورشید و جهت، سرعت و کیفیت وزش باد در طول سال در سرمایش و گرمایش بنا نقش دارد (رازجویان، ۱۳۸۰: ۴۰). جهت، سرعت و کیفیت باد در ارتباط با تهویه طبیعی بنا نیز مؤثر است (ثروتی و لطیفی، ۱۴۰۰: ۲۵۱). بازشوهای مجموعه تخت جمشید شامل پنجره‌ها و درگاه‌های ورودی و خروجی برای هر بنا است و اغلب آن‌ها در راستای شمال غربی-جنوب شرقی تعبیه شده است. فقط بنای دروازه ملل جهت ورود به مجموعه و آپادانا برای دید منظری به سطح دشت دارای بازشو بر دیوار غربی خود دارند. جهت‌گیری بازشوها در آزمون شمال غربی-جنوب شرقی میانگینی از آزمون‌های بیشینه حرارت تابشی (شرقی) و بهینه (شرقی-غربی با دید جنوبی) است و میزان حرارتی دریافتی از نور خورشید برای روزهای سرد

و گرم سال مناسب است. به این معنا که باعث افزایش دمای فضای داخلی بناها در روزهای سرد و کاهش تنش گرمایی ساکنان در روزهای گرم می‌شده است. آزیموت تابش خورشید در روزهای سرد به صورت مایل بوده و مساحت بیشتری از سطح دیواره‌های خارجی بناها را دربر می‌گیرد و در نتیجه، حرارات بیشتری به درون بناها راه می‌یافته است (شکل ۸).

تهویه طبیعی هوای فضای داخلی بناهای مجموعه به میزان ۸/۳٪ معادل ۷۲۶ ساعت به آسایش حرارتی ساکنان می‌افزاید. رعایت تمهید سرمایشی مذکور در محدوده دمای خشک 20°C - و رطوبت نسبی ۷-۹۰٪ ضرورت دارد (شکل ۶، جدول ۱). چنین بازه دمایی از اواسط فروردین تا اواسط اردیبهشت و از اواسط شهریور تا اواسط مهر در برخی ساعات و در روزهای میانی دو بازه زمانی مذکور در تمامی ساعات شبانه‌روز رخ می‌دهد (شکل ۵). سرعت باد با افزایش ارتفاع از سطح زمین بیشتر می‌شود (منشی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۱۵). جهت‌گیری بازشوهای مجموعه در مسیر حرکتی بادهای سرد و نامطلوب غربی قرار نداشته در کوه رحمت نیز تأثیرگذاری بادهای سرد و نامطلوب شمال غربی را تا حد زیادی کاهش می‌دهد؛ اما بادهای گرم جنوبی پس از کاهش دمای آن‌ها در بخش‌های سایه وارد بناها می‌شده است. دروازه ورود به مجموعه نیز در بخش غربی حصار بوده است تا بادهای گرم و نامطلوب در ارتفاع پایین نتوانند وارد مجموعه شده و بناها را تحت تأثیر قرار دهند (شکل ۸). شاید دلیل انسداد ورودی جنوبی مجموعه و تغییر آن نیز به همین علت بوده است. با توجه به اقلیم گرم و خشک منطقه و کاربری مجموعه، بازشوها نسبت به تناسبات فضایی مجموعه در ابعاد بزرگی ایجاد شده‌اند؛ اما درب‌ها و دریچه‌های بزرگ و چوبی پنجره‌ها در روزهای سرد سال از ورود برودت به فضای داخلی جلوگیری می‌کرده‌اند. اگر عقیده «هاوزر»، «اشمیت» و «شهبازی» مبنی بر وجود درب کوچکی در بخش پایین درب‌های بزرگ و عبور و مرور از طریق آن‌ها صحیح باشد (اشمیت، ۱۳۴۲: ۶۹؛ شهبازی، ۱۳۸۴: ۵۵)، به احتمال درب‌ها در روزهای سرد سال به‌طور کامل گشوده نمی‌شده‌اند. بازشوهایی با عمق بالا باعث محافظت بنا در برابر کج‌بارش‌ها و سایه‌اندازی مناسب می‌شوند (محبوبی و آذر، ۱۳۹۹: ۱۴۷).

به‌طور کلی، سرعت باد بر لبه بام و سقف بنا بیش از سایر قسمت‌های خارجی آن تأثیرگذار است (یادگاری و سجادزاده، ۱۴۰۰: ۲۱). از آنجایی که بناهای مجموعه در ارتفاع بالایی نسبت به سطح دشت قرار داشته، تهویه به شکل بهتری صورت می‌گرفته است؛ زیرا همواره هوای گرم نسبت به هوای سرد در ارتفاع بالاتری قرار می‌گیرد.

ایوان ستون‌دار و نقش تعدیل‌کننده آن

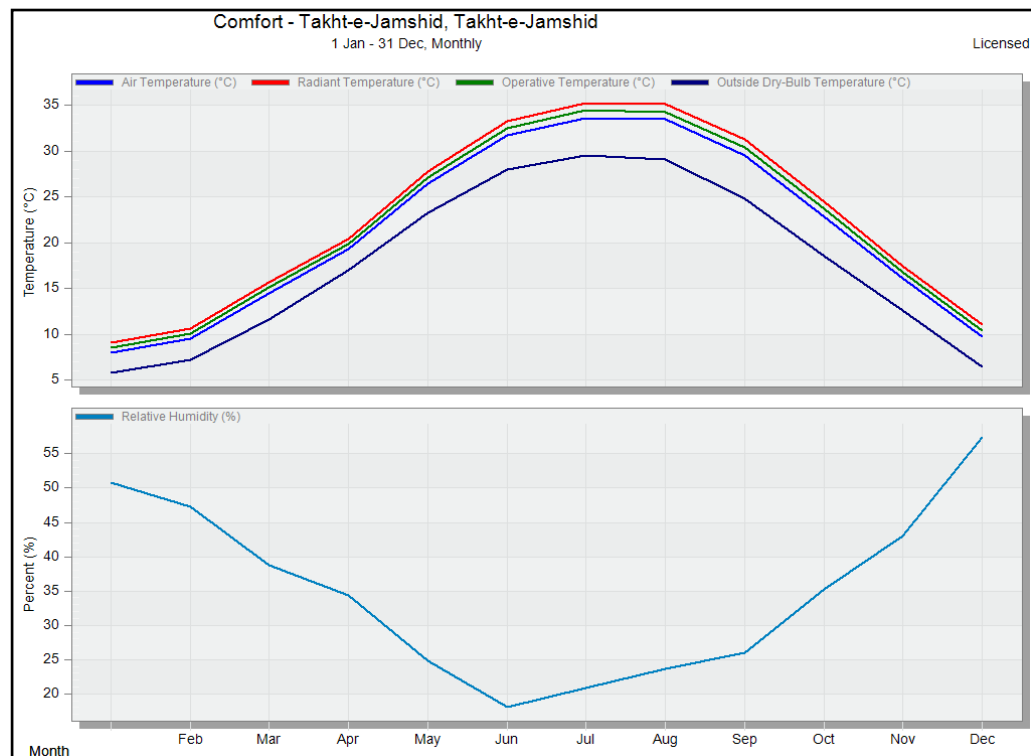
فضاهای ورودی، از جمله ریزفضاهایی است که میان فضای باز و بسته بنا نقش تعاملی دارند (محبوبی و آذر، ۱۳۹۹: ۱۵۲). این گروه از فضاها، میزان دمای هوای ورودی به فضای داخلی را تعدیل می‌کنند (کریم‌زاده و همکاران، ۱۴۰۰: ۸۹). به‌رغم اثرات نامطلوب عوامل اقلیمی در ماه‌های گرم بر حیاط مقابل ایوان، افزایش عرض ایوان، افزایش گشایش فضایی آن در نما، افزایش ارتفاع آن از سطح حیاط و سایه‌اندازی آن در حیاط در کاهش اضطراب حرارتی در فضای داخلی بنا حائز اهمیت است (کریم‌زاده و همکاران، ۱۴۰۰: ۸۹). با توجه به وجود ایوان ستون‌دار پیش از دسترسی به درگاه ورودی اغلب بناها از خارج در مجموعه تخت جمشید، به استثنای دو بنای دروازه ملل و دروازه ناتمام که نقش فضای واسط را ایفا می‌کرده‌اند، دسترسی به درون بناها به‌صورت غیرمستقیم امکان‌پذیر بوده است. ایجاد چنین فضایی باعث کاهش اتلاف انرژی در روزهای سرد می‌شود (زارع‌مهذبیه و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۸۵). این فضاها از تغییر ناگهانی میزان دمای بدن و بروز تنش گرمایی یا سرمایی آن نیز جلوگیری می‌کنند (همان: ۲۳). عمق زیاد ایوان‌ها در ماه‌های گرم سال

باعث افزایش میزان ساعات سایه اندازی بر درگاه ورودی بناها شده و از افزایش دمای فضای داخلی بناها جلوگیری می کرده است.

مدیریت زمانی و مکانی در برگزاری اجتماعات

به طور کلی، حیاط در معماری گذشته ایران، مرکز تعاملات اجتماعی بوده است (بازایی و همکاران، ۱۳۹۹: ۶۲). با توجه به نقوش برجسته و وسعت تالار ستون دار و حیاط بناهای تالار تخت و آپادانا، به نظر می رسد فضاهای مذکور محل برگزاری اجتماعات در مجموعه در ماه های گرم سال بوده اند. ممکن است شرایط آب و هوایی در ایام مذکور به طوری باشد که افراد در فضاهای باز و نیمه باز از آسایش حرارتی برخوردار باشند. با وجود فضاهای باز و نیمه باز در مجموعه، مانند حیاطها و ایوانها می توانسته اند برخی از گردهماییها و حتی استراحت خود را در فضاهای مذکور به انجام برسانند. به حضور رسیدن هیأت های هدیه آورندگان به احتمال در نزدیکی عید نوروز و جلوس شاه بر اورنگ شاهی، از جمله این اجتماعات در ماه های گرم سال است که به ترتیب در آپادانا و تالار تخت برگزار می شده است (اشمیت، ۱۳۴۲: ۱۲۸).

میزان اثربخشی انطباق پذیری اقلیمی و اتخاذ تمامی تمهیدات گرمایشی و سرمایشی شرح داده شده در مورد مجموعه تخت جمشید در حالت شبیه سازی شده آن و با استفاده از نرم افزار دیزاین بیلدر بر مبنای داده های اقلیمی سال ۲۰۰۲ م. سنجیده و نمایش داده شده است (شکل ۱۰)؛ بر این اساس، میزان دمای فضای داخلی مجموعه در ماه های مختلف سال به ندرت (تنها ۱۵ ساعت در کل سال) به کمتر از ۹°C رسیده و ساکنان در اغلب اوقات در حالت آسایش قرار داشته اند. بروز دمای بیش از آسایش نیز به دلیل پردازش اطلاعات در نرم افزار مذکور در حالت بسته بودن بازشوها و تولید گرما در آن است.



شکل ۱۰: نمودار تحلیل آسایش حرارتی فضاهای داخلی مجموعه بناهای تخت جمشید در حالت بسته بودن بازشوها و تولید گرما در آن (نگارندگان، ۱۴۰۱).

Fig. 10: A representation of the thermal comfort analysis of the interior spaces of the Persepolis complex of buildings with the openings closed and heat generation therein (Authors, 2022).

نتیجه‌گیری

باتوجه به دستاوردهای بزرگ و مطالعه‌شده معماران و استادکاران مجموعه تخت جمشید در زمینه‌های مختلف معماری، تکنیکی و هنری، قابل انتظار است که در زمینه انطباق‌پذیری معماری با محیط‌زیست و تمهیدات گرمایشی و سرمایشی نیز دستاوردهای قابل توجهی داشته باشند؛ براساس تحلیل شرایط اقلیمی دشت مرودشت و آسایش حرارتی ساکنان آن، رعایت تمهیدات گرمایشی در مقایسه با تمهیدات سرمایشی در معماری یک بنا در منطقه مذکور جهت انطباق‌پذیری اقلیمی و تأمین آسایش حرارتی ساکنان ضرورت بیشتری داشته است. تمهیدات گرمایشی طبیعی شامل استفاده از حرارت حاصل از تابش نور خورشید است که تنش سرمایی ساکنان را در برخی ساعات در محدوده زمانی اواسط مهر تا اواسط فروردین رفع می‌کند و تمهیدات سرمایشی نیز شامل سایه‌اندازی روی بازشوها و تهویه طبیعی هوا است که آسایش حرارتی ساکنان را از اواسط فروردین تا اواسط اردیبهشت و از اواسط شهریور تا اواسط مهر در برخی ساعات و در روزهای میانی دو بازه زمانی مذکور در تمامی ساعات شبانه‌روز تأمین می‌کند و در سایر روزهای سال به سرمایش نیازی نبوده است. با توجه به موارد مذکور، مؤلفه‌های کالبدی معماری هخامنشی مجموعه تخت جمشید به منظور اجرای این تمهیدات شامل جهت‌گیری مجموعه نسبت به آзимوت تابش نور خورشید رو به سمت جنوب با کشیدگی شمال غربی- جنوب شرقی است که در معرض میانگینی از بیشینه میزان انرژی تابشی خورشید و مقدار بهینه آن قرار دارد. در پاسخ به پرسش نخست پژوهش، مؤلفه‌های معماری مقابل در مجموعه مذکور اتخاذ شده است؛ با توجه به ساخت تدریجی مجموعه، تراکم و ارتفاع زیاد بناها باعث ایجاد معابر و دو حیاط‌هایی با عرض کم شده است که باعث کاهش مساحت میدان حرکتی بادهای نامطلوب، سایه‌اندازی روی بازشوها در روزهای گرم و ایجاد شکست زیاد در معابر می‌شده است. استفاده از خشت در ساخت دیوارها و ایجاد پوشش مسطح تیر چوبی با ضخامت زیاد که از ظرفیت و تأخیر حرارتی بالایی برخوردار است، باعث جلوگیری از اتلاف هرچه بیشتر گرما در روزهای سرد و کاهش ورود گرمای فضای خارجی در روزهای گرم به فضای داخلی بناها می‌شده است. تعبیه بازشوها در آзимوت شمال غربی- جنوب شرقی میانگینی از آзимوت‌های بیشینه حرارت تابشی (شرقی) و بهینه (شرقی- غربی با دید جنوبی) است و میزان حرارتی دریافتی از نور خورشید برای روزهای سرد و گرم سال مناسب است. به احتمال فراوان، درگاه‌ها و پنجره‌ها در روزهای سرد بسته می‌شده است. ساخت ایوان ستون‌دار در اغلب بناها نیز در تعدیل هوای داخل نقش داشته است.

در پاسخ به پرسش دوم پژوهش باید بیان نمود که به‌کارگیری راهکارهای فوق در اغلب ساعات از اواسط آبان تا اواسط اسفند که در مجموع ۱۶۳۲ ساعت محاسبه شده است، جهت تأمین آسایش حرارتی ساکنان مجموعه کافی نیست و به تولید گرما نیاز است. پاسخ پرسش سوم این پژوهش نیز این است که، در این مجموعه، بخاری‌های دیواری مشابه نمونه‌های طبقه III باباجان تپه لرستان شناسایی نشده است؛ به همین دلیل، احتمال می‌رود ساکنان از منقل‌های فلزی قابل حمل مشابه انواع آشوری استفاده و گرمای لازم را فراهم می‌کرده‌اند. در نهایت، پژوهش حاضر نشان می‌دهد معماران مجموعه تخت جمشید همان‌گونه که به تکنیک‌های مختلف معماری تسلط کامل داشته‌اند، از دانش کافی در ارتباط با جنبه‌های مختلف انطباق‌پذیری اقلیمی و اتخاذ تمهیدات گرمایشی و سرمایشی به منظور تأمین آسایش حرارتی ساکنان در ماه‌های مختلف سال نیز برخوردار بوده‌اند.

سپاسگزارى

در پایان نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از داوران ناشناس نشریه با نظرات ارزشمند خود به غنای متن مقاله افزودند، قدردانی نمایند.

درصد مشارکت نویسندگان

این مقاله مستخرج از رساله نویسنده اول به راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم بوده است؛ بر همین اساس گردآوری مطالب توسط نویسنده اول و نگارش آن تحت نظارت نویسندگان دوم و سوم بوده است.

تضاد منافع

نویسندگان ضمن رعایت اخلاق نشر در ارجاع‌دهی، نبود تضاد منافع را اعلام می‌دارند.

پی‌نوشت

1. AutoCAD
2. Design Builder
3. Climate Consultant
4. EnergyPlus
5. Ecotect
6. James Henry Breasted
7. Ernst Emil Herzfeld
8. Erich Friedrich Schmidt
9. Givoni
10. Azimuth:

زاویه افقی بین دو راستا موافق با جهت حرکت عقربه‌های ساعت در دستگاه مختصات کروی است که به منظور تعیین سمت و راستا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کتابنامه

- اشمیت، ف.، ا.، (۱۳۴۲). تخت جمشید ۱: بناها، نقش‌ها و نبشته‌ها. مؤسسه انتشارات امیرکبیر با همکاری مؤسسه انتشارات فرانکلین.
- بازاری، محمد؛ قاسمی سیچانی، مریم؛ شجاعی، علیرضا؛ و مداحی، مهدی، (۱۳۹۹). «خوانش نحوی تدام و تغییر در پیکره‌بندی فضایی خانه‌های بومی شهر شیراز، از عهد زندیه تاکنون با استفاده از داده‌های کمی نرم‌افزار "Ucl Depth Map"». مطالعات هنر اسلامی، ۱۶ (۳۷): ۴۷-۶۵. <https://doi.org/10.22034/ias.2020.108414>
- برزگر، زهرا؛ و حیدری، شاهین، (۱۳۹۶). «بررسی نقش عمق و سایه ورودی خانه‌های سنتی در تأمین آسایش حرارتی بیرونی - نمونه موردی: بافت قدیم شهر شیراز». معماری اقلیم گرم و خشک، ۵ (۵): ۲۱-۳۲. <https://doi.org/10.29252/smb.5.5.21>
- پسران، آرش، کریمی نیا، شهاب، ناظمی، الهام و طغیان، شیرین، (۱۳۹۸). «ارزیابی وجود مکانیزم طراحی منطبق بر تهویه طبیعی در معماری سنتی شهرهای اقلیم گرم و خشک بدون بادگیر (نمونه موردی: فضای بیرونی بناهای چهارطرفه قاجاری شیراز)». معماری اقلیم گرم و خشک، ۷ (۹): ۱۰۱-۱۱۹. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.26453711.1398.7.9.6.5>
- تابان، محسن؛ پورجعفر، محمدرضا؛ بمانیان، محمدرضا؛ و حیدری، شاهین، (۱۳۹۱). «تأثیر اقلیم بر شکل تزیینات معماری با تکیه بر تحلیل میزان سایه‌اندازی، خون‌چینی‌های آجری بافت تاریخی دزفول». نقش جهان، ۲ (۳): ۱-۱۱. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23224991.1391.2.2.1.3>
- ثروتی، زهرا؛ و لطیفی، غلامرضا، (۱۴۰۰). «ارزیابی تأثیر معیارهای اقلیمی طراحی مدل جغرافیایی میدان شهری براساس کیفیت و جهت‌یابی باد غالب به منظور دستیابی به آسایش حرارتی: مطالعه موردی میدان نبوت شرق تهران». اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۳۰ (۱۱۷): ۲۵۱-۲۶۵. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2021.244466>

- جعفریان، سپیده؛ سرکرده‌ئی، الهام؛ منصفی پراپری، دانیال؛ و مجاهدی، محمدرضا، (۱۳۹۹). «ایجاد سایه در فضای باز با هدف افزایش آسایش حرارتی». معماری شناسی، ۳ (۱۸): ۱-۸. <https://doi.org/10.30475/isau.2023.262631.1596>
- جوانمردی، فاطمه؛ ملازاده، کاظم؛ و محمدیان منصور، صاحب، (۱۳۹۸). «بررسی نظام پیمون در معماری هخامنشی: مطالعه موردی کاخ آپادانا و صدستون». پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، ۹ (۲۲): ۱۲۳-۱۴۲. <https://doi.org/10.22084/nbsh.2019.17557.1838>
- حاتمی بهمن‌بیگلر، خداکرم؛ و خوشحال دستجردی، جواد، (۱۳۸۹). «نواحی اقلیمی استان فارس به روش تحلیل عاملی». فضای جغرافیایی، ۱۰ (۳۲): ۱۳۵-۱۵۰.
- حجازی‌زاده، زهرا؛ و کربلائی درئی، علیرضا، (۱۳۹۴). «آسایش حرارتی در ایران». جغرافیا، ۱۳ (۴۶): ۲۱-۲۹.
- دهقانی، راضیه؛ گندمکار، امیر؛ اسلامیان، سعید؛ غیور نجف‌آبادی، حسنعلی؛ و مدرس، رضا، (۱۳۹۸). «تحلیل فراوانی سرعت و جهت باد و نقش آن در برنامه‌ریزی منطقه‌ای استان فارس». نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، ۱۱ (۴): ۱۲۵-۱۴۲.
- رازجویان، محمود، (۱۳۷۴). «شرایط کوران هوا». صفحه ۵ (۱ و ۲): ۳۲-۴۳. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.1683870.1374.5.2.8.6>
- زارع‌مهدیه، آیدا؛ حیدری، شاهین؛ و شاهچراغی، آزاده، (۱۳۹۸). «بررسی کیفیت محیطی داخلی خانه‌های قاجاری شیراز با تأکید بر آسایش حرارتی و نور روز (نمونه موردی: خانه نعمتی)». معماری اقلیم گرم و خشک، ۷ (۱۰): ۲۶۹-۲۹۰. <https://doi.org/10.29252/ahdc.2020.12108.1261>
- زنگنه، نجمه؛ و برزگر، زهرا، (۱۳۹۷). «مقایسه میزان آسایش حرارتی درونی و بیرونی زمستان‌نشین و حیاط مرکزی در خانه سنتی به روش PMV و PPD (مطالعه موردی: خانه تولایی شیراز)». مطالعات محیطی هفت حصار، ۶ (۲۴): ۵۵-۶۸. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.232.25602.1397.6.24.7.4>
- سامی، علی، (۱۳۳۴). پارسه (تخت جمشید). شیراز: چاپخانه موسوی.
- شهبازی، علیرضا شاپور، (۱۳۸۴). راهنمای مستند تخت جمشید. تهران: سفیران.
- عیالی، حامد؛ و موحد، خسرو، (۱۳۹۵). «تعیین جهت بهینه حیاط مرکزی خانه‌های دوره قاجار شیراز براساس میزان دریافت تابش انرژی خورشیدی». جغرافیا و توسعه، ۱۴ (۴۲): ۱۶۱-۱۸۲.
- قانقرمه، عبدالعظیم؛ و روشن، غلامرضا، (۱۳۹۷). «بازنگری در تعیین دمای پایه آسایش حرارتی مناطق اقلیمی متفاوت ایران به منظور محاسبه شاخص درجه-روز مورد نیاز سرمایه‌ی و گرمایشی». اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۲۷ (۱۰۵): ۱۲۷-۱۴۳. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2018.31481>
- کرفتر، فریدریش، (۱۳۸۸). طرح‌های بازسازی تخت جمشید. به ترجمه فرانک بحرالعلومی شاپورآبادی، تهران: بنیاد پژوهشی پارسه-پاسارگاد، سازمان میراث‌فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری، دفتر امور فرهنگی، اداره برنامه‌ریزی نشر.
- کرمی‌راد، سینا؛ بنازاده، بهاره؛ زارعی، هانی؛ و قزلباش، ابراهیم، (۱۳۹۸). «ارزیابی و تحلیل آسایش حرارتی در حیاط خانه‌های تاریخی شهر شیراز در دوره قاجاریه». پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، ۹ (۲۰): ۱۸۳-۲۰۲. <https://doi.org/10.22084/nbsh.2019.17023.1792>
- کریم‌زاده، جمشید؛ مهدی‌نژاددردزی، جمال‌الدین؛ و کریمی، باقر، (۱۴۰۰). «سنجش عملکرد عناصر اقلیمی خانه‌های سنتی بافت تاریخی شیراز با رویکرد آسایش حرارتی؛ مورد پژوهی: ایوان». معماری ایرانی، ۱۰ (۲۰): ۸۹-۱۱۵. <https://doi.org/10.22052/jias.2022.111875>
- طاهباز، منصوره؛ جلیلیان، شهربانو؛ و موسوی، فاطمه، (۱۳۹۳). «نقش جرم حرارتی خاک در

- کنترل شرایط محیطی ساختمان؛ برداشت میدانی در تعدادی از بناهای تاریخی شهر کاشان». ص ۳۱-۳۵. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.1683870.1393.24.3.3.6>
- طلایی، حسن، (۱۳۸۵). عصر مفرغ ایران. تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاهها (سمت)، پژوهشکده تحقیق و توسعه علوم انسانی.
- ظهوری قره‌دریشلو، راحله، (۱۳۹۴). «معماری همساز با اقلیم کوهستانی خیلی سرد، مطالعه موردی: خانه‌های تاریخی اردبیل». جغرافیا، ۱۳ (۴۷): ۲۱۱-۲۲۹.
- محبوبی، قربان و آذر، علی، (۱۳۹۹). «بازشناخت نقش محیط و معیشت بر تکوین گونه مسکن روستایی، مطالعه موردی: شمال شهرستان مراغه». اندیشه معماری، ۴ (۷): ۱۳۸-۱۵۴.
- ملک شه‌میرزادی، صادق، (۱۳۹۱). ایران در پیش از تاریخ: باستان‌شناسی ایران از آغاز تا سپیده دم شهرنشینی. تهران: سبحان نور.
- منشی‌زاده، رحمت‌اله؛ حسینی، سید ابراهیم؛ اجاق، عقیل؛ و شعبانی، سیده حمیده، (۱۳۹۲). «آسایش حرارتی و تأثیر ارتفاع ساختمان‌ها بر خرده اقلیم‌های فضاهای شهری، نمونه موردی خیابان شهرداری تهران (حد فاصل میدان تجریش تا میدان قدس)». آمایش محیط، ۱۲ (۲): ۱۱۰-۱۲۳.
- مؤذن، سجاد؛ و ص‌برنجی، شینا، (۱۴۰۰). «شناخت و تحلیل کالبدی معماری بومی روستای لیوس». معماری و شهرسازی ایران، ۱۲ (۲): ۱۵۳-۱۶۹. <https://doi.org/10.30475/isau.2021.221675.1362>
- یادگاری، پگاه؛ و سجادزاده، حسن، (۱۴۰۰). «نقش الگوی فضایی و پوشش گیاهی فضاهای باز محلی بر میزان آسایش حرارتی در اقلیم سرد». مطالعات شهری، ۱۰ (۴۰): ۱۵-۲۶. <https://doi.org/10.34785/J011.2021.937>
- Ayali, H. & Movahed, Kh., (2016). "Determining the optimal direction of the central courtyard of Qajar period houses in Shiraz based on the amount of solar radiation received". *Geography and Development*, 14 (42): 161-182 (In Persian).
- Barzegar, Z. & Heidari, S., (2017). "A Study of the Functions of Traditional House Entrances' Depth and Shadow on Outdoor Thermal Comfort in the Historical Context of Shiraz". *Journal of Architecture in Hot and Dry Climate*, 5(5), 21-32. <https://doi.org/10.29252/smb.5.5.21> (In Persian).
- Bazaei, M., Ghasemi Sichani, M., Shojaei, A. & Madahi, M., (2020). "Continuous Reading and Change in the Spatial Configuration of Native Houses of Shiraz (Zandieh and Qajar) Using Quantitative Data with UCL Depth Map Software". *Islamic Art Studies*, 16.17(37): 47-67. <https://doi.org/10.22034/ias.2020.108414> (In Persian).
- Codella, K. C., (2007). *Achaemenid Monumental Gateways at Pasargadae, Susa and Persepolis*. Berkeley: University of California.
- Goff, C., (1970). "Excavations at Bābā Jān, 1968: Third Preliminary Report". *Iran*, 8, 141-156. <https://doi.org/10.2307/4299639>
- Goff, C., (1977). "Excavations at Baba Jan: The Architecture of the East Mound, Levels II and III". *Iran*, 15, 103-140. <https://doi.org/10.2307/4300567>
- Dehghani, R., Gandomkar, A., Eslamian, S., Ghayour Najafabadi, H. & Modarres, R., (2019). "Analysis of the frequency of wind speed and direction and its role in regional

planning of Fars Province”. *New Perspectives in Human Geography*, 11 (4): 125-142 (In Persian).

- Hatami B., Beyglou, Kh. & Khoshal Daštjerdi, J. (2010). “Climatic regions of Fars province using factor analysis method”. *Geographical Space*, 10 (32): 135-150 (In Persian).

- Hejazizadeh, Z. & Karbalaie, A. (2023). “Thermal comfort in Iran”. *Geography*. 13(46), 21-39 (In Persian).

- Ghanghermeh, A., Roshan, G. & shahkooeei, S., (2018). “The review of determining the thermal comfort base temperature in different climatic regions in order to calculate the required Degree-Day index for cooling and heating”. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 27(105): 127-143. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2018.31481> (In Persian).

- Jafarian, S., Sarkardehee, E., Monsefi Parapari, D. & Mojahedi, M. R., (2023). “Simulation and evaluation of the effect of membrane canopy on outdoor thermal comfort in Semnan city”. *Journal of Iranian Architecture & Urbanism (JIAU)*, 14(1): 5-19. <https://doi.org/10.30475/isau.2023.262631.1596> (In Persian).

- Javanmardi, F., Mollazadeh, K. & Mohammadian Mansour, S., (2019). “The Survey of Module in Achaemenid Architecture, Case Study: The Palace of Apadana and the Hall of a Hundred-Column”. *Archaeological Research of Iran*, 9(22): 123-142. <https://doi.org/10.22084/nbsh.2019.17557.1838> (In Persian).

- Karamirad, S., banazade, B., Zarei, H. & Ghezelbash, E., (2019). “Assessment and Analysis of Thermal Comfort Courtyards of Shiraz Historical Houses in Qajar Era”. *Archaeological Research of Iran*, 9(20), 183-202. <https://doi.org/10.22084/nbsh.2019.17023.1792> (In Persian).

- Karim-zadeh, J., Mahdi-nejad Darzi, J. A. & Karimi, B. (2022). “Climatic Performance of Traditional Houses in the Old Texture of Shiraz using the Thermal Comfort Approach Case Study: the Iwan (Veranda)”. *Journal of Iranian Architecture Studies*, 10(20), 89-115. <https://doi.org/10.22052/jias.2022.111875> (In Persian).

- Kertai, D., (2015). *The Architecture of Late Assyrian Royal Palaces*. Oxford University Press; Illustrated edition.

- Krefter, F., (1971). *Persepolis Rekonstruktionen*. Berlin.

- Krafte, F., (2009). *Plans for the Reconstruction of Persepolis*. Translated by: Faranak Bahr-ol-Olumi Shapourabadi, Tehran: Parse-Pasargad Research Foundation, Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism Organization, Cultural Affairs Office, Publication Planning Department (In Persian).

- Mahboubi, Gh. & Azar, A., (2019). “Recognizing the role of environment and livelihood on the development of rural housing types, case study: North of Maragheh County”. *Architectural Thought*, 4 (7): 138-154 (In Persian).

- Malek Shahmirzadi, S., (2012). *Iran in Prehistory: Iranian Archaeology from the Beginning to the Dawn of Urbanization*. Tehran: Sobhan Noor (In Persian).

- Matthews, R. & Fazeli Nashli, H., (2022). *The Archaeology of Iran from the Palaeolithic to the Achaemenid Empire* (1st ed.). London & New York: Routledge.
- Moazen, S. & Sad Berenji, S., (2021). "Physical Analysis and Cognition of Vernacular Architecture in Leives Village". *Journal of Iranian Architecture & Urbanism (JIAU)*, 12(2): 153-169. <https://doi.org/10.30475/isau.2021.221675.1362> (In Persian).
- Monshizadeh, R., Hosseini, E., Ojaq, A. & Shabani, H., (2013). "Thermal comfort and the effect of building height on microclimates of urban spaces, a case study of Tehran Municipality Street (between Tajrish Square and Qods Square)". *Environmental Planning*, 12 (2): 110-123 (In Persian).
- Razjouyan, M., (1995). "Conditions of the Blind Air". *Soffeh*, 5 (1 & 2): 32-43. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.1683870.1374.5.2.8.6> (In Persian).
- Roaf, M. (1983). "Sculptures and Sculptors at Persepolis". *Iran*, 21: i-164. <https://doi.org/10.2307/4299731>.
- Pesaran, A., Kariminia, S., Nazemi, E. & Toghyani, S. (2019). "Evaluating the Existence of a design mechanism based on natural ventilation in the traditional architecture of cities in hot-arid climate without the use of windcatchers (case study: outer space of four-sided Qajar buildings in Shiraz). *Journal of Architecture in Hot and Dry Climate*, 7(9), 101-119. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.26453711.1398.7.9.6.5> (In Persian).
- Sami, A., (1955). *Parseh (Takht-e Jamshid)*. Shiraz: Mousavi Printing institute (In Persian).
- Schmidt, E. F., (1953). *Persepolis I: Structures, Reliefs, Inscriptions. The University of Chicago Oriental Institute Publications*, Vol. LXVIII, Chicago Press.
- Schmidt, E. F., (1963). *Persepolis I: Structures, Reliefs, Inscriptions*. Amir-Kabir publishing institute in collaboration with Franklin publishing institute (In Persian).
- Servati, Z. & Latifi, G., (2021). "Evaluating the impacts of climatic factors, especially quality and direction of the prevailing wind on thermal comfort using geographical models of a town square Case study: Nabovat Square in East of Tehran". *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 30(117), 251-265. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2021.244466> (In Persian).
- Shahbazi, A., (2005). *Documentary Guide to Persepolis*. Tehran: Safiran (In Persian).
- Taban, M., Bemanian, M., Pourjafar, M., Heidari, S., Bemanian, M. and Heidari, S. (2025). "Climate Impact on Architectural Ornament Analyzing the Shadow of Khavoons in Dezful Historical Context with the Use of Image Processing". *Naqshejahan- Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning*, 2(2), 79-90. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23224991.1391.2.2.1.3> (In Persian).
- Tahbaz, M., Jalilian, S. & Moosavi, F. (2014). "Subterranean Thermal Mass in Environmental Control A Field Study in Historic Houses, Kashan". *Soffeh*, 24(3), 31-56. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.1683870.1393.24.3.3.6> (In Persian).

- Talaei, H., (2006). *The Bronze Age of Iran*. Tehran: Organization for the Study and Compilation of Humanities Books of Universities (SAMAT), Institute for Research and Development of Humanities (In Persian).
- Turner, G., (1970). "The State Apartments of Late Assyrian Palaces". *Iraq*, 32 (2), 177-213. <https://doi.org/10.2307/4199901>.
- Yadegari, P. & sajadzadeh, H. (2021). "The impact of spatial pattern and local urban space vegetation on the thermal comfort in cold climate". *Motaleate Shahri*, 10(40): 15-26. <https://doi.org/10.34785/J011.2021.937> (In Persian).
- Zangeneh, N. & Barzegar, Z., (2018). "The Comparison of Internal and External Thermal Comfort of winter stayed and Central Yard in Traditional House by PMV and PPD Methods (Case Study: Tavallae House in Shiraz)". *Haft Hesar*, 6 (24): 55-68. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23225602.1397.6.24.7.4> (In Persian).
- Zare Mohazzabieh, A., Heydari, S. & Shahcheraghi, A., (2020). "Indoor Environmental Quality in Qajar Houses of Shiraz with an emphasis on Thermal Comfort and Daylighting (case study: Nemati House)". *Journal of Architecture in Hot and Dry Climate*, 7(10), 269-291. <https://doi.org/10.29252/ahdc.2020.12108.1261> (In Persian).
- Zohori Ghare-Darvishloo, R., (2015). "Architecture compatible with a very cold mountainous climate, a case study: historical houses of Ardabil". *Geography*, 13 (47): 211-229 (In Persian).
- 3D Images of Persepolis: <http://www.persepolis3d.com/>
- Aerial images: <https://earth.google.com/web/>