



Resilience of the Parse-Pasargadae World Heritage Sites Against Environmental Crises Using Achaemenid Creativity and Traditional Knowledge

Hamid Fadaei¹, Aminollah Kamali², Hamidreza Karami³

1. Assistant Professor, Research Center for the Conservation and Restoration of Cultural and Historical Objects, Research Institute of Cultural Heritage and Tourism, Tehran, Iran (Corresponding Author). **Email:** hfadaii@yahoo.com.
2. Assistant Professor, Research Center for the Conservation and Restoration of Cultural and Historical Objects, Research Institute of Cultural Heritage and Tourism, Tehran, Iran.
3. PhD in Archaeology, Pasargadae World Heritage Site, Shiraz, Iran.

Article Info

Pp: 5-40

Original Article

Received: 2024/06/21

Revised: 2024/09/03

Accepted: 2024/09/06

<https://dx.doi.org/10.66224/45.107.1>

Use your device to scan
and read the article online



Athar Journal

Journal of Cultural Heritage and
Tourism Research Institute (RICHT),
Tehran, Iran

Publisher:

Cultural Heritage and Tourism
Research Institute (RICHT).

Abstract

Drought and excessive water extraction resulting from the agricultural policies of past decades in the plains of Marvdasht and Pasargadae have led to cracks, sinkholes, and a spongy soil texture, ultimately causing a general subsidence of the plains' surface. These phenomena pose a significant threat to the historic region and valuable world heritage sites. Today, revisiting the creativity employed to manage or overcome the destructive impacts of the natural environment can serve as a model for overcoming regional crises. The main objective of this research is to understand the creativity and traditional knowledge during the Achaemenid period in order to overcome environmental crises. The essential question is: what role did the traditional engineering and knowledge of this period play in managing crises such as floods and earthquakes? In general, ensuring sustainable water resources in the Parse-Pasargadae region, as a crucial part of the Achaemenid Empire, was of great importance. The development of agriculture in these areas was dependent on the enhancement of irrigation systems to supply water for cultivated lands. Thus, Achaemenid designers and engineers, to manage droughts a constant crisis in the semi-arid regions of Iran and to overcome seasonal flash floods, designed and implemented an extensive system of water control, storage, and transfer across the plains of Pasargadae and Marvdasht. Understanding these integrated water systems today can reveal the roots of heritage resilience over time, offering valuable lessons. Additionally, considering the region's seismic activity, employing appropriate engineering in the selection, transport, and implementation of materials including the use of large stone blocks in architecture, multi-layered stone foundations and floors, and enhancing the load-bearing capacity of building bases was among the creative methods used to increase the stability of structures. This study was conducted based on field investigations and the review of relevant historical documents and records. Through necessary analyses, efforts were made to elucidate the role of engineering in the Achaemenid period in overcoming environmental challenges. The results of the research indicate that understanding and reapplying past technical knowledge can not only restore and sustain human coexistence with the natural environment and its hazards but also provide suitable solutions for protecting the content of heritage resources, ensuring their authenticity.

Keywords: Traditional Knowledge, Creativity, Resilience, Crisis Management, Parse-Pasargadae World Heritage Sites.

Copyright © 2023. 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 AttributionNonCommercial terms.

URL: <https://athar.richt.ir/article-2-1711-en.html>

How to Cite This Article:

Fadaei, H., Kamali, A & Karami, H., (2025). "Resilience of the Parse-Pasargadae World Heritage Sites Against Environmental Crises Using Achaemenid Creativity and Traditional Knowledge". *Athar*, 107(45): 5-40
<https://dx.doi.org/10.66224/45.107.1>

Introduction

With the establishment of the largest empire of the ancient world during the Achaemenid period, two major capitals, Pasargadae and Persepolis, were founded in Fars by Cyrus the Great and later by Darius (Shobairi, 2017: 58). The fertile lands, abundant water resources, and the temperate, favorable climate of the Pasargadae plain were among the natural blessings that led to the selection of this location and the foundation of some of the most significant monuments of the Achaemenid civilization. The Polvar River also provided a natural route between Pasargadae and Persepolis. The abundant water of the Polvar River indicated the existence of numerous gardens and settlements in the region (Sami, 1996: 10). The site of Persepolis was constructed at the western end of the sacred Mount Mehr (or Rahmat) and overlooks the Marv Dasht plain (ancient Parse), which shows evidence of settlement as early as the fifth millennium BCE (Karami, 2017: 16; Zeidi, 2017: 34). According to historical documents, the ancient plain of Parse was fertile and enjoyed a pleasant climate. Furthermore, it was rich in forests, orchards, abundant water, and pastures for horses. The Persepolis clay tablets also confirm these characteristics (Sumner, 1968: 18). Remnants of irrigation systems have been observed in the surrounding areas of Persepolis as well (Afkhkhami & Khosravi, 2018: 28).

Unfortunately, repeated droughts and excessive groundwater extraction in the Parse–Pasargadae region have led to land subsidence and the formation of deep fissures around sites such as Persepolis and Naqsh-e Rostam, posing serious threats to these invaluable historical complexes (Raiesi-Ardekani, 2010). The main cause of land subsidence in sedimentary basins of arid and semi-arid regions is the overexploitation of groundwater resources (Pacheco *et al.*, 2006). In addition to this, occasional flash floods caused by climate change threaten the very foundations of many cultural heritage sites. The Achaemenid innovations in overcoming environmental adversities are crucial topics that, if properly understood today, can guide not only the physical conservation of these unique heritages but also offer important lessons for living in harmony with nature and enhancing resilience to modern environmental challenges. Therefore, a principal aim of the present study is to revisit the ancient innovations employed during the Achaemenid period in the Parse–Pasargadae region to control or overcome major regional crises such as floods and earthquakes. By studying previous research, historical sources, and conducting field surveys and documentation, this research introduces, analyzes, and evaluates some aspects of traditional Achaemenid engineering in the geographical context of Parse–Pasargadae as a model for sustainable heritage conservation.

Discussion

The most important surface water resources of the region are the Kor and Sivand (Polvar) Rivers, which irrigate many plains along their course (Fig. 1). Thus, agriculture—the fundamental basis of the economy of ancient civilizations—developed in fertile plains such as Parse and Pasargadae. However, agriculture during the Achaemenid period would have been highly challenging and economically unjustifiable without systematic irrigation (Shobairi, 2017: 62). Consequently, Achaemenid designers and engineers developed and implemented an extensive system of water control, storage, and transfer across the Pasargadae plain and

its surroundings. The construction of this system, including a series of dams, barriers, and a wide network of water canals, faced numerous complexities and difficulties, yet was executed successfully through wise planning and management. This approach fostered resilience in settlement and agricultural activities against environmental hazards. Part of the architectural science and structural engineering in Iranian architecture, including during the Achaemenid period, focused on resilience against the constant threat of earthquakes. Therefore, during the Achaemenid era, it was essential to devise and apply measures to mitigate earthquake impacts. The use of durable materials along with architectural techniques was among the strategies employed by Achaemenid architects to withstand natural adversities like earthquakes and to ensure the resilience and longevity of architectural monuments.

The craftsmanship and precision of the stonecutters in joining stone blocks were so refined that the joints were sometimes imperceptible, creating an integrated appearance between structural and decorative elements. The use of clamps between stone blocks not only prevented additional movements but also enhanced the structural integrity, thereby improving resistance against tensile forces and unforeseen shear stresses (Wright, 2005: 254). In the foundation construction of Achaemenid buildings, the load-bearing capacity of the soil was reinforced to prevent settlement, rupture, and creep within the affected zones. The use of massive and monolithic stone blocks in Achaemenid palaces, despite the challenges in transportation and assembly, significantly contributed to the unified behavior of structures during seismic events. Early examples of seismic isolation systems and effective connections between load-bearing elements to increase the stiffness of the platforms upon which palaces were built were among the methods employed during the Achaemenid period to cope with climatic adversities (Motamedmanesh, 2018: 24). Additionally, the insertion of lead sheets between stone blocks not only assisted in leveling large stone units but also played a role in reducing the slippage of stones over each other.

Conclusion

The Achaemenids' understanding of resource arrangement strategies in the Parse–Pasargadae region, combined with sound decision-making and coherent, environmentally adaptive actions, led to the creation of essential infrastructure for water resource management and mitigation of environmental crises caused by floods in the plains. Particularly in Pasargadae, the control of upstream water resources, their utilization for agricultural development, and the design and creation of the royal garden, along with the organization of garden irrigation through uniquely designed water features, all reflect precise engineering and intelligent exploitation of environmental and climatic capacities. The management behind the creation of these achievements, whose evidence endures to this day, stands as an exceptional testament to the Achaemenid art and engineering of resilience against environmental adversities, especially seasonal floods that once threatened the foundations of life and economy in the region's fertile plains.

Seismic activity in the Parse–Pasargadae region posed another significant threat to architectural structures, particularly to the monumental buildings of Pasargadae and Persepolis. One aspect of the Achaemenid engineering response to this threat was the use of large stone blocks in construction, aimed at preventing settlement and structural failure through precise calculations and reinforcement of the load-bearing capacity

Resilience of the Parse-Pasargadae World Heritage...

of building foundations. At the same time, the coherence and flexibility of structures demonstrate a construction system well adapted to climatic conditions, with special attention given to enhancing the bearing capacity of the ground. Indeed, the durability of many of these monuments owes much to the careful consideration of climate, innovative material selection, transportation methods, and construction techniques. The creation and enduring survival of the grand Achaemenid monuments to this day are the result of their traditional knowledge and creativity in adapting to and coexisting with nature, understanding its laws, and wisely utilizing its capacities to overcome environmental adversities. Awareness of traditional knowledge regarding the management of environmental crises offers valuable models for how humans can interact sustainably with the natural world. This reciprocal relationship between the past and the present not only strengthens cultural identity but also contributes to enhancing the resilience of cultural heritage sites in the face of contemporary environmental challenges.

Acknowledgments

The authors would like to express their sincere gratitude to Ms. Mehrnaz Bordbar, Head of the Library and Documentation Center at the Persepolis World Heritage Site, Ms. Farzaneh Gerami, former Head of the Library and Documentation Center at the Pasargadae World Heritage Site, and Ms. Narges Doosti-Sani, esteemed Head of the Library of the Research Institute for the Conservation and Restoration of Cultural and Historical Properties, for providing access to essential resources and images.

Observation Contribution

In this article, the first author (Hamid Fadaei) was responsible for conceptualization and data analysis to the extent of 50%; the second author (Aminollah Kamali) and the third author (Hamidreza Karami) each contributed 25% in data collection, including preparing related maps, sourcing research materials, and proofreading the text. All authors equally participated in reviewing and approving the final version of the article prior to submission and take full responsibility for the accuracy and integrity of its contents.

Conflict of Interest

This article is derived from the approved research project of the corresponding author entitled "*Climate Change and Its Impacts on Cultural Heritage: A Case Study of the Pasargadae and Persepolis World Heritage Sites*," conducted with the assistance of two co-authors involved in the project and with financial and moral support from the Research Institute of Cultural Heritage and Tourism.

مقاله پژوهشی

تاب‌آوری محوطه‌های میراث جهانی پارسه - پاسارگاد در برابر بحران‌های زیست‌محیطی با استفاده از خلاقیت و دانش سنتی هخامنشی

حمید فدایی^۱، امین‌اله کمالی^۲، حمیدرضا کرمی^۳

۱. استادیار پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران (نویسنده مسئول)

Email: hfadaii@yahoo.com

۲. استادیار پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران.

۳. دکترای باستان‌شناسی، پایگاه میراث جهانی پاسارگاد، شیراز، ایران.

اطلاعات مقاله

خلاصه

صفحات: ۴۰-۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۶

 <https://dx.doi.org/10.66224/45.107.1>

فصلنامه اثر

نشریه پژوهشکده ابنیه و بافت‌های تاریخی،
پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تهران،
ایران

ناشر:

پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری

خشکسالی و برداشت بی‌رویه آب نتیجه سیاست‌های چند دهه گذشته در اراضی کشاورزی دشت‌های مرودشت و پاسارگاد باعث ایجاد ترک‌ها، فروچاله و اسفنجی شدن بافت خاک و نهایتاً نشست سطح عمومی دشت شده است. این عوارض تهدیدی آشکار برای منطقه تاریخی و محوطه‌های ارزشمند جهانی به‌شمار می‌رود. امروزه رجوع به خلاقیت‌های به‌کاررفته برای مهار یا چیرگی بر تأثیرات مخرب محیط طبیعی، می‌تواند الگویی جهت برون‌رفت از بحران‌های منطقه باشد. هدف اصلی این تحقیق، شناخت خلاقیت و دانش سنتی در دوره هخامنشی به‌منظور چیرگی بر بحران‌های زیست محیطی است و پرسش اساسی این است که، مهندسی و دانش سنتی استفاده شده در این دوره چه نقشی در مدیریت بحران‌هایی هم‌چون سیل و زلزله برعهده داشته است؟ به‌طورکلی تأمین منابع پایدار آب در منطقه پارسه-پاسارگاد به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های شاهنشاهی هخامنشی، اهمیت فراوان داشته است. در این مناطق موضوع توسعه کشاورزی به ارتقاء نظام‌های آبیاری جهت تأمین آب زمین‌های زیر کشت وابسته بوده است؛ بنابراین طراحان و مهندسان دوره هخامنشی جهت مدیریت خشکسالی که از بحران‌های همیشگی مناطق نیمه‌خشک ایران بوده است و هم‌چنین چیرگی بر چالش سیلاب‌های گاه و بی‌گاه فصلی، به طراحی و اجرای یک سیستم گسترده کنترل، ذخیره‌سازی و انتقال آب در گستره دشت‌های پاسارگاد و مرودشت نموده‌اند. امروزه شناخت یکپارچه سامانه‌های آبی در شکل‌گیری و توسعه مناطق در دوران باستان می‌تواند ریشه‌های تاب‌آوری میراث را در گذر زمان نشان دهد که حاوی درس‌های بزرگی است. هم‌چنین با توجه به لرزه‌خیزی منطقه، استفاده از مهندسی مناسب در مراحل انتخاب، انتقال و اجرای مصالح و ازجمله بهره‌گیری از قطعات بزرگ سنگ در معماری، چندانیه بودن سنگ‌ها در پی و کف بنا و تقویت ظرفیت باربری بستر بناها، ازجمله خلاقیت‌ها در افزایش پایداری بناها بوده است. پژوهش حاضر، براساس بررسی‌های میدانی و مطالعه اسناد و مدارک تاریخی مرتبط به انجام رسیده است. هم‌چنین با انجام تحلیل‌های لازم تلاش شده است نقش مهندسی در دوره هخامنشی در چیرگی بر ناملایمات زیست محیطی تبیین گردد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد شناخت دانش فنی گذشته و به‌کارگیری مجدد آن نه‌تنها می‌تواند هم‌زیستی انسان را با محیط طبیعی و مخاطرات آن ترمیم نموده و به آن تداوم بخشد، بلکه راهکارهای مناسبی برای حفاظت از محتوای منابع میراث در اختیار قرار دهد که تضمین‌کننده اصالت آن خواهد بود.

کلید واژه‌ها: دانش سنتی، خلاقیت، تاب‌آوری، مدیریت بحران، محوطه‌های میراث جهانی پارسه - پاسارگاد.

حق کپی رایت انتشار: این نشریه دارای دسترسی باز، تحت قوانین گواهی‌نامه بین‌المللی Creative Commons Attribution 4.0 International License منتشر می‌شود که اجازه اشتراک (تکثیر و بازآرایی محتوا به هر شکل) و انطباق (باز ترکیب، تغییر شکل و بازسازی براساس محتوا) را می‌دهد.

URL: <https://athar.richt.ir/article-2-1711-fa.html>

فدایی، حمید؛ کمالی، امین‌اله؛ و کرمی، حمیدرضا، (۱۴۰۳). «تاب‌آوری محوطه‌های میراث جهانی پارسه - پاسارگاد در برابر بحران‌های زیست‌محیطی با استفاده از خلاقیت و دانش سنتی هخامنشی». اثر، ۱۰۷ (۴۵): ۵-۴۰. <https://dx.doi.org/10.66224/45.107.1>

مقدمه

عصر درخشان هخامنشی را می‌توان تأثیرگذارترین دوره تاریخی از گذشته تا به امروز قلمداد نمود (شهبازی، ۱۳۷۹: ۹). با شکل گرفتن بزرگ‌ترین شاهنشاهی جهان باستان در دوره هخامنشیان، پاسارگاد و تخت‌جمشید دو پایتخت مهم هخامنشی توسط کوروش بزرگ و سپس داریوش در فارس پی‌ریزی گردید (شیری، ۱۳۹۶: ۵۸). کوروش بزرگ پاسارگاد را همزمان با گسترش فرهنگ پارس، برای تختگاه شاهنشاهی گسترده خود در نظر گرفت و زمینه را برای تبلور شکوفایی هنر و مهندسی در بستر معماری و شهرسازی جهان هخامنشی فراهم ساخت. معماری هخامنشی حاصل بهره‌گیری از دانش و فن دوران تمدن باشکوه پیشین خود بوده که در ترکیب با ذوق و هنر ایرانی جلوه‌ای تازه یافته است (اکبری و فتاحی معصوم، ۱۳۹۵: ۴۲؛ ولایتی، ۱۳۸۹: ۹۳). در میان سال‌های ۱۳۴۳ تا ۱۳۵۷ خورشیدی در طول عملیات حفاظت و مرمت در محوطه‌های سنگی تخت‌جمشید و پاسارگاد توسط مؤسسه ایتالیایی ایزمئو، نکات زیادی از فنون استفاده شده در ساخت کاخ‌ها و بناهای هخامنشی استخراج و ارائه گردید (Tilia, 1968: 1972). پاسارگاد هنر معماری نخستین دوران هخامنشیان را به‌خوبی نشان می‌دهد و در تخت‌جمشید به همین شیوه به‌گونه کامل‌تری نمایان شده است.

پاسارگاد جلگه‌ای است مرتفع در شمال‌غربی استان فارس و در دامنه تپه‌ها و کوه‌های منشعب از رشته کوه‌های زاگرس واقع شده است. بهره‌مندی از زمین‌های حاصل‌خیز، منابع آب فراوان و هوای معتدل و مطلوب ازجمله موهبت‌های طبیعی دشت پاسارگاد در انتخاب این مکان و بنیان‌گذاری مهم‌ترین یادمان‌های تمدن هخامنشیان بوده است. طول دشت پاسارگاد ۲۵ کیلومتر است و عرض آن از ۱۲ کیلومتر فراتر نمی‌رود. در مرکز این دشت محوطه تاریخی پاسارگاد قرار گرفته که به‌دلیل ویژگی‌ها و شاخصه‌های معماری، هنری و شخصیت سازنده آن (کوروش بزرگ) از ارزش‌های ویژه‌ای برخوردار است و در فهرست میراث جهانی جای گرفته است. رودخانه پلوار از میان دشت مشهد مرغاب یا پاسارگاد گذشته و احتمالاً نقش تأثیرگذاری در انتخاب محوطه برای ایجاد کاخ‌های پاسارگاد داشته است. به‌دلیل وجود این رود، جلگه پاسارگاد همیشه بارور و نشیمن‌گاه اقوام مختلف بوده است. این رودخانه همچنین راه طبیعی پاسارگاد به تخت جمشید را نشان می‌دهد. در عهد باستان جلگه پاسارگاد پر درخت و سرسبز و خرم بوده و باغ‌های شاهی توسط جویبار و آب نماهای سنگی آبیاری گردیده است. آب سرشار رودخانه پلوار از وجود باغ‌های فراوان و آبادی‌های بسیار در این منطقه حکایت دارد (سامی، ۱۳۷۵: ۱۰).

محوطه تخت جمشید در ۵۵ کیلومتری شمال‌شرقی شیراز در شمال استان فارس و در قلب پارسه زادگاه هخامنشیان قرار دارد. این محوطه باستانی به فرمان داریوش اول (در ۵۲۰ ق. م) تقریباً در منتهی‌الیه غربی کوه مقدس مهر یا رحمت و بر جانب غربی آن ساخته شده و مشرف به دشت مرو دشت (شهر پارسه) است که همچون دشت پاسارگاد دارای شواهد استقرار از هزاره پنجم ق. م است (کرمی، ۱۳۹۶: ۱۶؛ زیدی، ۱۳۹۶: ۳۴). پارسه بر سر شاهراهی بود که شوش را از طریق مکان‌های اسکان ایلامی‌ها به شرق متصل می‌کرد و مقصد بسیاری از مسافرینی بود که از شوش می‌آمدند (Sumner, 1968: 29). از دلایل انتخاب این مکان برای ساخت تخت‌جمشید، جایگاه آن به‌عنوان زادگاه هخامنشیان، مجاورت به پاسارگاد به‌عنوان پایتخت کوروش، وجود کوه مقدس مهر، فراوانی آب، حضور معادن سنگ در کوه مهر و معادن همجوار (همچون سیوند و مجد آباد) به‌عنوان امتیازی در ساخت‌وساز بوده است. براساس اسناد مورخانی همچون استرابون (۶۴ پ. م ۲۱ م)، آریان (متولد ۸۵

م.) و کویتوس کرتیوس روفوس (حدود ۵۰ م.) دشت باستانی پارسه حاصل خیز بود و آب و هوایی دلپذیر داشت. افزون بر این از درخت‌زار، باغات میوه، آب فراوان و چراگاه اسبان برخوردار بود. الواح گلین تخت‌جمشید نیز گواهی بر درستی این موارد است (Sumner, 1968: 18). نظام آبرسانی در محوطه‌های اطراف تخت‌جمشید نیز مشاهده می‌شود (افخمی و خسروی، ۱۳۹۷: ۲۸).

متأسفانه امروزه به دلیل خشکسالی‌های پیاپی و حفر چاه‌های فراوان، بسیاری از چشمه‌های کوه مهر خشک شده‌اند و دبی آب اندک چشمه‌های باقیمانده نیز به شدت کم شده است. مهم‌ترین علت فرونشینی منطقه‌ای سطح زمین در حوزه‌های رسوبی مناطق خشک و نیمه‌خشک، بهره‌برداری بیش از حد از سفره‌های آب زیرزمینی است (Pacheco et al., 2006). برداشت بیش از حد مجاز از منابع آب زیرزمینی به‌ویژه در منطقه تخت‌جمشید و همچنین ویژگی‌های رسوبات و عوامل تکتونیکی در این منطقه باعث فرونشست دشت و ایجاد ترک‌هایی گسل مانند در اطراف تخت‌جمشید شده و این مجموعه با ارزش تاریخی را تهدید می‌کند (رئسی اردکانی، ۱۳۸۹).

بنابراین از اهداف اصلی تحقیق حاضر رجوع به ابتکارات کهن استفاده شده در دوره هخامنشی در منطقه پارسه - پاسارگاد به‌منظور کنترل یا چیرگی بر بحران‌های اصلی منطقه (سیل و زلزله) و ارائه راهکارهای تاب‌آورانه آن به‌عنوان الگویی جهت برون‌رفت از بحران‌هایی است که امروزه موارث فرهنگی را در منطقه تهدید می‌کند. در این تحقیق ضمن رجوع به پژوهش‌های قبلی و مطالعه منابع تاریخی و کتابخانه‌ای، با انجام بررسی‌های میدانی و مستندسازی، بخشی از مهندسی مبتنی بر دانش سنتی دوره هخامنشی در محدوده جغرافیایی پارسه - پاسارگاد، معرفی، بررسی و تحلیل شده است.

مفاهیم نظری

غالباً موضوع میراث فرهنگی در پیوند مستقیم با بسترهای طبیعی و فرهنگی آن قرار دارد. رابطه اثر با طبیعت رابطه‌ای متقابل و تعاملی بوده است. اثر تاریخی با بستر و محیط خود به‌عنوان یک کل یکپارچه تلقی شده و همراه با مؤلفه‌های محیطی آن درک و بازشناسی می‌شود. شناخت و دریافت این یکپارچگی میان کالبد اثر و محیط و منظر فرهنگی آن خود می‌تواند ریشه‌های تاب‌آوری میراث را در گذر زمان نشان دهد. بحران‌های زیست‌محیطی در محوطه‌های میراث فرهنگی می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی مانند تغییرات اقلیمی، بلایای طبیعی، فرسایش طبیعی و عوامل انسانی باشد (Sabbioni et al., 2012; Brimblecombe, 2014) که همواره تهدیدی در جهت برهم خوردن یکپارچگی اثر با محیط پیرامونی آن محسوب می‌گردد. تغییرات اقلیمی موضوعی است که زمین همواره با آن مواجه بوده است. اگرچه تغییرات اقلیمی ناگهانی و شدید، به‌طور طبیعی رخ می‌دهند اما امروزه دخالت انسان در سیستم اقلیم احتمال و فراوانی وقوع این رویدادها را افزایش داده است (Alley et al., 2003: 200). تغییر اقلیم، چه در مقادیر میانگین و چه حدی، می‌تواند تأثیرات اقتصادی و زیست محیطی جدی و گسترده‌ای بر جای گذارد و تمدن‌های انسانی را به چالش بکشد (Claussen, 2008: 232, deMenocal, 2001: 672). فقدان آگاهی لازم نسبت به بحران‌های زیست‌محیطی موجود و ازجمله تأثیرات تغییرات آب‌وهوایی بر میراث فرهنگی، مشکلی است که عدم انتشار منظم دانش در این زمینه را برجسته می‌کند (Sesaba et al., 2019: 12).

امروزه تأثیرات تغییرات اقلیمی را می‌توان در دشت‌های شمالی استان فارس و در محوطه‌های پارسه - پاسارگاد که از مکان‌های اصلی استقرار و توسعه پادشاهی هخامنشی بوده است مشاهده نمود. تبعات این

دگرگونی‌های اقلیمی در قالب خشکسالی‌های مستمر، آتش‌سوزی جنگل‌های منطقه و بروز سیلاب‌های فصلی بر مواریت منطقه سایه انداخته است. همچنین اسفنجی‌شدن بافت خاک به دلیل فرونشستن منابع آب، باعث نشست دشت شده است که عوارض آن به صورت شکاف‌ها و ترک‌ها در مناطق تاریخی تهدید جدی برای آثار محسوب می‌گردد. اگرچه نامنظم شدن بارش‌ها و همچنین کاهش آن متأثر از تغییرات اقلیمی عامل اصلی بروز این خشکسالی‌ها است، اما از سویی سیاست‌های نادرست کشاورزی و برداشت بی‌رویه منابع آبی نیز در این شرایط بحرانی، بر تشدید وضعیت خشکسالی تأثیر شگرفی گذاشته است. اینکه چرا هم‌زیستی اقلیمی دیروز به بحران و اضطراب اقلیمی امروز بدل شده است، جای تأمل و بررسی فراوان دارد. ولی قدرمسلّم شناخت دانش فنی دیروز و به‌کارگیری مجدد آن نه تنها می‌تواند این هم‌زیستی را ترمیم نموده و به آن تداوم بخشد، بلکه راهکارهای مناسبی برای حفاظت از محتوای منابع میراث در اختیار قرار خواهد داد.

در واقع نوع واکنش به تغییر اقلیم در نحوه سازگاری با مخاطرات آن نهفته است و داشتن یک چشم‌انداز فرهنگی می‌تواند به ارائه پاسخ‌های متناسب کمک کند (Adger et al., 2013: 113). با توجه به نقش کلیدی انسان در بسیاری از تغییرات اقلیمی، بنابراین امروزه جای آن دارد ضمن استخراج دانش بومی گذشته در سازگاری با تغییرات آب‌وهوایی، ظرفیت انطباق محوطه‌های میراثی با تغییرات اقلیمی ارزیابی گردد. امروزه دانش سنتی در میراث فرهنگی، می‌تواند به عنوان منبعی ارزشمند، در تقویت تاب‌آوری اجتماعی و محیطی نقش‌آفرینی کند. این دانش شامل مهارت‌ها، باورها، روش‌ها و فناوری‌های بومی است که به‌طور نسل‌به‌نسل منتقل می‌شود و به جوامع کمک می‌کند تا با چالش‌های محیطی و اجتماعی سازگاری بهتری پیدا کنند. این دانش به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه که اغلب منابع محدودی برای مدیریت بحران‌های محیطی دارند، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند و حفظ آن می‌تواند به تداوم فرهنگی و توسعه پایدار کمک کند. دانش سنتی در بسیاری از مناطق جهان به جوامع محلی کمک کرده تا در برابر ناملایمات زیست محیطی از جمله سیل و زلزله تاب‌آور باشند (Nakashima et al., 2012; Gómez-Baggethun et al., 2013; Folke, 2006).

به عنوان نمونه در برخی از مناطق روش‌های بومی مدیریت منابع آب مانند قنات‌ها و شبکه‌های آبیاری سنتی، برای مقابله با کم‌آبی مؤثر بوده است و یا در مناطق زلزله‌خیز، کاربرد دانش سنتی و خلاقیت در ساخت‌وساز، معماری سنتی را در برابر زلزله مقاوم نموده است؛ بنابراین ضروریست دانش بومی گذشته بازشناسی گردد. به‌طور مثال امروزه تجربه جوامع ساکن در مناطق ساحلی و حاشیه رودخانه‌ای به‌طور مستقیم در راهبردهای تطبیق و تاب‌آوری در برابر سیلاب‌ها استفاده می‌شود. ثروت اطلاعات و دانشی که میراث فرهنگی به ما ارائه می‌دهد، نادیده گرفته شده و ارزش آن در یافتن راه‌حل‌ها کم‌تر شناخته شده است، درحالی‌که این منابع تجربه و دانش گذشته، که در طول زمان انباشته شده‌اند، یک دارایی استفاده‌نشده در توسعه مسیرهای سازگاری و تاب‌آوری به‌شمار می‌روند (ICOMOS, 2019: 11). لذا یونسکو به دانش سنتی به عنوان بخشی از میراث فرهنگی غیرمادی نگاه می‌کند و معتقد است که این دانش می‌تواند نقش مهمی در توسعه پایدار و تاب‌آوری اجتماعی ایفا کند. یونسکو در کنوانسیون ۲۰۰۳ خود برای حفظ میراث فرهنگی غیرمادی به اهمیت حفظ دانش سنتی اشاره کرده است (UNESCO, 2003). در اجلاس اختصاصی اصالت (UNESCO, 1994) به لزوم توجه به فنون و سنت‌های ساخت اشاره شده و حفظ و تداوم تجربه‌ها و فنون گذشته را تضمینی برای هماهنگی مداخلات جدید با "کیفیت ساخت" اثر برمی‌شمرد. هیات بین‌دولتی تغییرات اقلیمی (IPCC)^۱ نیز به اهمیت دانش سنتی و بومی در مقابله با

تغییرات اقلیمی و افزایش تاب‌آوری جوامع محلی اشاره کرده و تأکید می‌کند که این دانش می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مکمل در کنار فناوری‌های مدرن در کاهش مخاطرات زیست‌محیطی به‌کار رود (IPCC, 2022).

پیشینه پژوهش

نخستین اطلاعات ما در ارتباط با ساختارهای آبی تاریخی ناحیه پاسارگاد به زمانی برمی‌گردد که سرپرسی سایکس در مسیر بازدید از پاسارگاد به بقایای یک بند خاکی بند کمین در دهانه تنگ کوهستانی موسوم به تنگ کمین اشاره می‌کند (سایکس، ۱۳۹۱: ۲۳۳). ارنست هرتسفلد که در سال ۱۹۲۸ به پژوهش و کاوش در پاسارگاد مشغول بود از آبراه دستکند دخترتبر واقع در دهانه تنگ بلاغی در جنوب غربی پاسارگاد دیدن کرده است (Herzfeld, 1928). علی سامی در سال‌های ۱۳۲۸ تا ۱۳۳۳ که مدیر بنیاد (بنیاد) هخامنشی بود، در محوطه پاسارگاد و تخت‌جمشید اقدام به فعالیت‌های باستان‌شناسی و حفاظتی نمود و در برنامه کاوش پاسارگاد بخشی از جوی‌های سنگی پردیس پاسارگاد را کاوش کرد (سامی، ۱۳۳۸: ۸۸). دیوید استروناخ باستان‌شناس که از سوی مؤسسه مطالعات ایرانی بریتانیا برای کاوش در پاسارگاد برگزیده شده بود در سال‌های ۱۹۶۱ تا ۱۹۶۳ میلادی بخش‌های زیادی از بناهای پاسارگاد را کاوش کرد و در همین کاوش‌ها نزدیک به ۱۰۰۰ متر از جوی‌های سنگی پردیس کوروش را کاوش و نمایان کرد (استروناخ، ۱۳۷۹: ۱۵۶). پس از آن در دهه ۶۰ خورشیدی ولفرام کلایس بیشترین تحقیقات را در زمینه شناسایی آثار و ساختارهای آبی تاریخی انجام داد و در بررسی میدانی در دشت‌های پیرامون پاسارگاد چندین سد تاریخی را شناسایی و معرفی کرد (Kleiss, 1987: 99-; Kleiss, 1982: 361-374; Kleiss, 2000: 753-760; Kleiss, 1992: 131-139; Kleiss, 1991: 23-30; Kleiss, 1988: 63-66; 101). گروه مطالعاتی مشترک ایران و فرانسه در دهه هشتاد و نود خورشیدی نیز اقدام به فعالیت‌هایی در محوطه پاسارگاد کرد و بخش‌هایی از آثار مربوط به تأسیسات آب را در بستر رودخانه باستانی و محدوده باغ شاهی شناسایی کرد (Gondet et al., 2018: 60-87). این گروه همچنین سد هخامنشی چمبیان (شهیدآباد) را در ۲۲ کیلومتری شمال پاسارگاد کاوش کرد (اسدی و بوشارلا، ۱۳۸۸). در دهه‌های هشتاد و نود خورشیدی پایگاه میراث جهانی پاسارگاد در دشت پاسارگاد و دشت‌های پیرامون اقدام به بررسی میدانی نمود که در این پژوهش چندین بند و شبکه‌های گسترده آبرسانی شناسایی گردید (کرمی و زارعی، ۱۳۹۵). در پاییز سال ۱۳۹۹ نیز فصل نخست کاوش بند دیدگان (بستان‌خانی) انجام شد و بخش‌هایی از ساختار معماری سد و دیواره و شالوده آن کاوش و مطالعه گردید که نتایج ارزنده‌ای را به‌دنبال داشت (کرمی، ۱۳۹۹). در حوضه رود گر، کارل برگنر معمار آلمانی که در سال ۱۹۳۵ میلادی در کاوش‌های باستان‌شناسی تخت‌جمشید توسط مؤسسه شرق‌شناسی دانشگاه شیکاگو حضور داشت به بررسی آثار پیرامون دره درودزن پرداخت و آثار معماری در ارتباط با سازه‌های آبی تاریخی را شناسایی کرد (Bergner, 1937). ماری بی نیکول از دیگر پژوهشگرانی است که در سال ۱۹۳۵ میلادی در جریان ساخت سد درودزن به کاوش در چند اثر مربوط به ساختارهای آبی تاریخی این ناحیه پرداخت (Nicol, 1970).

زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی منطقه

پیکربندی و ساختمان زمین‌شناسی منطقه پارسه - پاسارگاد دربرگیرنده قسمت مرکزی رشته کوه‌های زاگرس و جزئی از آن است. منطقه پاسارگاد از نظر زمین‌شناسی بخشی از تراس زاگرس و زون سنندج سیرجان را تشکیل

می‌دهد که نهشته‌های تا کواترنر را در بر گرفته است و روند گسترش تشکیلات به تبعیت از امتداد چین خوردگی زاگرس به سمت شمال غرب - جنوب شرق است (انصاری لاری و انصاری، ۱۳۹۵: ۱۳۶). سازندهای تشکیل دهنده سنگ بستر سفره زیرزمینی اکثراً از جنس آهک است (رئیزی اردکانی، ۱۳۸۹: ۷۴). از نظر زمین‌شناسی این سفره آب زیرزمینی به شکل کاسه بوده و در ناودیس یکی از چین‌های تشکیل دهنده این منطقه تشکیل شده و دارای تعدادی خروجی و ورودی است. در بعضی از قسمت‌ها، بالا آمدگی‌های سنگ کف به صورت ارتفاعات و بلندی‌ها همچون سدی انحرافی در تغییر جهت حرکت آب‌های زیرزمینی عمل می‌کند که از جمله آن می‌توان به ارتفاعات باستانی تل تخت در پاسارگاد اشاره کرد؛ به‌ویژه آنکه از جنس غیرقابل نفوذی مثل آهک تشکیل شده‌اند. مرز پایینی سفره را نیز عمدتاً نهشته‌های دریاچه‌ای دوره کواترنر با تناوب لایه‌های رس و مارن تحکیم یافته با میان لایه‌های تصادفی کنگلومرا تشکیل داده است که قدیمی‌ترین بخش رسوبات نیز محسوب می‌شوند (سعیدی، ۱۳۸۴).

کوه‌های احاطه‌کننده منطقه پارسه قسمت کوچکی از بزرگ ناودیس زاگرس است که از چندین ناودیس و طاق‌دیس تکتونیکی تشکیل یافته‌اند. از نظر مورفولوژی دشت مرودشت جزئی از حوضه آبریز طشت - نیریز است که از یک ناودیس بزرگ تشکیل شده است. نحوه قرارگیری رشته‌کوه‌ها و فاصله آنها از هم باعث شکل‌گیری یکی از بزرگ‌ترین دشت‌های حاصل‌خیز شمال فارس گردیده و زمینه مناسبی را جهت انجام فعالیت‌های کشاورزی ایجاد نموده است. کوه‌های اطراف دشت عموماً از تشکیلات آهکی (آهک‌های مارنی و دولومی) تشکیل یافته است. آهک‌ها در محور طاق‌دیس‌ها خردشده و درزهایی پیدا کرده‌اند و در بیش‌تر نقاط شکستگی‌ها و گسل‌هایی به‌ویژه در حاشیه ارتفاعات در سطح تماس با دشت‌های آبرفتی مشاهده می‌شود. گسل‌های اصلی به موازات محور چین‌خوردگی‌ها واقع شده‌اند. چین خوردگی‌های زاگرس در منطقه به وسیله دو رودخانه عمده کر و پلوار از یکدیگر جدا می‌شوند (رئیزی اردکانی، ۱۳۸۹: ۲۹).

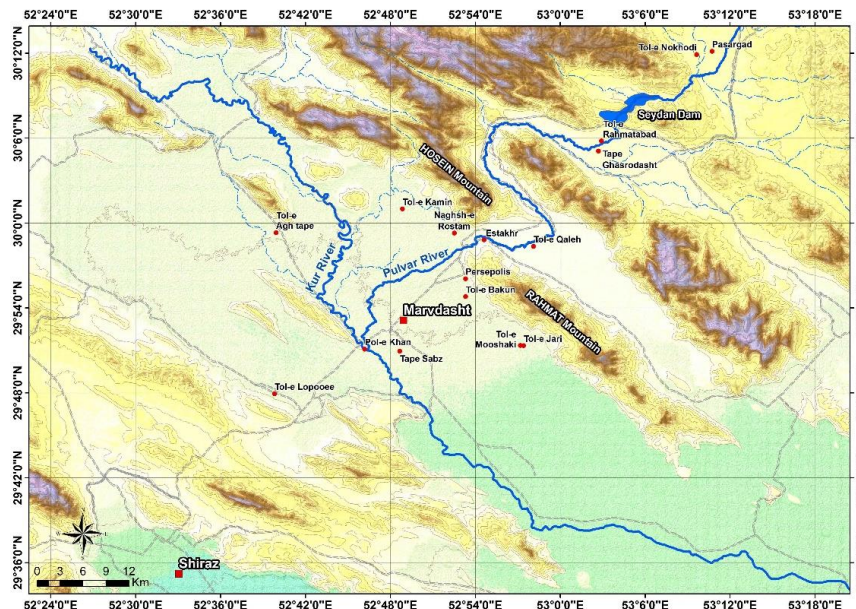
دانش فرآیندهای زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیک می‌تواند به بهبود درک ما از خطرات طبیعی در محوطه‌های میراث‌فرهنگی کمک کند و در نتیجه، سازگاری با تغییرات اقلیمی را اطلاع‌رسانی کند (Howard, 2013). ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از عملکرد فرآیندهای طبیعی در محوطه‌های تاریخی، اغلب نادیده گرفته می‌شوند و ادغام خطرات زمین‌شناسی مانند رانش زمین و سیلاب‌ها در این ارزیابی‌ها محدود است (Cigna et al., 2018).

مهندسی آب، تدبیری جهت سازگاری و تاب‌آوری

- منابع آبی منطقه

تمدن‌های کهن به‌طور قطع در کنار رودخانه‌ها و جاهایی که آب کافی برای کشاورزی و زندگی وجود داشته، پرورش یافته‌اند (سامی، ۱۳۷۵: ۹). داده‌ها نشان می‌دهند که منابع آبی، مهم‌ترین مؤلفه زیستی مردم در انتخاب محل سکونت بوده و عوامل جغرافیایی دیگر در ذیل آب قرار گرفته و در ارتباط با آن عمل می‌کنند (مرتضوی و دیگران، ۱۴۰۰: ۲۷۸). منابع آبی در منطقه پارسه - پاسارگاد شامل منابع سطحی و زیرزمینی است. مهم‌ترین منابع آبی سطحی منطقه رودخانه‌های کر و سیوند (پلوار) هستند که در مسیر خود بسیاری از دشت‌ها منطقه را سیراب می‌کنند (شکل ۱). در گزارش‌های مورخان یونانی از سرزمین پارس به روستاها و شهرهای بی‌شمار در حاشیه روخانه‌های آراکس (کُر) و مدوس (پلوار) اشاره شده است (Tuplin, 1996: 137). منابع زیرزمینی نیز شامل

سفره‌های زیرزمینی آهکی و غیرآهکی کوه‌های رحمت، سیاه و زرقان است. جهت عمومی آب در این منطقه از شمال غرب به سمت جنوب شرق است. رودخانه‌های گُر و سیوند، تاق‌دیس رحمت، دریاچه‌های تَشک و بختگان و آبرفت‌های اطراف آن دارای ارتباط هیدرولوژیکی هستند. در این نظام دریاچه‌های تَشک و بختگان به‌عنوان محل تخلیه این شبکه عمل کرده و آب‌های سطحی، منابع کارستی و آبرفتی همه به سوی این حوضه در حرکت هستند.



شکل ۱. دو رود پلوار/سیوند و گُر تأمین‌کننده آب منطقه که در مسیر شمال به جنوب، دشت‌های پارسه - پاسارگاد را که محل استقرار بسیاری از محوطه‌های تاریخی است، مشروب می‌سازد (کمالی، ۱۴۰۳)

Fig. 1. The two rivers, Polvar/Sivand and Kor, which supply water to the region, irrigating the Parse-Pasargadae plains, where many historical sites are located, in a north-to-south direction (Kamali, 1403).

رودخانه پلوار - سیوند: رودخانه‌ای روان در میان جلگه پاسارگاد است به نام پلوار و در ادامه مسیر خود به نام سیوند خوانده می‌شود و از شمال به جنوب جاری است (شکل ۲). رود پلوار از ارتفاعات خسرو شیرین در اقلید فارس و کوه‌های دشت مرغاب سرچشمه می‌گیرد. از جمله دیگر سرچشمه‌های پلوار دهکده قاضیان قصر یعقوب در حدود ۳۰ کیلومتری شمال غربی جلگه پاسارگاد است (سامی، ۱۳۷۵: ۱۱). پلوار پس از مشروب ساختن جلگه پاسارگاد در بستر مارپیچ خود به سوی تنگ بلاغی و دشتی به همین نام جاری می‌شود و سپس به جلگه سرسبز دیگری به نام سعادت‌آباد و سیوند می‌رود. این رودخانه پس از سیراب ساختن زمین‌های سیوند، شهر باستانی استخر و جلگه مرو دشت، در کنار پل خان در جنوب غربی مرو دشت به رود کر متصل می‌شود و در نهایت به دریاچه بختگان می‌ریزد. طول این رود از سرچشمه‌های خود در شمال استان فارس تا پل خان ۱۷۰ کیلومتر است.

رودخانه گُر: گُر بزرگ‌ترین رودخانه دائمی فارس است که از کوه‌های پالانگری اقلید در شمال غربی استان فارس سرچشمه گرفته و در جهت جنوب تا دریاچه بختگان ادامه می‌یابد. رود گُر را می‌توان به دو ناحیه گُر علیا (قبل از پیوستن رود سیوند به آن) و گُر سفلی (از محل پل خان تا دریاچه بختگان) تقسیم‌بندی نمود. طول آن از سرچشمه‌های رود تا دریاچه بختگان ۲۸۰ کیلومتر است. آب این رودخانه از کیفیت خوبی برخوردار نبوده و در تمام مسیر خود به‌عنوان یک زهکش طبیعی، آب‌های زیرزمینی دشت مجاور را جمع کرده و در نهایت به دریاچه

بختگان می‌ریزد. این دریاچه در ارتباط مستقیم با آبرفت مجاور آن و همچنین توده‌های نمکی ادامه تاقدیس رحمت است (Kiani et al., 2017).



شکل ۲. نمای هوایی از موقعیت رود پلوار در میانه دشت پاسارگاد، تصویر از سمت جنوب (تنگ بلاغی) به سمت شمال (نگارندگان، ۱۴۰۱)

Fig. 2. Aerial view of the position of the Polvar River in the middle of the Pasargadae plain, image from the south (Tang-e Bolaghi) to the north (Authors, 1401).

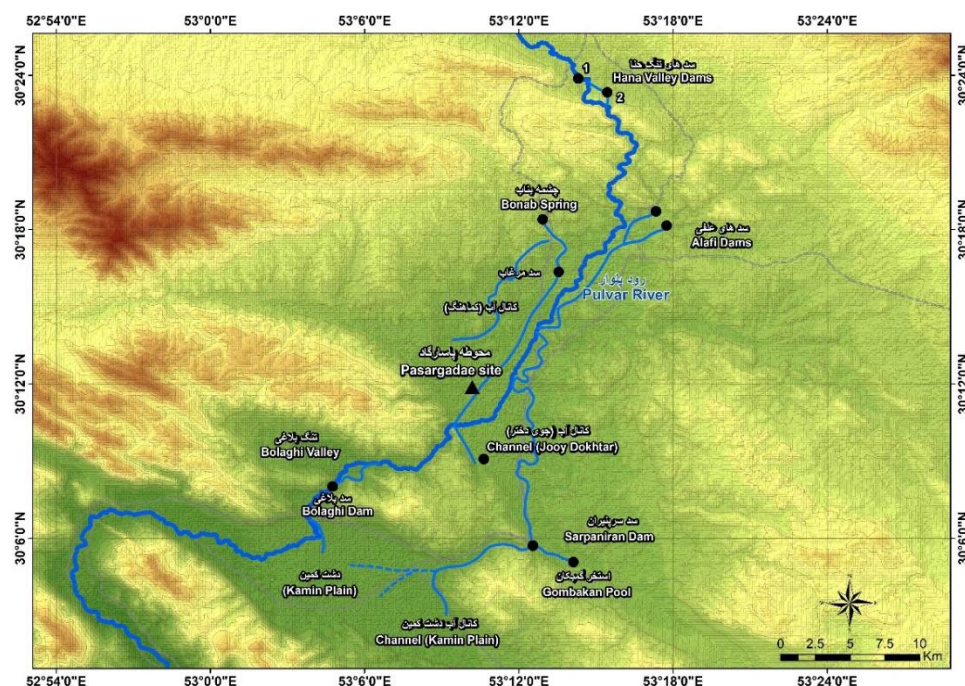
– راهکارهای خلاقانه در مدیریت منابع آبی و توسعه کشاورزی

در جغرافیای کم آب ایران تسلط نهاد سیاست بر آب، که همه معیشت مردم به آن وابسته بوده، مقدس به‌شمار می‌آمده و نمادی از قدرت بوده است (افخمی و خسروی، ۱۳۹۷: ۲۸). در سرزمین ایران که دو سوم آن مناطق گرم و خشک است تأمین آب با دقت و حساسیت کم نظیر و نیز با به‌کارگیری علوم و فنون مخصوص میسر بوده است (شاهچراغی، ۱۳۸۹: ۷۴). توسعه کشاورزی در مناطق نیمه‌خشک ایران، ارتباط مستقیمی با توسعه نظام‌های آبیاری جهت تأمین آب زمین‌های زیر کشت دارد. این مسأله محدود به دوره و ناحیه‌ای خاص نمی‌گردد. بدیهی است که سامانه‌های آبی (سد، بند، کانال و مخازن ذخیره آب و قنات) با کشاورزی و آبیاری ارتباط نزدیکی دارند؛ بنابراین کشاورزی که پایه اقتصادی تمدن‌های کهن در جهان باستان است در دشت‌های حاصل‌خیزی همچون پارسه و پاسارگاد شکل گرفته است. به‌ویژه در پاسارگاد نقش نظام‌های آبیاری بیش از سایر عوامل محیطی در شکل‌گیری چشم‌اندازهای باستانی برجسته‌تر بوده است. کشاورزی در دوره هخامنشی بدون آبیاری نظام‌مند تا حدود زیادی دشوار بوده و توجیه اقتصادی نداشته است (شبییری، ۱۳۹۶: ۶۲).

توسعه و طراحی سیستم‌های آبیاری و کشاورزی در سرزمین نیمه‌خشک ایران از دوره باستان تاکنون مراحل متفاوتی را پشت سر گذاشته است. در واقع سنت‌ها و روش‌های گذشته در تکمیل و بهره‌برداری دوره‌های بعدی مؤثر بوده است. گاه نیز شبکه‌های آبیاری گذشته بدون تغییر استفاده شده‌اند. به مباحث کشاورزی و آبیاری هخامنشیان در ایران کمتر پرداخته شده است. ولی براساس شواهد محسوس همچون ساختارهای مرتبط با تأمین و توزیع آب، گل‌نوشته‌های (بارو و خزانه) تخت‌جمشید و در آخر روایات مورخین یونانی، می‌توان پذیرفت که کشاورزی اهمیت و نقشی کلیدی در ساختار اجتماعی هخامنشیان داشته است. جهت درک جامع نسبت به آبیاری و کشاورزی عهد هخامنشی باید زنجیره‌ای از داده‌های مرتبط با یکدیگر بررسی و پردازش گردند. در منطقه

پاسارگاد مهم‌ترین آنها شواهد فیزیکی به‌جای مانده از سامانه‌های آبی مربوط به دوره هخامنشی و بعد از آن است که در بررسی‌های باستان‌شناسی در دشت پاسارگاد و دشت‌های اطراف همچون محدوده دشت خرم‌بید، دشت مرغاب، دشت سرپیران و دشت کمین شناسایی و مطالعه شده‌اند (کرمی، ۱۴۰۲)، (شکل ۳).

در واقع منطقه پاسارگاد یکی از مهم‌ترین بخش‌های شاهنشاهی هخامنشی است که به تأمین منابع پایدار آب آن بسیار توجه شده است. لذا طراحان و مهندسان دوره هخامنشی اقدام به طراحی و اجرای یک سیستم گسترده کنترل، ذخیره‌سازی و انتقال آب در گستره دشت پاسارگاد و پیرامون آن نموده‌اند. اجرای این سیستم و ازجمله ساخت مجموعه‌ای از سدها و بندها و طراحی و ایجاد شبکه گسترده‌ای از کانال‌های انتقال آب با پیچیدگی و مشکلات فراوانی روبرو که با درایت و مدیریت، اجرا شده و به بهره‌برداری رسیده است.



شکل ۳. موقعیت سامانه‌های آبی هخامنشی در حوضه رودخانه پلوار در ناحیه پاسارگاد (کمالی، ۱۴۰۳)

Fig. 3. The location of Achaemenid water systems in the Polvar River basin in the Pasargadae region (Kamali, 1403)

اجرای چنین زیرساختی در دوره هخامنشی چند هدف عمده را دنبال کرده است: نخست آنکه بنیان پایتخت و آبادی‌های اطراف آن را از گزند سیلاب‌های نیرومند رود پلوار و طغیان رودهای فصلی منطقه محفوظ نگاه دارد و سپس بتواند با امکان ذخیره‌سازی، آب مورد نیاز کشاورزی و ساکنین منطقه به ویژه پردیس شاهی را تأمین نماید. این تفکر که لازمه آن انجام مهندسی گسترده در دشت پاسارگاد بوده است، تاب‌آوری در زیست و فعالیت‌های کشاورزی را در برابر مخاطرات محیطی، به‌همراه داشته است. به‌دلیل تداوم زندگی در دشت پاسارگاد به نظر می‌رسد این شبکه ذخیره و نقل‌وانتقال آب در دوره‌های بعد از هخامنشی نیز استفاده شده باشد. در مواجهه با دشت پاسارگاد افزون بر مجموعه ارزش‌های تاریخی آن با سه مقوله مهندسی شامل مدیریت مهندسی و مهندسی ارزش، مهندسی هیدرولیک و سوم مهندسی سازه روبرو هستیم. موضوع مدیریت مهندسی، امکانات زیر بنایی برای شهری شاه‌نشین را فراهم می‌کرده است. موضوع مهندسی هیدرولیک پایداری سازه‌های آبی را در منطقه ممکن می‌ساخته و بیشترین استعداد آب را به فعل در می‌آورده است و نهایتاً مهندسی سازه و معماری امکان

تعامل انسان با آب و دیگر کارکردهای سازه‌های آبی را تحقق بخشیده است. مواجهه با سه موضوع یا سه محور مهندسی یاد شده در منطقه دلیل روشنی است بر آنکه با سیستمی توأم با روابط بین شاخه‌ای و مرتبط با محیط روبه‌رو هستیم (امیرشاه‌کرمی، ۱۳۸۵: ۸۸).

تا کنون شواهد زیادی از شبکه ذخیره آب مشتمل بر سد و یا بند در منطقه پاسارگاد شناسایی شده است (جدول ۱، شکل ۴ و ۵). بررسی‌ها نشان داده مکان‌های منتخب برای ساخت سدها، مسیر جریان‌های فرعی هستند که در پایان به رود پلوار می‌ریزند. به دلیل اینکه جریان‌های فصلی زیادی از ابتدای حوضه آبریز رود پلوار به این رود می‌ریزند، لذا میزان آب این رود در فصل‌های بارندگی به میزان زیادی افزایش می‌یابد که همین موضوع سبب می‌شود حجم سیلاب پلوار به شدت زیاد شده و موجب آب‌گرفتگی و تخریب و آسیب‌های بسیاری گردد. از همین رو در دوره‌های تاریخی امکان ساخت سد دائمی روی رود پلوار وجود نداشته، چراکه اگر سدی ایجاد می‌شد در نخستین سیلاب به وجود آمده تخریب و از بین می‌رفته است (محمدی‌فر و کرمی، ۱۴۰۱: ۱۴۷). بنابراین مجریان طرح مسیرهای فصلی را جهت ساخت سدها انتخاب کرده‌اند.

جدول ۱. مهم‌ترین سازه‌های مرتبط با سیستم گسترده مدیریت آب در منطقه پاسارگاد (نگارندگان، ۱۴۰۳)

Table 1. The most important structures related to the extensive water management system in the Pasargadae region (Authors, 1403).

ردیف	نام سازه آبی	موقعیت جغرافیایی	ابعاد و اندازه سازه			مصلح ساخت بند و ویژگی‌ها	محل ساخت و کارکرد
			طول	پهنای	ارتفاع		
۱	سد چمبیان (شهیدآباد)	۲۱ کیلومتری شمال پاسارگاد	۱۸۸ متر	۱۰ متر	۱۰ متر	هسته و پوسته از خاک رس و لاشه‌سنگ، دارای ساختار معماری خروجی آب با بلوک‌های سنگی تراش‌خورده با اتصال بست‌های فلزی	بر روی شاخه اصلی رودخانه پلوار، سد انحرافی
۲	سد دیدگان (بستان‌خان)	۲۱ کیلومتری شمال پاسارگاد جنوب سد چمبیان	۱۶۰ متر	۷۰ متر (کف بند)	۲۱ متر	هسته خاکی و پوشش لاشه‌سنگ، دارای ساختار معماری خروجی آب با بلوک‌های سنگی تراش‌خورده و اتصال بست‌های فلزی	بر روی سرشاخه‌های رود پلوار (چشمه‌سارهای دشت دیدگان)، ذخیره‌سازی آب و مهار سیلاب
۳	سد علفی ۱	دشت علفی، در ۱۵ کیلومتری شمال‌شرق محوطه پاسارگاد	۲۱۷ متر	۴۵ متر	حدود ۶ متر	هسته خاکی با پوشش لاشه‌سنگ طبیعی، دارای جوی سرریز در دامنه کوه	بر روی سرشاخه‌های رود پلوار، رودخانه فصلی خرسی، ذخیره‌سازی آب و مهار سیلاب
۴	سد علفی ۲	در فاصله ۹۰۰ متری سد علفی ۱	۱۸۰ متر	۳۵ متر	حدود ۶ متر	هسته خاکی و پوشش لاشه‌سنگ طبیعی، دارای جوی سرریز در انتهای شرقی دیواره سد در بستر کوه	بر روی سرشاخه‌های رود پلوار، رودخانه فصلی خرسی، ذخیره‌سازی آب و مهار سیلاب
۵	بند مرغاب	در حاشیه شمالی محله مرغاب، فاصله ۱۱ کیلومتری شمال-شرق پاسارگاد	۴۰۰ متر	۴۰ متر	حدود ۲ متر	خاک رس فشرده و سخت	بر روی مسیر چشمه بناب، ذخیره‌سازی آب چشمه و احتمالاً آب‌رسانی به محوطه‌های مسکونی و پردیس پاسارگاد

۶	بند دُم دریا	جنوب دشت پاسارگاد	حدود ۱۸۸۰ متر	۱۳ متر	حدود ۱ متر	هسته و پوسته از خاک رس و لاشه سنگ	جهت کنترل آب گردآمده در محدوده دم دریا و مهار سیلابها و به عنوان مسیر راه ارتباطی دشت پاسارگاد، دشت کمین و سرپنیران
۷	سد سرپنیران	انتهای جنوب دشت پاسارگاد، دهانه تنگ کمین دهانه تنگ کمین	حدود ۴۰۰ متر	۴۰ متر	۷/۵ متر	هسته خاکی با پوشش لاشه سنگی، دارای جوی سرریز در بخش جنوبی سد	بر روی جریان فصلی به - منظور کنترل سیلابهای فصلی، روی رودخانه فصلی سرپنیران، ذخیره سازی آب و مهار سیلاب آبرسانی به زمینهای کشاورزی و باغها و محوطه های دشت کمین
۸	سد قوسی تنگ آسیاب ارسنجان	در ۴۰ کیلومتری جنوب پاسارگاد	حدود ۲۹۰ متر	۴۵ متر	۷ متر	هسته خاکی و پوسته لاشه سنگی	بر روی رودخانه فصلی قره کله، ذخیره سازی آب و مهار سیلاب
۹	آبراه جوی دختر	تپه ماهوریهای شرقی دشت پاسارگاد	حدود ۴۰ کیلومتر	بین ۲۰ تا ۵ متر	بین ۱ تا ۶ متر ژرفا	به روش خاکبرداری دامنه تپه ها	جهت انتقال آب سدهای علقی به محوطه های شرقی دشت پاسارگاد و سد سرپنیران



شکل ۴. موقعیت سد انحرافی چمبیان روی رودخانه پلوار، سازه معماری موجود روی تاج سد و جزئیات سازه شامل خروجی های آب و شواهدی از اتصالات سنگها توسط بست های فلزی (مرکز اسناد پایگاه میراث جهانی پاسارگاد)

Fig. 4. The location of the Chambiyan diversion dam on the Polvar River, the existing architectural structure on the dam's crest, and structural details including water outlets and evidence of stone connections using metal ties (World Heritage Pasargadae Documentation Center)



شکل ۵. موقعیت سد دیدگان (بستان‌خانی) نسبت به دشت و کوهستان و جزئیات سازه معماری مربوط به خروجی آب و شواهدی از اتصالات بلوک‌های سنگی توسط بست‌های فلزی (کریمی، ۱۴۰۱)

Fig. 5. The location of the Didegan (Bostankhani) dam in relation to the plain and mountains, along with architectural details related to water outlets and evidence of stone block connections using metal ties (Karami, 1401).

اجرای سدها روی جریان‌های فصلی به چند دلیل قابل اجرا بوده است: نخست اینکه به دلیل میزان پایین آب در این جریان‌ها نسبت به رود پلوار، امکان ساخت سد روی آنها بوده و در هنگام بارندگی و جاری شدن سیلاب سدها تخریب نمی‌شدند و آسیب زیادی نیز به آنها نمی‌رسیده است. دوم اینکه با اجرای سد روی جریان‌های فصلی همچون سدهای علفی ۱ و ۲ و سرپنیران از میزان آب وارد شده به مسیر رود پلوار کاسته می‌شده و در نتیجه تخریب و آسیب‌رسانی این رود نیز در هنگام سیلابی شدن به میزان زیادی کاهش می‌یافته است.

علاوه بر جایگاه مجموعه سدها و بندها در نظام مدیریت آب در منطقه، شبکه‌ای گسترده از کانال‌های انتقال آب نیز مدیریت انتقال و توزیع آب را بر عهده داشته است. این کانال‌های آب‌رسانی به طول کیلومترها بر روی زمین‌های هموار، در دامنه تپه‌ها و یا در بخش‌های کوهستانی (محمدی‌فر و کریمی، ۱۴۰۱: ۱۱۷) بطور دقیق طراحی و ایجاد شده‌اند و شواهد زیادی از آن تا به امروز باقیمانده است. تا کنون تعداد ۴ شبکه کانال‌های انتقال آب در دشت پاسارگاد و مناطق پیرامون آن به شرح زیر شناسایی شده است:

کانال‌های آب‌رسانی دشت پاسارگاد: شبکه گسترده‌ای از کانال‌ها در دشت پاسارگاد با طولی حدود ۴۰ کیلومتر در مسیر انتقال آب رود پلوار به سد سرپنیران، و انتقال آب از چشمه بناب به پایین دشت، آب‌رسانی به بسیاری از زمین‌های کشاورزی و محوطه‌های مسکونی را بر عهده داشته است (کریمی و طالبیان، ۱۳۹۲: ۲۳۲).

کانال‌های آب‌رسانی تنگ بلاغی: کانال‌های آب ایجاد شده در طرفین این گذرگاه کوهستانی که در جنوب دشت پاسارگاد قرار گرفته است آب موردنیاز مناطق مسکونی و احتمالاً کشتزارهای کوچک و باغ‌های موجود در

بخش‌هایی از تنگه و از جمله دشت کمین واقع در انتهای تنگ بلاغی را تأمین می‌کرده است (محمدی‌فر و کرمی، ۱۴۰۱: ۱۴۰۰)، (شکل ۶).

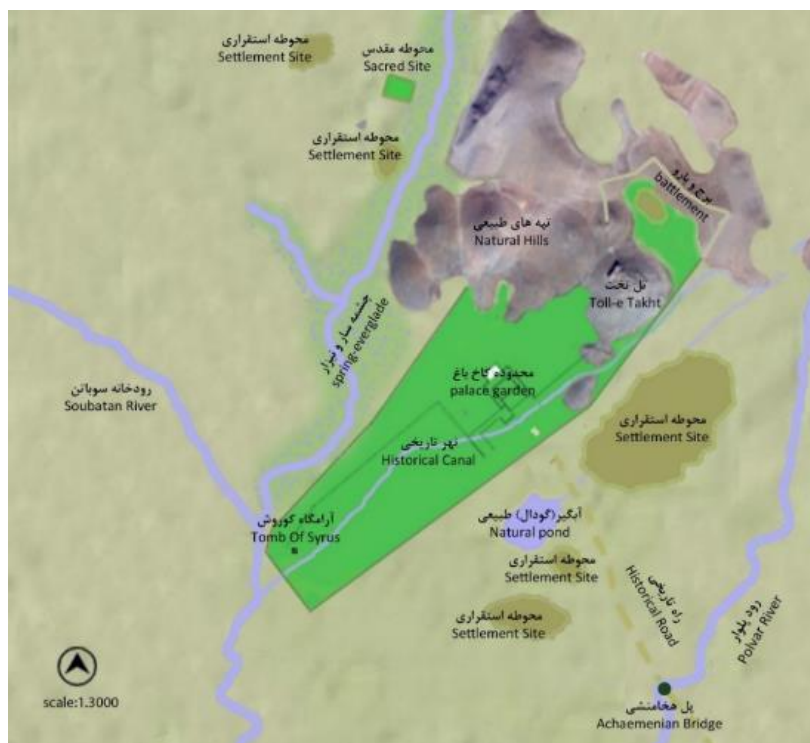
کانال‌ها و شبکه‌های آبرسانی در دشت کمین: شبکه‌ای دیگر از کانال‌های آبرسانی وظیفه انتقال آب ذخیره شده در دریاچه سد سرپیران را به قسمت‌های مختلف دشت کمین شامل محوطه‌های مسکونی و کشتزارها و باغات را بر عهده داشته است (همان منبع: ۱۴۲).



شکل ۶. نمایی از آبراه‌های دست‌کند دو سوی دره بلاغی، سمت راست: آبراه موسوم به دختر بُر، سمت چپ: آبراه کوه کوچک (مرکز اسناد پایگاه پاسارگاد)

Fig. 6. View of the hand-dug canals on both sides of the Bolaghi valley. Right: The canal known as Dokhtar Bur, Left: The canal of Kuh-e-Kuchkak (Pasargadae Documentation Center).

آبراه‌های باغ شاهی پاسارگاد: باغ ایرانی، به‌عنوان قدیمی‌ترین منظرسازی در جغرافیای کم آب و واحه‌ای ایران، گواه مطمئنی از هوشمندی انسان ایرانی و تعامل آن با محیط در جهت معنادار کردن محیط پیرامون است. آثار و شواهد نخستین باغ ایرانی از دوره هخامنشی باقی مانده است و پاسارگاد به‌عنوان اولین باغ ایرانی شاهد این ادعاست (افخمی و خسروی، ۱۳۹۷: ۳۴). شواهد نشان می‌دهد آب موردنیاز باغ از شاخه‌ای از رود پلوار تأمین می‌شده که از داخل محدوده باغ و کاخ‌های سلطنتی می‌گذشته و بخش‌های مختلف پردیس شاهی پاسارگاد را آبیاری می‌کرده است. جدای از رود پلوار در بالادست محوطه پاسارگاد چشمه‌ای طبیعی با نام بُناب وجود دارد که بررسی‌ها و مطالعات میدانی نشان می‌دهد به گمان زیاد آب موردنیاز محدوده حکومتی و پردیس پاسارگاد می‌توانسته از این چشمه تأمین شده باشد (کرمی، ۱۴۰۲: ۱۸۳). تا کنون بخش عمده‌ای از عناصر این پردیس شناسایی شده است و تا به امروز حدود ۱۱۰۰ متر از آبراهه‌های سنگی آن از زیر خاک بیرون آورده شده است. دیوید استروناخ طی سال‌های ۱۹۶۱ تا ۱۹۶۳ کاوش‌های گسترده را در محوطه پاسارگاد انجام داد و از جمله بخشی از آبراهه‌های سنگی پردیس شاهی را کاوش کرد و جهت حرکت آب را در آبراهه‌ها بررسی نمود (استروناخ، ۱۳۷۹: ۱۵۶). همچنین نتایج بررسی‌ها و اندازه‌گیری‌های ژئومغناطیسی انجام شده در دو دهه اخیر به سرپرستی رمی بوشارلا (Boucharlat and Benesh, 2004) و سپس سباستین گندت در محوطه تاریخی پاسارگاد، نشان می‌دهد که سیستمی متشکل از آبراه باستانی، آبگیر یا استخر به شکل دوزنقه و احتمالاً یک بند انحرافی در هدایت و انتقال مطمئن آب در مجاورت مجموعه کاخ‌های محوطه و آبیاری پردیس پاسارگاد نقش اساسی داشته است (Gondet et al., 2018: 64-65)، (شکل ۷).



شکل ۷. گستره و شکل کلی پردیس پاسارگاد با توجه به عوارض طبیعی و وضعیت زیست محیطی دشت پاسارگاد (کرمی، ۱۴۰۲)

Fig. 7. The extent and overall shape of the Pasargadae garden, considering the natural features and environmental conditions of the Pasargadae plain (Karami, 1402).

– سامانه‌های آبی در منطقه پارسه

طراحی و اجرای آبراه‌های تخت‌جمشید از تخریب بناها توسط آب‌های مازاد جلوگیری می‌کرد (Schmidt, 1957). این سامانه از طرح‌های روش‌مند معماری دوره هخامنشی است که آب‌های حاصل از بارندگی را به‌طور کامل دفع می‌کرده و مانع از جمع شدن آب‌ها در سطح تخت‌گاه می‌شده است. آبراه‌ها از زیر کاخ‌های آپادانا، صدستون، تچر، هدیش، کاخ G و دروازه ناتمام عبور می‌کند و پس از پیوستن به آبراهی در شرق خزان، به خروجی اصلی در بخش جنوب‌خاوری تخت‌گاه ختم می‌شود (اسدی و منصوری، ۱۴۰۲: ۳). علی‌رغم مطالعات انجام شده روی سیستم‌های جمع‌آوری و انتقال آب از تخت‌گاه تخت‌جمشید به بیرون، اما تاکنون پژوهش‌ها و کاوش‌های محدودی به‌منظور بررسی این شبکه در خارج از تخت‌گاه انجام شده است و مسایل مربوط به آبیاری و کشاورزی از پرسش‌های اساسی است (شبی‌ری، ۱۳۹۶: ۶۰). این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده یک حوزه پژوهشی مهم و مغفول در تاریخ معماری و مدیریت منابع آب در دوران هخامنشی باشد که انجام تحقیقات بیشتر در آن ضروری به نظر می‌رسد.

کارل برگنر معمار آلمانی در سال ۱۹۳۵ تعدادی از سازه‌های آبی هخامنشی را در پیرامون رود گُر بررسی و مستندنگاری نمود (نیکول و دیگران، ۱۳۹۳: ۹۵؛ Bergner, 1937). ویلیام سامنر نیز برخی از سازه‌های آبیاری را در دشت مرو دشت بررسی نمود (Sumner, 1986). در سال ۱۹۶۵ هیات آمریکایی به سرپرستی ماری بی. نیکول از طرف دانشگاه شیراز سازه‌های مرتبط با آب در دره درودزن را در کرانه رود گُر بررسی کرد. این سازه‌ها شامل بخش‌هایی از یک سامانه آبیاری و آبرسانی در شمال‌غربی دشت مرو دشت و بند باستانی درودزن موسوم به بند داریوش و یا سازه سنگ دختران بودند (نیکول و دیگران، ۱۳۹۳). به‌دلیل عملیات اجرایی سد جدید درودزن بر

روی رودخانه کُر، بند داریوش در فاصله سال‌های ۱۳۴۷ تا ۱۳۵۷ توسط گروه مشترک ایتالیایی - ایرانی به سرپرستی جوزپه تیلیا از مکان اولیه به فاصله سه کیلومتری سد جدید انتقال یافت (Tilia, 1972: 69). بوشالا و همکاران برخی از سامانه‌های آبی دوره هخامنشی را در بخش بالای رود کُر در دشت پارسه بررسی و مطالعه کرده‌اند (Boucharlat et al., 2012).

براساس بررسی‌های مذکور دشت پارسه و ناحیه شمالی رود کُر یعنی دشت‌های ابرج و رامجرد از مناطق مهم برای مطالعه نظام‌های آبیاری در مرکز هخامنشیان است. در این مناطق شبکه‌های برج‌آمانده از کانال‌های بزرگ خاکی منشعب از رودهای کُر و سیوند در حاشیه محوطه‌های هخامنشی و همچنین وجود قنات‌ها و از جمله ده‌ها رشته کاریز در نزدیکی تخت‌جمشید نشان‌دهنده کاربری زمین و اهمیت سامانه‌های آبی در کشاورزی منطقه است (شیرازی، ۱۳۹۶: ۷۲-۷۳). این شواهد نشان‌دهنده پیچیدگی و کارآمدی سیستم مدیریت آب در دوره هخامنشی و توجه آنان به تأمین پایدار آب منطقه است. حضور ساختارهایی همچون چاه‌های عمیق سنگی در کوه رحمت، بنایی موسوم به استخر در محوطه برزن جنوبی و بسیاری از کانال‌ها در حاشیه کوه‌های موجود در منطقه، به‌عنوان بخشی از سامانه انتقال و بهره‌برداری از منابع آب نیازمند مطالعه دقیق هستند.

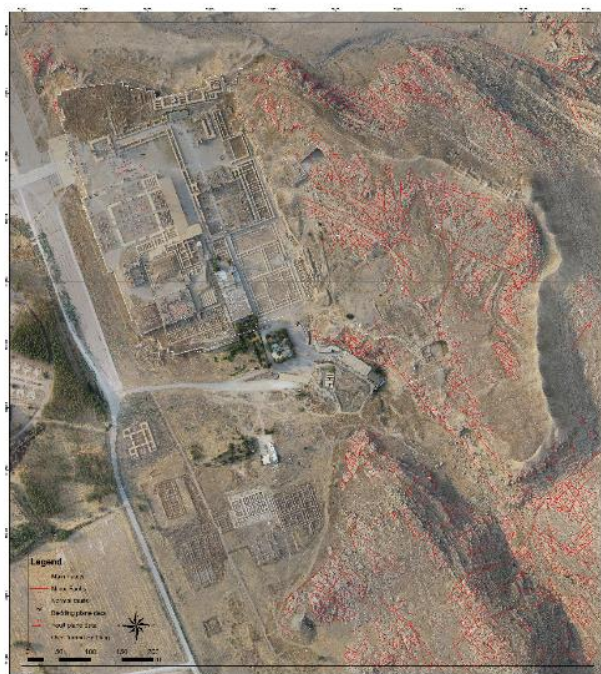
مهندسی سازه و معماری هخامنشی و تاب‌آوری

مهندسین هخامنشی در پارسه اقدام به ساختن کاخ‌های بزرگ و باشکوهی کردند که پس از گذشت ۲۵ قرن هنوز بقایای آنها محکم و استوار باقی مانده است. بخشی از علم و مهندسی سازه در معماری ایرانی و ازجمله دوره هخامنشی معطوف تاب‌آوری در برابر بحران همیشگی زلزله بوده است. به‌ویژه در معماری کمال‌گرای هخامنشی در تخت‌جمشید و پاسارگاد که با نگاهی یادمانی به بناهای ایجاد شده همراه بوده است و بر این اساس هدف از یادمان‌های هخامنشی انتقال ارزش‌هایی بود که برای این دودمان و کل امپراتوری اهمیت داشتند (سهیل، ۱۳۹۹: ۳۹۳)؛ بنابراین ضروری بود که تدابیری به‌منظور کاهش تأثیرات زلزله اندیشیده و به‌کار گرفته شود. به نظر می‌رسد شناخت و آگاهی نسبت به این تدابیر امروزه می‌تواند ضمن تشریح بخشی از دلایل تاب‌آوری این معماری در برابر ناملایمات محیطی، حاوی درس‌هایی برای معماری امروز نیز باشد.

استفاده از مصالحی که به بهترین نحو، پاسخگوی نیازهای کاربردی بنا باشند، ازجمله مهم‌ترین ارکانی بوده که معمار هخامنشی را در فرایند انتخاب و ترکیب مواد مختلف هدایت می‌کرد. روش‌های ساده اما کاربردی که معماران این امپراتوری برای مقابله با زلزله، افزایش کارایی مصالح، تسهیل فرایند اجرا و همچنین چگونگی ارتباط میان عناصر باربر و غیرباربر ساختمان (سازه و تزئین) به‌کار گرفته‌اند، حکایت از آگاهی و توجه آنان به اصول انتقال نیروها، ویژگی‌های مکانیکی مصالح و نیز استفاده از مؤثرترین روش‌های اجرا دارد (معتمدمنش، ۱۳۹۷: ۲۴). امروزه شناخت تجارب سرزمینی در زمینه کاهش اثرات مخرب زلزله، حاوی راهکارهای بسیار ارزشمندی است که می‌تواند در حفاظت از میراث معماری و محوطه‌های تاریخی استفاده گردد.

– توان لرزه‌خیزی منطقه

ایران به دلیل قرارگیری در مرز هم‌گرایی دو صفحه اوراسیا و عربی، شاهد شکل‌گیری ساختار زمین‌شناسی پیچیده همراه با لرزه‌خیزی بالاست (راست‌بود و وثوقی، ۱۳۹۸). از دیدگاه علمی، تجمع انرژی ناشی از فعالیت‌های تکتونیکی و حرکات صفحات و رها شدن ناگهانی انرژی، باعث شکستگی زمین یا به عبارتی بهتر، تشکیل گسل و وقوع زلزله می‌شود. گسل‌ها از آن جهت مورد توجه‌اند که از آن‌ها به عنوان نقاط ضعف زمین یاد می‌شود و در صورت شکسته شدن در اثر تجمع انرژی، ممکن است باعث تخریب شوند. کوهی که تخت جمشید در دامنه جنوب غربی آن واقع شده، کوه رحمت نام دارد. محور تاقدیس رحمت در جهت شمال غرب و جنوب شرق است و از دیدگاه ساختاری، این گستره در پهنه چین‌خورده زاگرس قرار دارد که سه سازند تشکیل‌دهنده آن شامل داریان و کزدمی و سروک است. این رشته کوه تحت تأثیر گسل‌های امتداد لغز در محدوده شمالی تخت جمشید خمیده شده و یال‌های جنوب غربی و شمالی شرقی این رشته کوه تحت تأثیر گسله‌های طولی و راندگی و همچنین گسله‌های نرمال، به هم ریخته و خرد شده است. آثار این شکست‌ها را به وضوح می‌توان داخل آرامگاه‌های اردشیر دوم و اردشیر سوم و به موازات کوه رحمت مشاهده کرد (حکمت زاده و دیگران، ۱۳۹۶: ۳). گسل رحمت و خطواره‌های گسلی آن، به طور غالب روند شمال غرب – جنوب شرق را نشان می‌دهد (شکل ۸). گسل رحمت از شمار گسل‌های فعال است و دشت مرو دشت در بلوک فرودیواره‌ای این گسل قرار گرفته است. مطالعات سازمان زمین‌شناسی جنوب کشور حاکی از آن است که طول تقریبی گسل رحمت نزدیک به ۳۰ کیلومتر است. گسل رحمت پهلوی جنوب غربی تاقدیس کوه رحمت را می‌پیماید که تخت جمشید نیز روی این گسل قرار دارد. به دلیل عملکرد این گسل یال جنوب غربی تاقدیس رحمت فرسوده‌تر و چهره‌ای متفاوت تر نسبت به یال شمال شرق تاقدیس داراست (پریسای، ۱۳۹۲).



شکل ۸. بخشی از گسل‌ها و شکستگی‌های بزرگ و کوچک کوه رحمت و عرصه محوطه میراث جهانی تخت‌جمشید (کمالی، ۱۴۰۳)

Fig. 8. Part of the large and small faults and fractures of Mount Rahmat and the core zone of the Persepolis World Heritage site (Kamali, 1403)

به دلیل قرار گرفتن بنای باستانی تخت جمشید بر روی این گسل، تنش‌های ناشی از این گسل در سده‌های گذشته می‌تواند سبب افزایش شدت تخریب در این محوطه تاریخی شده باشد. براساس داده‌های لرزه‌نگاری، تنها یک داده لرزه‌ای دستگاهی در ۱۰۰ سال اخیر با بزرگی ۴/۶ ریشتر در سال ۲۰۰۳ روی گسل رحمت و در نزدیکی تخت‌جمشید رخ داده است. همچنین زلزله ۱۸۹۴ در منطقه شیراز به وقوع پیوسته و تعدادی از دهستان‌های منطقه تقریباً به کلی ویران شده‌اند. براساس آمار زلزله‌های دستگاهی، یک زلزله با بزرگای نزدیک به ۵ ریشتر بر روی گسل رحمت و در نزدیکی تخت جمشید رخ داده و براساس داده‌های تاریخی، زمین‌لرزه سال ۱۶۲۳ میلادی (۱۰۰۲ هجری شمسی) در منطقه مرو دشت گزارش شده که سبب فرو ریختن شماری از ستون‌های تخت جمشید و آسیب‌هایی به نقش رستم شده است (حکمت زاده و دیگران، ۱۳۹۶: ۲۶-۲۷).

- مصالح و فنون استفاده شده در ساخت

سنگ به‌عنوان شاخص‌ترین مصالح در معماری هخامنشی برشمرده می‌شود و معماران هخامنشی به‌منظور برپایی بناهای یادمانی خود در پاسارگاد و تخت‌جمشید از سنگ و از معادن مختلف و متعدد آن بهره‌برداری نموده‌اند. این معادن سنگ براساس رنگ و جنس از مرغوب‌ترین و نزدیک‌ترین مکان‌ها به محوطه انتخاب و استفاده شده‌اند. به‌طور مثال در پاسارگاد سنگ شالوده بناها از جنس ماسه سنگ استفاده شده که با سنگ کف، ستون‌ها و دیواره‌ها (از نوع سنگ آهکی سفید و یا آهکی سیاه) متفاوت هستند. این ماسه سنگ‌ها از معدن ابوالوردی انتخاب و استخراج شده‌اند که معدن مذکور در نزدیکی محوطه قرار دارد (Emami et al., 2018: 4). استفاده از سنگ‌های آهکی (سپید، سیاه و خاکستری رنگ) به دلیل فراوانی، استحکام و سختی و سهولت در تراش، کاربرد گسترده‌ای در معماری هخامنشی داشته است. هخامنشیان سنگ‌های سفید مور نیاز خود را از کوهی در شمال سیوند معروف به تنب کرم یا کوه الماس (در فاصله ۵۰ کیلومتری پاسارگاد) تأمین کرده‌اند. همچنین آن‌ها سنگ‌های سیاه را از کوه تنگ سیاه در جنوب‌غربی پاسارگاد، و از کوه‌های تنگ بُلاغی می‌آوردند (سامی، ۱۳۳۸: ۳۱).

در بررسی‌های باستان‌شناسی سال‌های اخیر نشانه‌هایی از برداشت سنگ باستانی در کوه‌های شرقی پاسارگاد معروف به کوه‌های گود بُنه و آهن پزان به‌دست آمده است (زارعی و کرمی، ۱۳۹۵). مکان‌گزینی تخت‌جمشید بر دامنه سنگی کوه رحمت علاوه بر اهمیت مذهبی و موقعیت سوق‌الجیشی در دوره هخامنشی، امکان بهره‌برداری از انبوه معادن سنگ کوه مهر را فراهم آورده بود. این معادن برای حدود دو سده تضمین‌کننده تداوم ساخت‌وساز و انجام اقدامات تعمیری بناها در محوطه تخت‌جمشید و همچنین در سایر محوطه‌های همجوار با آن در دشت پارسه بوده‌اند. مهندسین و معماران هخامنشی، معادن مذکور را بنا بر کیفیت سنگ در دامنه‌های مختلف کوه مهر و در فواصل مختلف از تخت‌جمشید شناسایی و استفاده نموده‌اند. در این میان، بخشی از سنگ سیاه و یا سفید موردنیاز که در معادن سنگ کوه مهر یافت نمی‌شده، از فواصل دورتر و از جمله معادن کوه حسین (Gondet, 2015: 280)، معدن سنگ مجد آباد (Tilia, 1968) و معدن الماس‌بری سیوند (Emami et al., 2018: 3-4)؛ امان‌اللهی، ۱۳۸۹: ۴۴-۴۰) تأمین و به تخت‌جمشید منتقل شده‌اند (شکل ۹ تا ۱۱). شواهدی از برداشت تاریخی نیز در معدن کوه گنداشلو (Guidi et al., 2017: 26) در نزدیکی مجدآباد وجود دارد. در معادن نزدیک تخت-جمشید و پاسارگاد، کلیه مراحل جداسازی سنگ‌ها به‌خوبی نمایان است. لایه‌لایه بودن سنگ‌ها در دامنه کوه رحمت و ضخامت زیاد این لایه‌ها از محاسن آن در انتخاب سنگ و سهولت استخراج آن از معدن بوده است.



شکل ۹. چپ: نمایی از معدن الماس‌بری سیوند در ۳۵ کیلومتری شمال شرق تخت‌جمشید؛ راست: یکی از معادن کوه رحمت در نزدیکی تخت‌جمشید (فدایی، ۱۴۰۱)

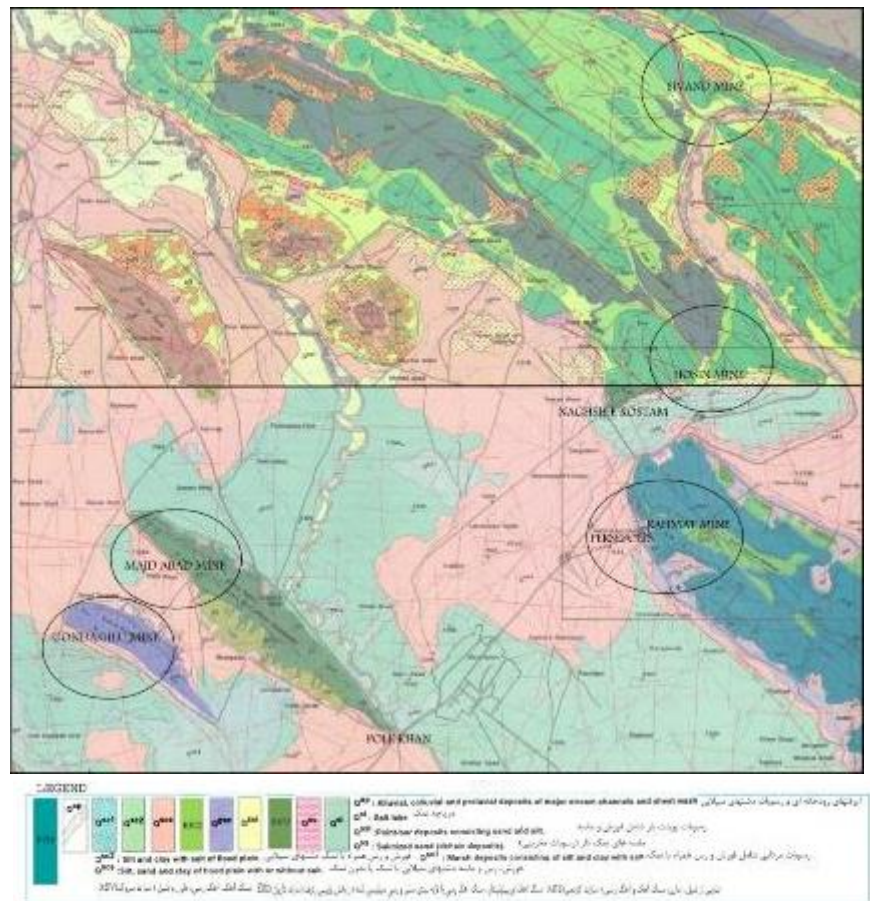
Fig.9. Left: View of the Sivand Almasbori mine, 35 kilometers northeast of Persepolis; Right: One of the mines on Mount Rahmat near Persepolis (Fadaei, 1401)

امروزه بقایای این معادن تاریخی که معمولاً دارای شواهد کار ناتمام استخراج و سنگ‌تراشی دوران هخامنشی است، فرصتی را برای بررسی و مطالعه بیشتر در زمینه چگونگی استخراج سنگ و مهندسی مرتبط با آن، فراهم می‌آورد (شکل ۱۰). استفاده از چنین مصالح مقاوم در کنار فنون معماری به‌کاررفته از جمله تدابیر معماران هخامنشی در چیرگی بر ناملازمات طبیعی همچون زلزله و به‌منظور تاب‌آوری و دیرپایی یادمان‌های معماری بوده است. به واقع فرآیند استخراج و کاربرد مصالح سنگی، بخشی از راز ماندگاری بناها و محوطه‌های کهن را در خود مستور دارد. امروزه شناخت ویژگی‌های فنی و خلاقیت و دانش سنتی در بهره‌برداری از این مصالح متضمن تحقیقات گسترده و فراگیر است که هدف غایی آن شناخت دانش، فن‌آوری و مهندسی کهن و استفاده از این شناخت در مرحله حفاظت و مرمت خواهد بود.



شکل ۱۰. چپ: نمایی از معدن مجدآباد در ۵۰ کیلومتری غرب تخت‌جمشید؛ راست: معدن کوه حسین در مجاورت محوطه نقش رستم (فدایی، ۱۴۰۱)

Fig. 10. Left: View of the Majdabad mine, 50 kilometers west of Persepolis; Right: The Hosein Mountain mine near the Naqsh-e Rostam site (Fadaei, 1401)



شکل ۱۱. محدوده معادن تاریخی در منطقه پارسه شامل معادن کوه رحمت، معدن تاریخی سیوند، معدن کوه حسین، معدن مجدآباد و معدن گنداشلو بر روی نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

Fig. 11. The area of historical mines in the Pasargadae region, including the mines of Mount Rahmat, the historical Sivand mine, the Hossein Mountain mine, the Majdabad mine, and the Ghondashloo mine, on the geological map at a scale of 1:100,000 by the Geological Survey and Mineral Exploration of Iran

فنون استفاده شده در معماری هخامنشی نیز بخشی از راز دیرپایی و ماندگاری یادمان‌های این دوره است. اتصال عناصر معماری جهت تحمل لرزه‌ها، کاملاً سخت و صلب نبوده است؛ بنابراین بلوک‌های بزرگ سنگ بدون ملات و صرفاً با استفاده از بست‌های فلزی (Roaf, 1983) که گونه‌ای از آنها "دم چلچله‌ای" نام دارند، به یکدیگر متصل شده‌اند (شکل ۱۲). محل قرارگیری بست‌ها با سرب ایزوله شده تا از فرسودگی اتصالات و یا ایجاد فشارهای احتمالی ناشی از اکسیدشدن بست و انتقال آن به سنگ‌ها جلوگیری شود؛ بنابراین اتصالات در معماری پارسه بدین گونه بوده که ابتدا سنگ‌ها را با بست‌های فلزی، به هم مرتبط می‌کردند و سپس گراگرد اتصالات را سرب می‌ریختند. لابه‌لای سنگ‌های بناهای تخت‌جمشید هیچ اثری از ساروج یا دیگر ملات‌ها، وجود ندارد. استفاده از بست‌ها ضمن ممانعت از بروز حرکت‌های اضافی و یا منفرد قطعات سنگی، با افزایش یکپارچگی سازه، مقاومت آن را در برابر نیروهای کششی و نیز تنش‌های برشی پیش‌بینی نشده بهبود بخشیده است (Wright, 2005: 254).

بست‌های افقی در بیشتر بناها در محوطه‌های پاسارگاد و تخت‌جمشید به فراوانی دیده می‌شوند، ولی بست‌های عمودی با اجرایی دشوارتر، تنها در بخش‌هایی از عناصر معماری همچون ستون‌ها که به جهت بروز

تنش‌های خاص امکان از هم‌پاشیدگی سازه وجود داشت، به‌کار رفته‌اند (Nylander, 1970: 45). شیوه دیگری از اتصالات، تعبیه یک گودی و زبانه در سنگ بوده که عمدتاً در ستون‌ها و به‌منظور اتصال سنگ‌های قلمه ستون بر سنگ‌های زیرینشان استفاده شده است (شکل ۱۳). نوع اتصال به این‌گونه بوده که در وسط سنگ زیرین یک حفره، معمولاً به شکل چهارگوش، ایجاد شده و اطراف آن را تا اندازه‌ای زبره تراش می‌کردند. سنگ بالایی را نیز به همین شکل در می‌آوردند، آنگاه یک زبانه چوبی چهارگوش در درون دو حفره می‌نهادند و دو قلمه ستون روی هم قرار می‌گرفته است (Nylander, 1970: 37).



شکل ۱۲. چپ: استفاده از بست‌های فولادی موسوم به دم چلچله‌ای با پوشش سرب جهت دوخت و دوز بلوک‌های بزرگ سنگ در بنای

کاخ بارعام؛ راست: وصله‌کاری قطعاتی از نقوش برجسته در تخت جمشید (مرکز اسناد پایگاه میراث جهانی تخت جمشید)

Fig. 12. Left: Use of steel fasteners, known as swallowtail clamps, with lead coating to stitch large stone blocks in the Palace S; Right: Patching of pieces from reliefs at Persepolis (World Heritage Persepolis Documentation Center)



شکل ۱۳. چپ: نمونه‌ای از اتصالات استفاده شده به منظور ممانعت لغزش قطعات قلمه ستون (Nylander, 1970: 38)؛ راست: ایجاد

حفره میانی در قلمه ستون و زبره تراشی اطراف آن در نمونه‌ای از پایه ستون‌های کاخ آپادانا (فدایی، ۱۴۰۱)

Fig. 13. Left: A sample of the connections used to prevent slipping of the column shaft pieces (Nylander, 1970, p. 38); Right: Creation of a central hole in the column shaft and roughening around it in a sample of the column bases from the Apadana Palace (Fadaei, 1401).

در اتصال دو قطعه سنگ، بخش مرکزی آنها به شکل زمخت و زبره، تراش خورده و نسبت به حاشیه‌ها که پاک‌تراش و صیقلی شده کمی گودتر بوده است؛ بنابراین بخش‌های مرکزی با یکدیگر در تماس نبوده و تنها بخش‌های صاف و پاک‌تراش با هم در تماس بوده است. در این الگوی تراش و اتصال بلوک‌های سنگی به یکدیگر، به‌دلیل کم شدن

سطوح پاک تراش، سرعت اجرا افزایش یافته است. در این شیوه مهارت و دقت سنگ تراش ها در اتصال قطعات سنگی به اندازه ای بوده که گاه با مخفی شدن درز اتصال بین بلوک های سنگی، نوعی یکپارچگی میان قطعات و عناصر تریینی ایجاد شده است. این شیوه پس از یونان، اول بار در ایران هخامنشی به کار گرفته شد و پس از آن به تدریج در سایر نقاط خاور نزدیک متداول گردید (Nylander, 1970: 61).

مراحل مختلف تراش را با قلم های متفاوت انجام می دادند و نخست از قلم های زمخت، تیشه های یک سر یا دوسر، پتک، تیشه مخصوص، چکش و دیگر ابزار مناسب برای سبک کردن حجم سنگ استفاده می شد و سپس به کمک قلم های یک یا چند دندانه ای سطح را به صورت دلخواه در می آوردند. آخرین مرحله صاف کردن سطوح به وسیله مواد ساینده و آب در درجات مختلف بوده است. در بسیاری از موارد می توان از روی علائم به جای مانده روی سنگ تعیین کرد چه ابزاری و به چه ترتیبی به کار رفته است (رف، ۱۳۸۱: ۱۹). شواهد نشان می دهند که ابزار تراش در دوره نخست هخامنشی و عمدتاً در پاسارگاد تیشه صاف و قلم نوک تیز بوده و فقط از دوره دوم هخامنشی در بناهای خشایارشا و جانشینانش و عمدتاً در تخت جمشید است که ابزار تراش دندانه ای (تیشه یا قلم دندانه دار) استفاده شده است (سپیل، ۱۳۹۹: ۹۴). این ابزار دندانه ای بر روی سنگ شیارهای موازی درست می کند.

– ملاحظات سازه ای در برابر بحران زلزله

در پی سازی بناهای تخت جمشید و پاسارگاد به ظرفیت باربری بستر توجه ویژه شده و به منظور ممانعت از نشست پی و اطمینان از عدم هرگونه گسیختگی و خزش در داخل ناحیه تأثیر، ظرفیت باربری بستر بررسی و تقویت شده است. به طور معمول اگر مناطق برشی و رگه های رسی در زیر پی وجود داشته باشند باید طوری عمل شود که ظرفیت باربری پی بهبود یافته و نشست غیریکنواخت کاهش پیدا کند. لذا در پی سازی به منظور تقویت ظرفیت باربری بستر، اقدام به بالابردن تراکم لایه های ضعیف شده است. استفاده از خرده سنگ های حاصل از استخراج سنگ در معادن و حجاری بلوک های سنگی و ترکیب آن با خاک بستر، از مهم ترین شیوه های معماران هخامنشی در متراکم سازی بستر زیرین دیوارها و جرزه های سنگی بوده است.

مقابله با زلزله از طریق توسعه نمونه های اولیه ای از سیستم های جداکننده لرزه ای^۲ و نیز ایجاد اتصالات مؤثر میان اجزای باربر برای افزایش صلبیت صغه هایی که کاخ ها روی آنها ساخته می شدند، از جمله روش های به کاررفته در عصر هخامنشی برای مقابله با ناملایمات اقلیمی است (معتمدنیش، ۱۳۹۷: ۲۴). پی سازی کاخ های هخامنشی در پاسارگاد ویژه و کم نظیر است. کف کاخ های اختصاصی و بارعام در پاسارگاد از دو طبقه سنگ تشکیل شده که سنگ های طبقه زیرین (از جنس ماسه سنگ) برای استحکام و زیرسازی به کار برده شده و سپس سنگ فرش بیرونی را (سنگ آهکی سفید) که بسیار ظریف، زیبا و صاف است، با طول بین ۱ الی ۳ متر و ضخامت ۴۰ سانتیمتر بر روی آن قرار داده اند (شکل ۱۴) که با مهارت کم نظیری درزگیری شده است (سامی، ۱۳۷۵: ۷۱-۷۲). به نظر می رسد این شکل از کف سازی که شالوده کاخ ها و بناها را تشکیل داده علاوه بر فراهم آوردن استحکام لازم، عملکرد لرزه ای بناها را در برابر زلزله بهبود بخشیده است. این گونه با فراهم بودن امکان لغزش قطعات سنگی بر روی یکدیگر، نوع اولیه ای از سیستم جداکننده لرزه ای ایجاد گردیده که در زمان بروز زمین لرزه، کاخ را از آسیب مصون داشته است. این روش در صغه سازی دیوارهای بنای تل تخت به خوبی دیده می شود (شکل ۱۵). بر این اساس مرحوم عبدالعظیم امیرشاه کرمی، متخصص سازه و ژئوفیزیک، پاسارگاد را زیباترین قله مهندسی دنیا

می‌نامد که به جهت دارا بودن سازه‌های نرم بُرشی (به‌ویژه بنای تل تخت در پاسارگاد) هیچگاه در برابر زلزله تخریب نمی‌گردد (خبرآنلاین، ۱۳۹۶).

همچنین عناصر سنگی کاخ‌های هخامنشی تا حد امکان به‌صورت یکپارچه و از قطعات عظیم ساخته شده‌اند. استفاده از این روش که البته دشواری‌هایی در مرحله حمل و اجرا داشت، بر رفتار یکپارچه بنا در زمان بروز زمین لرزه تأثیر فراوانی داشته است. علاوه‌براین در برش و نصب قطعات بزرگ سنگ به قرارگیری لایه‌های سنگ به‌صورت افقی و در جهت رسوب‌گذاری آن توجه ویژه شده تا این قطعات در اثر وزن خود و فشارهای وارده مقاومت مناسب‌تری نشان دهند و دچار ترک‌خوردگی و فرسایش زود هنگام نگردند (Guidi et al., 2017: 39).



شکل ۱۴. نمایی از بنای تختگاه پاسارگاد (تل تخت)، دیواره درونی برپا شده با ماسه سنگ‌های نامنظم و نمای بیرونی آراسته شده با سنگ‌های چهارگوش سفید آهکی (فدایی، ۱۴۰۱)

Fig.14. View of the Pasargadae Terrace structure (Tol-e Takht), with the inner wall constructed from irregular sandstone and the outer facade decorated with square white limestone stones (Fadaei, 1401).



شکل ۱۵. مصالح سنگ استفاده شده در کف کاخ اختصاصی کوروش بزرگ (چپ) و کاخ بارعام (راست) شامل بلوک‌های ماسه سنگ در لایه زیرین و بلوک‌های سنگ آهک سفید در کف کاخ (بابک صدیقی، ۱۳۹۶، مرکز اسناد پایگاه میراث جهانی پاسارگاد)

Fig. 15. The stone materials used in the floor of the Palace of Cyrus the Great (Palace P, left) and the Palace S (right), including sandstone blocks in the lower layer and white limestone blocks on the floor of the palace (Babak Sediqi, 1396, Pasargadae World Heritage Site Documentation Center)

درگاه‌ها و پنجره‌های ساخته شده از قطعات بزرگ و یکپارچه سنگ که در فواصل دیوارهای خشتی کاخ‌های هخامنشی قرار گرفته بودند، علاوه‌بر جایگاه تزئینی خود، کاهش تنش‌های کششی مرتبط با دیوارهای خشتی را بر عهده داشته و از بروز ترک یا آسیب جدی به بنا جلوگیری می‌کردند. بخش بیرونی این درگاه‌های سنگی در محل اتصال به دیوارهای خشتی، به‌شکل صندوقچه‌ای خالی شده‌اند تا علاوه‌بر کمک به سبک‌تر شدن سنگ‌ها و سهولت جابه‌جایی و انتقال آنها در محل، همچنین اتصال دیوارهای خشتی با درگاه‌های سنگی به نحو مؤثرتری انجام پذیرد (معمدمنش، ۱۳۹۷: ۱۱). با تکیه بر این مهندسی دقیق کاخ آپادانا به‌عنوان بزرگ‌ترین تالار باشکوه

دنیای باستان که هر ضلع آن حدود ۶۰ متر طول دارد بر پا می‌گردد که سقف آن برفراز ۳۶ ستون که در ۶ ردیف قرار داده شده و با گذشت ۲۵۰۰ سال همچنان برخی از ستون‌های آن استوار هستند. ساخت کاخ آپادانا به‌عنوان بزرگ‌ترین و با شکوه‌ترین کاخ‌های تخت‌جمشید در حدود ۵۱۵ ق.م آغاز و تکمیل آن ۳۰ سال به طول انجامید (شه‌بازی، ۱۳۸۴: ۴۶). براساس کتیبه‌های مندرج بر قطعات آجرهای لعابدار و همچنین کتیبه‌های سنگی پلکان‌های آپادانا، این کاخ به‌وسیله خشایارشا تکمیل شده است (رف، ۱۳۸۱: ۱۶۸).

در این دوره ترکیب و تلفیق مبتنی بر ذوق و ابتکار فنون و شیوه‌های هنری مختلف از یونان، مصر، آسیای صغیر و بین‌النهرین، منجر به خلق ستون‌هایی کم‌نظیر شد. چنین اندیشه‌ای توانست با چنان جسارتی ستون‌هایی به ارتفاع حدود ۲۰ متر را در یکی از بزرگ‌ترین بناهای دوره باستان، با وسعت بیش از ده هزار متر مربع، خلق کند که نظیر آن هرگز دیده نشده بود و نشانه‌ای از نبوغ هخامنشیان محسوب می‌گردد. می‌توان گفت که در تمام جهان برای اولین بار جسارت معماری از حد خود فراتر می‌رود و تالارهای ستون‌داری به‌وجود می‌آید که ستون‌های آنها کاملاً نازک هستند تا حدی که فنون ساختمان‌سازی مصری را به کنار می‌گذارد و از آن پیشی می‌گیرد (شکل ۱۶). این نوع معماری با زمین سر جنگ دارد و می‌خواهد با شدت و حدت هر چه تمام‌تر ریشه از زمین برکند و سر به افلاک ساید (دانجلیس، ۱۳۶۶: ۱۵).



شکل ۱۶. تصویر هوایی از کاخ آپادانا و بخشی از دیواره تختگاه، دید به سمت شمال و تعدادی از ستون‌های کاخ آپادانا تخت‌جمشید، دید به سمت جنوب (سعید زنگنه، ۱۳۹۹، مرکز اسناد پایگاه میراث فرهنگی تخت‌جمشید)

Fig. 16. Aerial view of the Apadana Palace and part of the terrace wall, facing north, and a number of columns of the Apadana Palace of Persepolis, facing south (Saeid Zanganeh, 1399, Persepolis Cultural Heritage Site Documentation Center)

شیوه بی‌ریزی ستون‌ها در کاخ آپادانا از عواملی است که باعث شده بعد از ۲۵۰۰ سال هنوز این ستون‌ها پا برجا باشد. در برپایی ستون‌ها از پیشرفته‌ترین اصول فنی و مهندسی استفاده کرده‌اند و هخامنشیان موفق به ساخت ستون‌هایی شده‌اند که نه تنها بار سقف را تحمل می‌کرد بلکه توانسته بود در مقابل زلزله و حتی گرما و سرما و دیگر عوامل تخریب‌کننده مقاومت نمایند (مبینی و دادور، ۱۳۹۰: ۸۴). مهندسی بر پایه خلاقیت و دانش سنتی را می‌توان در ساخت و برپایی این ستون‌ها و برقراری اتصالات آنها نیز مشاهده کرد. کمانش و واژگونی ستون‌های بسیار بلند کاخ آپادانا و همچنین خم شدن تیرهای چوبی که فواصل میان ستون‌ها را می‌پوشاندند، مسأله بزرگی بوده است که بر پایه طراحی دقیق، خلاقیت در ترکیب بدیع و دقت در ساخت آنها و بر مبنای آشنایی با سیستم انتقال بار مرتفع شده است. در واقع شکل ستون‌های هخامنشی بر مبنای منطق انتقال بار استوار گردیده و بخش‌های پایینی که تنش‌های فشاری بیشتری دریافت می‌کنند، از سطح مقطع بیشتری برخوردارند (معمدمنش، ۱۳۹۷: ۲۲).

همچنین در ساخت این ستون‌ها از قطعه سنگ‌های تقریباً هم ارتفاع استفاده نشده بلکه سعی شده تا ابتدا کار با قطعاتی تا حد امکان بلند آغاز شود یعنی استفاده از روشی که اول بار در پاسارگاد ابداع شد و در کاخ آپادانا در تخت‌جمشید به کمال رسید. قلمه ستون‌های کاخ آپادانا با ارتفاع ۱۵/۶۵ متر فقط از ۳ قطعه سنگ تشکیل شده است و در این مورد قطعه سنگ زیرین گاه دارای ۸ متر ارتفاع است که وزن تقریبی آن حدود ۴۵ تن است.

قرارگرفتن قطعات بزرگ ستون‌ها بر روی هم بدون ملات و صرفاً براساس وزن آنها بوده است و اینکه قطعات ستون‌ها در مقطع خود دارای زبری بوده که هنگام اعمال نیروی جانبی، توسط وزن و اصطکاک بین قطعات، نیرو را تحمل می‌کرده است. در واقع با توجه به شکل مجزای این ستون‌ها (بلوک‌های مجزا) بر روی هم حرکت اصطکاکی خواهند داشت که این حرکات انرژی ناشی از زلزله را شدیداً مستهلک می‌نمایند. اگرچه امروزه تعداد زیادی از ستون‌های تخت‌جمشید بنا به علل مختلفی از بین رفته‌اند، اما قطعاً اجزا ستون‌ها به‌درستی بار را از سقف به ستون و از ستون به شالی و از شالی به پای ستون و از پایه ستون به بستر سنگی منتقل می‌کرده‌اند. با توجه به ارزیابی‌های انجام شده بر روی ارتفاع تیرهای طولی و عرضی سقف، محاسبه فاصله بین ستون‌ها و سطح بارگیر هرستون وزن کل بار روی هر ستون کاخ آپادانا حدود ۱۲۲ تن بوده است (پریسای، ۱۳۹۲).

بررسی انجام شده بر روی سازه‌های تخت جمشید و به‌ویژه روی ستون‌های و اشکال مخروطی آن، نشان می‌دهد که هخامنشیان ۲۵۰۰ سال پیش از دانشمندان ریاضیدان استفاده می‌کردند که به‌خوبی با ریاضیات محض و مهندسی آشنا بودند ... و مهندسان سازه تخت جمشید را در محاسبه ارتفاع ستون‌ها، نحوه ساخت آنها، فشاری که باید ستون‌ها تحمل کنند و توزیع تنش در مقاطع ستون‌ها یاری می‌کرد (امیرشاه‌کرمی، ۱۳۸۳). نکته دیگر استفاده از ورق‌های سرب در بین بلوک‌های سنگ بوده است که امروزه علاوه بر اینکه بخش عمده‌ای از آن در موزه تخت‌جمشید نگهداری می‌شود، شواهد آن میان بلوک‌های بزرگ سنگی در بناهای محوطه نیز یافت می‌شود. این ورق‌های سربی با ضخامت‌های متفاوت در میان قطعات سنگ بسیاری از درگاه‌های سنگی در تخت‌جمشید دیده می‌شود که احتمالاً استفاده آن به‌جز در تراز نمودن بلوک‌های سنگی در کاهش لغزش سنگ‌ها بر روی یکدیگر بوده است.

نتیجه‌گیری

شناخت هخامنشیان نسبت به راهبرد آرایش منابع در منطقه پارسه - پاسارگاد و اتخاذ تصمیم درست و اقدامات منسجم و سازگار با محیط، باعث ایجاد زیرساخت‌های لازم جهت مدیریت منابع آب و رفع بحران‌های محیطی ناشی از سیلاب‌ها در دشت‌های منطقه بوده است. به‌ویژه در پاسارگاد کنترل منابع آب در بالادست دشت و بهره‌برداری از آن در توسعه کشاورزی منطقه و نیز در طراحی و ایجاد باغ شاهی و سازماندهی آبیاری باغ‌ها که با طراحی منحصر به فرد آب‌نماهای باغ شاهی همراه بوده است، همه نشانگر مهندسی دقیق و بهره‌برداری هوشمندانه از ظرفیت‌های محیطی و اقلیمی بوده است. مدیریت خلق تمامی این آثار که شواهد آن تا به امروز باقی است را می‌توان یادبودی استثنایی دانست از هنر و مهندسی هخامنشیان در تاب‌آوری در برابر ناملایمات اقلیمی و به ویژه در برابر سیلاب‌های فصلی که بنیان‌های زندگی و اقتصاد را در دشت‌های حاصلخیز منطقه تهدید می‌کرده است.

وضعیت لرزه‌خیزی منطقه پارسه - پاسارگاد تهدیدی دیگر برای سازه‌های معماری و به‌ویژه برای بناهای یادمانی پاسارگاد و تخت‌جمشید بوده است. بخش از رویکرد مهندسی هخامنشیان در برابر این تهدید استفاده از قطعات بزرگ سنگ در معماری و ممانعت از نشست و گسیختگی در سازه با محاسبات دقیق و تقویت ظرفیت باربری بستر بناها بوده است. در عین حال پیوستگی بناها و نرمی آنها نشان از نظام سازه‌ای سازگار با شرایط اقلیمی و توجه ویژه به ظرفیت باربری بستر دارند. به واقع راز ماندگاری بسیاری از بناها مدیون توجه به اقلیم، ابتکار و خلاقیت در انتخاب مصالح مناسب، شیوه‌های انتقال مصالح و فنون اجرایی ساخت است. همچنین به نظر می‌رسد معماران و مهندسين هخامنشی علاوه بر آگاهی بر اصول سازه‌ای و ایستایی، نسبت به ویژگی‌های هنری و جنبه‌های زیبایی‌شناسانه در معماری نیز ادراک کاملی داشته‌اند؛ به‌طور مثال در آفرینش فضای کاخ آپادانا با ترکیب منحصربه‌فرد و پایدار از ستون‌هایی زیبا، برای نخستین بار در دوره خود به فضایی کم‌نظیر با ابعاد بزرگ دست یافته‌اند. خلق و ماندگاری یادمان‌های عظیم هخامنشی تا به امروز، حاصل دانش سنتی و خلاقیت ایشان در سازش و همزیستی با طبیعت، فهم قوانین آن و بهره‌برداری صحیح از ظرفیت‌های طبیعت در چیرگی بر نامالیامات آن بوده است.

ابداعات و ابتکار هخامنشیان در چیرگی بر نامالیامات، ازجمله جنبه‌های ارزشی و اصالتی در یادمان‌های برجای مانده از این دوران با شکوه است و امروزه شناخت آن نه تنها در حفاظت کالبدی از این میراث بی‌بدیل راهگشا است، بلکه همچنین برای همزیستی بهتر با طبیعت و تاب‌آوری نوین در برابر نامالیامات آن، می‌تواند حاوی پیام‌های مهمی در زمینه مدیریت منابع آب و استفاده بهینه از مواد و مصالح معماری باشد. به‌ویژه اینکه متأسفانه امروزه خشکسالی‌های پیاپی در منطقه پارسه - پاسارگاد و حفر چاه‌های فراوان آب و بهره‌کشی بیش‌از اندازه از منابع آبی، باعث گردیده بسیاری از چشمه‌های آب در منطقه و ازجمله در کوه رحمت خشک شوند و فرونشست در دشت باعث ایجاد شکاف‌هایی عمیق در اطراف محوطه‌هایی همچون تخت‌جمشید و نقش رستم شده و این محوطه‌های ارزشمند در برابر آسیب و تهدید تخریب قرار گرفته‌اند. علاوه‌براین وقوع سیلاب‌های ناگهانی و گاه و بیگاه و ناشی از تغییرات اقلیمی در منطقه بنیان بسیاری از موارث فرهنگی را در محوطه‌ها تهدید می‌کند.

توجه به دانش سنتی در حوزه میراث‌فرهنگی به دلیل ماهیت عمیق و ریشه‌دار آن در فرهنگ و تاریخ، می‌تواند به‌عنوان ابزاری کلیدی در تعامل با تهدیدها، تاب‌آوری و برون‌رفت از تنگنایهای حفاظتی مورد استفاده قرار گیرد. دانش سنتی نه‌تنها ارزش‌های معنوی و هویتی را حفظ می‌کند، بلکه در شرایط مواجهه با تهدیدهای فرهنگی و محیطی، الگویی پایدار و کاربردی ارائه می‌دهد. راهبردهایی همچون "مستندسازی و تهیه پرونده‌های ثبتی برای شواهد تاریخی دانش سنتی برجامانده در مناطق پارسه - پاسارگاد"، می‌تواند به‌عنوان راهکاری حفاظتی در مواجهه با چالش‌ها و تهدیدهای پیش روی این میراث به‌کار رود. همچنین "آموزش و ارتقاء آگاهی جوامع محلی و بومی" در زمینه ارزش‌ها و اهمیت دانش سنتی به‌عنوان یکی از سرمایه‌های ارزشمند میراث‌فرهنگی و تبیین نقش این میراث در تاب‌آوری و حفاظت از موارث مادی و معنوی موجود در مناطق پارسه - پاسارگاد، نیز می‌تواند راهکار فرهنگی مؤثر در مواجهه با چالش‌های پیش‌روی این دانش از خطر نابودی تلقی گردد و در عین حال برای حل مشکلات زیست‌محیطی حاضر نیز به‌کار رود. به‌واقع آگاهی نسبت به دانش سنتی گذشتگان در نحوه مدیریت بحران‌های زیست‌محیطی، الگوهای مناسبی را از نحوه تعامل انسان با محیط زیست عرضه می‌کند. این تعامل

دوسویه میان گذشته و حال، علاوه بر تقویت هویت فرهنگی، به تاب‌آوری محوطه‌های میراث فرهنگی در برابر بحران‌های زیست‌محیطی کمک خواهد کرد.

سپاسگزاری

نگارندگان از سرکار خانم مهرناز بردبار مسئول کتابخانه و مرکز اسناد پایگاه تخت جمشید، از سرکار خانم فرزانه گرامی مسئول وقت کتابخانه و مرکز اسناد پایگاه پاسارگاد و از سرکار خانم نرگس دوستی‌ثانی مسئول محترم کتابخانه پژوهشگاه حفاظت و مرمت آثار تاریخی - فرهنگی به جهت در اختیار قرار دادن منابع و تصاویر لازم، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

تعارض منافع

وجود ندارد. این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی مصوب نویسنده مسئول با عنوان «تغییرات اقلیمی و تأثیرات آن بر میراث فرهنگی، مطالعه موردی محوطه‌های میراث جهانی پاسارگاد و تخت جمشید» در پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری است که با حمایت مالی پژوهشگاه مذکور به انجام رسیده است.

پی‌نوشت

۱. هیئت بین‌دولتی تغییرات اقلیمی (Intergovernmental Panel on Climate Change- IPCC)، یک سازمان علمی بین‌دولتی است که در سال ۱۹۸۸ توسط سازمان ملل متحد و سازمان جهانی هواشناسی (WMO) با هدف فراهم کردن ارزیابی‌های جامع و علمی درباره تغییرات اقلیمی، پیامدهای آن و راهکارهای مقابله با این تغییرات تأسیس شد. این مرکز منبع اصلی تحقیقات اقلیمی جهانی، مرجعی معتبر و مهم برای سیاست‌گذاران، محققان، و جامعه جهانی محسوب می‌شود.
۲. سیستم‌های جداکننده لرزه‌ای (Seismic Isolation Systems) از جمله تکنولوژی‌های مهم در مهندسی زلزله هستند که برای حفاظت از سازه‌ها و ساختمان‌ها در برابر اثرات مخرب زلزله استفاده می‌شوند. هدف اصلی این سیستم‌ها کاهش انتقال نیروهای لرزه‌ای به ساختمان از طریق ایجاد یک لایه جداکننده بین ساختمان و پی است که به ساختمان اجازه می‌دهد هنگام زلزله حرکت کرده و اثرات مخرب آن را به حداقل برساند.

کتابنامه

- استروناخ، دیوید. (۱۳۷۹). پاسارگاد گزارشی از کاوش‌های انجام شده توسط موسسه مطالعات ایرانی بریتانیا. ترجمه حمید خطیب شهیدی. انتشارات سازمان میراث فرهنگی کشور.
- اسدی، احمدعلی، و منصوری، مجید. (۱۴۰۲). «کاوش آبراه آجری حیاط ۱۷ خزانه تخت جمشید». در: کارنامهگ پارسه، گردآوری و تدوین: حمید فدایی، سهیل دلشاد، مهرناز بردبار و محمد جواد اولادحسین. انتشارات پرثوا. ۱-۲۹.
- افخمی، بهروز، و خسروی، زینب. (۱۳۹۷). «معنا و کارکرد باغ ایرانی (با تأکید بر دوره هخامنشی)».

پژوهش‌های ایران‌شناسی، ۸(۲): ۳۷-۲۱. DOI: 10.22059/jis.2019.71431

- اکبری، امیر؛ و فتاحی معصوم، آمنه سادات. (۱۳۹۵). «بررسی میزان تاثیرگذاری معماری اورارتو بر معماری هخامنشی، نمونه موردی کاخ آپادانا شوش». *پژوهشنامه تاریخ*، ۱۱ (۴۴): ۴۸-۱۵. <https://sanad.iau.ir/Journal/history/Article/942824/FullText>
- امان‌اللهی، حمید. (۱۳۸۹). «بررسی‌های اخیر معادن سنگ هخامنشی حوزه مرودشت». *باستان‌شناسی و تاریخ*، ۴۸: ۳۷-۴۸.
- امیرشاه کرمی، سیدعبدالعظیم. (۱۳۸۵). «بازخوانی مهندسی پل خواجه». *گلستان هنر*، ۲(۶): ۸۱-۹۴.
- امیرشاه کرمی، عبدالعظیم. (۱۳۸۳). «گزارش زمین‌شناسی و تکتونیک و تحلیل عددی دیوار تخت جمشید». *آرشیو و مرکز اسناد پایگاه پارسه - پاسارگاد*.
- انصاری لاری، احمد؛ و انصاری، مریم. (۱۳۹۵). «برآورد میزان فرسایش خاک در دشت مرودشت (استان فارس) با استفاده از مدل تجربی RUSLE». *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۴(۴): ۱۳۴-۱۴۹. **DOR: 20.1001.1.22519424.1395.4.4.9.2**
- پریسای، علی. (۱۳۹۲). «تحلیل مهندسی کاخ آپادانا تخت جمشید با استفاده از روش‌های عددی (اجزاء محدود)». پایان نامه کارشناسی ارشد رشته عمران با گرایش سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات فارس، راهنما: دکترسید عبدالعظیم امیر شاه کرمی، استاد مشاور: دکترسید امیرالدین صدرنژاد.
- حکمت‌زاده، علی اکبر؛ محبوبی نیازمندی، میثم؛ و بینش، سید محمد. (۱۳۹۶). *بررسی لرزه‌ای سازه شرقی دروازه ملل به روش اجزاء گسسته*. دانشگاه صنعتی شیراز، کتابخانه و مرکز اسناد پایگاه میراث جهانی تخت جمشید.
- خبرآنلاین. (۱۳۹۶ آبان ۲۵). *بناهای هخامنشی مقاوم در برابر زلزله. بازایی شده از: <https://www.khabaronline.ir/news/728037/>*
- دانجلیس، گوگلیمو. (۱۳۶۶). «جانمایه معماری هخامنشی در قرن‌های ششم و پنجم ق.م». ترجمه اصغر کریمی. اثر، ۲۲ و ۲۳: ۱۳-۲۴.
- راست‌بود، اصغر؛ و وثوقی، بهزاد. (۱۳۸۹). «بررسی تغییر شکل بین لرزه ای در ناحیه برخورد صفحه‌های زمین‌ساختی عربستان و اوراسیا در منطقه خاورمیانه با استفاده از یک مدل تحلیلی». *مجله ژئوفیزیک ایران*، ۴(۲): ۸۹-۱۰۲. **DOR: 20.1001.1.20080336.1389.4.2.6.1**
- رُف، مایکل. (۱۳۸۱). *نقش برجسته‌ها و حجاران تخت جمشید*. برگردان: هوشنگ غیائی نژاد. انتشارات گنجینه هنر.
- رئیسی اردکانی، عزت اله. (۱۳۸۹). *طرح بررسی حریم هیدروژئولوژیکی محوطه میراث جهانی تخت جمشید*. گزارش نهایی بخش علوم زمین دانشگاه شیراز. مرکز اسناد پایگاه میراث جهانی تخت جمشید.
- زارعی کردشولی، فرهاد؛ و کرمی، حمیدرضا، (۱۳۹۵). *بررسی باستان‌شناسی شهرستان پاسارگاد*. آرشیو پایگاه میراث جهانی پاسارگاد، منتشر نشده.
- زیدی، محسن. (۱۳۹۶). «محوطه‌های نویافته از هزاره پنجم پیش از میلاد در دره بلاغی و دشت پاسارگاد». در: *پاسارگاد ۲*، مجموعه مقاله‌های حفاظت و مرمت، باستان‌شناسی، معماری، زمین‌شناسی، مردم‌شناسی و گردشگری. تهیه و تدوین: محمد حسن طالبیان، حمید فدایی. انتشارات کتاب بهار: ۴۰-۳۰.

- سامی، علی، (۱۳۷۵). پاسارگاد پایتخت و آرامگاه کوروش هخامنشی. به کوشش و بازنگری دکتر غلامرضا وطن‌دوست. انتشارات بنیاد فارس شناسی.
- سامی، علی، (۱۳۳۸). گزارش‌های باستان‌شناختی. جلد چهارم، انتشارات برنا، شیراز.
- سعیدی، زهرا. (۱۳۸۴). گزارش زمین‌شناسی مجموعه میراث جهانی پاسارگاد. مرکز اسناد پایگاه میراث جهانی پاسارگاد.
- سهیل، مهرآذر، (۱۳۹۹). مفهوم یادمان در معماری هخامنشی. ترجمه دکتر محمدحسن طالبیان. تهران، نشر سفیران.
- شاپورشه‌بازی، علیرضا، (۱۳۷۹). راهنمای جامع پاسارگاد. بنیاد فارس شناسی، چاپ اول.
- شاپورشه‌بازی، علیرضا، (۱۳۸۴). راهنمای مستند تخت‌جمشید. بنیاد پژوهشی پارسه-پاسارگاد.
- شاهچراغی، آزاده، (۱۳۸۹). پارادایم‌های پردیس، درآمدی بر بازشناسی و بازآفرینی باغ ایرانی. تهران: جهاد دانشگاهی.
- شبیری، اباذر، (۱۳۹۶). «درآمدی بر آبیاری و کشاورزی در پارس باستان: دشت‌های پارسه - پاسارگاد در دوره هخامنشی». در: پاسارگاد ۲، مجموعه مقاله‌های حفاظت و مرمت، باستان‌شناسی، معماری، زمین‌شناسی، مردم‌شناسی و گردشگری. تهیه و تدوین: محمد حسن طالبیان و حمید فدایی. انتشارات کتاب بهار: ۷۷-۵۸.
- کرمی، محمد، (۱۳۹۶). «پاسارگاد در هزاره پنجم پیش از میلاد». در: پاسارگاد ۱، مجموعه مقاله‌های حفاظت و مرمت، باستان‌شناسی، معماری، زمین‌شناسی، مردم‌شناسی و گردشگری، به کوشش: محمد حسن طالبیان و حمید فدایی. انتشارات کتاب بهار: ۱۸-۵.
- کرمی، حمیدرضا، (۱۴۰۱). گزارش دو فصل کاوش باستان‌شناسی سد هخامنشی دیدگان. آرشیو پایگاه میراث جهانی پاسارگاد.
- کرمی، حمیدرضا، (۱۴۰۲). «سازه‌های آبی و مدیریت آب دوران هخامنشی در حوضه آبریز رود پلوار». پایان نامه دکتر، دانشگاه بوعلی سینا همدان.
- کرمی، حمیدرضا؛ و طالبیان، محمدحسن، (۱۳۹۲). «مدیریت آب منطقه پاسارگاد در دوره هخامنشی». پژوهش‌های باستان‌شناسی مدرس، ۵ (۱۱-۱۰)، ۲۴۲-۲۱۶.
- مبینی، مهتاب؛ و دادور، ابوالقاسم، (۱۳۹۰). «ستون، نماد قدرت در معماری هخامنشی». نگره، ۱۹: ۹۵-۸۱.
- محمدی‌فر، یعقوب؛ و کرمی، حمیدرضا کرمی، (۱۴۰۱). «سازه‌های آبی هخامنشی حوضه آبریز رودخانه پلوار، ناحیه پاسارگاد». مطالعات باستان‌شناسی پارسه، ۶ (۲۲)، ۱۵۹-۱۱۳. <https://journal.richt.ir/mbp/article-1-848-fa.html>
- فتحی‌سوگلی تپه، افشین؛ مرتضوی، مهدی؛ و موسی‌پورنگاری، فریبا، (۱۴۰۰). «نقش منابع آبی در مکان‌گزینی محوطه‌های دوره هخامنشی دشت سیستان». تحقیقات منابع آب ایران، ۱۷ (۳): ۲۶۸-۲۸۱. DOR: 20.1001.1.17352347.1400.17.3.15.0
- معتمدمنش، مهدی، (۱۳۹۷). «معماری سلطنتی هخامنشی: نمادی از فناوری و خرد انسانی در عهد باستان». مطالعات معماری ایران، ۷ (۱۳): ۳۲-۵. DOI: 10.22052/1.13.5

- نیکول، ماری بی؛ برگنر، کارل؛ تیلیا، آن بریت؛ و سامنر، ویلیام ام. (۱۳۹۳). *بندهای باستانی دره درودزن*. ترجمه محمدجعفر ملکزاده. نوید شیراز.

- ولایتی، رحیم، (۱۳۸۹). «تاثیر هنر ملل تابعه امپراتوری هخامنشیان بر هنر و معماری آنها». *باغ نظر*, ۷(۱۴): ۸۷-۹۴. https://www.bagh-sj.com/article_21.html

- Afkhami, B. & Khosravi, Z., (2019). "The Meaning and Function of the Persian Garden (With an Emphasis on the Achaemenid Period)". *Iranian Studies*, 8(2): 21-37. DOI: 10.22059/jis.2019.71431 (In Persian).

- Akbari, A. & Fattahi Masoum, A. S., (2016). "Investigating the influence of Urartian architecture on Achaemenid architecture: A case study of the Apadana Palace in Susa". *Journal of History Research*, 11(44): 15-48. <https://sanad.iau.ir/Journal/history/Article/942824>. (In Persian).

- Alley, R. B., Marotzke, J., Nordhaus, W. D., Overpeck, J. T., Peteet, D. M., Pielke, R. A. & Wallace, J. M., (2003). "Abrupt climate change". *Science*, 299(5615): 2005-2010. <https://doi.org/10.1126/science.1081056>

- Amanollahi, H., (2010). "Recent investigations on the Achaemenid stone quarries in the Marvdasht area". *Archaeology and History*, 48: 37-48. (In Persian).

- Amirshahkermi, A., (2004). *Geological report and tectonic analysis of the Persepolis wall*. Archives and Documentation Center of the Persepolis-Parseh Site. (In Persian).

- Amirshahkermi, S. A., (2006). "A re-examination of the engineering of Khaju Bridge". *Golestan-e Honar*, 6: 81-94. (In Persian).

- Ansari Lari, A. & Ansari, M., (2016). "Estimate the Amount of Soil Erosion in Marvdasht Plain (Iran, Fars) by Rusle Model". *Quantitative Geomorphological Researches*, 4(4): 134-149. (In Persian).

- Asadi, A. & Mansouri, M., (2023). "Excavation of the brick watercourse in the courtyard 17 of the Treasury at Persepolis". In H. Fadaei, S. Delshad, M. Badrbar, & M. J. Oladhossin (Eds.), *Kar-namagi Parsa* (pp. 1-29). Parthava Publications. (In Persian).

- Bergner, C., (1937). "Bericht Uber Unbekannte Achaemenidische Ruinen in der Ebene von Persepolis". *Archaeologische Mitteilungen aus Iran*, 8: 1-4.

- Boucharlat, R. & Benesh, C., (2004). *Geophysics Report in Pasargaddes 2003*. Rapport Préliminaire de la Mission conjointe France - Iran.

- Boucharlat, R., De Schacht, T. & Gondet, S., (2012). "Surface reconnaissance in the Persepolis Plain (2005-2008). New data on the city organisation and landscape management". in: *Dariosh Studies II. Persepolis and Its Settlements: Territorial System and Ideology in the Achaemenid State*, edited by: G. P. Baselo and A. V. Rossi. Napoli: 123-166.

- Brimblecombe, P., (2014). *Environmental impacts on heritage sites: Long-term research and monitoring*. In Smith, C., Burke, H., & de Leuven, C. (Eds.), *The Encyclopedia of Global Archaeology* (pp. 2543-2548). Springer.

- Cigna, F., Tapete, D. & Lee, K., (2018). "Geological hazards in the UNESCO world heritage sites of the UK: From the global to the local scale perspective". *Earth-Sci*, 176: 166-194. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.09.016>

- Claussen, M., (2008). *Holocene rapid land cover change-evidence and theory*. *Natural Climate Colette, Climate change and world heritage*. Report on predicting and man-aging the impacts of climate change on World Heritage and Strategy to assist States Parties to implement appropriate management responses. UNESCO World Heritage Centre, Paris, 2007. <https://doi.org/10.1002/9781444300932.ch9>

- D'Angelis, G., (1987). "The essence of Achaemenid architecture in the 6th and 5th centuries BCE". *Asar*, 22(23): 13-24. (A. Karimi, Trans.). (In Persian).

- DeMenocal, P. B., (2011). "Climate and human evolution". *Science*, 331(6017): 540-542. <https://doi.org/10.1126/science.1190683>

- Emami, M., Eslami, M., Fadaei, H., Karami, H. R. & Ahmadi, K., (2018). "Mineralogical–Geochemical Characterization and Provenance of the Stones Used at the Pasargadae Complex in Iran: A New Perspective". *Archaeometry Journal*. Doi: [10.1111/arc.12395](https://doi.org/10.1111/arc.12395).
- Folke, C., (2006). "Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses". *Global Environmental Change*, 16(3): 253-267. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002>
- Gómez-Baggethun, E., Corbera, E. & Reyes-García, V., (2013). "Traditional ecological knowledge and global environmental change: Research findings and policy implications". *Ecology and Society*, 18(4): 72. <https://doi.org/10.5751/ES-06288-180472>
- Gondet, S., (2015). "Strategies for the Operation of Stone in Persepolis. Ghent: Ghent University". *Iranica Antiqua*, 279-327.
- Gondet, S., Mohammadkhani, K., Farjamirad, M., Ibnoeirida, N., Zare Kordshouli, F., Karami, H. R. & Laisney, D., (2018). "Field Report on the 2015 Current Archaeological Works of the Joint Iran-French Project on Pasargadae and its Territory". *Iranian Heritage Studies, University of Shahid Beheshti*, 1 (1): 60-87.
- Guidi, Giolf F., Rahbar, Sh., Rahmati, S., Sheikholeslami, R., Soleimani, M., Trojsi, G. & Zare, A., (2017). "Preliminary Diagnostic Study of the Stone on the Persepolis Terrace". In: From Palace to Town, vol. 1, *Topography, Diagnostic and Conservation*. Ed: Askari Chaverdi, A., & Callieri, P. Rome.
- Hekmatzadeh, A. K., Mahboubi Niazmandi, M. & Binish, S. M., (2017). *Seismic investigation of the eastern structure of the Gate of All Nations using the discrete element method*. Shiraz Industrial University, Library and Documentation Center of the Persepolis World Heritage Site. (In Persian).
- Howard, A. J., (2013). "Managing global heritage in the face of future climate change: The importance of understanding geological and geomorphological processes and hazards". *Int. J. Herit*, 19: 632–658. <https://doi.org/10.1080/13527258.2012.681680>
- ICOMOS Climate Change and Cultural Heritage Working Group. (2019). *The Future of Our Pasts: Engaging Cultural Heritage in Climate Action*. International Council on Monuments and Sites (ICOMOS).
- Intergovernmental Panel on Climate Change -IPCC. (2022). *Climate change. 2022: Impacts, adaptation, and vulnerability, Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Karami, H. R., (2022). *Two seasons of archaeological excavation at the Achaemenid Didegan Dam*. Persepolis World Heritage Site Archive. (In Persian).
- Karami, H. R., (2023). "Achaemenid water structures and water management in the Polvar river basin". Doctoral dissertation, Bu-Ali Sina University of Hamedan. (In Persian).
- Karami, H. & Talibian, M. H., (2012). "Water management of Pasargad region in Achaemenid period". *Modares Archaeological Researches*, 5 & 6 (10 & 11): 216-242. (In Persian).
- Karami, M., (2017). "Pasargadae in the 5th millennium BCE". In: M. H. Talebian & H. Fadaei (Eds.), *Pasargadae 1: Collection of Articles on Conservation, Archaeology, Architecture, Geology, Anthropology, and Tourism* (pp. 5–18). Book-e Bahar Publications. (In Persian).
- Khabar Online. (2017, November 16). Achaemenid buildings resistant to earthquakes. Retrieved from: <https://www.khabaronline.ir/news/728037/>. (In Persian).
- Kiani, T., Ramesht, M. H., Maleki, A. & Safakish, F., (2017). "Analyzing the Impacts of Climate Change on Water Level Fluctuations of Tashk and Bakhtegan Lakes and Its Role in Environmental Sustainability". *Open Journal of Ecology*, 7: 158-178. <https://doi.org/10.4236/oje.2017.72012>
- Kleiss W., (1982). "Safavidische Staudämme bei Saveh und Qom". *Archäologische Mitteilungen aus Iran*, 15: 361-374
- Kleiss W., (1987). "Staudämme bei Qaderabad (Fars) und südwestlich von Kashan. Archäologische Mitteilungen aus Iran 20, 89-106

- Kleiss, W., (1991). "Wasserschutzdamme und kanalbauten in umgebung von, Pasargadae". *Archaeologische Mitteilungen aus Iran*, 24: 23-30.
- Mobini, M. & Dadvar, A., (2011). "Columns, a symbol of power in Achaemenid architecture". *Negareh*, 19: 81-95. (In Persian).
- Mohammadifar, Y. & Karami, H. R., (2022). "Achaemenid Water Structures in the Catchment Area of Pelvar River - Pasargad District". *Parseh Archaeological Studies*, 6(22): 113-159. <https://dx.doi.org/10.30699/PJAS.6.22.113>. (In Persian).
- Fathi Sogolitaheh, Sh., Mortazavi, M. & Mosapour Negari, F., (2021). "Water Resources Role in Location of Achaemenid Settlements in the Sistan Plain". *Iran-Water Resources Research*, 17(3): 268-281. (In Persian).
- Motamedmanesh, M., (2018). "Achaemenid Imperial Architecture: a Symbol of Technology and Wisdom in Antiquity". *Journal of Architecture Studies*, 7(13): 5-32. DOI: [10.22052/1.13.5](https://doi.org/10.22052/1.13.5) (In Persian).
- Nakashima, D. J., McLean, K. G., Thulstrup, H. D., Castillo, A. R. & Rubis, J. T., (2012). *Weathering uncertainty: Traditional knowledge for climate change assessment and adaptation*. UNESCO and UNU.
- Nicol, M. B., Bergner, C., Tilia, A. B. & Sumner, W. M., (2014). *Ancient Bridges of the Doroodzan Valley*. (M. J. Malekzadeh, Trans.). Navid Shiraz Publications. (In Persian).
- Nicol, M. B., (1970). "Rescue Excavation near Dorudzan". *East and West*, 20 (3): 245-284.
- Nylander, C., (1970). *Ionians in Pasargadae*. Studies in Old Persian Architecture, Uppsala.
- Pacheco, J. J., Arzate, E., Rojas, M., Arroyo, V. Y. & Ochoa, O., (2006). "Delimitation of ground failure zones due to land subsidence using gravity data". *Engineering Geology*, 84(40636): 143-160. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.12.003>
- Pirisai, A., (2013). "Engineering analysis of the Apadana Palace at Persepolis using numerical methods (finite elements)". Master's thesis, Civil Engineering Department, Islamic Azad University, Fars Branch, Supervisor: Dr. S. A. Amir Shahkermi, Advisor: Dr. S. A. Sadrnejad. (In Persian).
- Raeisi-Ardakani, E., (2010). *Hydrological and geological studies of the Persepolis World Heritage Site's buffer zone*. Final Report, Earth Sciences Department, Shiraz University. Persepolis World Heritage Site Documentation Center. (In Persian).
- Rastbood, A. & Voosoghi, B., (2010). "Interseismic Deformation Study on the Collision Zone of Arabian and Eurasian Tectonic Plates in the Iddle-East Region Using an Analytical Model". *Iranian Journal of Geophysics*, 4(2): 89-102. DOR: [20.1001.1.20080336.1389.4.2.6.1](https://doi.org/10.22052/1.13.5) (In Persian).
- Roaf, M., (1983). "Dovetail clamps and the Achaemenid Empire". *Iran*, 21: 151-153. <https://doi.org/10.2307/4299731>
- Ruf, M., (2002). *Reliefs and Carvings of Persepolis* (H. Ghiyasi-Nejad, Trans.). Ganjineh-Honar Publications. (In Persian).
- Sabbioni, C., Brimblecombe, P. & Cassar, M., (2012). *The atlas of climate change impact on European cultural heritage: Scientific analysis and management strategies*. Anthem Press.
- Saeidi, Z., (2005). *Geological report of the Persepolis World Heritage Site*. Persepolis World Heritage Site Documentation Center. (In Persian).
- Sami, A., (1959). *Archaeological Reports*. Volume 4. Barna Publications, Shiraz. (In Persian).
- Sami, A., (1996). *Pasargadae: The Capital and Tomb of Cyrus the Great*. Revised by Dr. G. Vatandoust. Fars Studies Foundation Publications. (In Persian).
- Schmidt, E. F., (1957). *Persepolis II: Contents of the Treasury and Other Discoveries*. The University of Chicago Press.
- Sesana, E., Gagnon, A.S., Bertolin, C. & Hughes, J., (2018). "Adapting Cultural Heritage to Climate Change Risks: Perspectives of Cultural Heritage Experts in Europe". *Geosciences*, 8(305): 1-23. [doi:10.3390/geosciences8080305](https://doi.org/10.3390/geosciences8080305).
- Shahbazi, A. S., (2000). *A Comprehensive Guide to Pasargadae*. Fars Studies Foundation, First Edition. (In Persian).
- Shahbazi, A. S., (2005). *A Documentary Guide to Persepolis*. Parseh-Pasargadae Research Foundation. (In Persian).

- Shahcheraghi, A., (2010). *Paradigms of the Garden: An Introduction to the Recognition and Revival of the Persian Garden*. Tehran, Jihad University. (In Persian).
- Shobairi, A., (2017). "An introduction to irrigation and agriculture in ancient Pars: The Parseh-Pasargadae plains during the Achaemenid period". In: M. H. Talebian & H. Fadaei (Eds.), *Pasargadae 2: Collection of Articles on Conservation, Archaeology, Architecture, Geology, Anthropology, and Tourism* (pp. 58–77). Book-e Bahar Publications. (In Persian).
- Soheil, M. A., (2020). *The concept of monumentality in Achaemenid architecture*. Translated by Dr. M. H. Talebian. Sefiran Publications. (In Persian).
- Stronach, D., (2000). *Pasargadae: A Report on Excavations by the British Institute of Iranian Studies* (H. Khatib-Shahidi, Trans.). Cultural Heritage Organization Publications. (In Persian).
- Sumner, W., (1986). "Achaemenid settlements in the Persepolis plain". *AJA*, 90: 3–31 <https://doi.org/10.2307/505980>
- Sumner, W. M., (1986). "Achaemenid Settlement in the Persepolis Plain". *American Journal of Archaeology*, 90(1): 3-31. <https://doi.org/10.2307/505980>
- Tilia, A. B., (1972). "Studies and Restorations at Persepolis and Other Sites of Fars. I (Reports and Memoirs)". Director of the Series: Giuseppe Tucci. IsMEO, Rome, Vol. 16: 416 p.
- Tilia, A. B., (1968). "A study on the Methods of Working and Restoring Stone and on the Parts Left Unfinished in Achaemenian Architecture and Sculpture". *East and west*. Ed: Tucci G. IsMEO, Rome, 18: 67-95.
- Tuplin, C., (1996). *Achaemenid Studies, Historia Einzelschriften 99*. Stuttgart: Franz Steiner.
- UNESCO World Heritage Centre, (1994). *Nara Document on Authenticity. Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage*. World Heritage Committee, Eighteenth Session. <https://whc.unesco.org/archive/nara94.htm>.
- UNESCO. (2003). *Convention for the safeguarding of the intangible cultural heritage*. UNESCO.
- Velayati, R., (2010). "Influence Affiliated Nations Art on the Achaemenid Art and Architecture". *Bagh-e Nazar*, 7(14): 87-94. https://www.bagh-sj.com/article_21.html (In Persian).
- Wright, G. R., (2005). *Ancient Building Technology*. vol. 2, Leiden: Brill. <https://doi.org/10.1163/9789004531543>
- Zarei Kordeshouli, F. & Karami, H. R., (2016). "Archaeological study of the Pasargadae district". Persepolis World Heritage Site Archive (unpublished). (In Persian).
- Zeidi, M., (2017). "Newly discovered sites from the 5th millennium BCE in the Belagh River Valley and the Pasargadae plain". In: M. H. Talebian & H. Fadaei (Eds.), *Pasargadae 2: Collection of Articles on Conservation, Archaeology, Architecture, Geology, Anthropology, and Tourism* (pp. 30–40). Book-e Bahar Publications. (In Persian).