Journal of Research on
ARCHAEOMETRY
A Peer-Reviewed Academic Journal of Archaeological and Conservation Science Studies

Tabriz Islamic Art University

Research Paper

Investigating the Construction Technology of Elamite Vaulted Tombs at Susa: A Study Based on Trapezoidal (Wedge-Shaped) Brick Materials

Hani Zarei [*1], **Shahryar Nasekhian** [2], **Mohammad Hassan Talebian** [3]

1. Assistant Professor, Department of Historic Building Conservation, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran
2. Associate Professor, Department of Conservation of Historic Buildings and Urban Fabrics, Faculty of Conservation, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran
3. Professor, School of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran

* Corresponding author: hzarei@jsu.ac.ir

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:40 +0330 on Sunday November 15th 2026

Abstract

The underground tombs of the Elamite period in present-day Khuzestan Province are among the most significant examples of funerary architecture in Iran. One of their most distinctive architectural features is the barrel vault, constructed using various materials and building techniques. Among these monuments, the underground tombs of Susa are particularly notable for their use of trapezoidal-shaped bricks and the diversity of their construction methods. Investigating the structural characteristics of these vaults contributes to a better understanding of ancient building technologies and supports conservation approaches based on the physical authenticity of historic monuments. This study aims to identify and analyze the structural characteristics of Elamite vaulted tombs, with particular emphasis on roofing techniques, vault construction, and the use of molded trapezoidal bricks. Fifteen vaulted tombs attributed to the Elamite period, including ten examples documented by de Mecquenem and five reported by Ghirshman, were selected for analysis based on archaeological reports and field investigations. The research combines documentary studies and field surveys within a historical–interpretive framework. The main research question addresses the construction characteristics of mud-brick and brick barrel vaults built with trape-zoidal-shaped bricks in the Elamite tombs of Susa.The findings indicate that the vaults were primarily constructed using a pitched-vaulting technique supported by the rear wall, while short vertical or slightly inclined walls commonly served as springing supports. In some cases, a combination of pitched and radial (Roman) vaulting methods was identified. The molded trapezoidal bricks enhanced structural stability and facilitated construction. Other important findings include the use of vault rises greater than the span in small chambers and the application of three different methods for controlling the inclination of vault courses. These results suggest that this construction technology developed at Susa before its appearance at Haft Tappeh and demonstrate a progressive refinement in the use of standardized trapezoidal bricks for the construction of formwork-free pitched barrel vaults in Elamite architecture.

Keywords: Vaulted Tombs, Barrel Vault, Trapezoidal Brick, Elamite Period, Susa

Received: 2025/11/04
Revised: 2026/06/21
Accepted: 2026/06/23
Published: 2026/06/30

Copyright: ©2026 by the Authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)

https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.109]

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:40 +0330 on Sunday November 15th 2026

Introduction

The barrel vault is among the oldest and most significant roofing systems in the architectural history of Iran. Archaeological evidence from southwestern Iran, particularly Khuzestan, indicates the use of vaulted structures since at least the second millennium BCE. Due to its structural efficiency and relative simplicity of construction, the barrel vault became one of the most widely adopted architectural forms in ancient Iranian architecture. Among its various forms, vaults constructed with trapezoidal bricks during the Elamite period represent a distinctive technological achievement. However, despite their importance, the construction principles and masonry arrangements of these vaults have received limited scholarly attention. The gradual deterioration of archaeological remains and the scarcity of systematic technical studies have further obscured the understanding of their structural logic. Ancient Susa, which contains a considerable number of subterranean vaulted tombs, provides valuable evidence for investigating these construction techniques. This study aims to analyze the arrangement patterns of trapezoidal bricks in Elamite barrel vaults and to examine how brick geometry and vault proportions contributed to the construction of pitched vaults with little or no need for centering.

Methodology

This applied study employs a mixed qualitative–quantitative approach within a historical–interpretative framework. Data were collected through documentary research, archaeological excavation reports, architectural records, and field documentation. A comparative analytical method was used to examine the architectural, structural, and constructional characteristics of Elamite vaulted tombs in Khuzestan. Fifteen funerary monuments were selected based on the availability of reliable documentation, the presence of brick or mudbrick barrel vaults, and the use of trapezoidal building units. The sample includes ten tombs excavated by de Mecquenem and five examples documented by Ghirshman. Architectural plans, sections, and elevations were re-evaluated and digitally reconstructed using AutoCAD and SketchUp software to verify dimensions and construction details. Historical photographs and archival records were also analyzed to recover missing information. The collected data were then compared to identify common vaulting techniques, construction technologies, and architectural characteristics.

Results

The analysis of vaulted tombs from the Elamite period at Susa revealed several significant technological and structural characteristics related to the construction of barrel vaults. One of the most important findings is the use of specially molded trapezoidal bricks, whose upper surfaces were shaped by modifying square bricks into trapezoidal forms. Unlike wedge-shaped bricks employed in Chogha Zanbil, these bricks maintained a uniform thickness while providing greater contact between adjacent units. Their standardized dimensions indicate a well-developed production system.

The study identified three principal patterns in the arrangement of trapezoidal bricks within the vaults. In the first pattern, uniformly shaped bricks were alternately rotated at the springing point, creating a straight inclined segment before the curvature of the arch began. In the second pattern, curvature started directly from the springing level, producing a continuous arch profile. The third pattern combined two different sizes of trapezoidal bricks and incorporated locking elements at the crown. These arrangements allowed adjacent bricks to fit tightly together, minimizing gaps.

The investigation also revealed that all examined vaults were constructed using inclined pitched-brick courses leaning toward the rear wall. The trapezoidal geometry of the bricks facilitated the formation of the arch profile and reduced the need for excessive mortar joints. Furthermore, four distinct patterns of pitched-course arrangement were identified. These included entirely inclined courses, combinations of initial vertical courses followed by inclined ones, alternating vertical and inclined courses, and mixed configurations at different stages of the vault. In all patterns, the first brick was positioned against the rear wall to provide support for subsequent courses. Additional evidence demonstrates the existence of structural measures for

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.109]

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:40 +0330 on Sunday November 15th 2026

ensuring stability, including the reinforcement of crown joints, the use of locking bricks, the integration of side walls with surrounding soil masses, and the gradual thickening of structural elements to counter lateral thrust.

Discussion

The findings suggest that the use of trapezoidal bricks constituted a deliberate architectural strategy aimed at improving structural stability and construction efficiency. Their geometry increased the contact area between adjacent units and facilitated tighter bonding within the vault structure. The identified brick-arrangement patterns reveal different approaches to controlling arch geometry while maintaining structural coherence. The incorporation of locking elements at the crown further enhanced the integrity of the vault system.

The inclined pitched-brick construction method, together with the trapezoidal geometry of the bricks, enabled builders to construct vaults without centering or temporary formwork, thereby simplifying and accelerating the construction process.

Although different pitched-course arrangements were employed, they all followed the same structural principle of relying on the rear wall as the initial support for the construction sequence.

The combination of locking systems, reinforced crown joints, wall–soil interaction, and increased structural thickness demonstrates a sophisticated understanding of stability and load transfer. Collectively, these findings indicate that Elamite architects possessed advanced knowledge of brick geometry, structural behavior, and construction techniques, and that the vaulted tombs of Susa represent an important stage in the development of formwork-free barrel-vault construction technology in ancient Iran.

Conclusion

This study investigated the arrangement and construction techniques of barrel vaults built with trapezoidal bricks in the Elamite tombs of ancient Susa. The findings indicate that the use of molded trapezoidal bricks with relatively standardized dimensions was a continuous construction practice from the Early Elamite to the Neo-Elamite periods. These vaults were primarily constructed using pitched-brick courses inclined toward the rear wall, allowing the vaults to be erected without centering or temporary formwork. This technique represents an important stage in the development of formwork-free barrel-vault construction in ancient Iran.

The results show that the introduction of trapezoidal bricks facilitated construction, improved stability, and enabled the efficient execution of vaults over relatively small spans. Characteristic features of these structures include a vault rise greater than the span, short vertical or inclined side walls, horizontal courses beneath the vault, and the combination of corbelled and pitched-brick arrangements. Two principal arch profiles were identified: one with an initial straight inclined section followed by curvature, and another in which the curvature begins directly from the springing level.

Furthermore, three distinct patterns of pitched-course arrangement were recognized, demonstrating considerable technological flexibility and adaptation to the geometry of trapezoidal bricks. Despite these variations, all methods relied on positioning the first brick against the rear wall, reflecting a sophisticated understanding of structural behavior. Overall, the findings highlight the technological innovation of Elamite builders and contribute to a better understanding of ancient Iranian vaulting traditions, while providing valuable knowledge for future conservation and restoration studies.

Author Contributions: The first author was responsible for all stages of the study, including data collection, analysis, and preparation of the manuscript. The second and third authors contributed to the development of the manuscript, provided academic guidance throughout the research process, and assisted in the review and synthesis of the relevant sections of the paper.

Funding: This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Data Availability Statement: The data supporting the findings of this study were derived from published sources cited in the reference list.

Acknowledgments: The authors extend their gratitude to Dr. Arman Shishegar, Dr. Nima Valibeyg, Dr. Mehdi Rahbar, Mohammad Sheikh, and the World Heritage Site of Susa for their support in this research.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.109]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:40 +0330 on Sunday November 15th 2026

پژوهه باستان سنجی
دانشگاه هنر اسلامی تبریز

مقاله پژوهشی

واکاوی فن ساخت آرامگاه های طاقدار دوره عیلامی شوش: مطالعه‌ای بر پایه مصالح آجری ذوزنقه‌ای

هانی زارعی[1*]، شهریار ناسخیان[2]، محمد حسن طالبیان[3]

۱. استادیار، گروه مرمت بناهای تاریخی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران
۲. دانشیار، گروه مرمت بناها و بافت‌های تاریخی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران
۳. استاد، گروه مرمت بناها و بافتهای تاریخی، دانشکدگان هنرهای زیبا، دانشکده معماری، دانشگاه تهران، تهران، ایران
* مسئول مکاتبات: hzarei@jsu.ac.ir

چکیده

معماری آرامگاه‌های زیرزمینی عیلامیان در محدوده استان کنونی خوزستان از مهم‌ترین نمونه‌های معماری تدفینی ایران به شمار می‌رود. یکی از شاخص‌ترین عناصر این بناها، طاق‌های آهنگ یا گهواره‌ای است که با مصالح و شیوه‌های گوناگون اجرا شده‌اند. در میان این نمونه‌ها، مقابر زیرزمینی دوره عیلام در محوطه تاریخی شوش به دلیل استفاده از مصالح ذوزنقه‌ای‌شکل و تفاوت در شیوه ساخت و چینش آن‌ها اهمیت ویژه‌ای دارند. شناخت ویژگی‌های سازه‌ای این طاق‌ها، افزون بر درک بهتر فنون ساخت، در حفاظت مبتنی بر اصالت کالبدی آثار نیز مؤثر است. این پژوهش با هدف شناسایی و تحلیل ویژگی‌های ساختاری آرامگاه‌های طاقدار عیلامی، به‌ویژه شیوه پوشش فضا، ساختار طاق‌ها و کاربرد مصالح قالب‌گیری‌شده ذوزنقه‌ای انجام شده است. بدین منظور، ۱۵ آرامگاه طاقدار منسوب به دوره عیلام شامل ۱۰ نمونه معرفی‌شده توسط دومکنوم و ۵ نمونه گزارش‌شده توسط گریشمن، همراه با داده‌های حاصل از بررسی‌های میدانی، مورد مطالعه قرار گرفت. روش پژوهش مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی میدانی با رویکرد تاریخی ـ تفسیری است. پرسش اصلی پژوهش بر ویژگی‌های چینش طاق‌های آهنگ خشتی ـ آجری با مصالح ذوزنقه‌ای‌شکل در مقابر عیلامی شوش متمرکز است. یافته‌ها نشان می‌دهد که طاق‌ها عمدتاً به شیوه ضربی و با تکیه بر دیواره پشتی اجرا شده‌اند و در بیشتر نمونه‌ها دیوارهای عمودی یا متمایل کوتاه به‌عنوان پایه زیرطاق عمل کرده‌اند. در برخی موارد نیز ترکیبی از شیوه ضربی و رومی مشاهده شده است. مصالح مورد استفاده عمدتاً قالب‌گیری‌شده و دارای مقطع ذوزنقه‌ای بوده که علاوه بر افزایش پایداری، اجرای طاق را تسهیل کرده‌اند. همچنین به‌کارگیری افراز بلندتر از دهانه در فضاهای کوچک و استفاده از سه روش متفاوت برای تنظیم زاویه چینش لایه‌های طاق از دیگر نتایج مهم پژوهش است. این شواهد بیانگر روند تکامل استفاده از مصالح ذوزنقه‌ای استاندارد در اجرای طاق‌های ضربی بدون قالب در معماری عیلامی شوش و شکل‌گیری این فناوری پیش از نمونه‌های هفت‌تپه است.

واژگان کلیدی: آرامگاه‌های طاقدار، طاق آهنگ، آجر ذوزنقه‌ای‌شکل، دورهٔ عیلام، شوش

دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۳
آخرین اصلاح: ۱۴۰۵/۰۳/۳۱
پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۲
انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۰۹

Copyright: ©2026 by the Authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)

https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.109]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:40 +0330 on Sunday November 15th 2026

۱. مقدمه

یکی از مهم‌ترین مسائل در فرایند ساخت‌وساز، همواره پوشش‌دهی فضاها بوده است. طاق آهنگ به‌عنوان یکی از کهن‌ترین شیوه‌های پوشش معماری، جایگاهی ویژه در تاریخ معماری ایران دارد. پوشش در معماری نه‌تنها عنصری کاربردی، بلکه عاملی مؤثر در شکل‌گیری کالبد بنا نیز به شمار می‌رود (معماریان، ۱۳۹۴: ۲۸). از سوی دیگر، شناخت ساختار و جزئیات اجرایی پوشش‌ها، نقش مهمی در حفاظت و باززنده‌سازی آثار تاریخی ایفا می‌کند. طاق‌های آهنگ از سوی پژوهشگرانی همچون گدار و پیرنیا در دسته‌بندی‌های مختلفی، از جمله تخت، سغ و ازگ، بررسی شده‌اند؛ درحالی‌که برخی دیگر، از جمله شوازی، تنها به پوشش‌های ازگ اشاره کرده و ایران را سرزمین پوشش‌های بدون قالب معرفی کرده‌اند. در این میان، بناهای آیینی، به‌ویژه آرامگاه‌های تدفینی، به دلیل نوع نگاه انسان باستان به مرگ، در به‌کارگیری فرم‌های طاقی جایگاهی ویژه داشته‌اند (نگهبان، ۱۳۷۲؛ کروچی، ۱۳۹۵: ۳۸). شواهدی از کاربرد طاق آهنگ و چفد در جنوب غرب ایران، به‌ویژه در خوزستان، دست‌کم از حدود ۱۵۰۰ سال پیش از میلاد باقی مانده است. طاق آهنگ که بر روی دو یا چند دیوار و به‌صورت یک‌طرفه اجرا می‌شود، به دلیل سادگی نسبی ساخت، از قابلیت فراگیری بالایی برخوردار بوده است. این سهولت اجرا می‌تواند دلیلی منطقی برای رواج زودهنگام آن در تاریخ معماری ایران باشد.

در نواحی مختلف استان خوزستان، به‌ویژه در مناطق دشت و جلگه‌ای، طاق‌های آهنگ با مصالح خشتی و آجری و در اشکال هندسی گوناگون، از جمله مربع، مستطیل و ذوزنقه، ساخته شده‌اند. این طاق‌ها در سیر تاریخی خود، از نظر شیوه‌های اجرا، شکل مصالح و تناسبات سازه‌ای، مانند دهانه و خیز، دستخوش تغییر و تکامل شده‌اند. در گستره معماری باستانی خوزستان، طاق‌های آهنگ ذوزنقه‌ای‌شکل، به‌ویژه در دوره عیلام، از ویژگی‌های فنی شاخص به شمار می‌روند. با وجود اهمیت تاریخی این شیوه، ساخت طاق با آجرهای ذوزنقه‌ای کمتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته و ویژگی‌های سازه‌ای و ساختاری آن تاکنون به‌صورت جامع و نظام‌مند تحلیل نشده است.

در شرایطی که تخریب تدریجی بناها، ناپیوستگی داده‌های میدانی و مرمت‌های ناآگاهانه موجب از میان رفتن یا تحریف برخی شواهد سازه‌ای شده‌اند، شناخت ویژگی‌های فنی این نوع طاق‌ها نه‌تنها به بازخوانی دقیق‌تر سنت‌های معماری بومی کمک می‌کند، بلکه می‌تواند در تحلیل اصالت کالبدی بنا و ارتقای دانش حفاظت و مرمت در ایران نیز مؤثر باشد. یکی از موضوعاتی که تاکنون به‌طور نظام‌مند بررسی نشده، چگونگی چینش آجرهای ذوزنقه‌ای در طاق‌های آهنگ عیلامی است؛ مصالحی که به نظر می‌رسد با تغییر زاویه چینش و انطباق هندسی با انحنای قوس، امکان اجرای طاق‌های ضربی را بدون نیاز به قالب فراهم می‌کرده‌اند. در این میان، محوطه باستانی شوش، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین کانون‌های معماری تدفینی عیلامی، بیشترین تعداد آرامگاه‌های طاقدار را در خود جای داده است. به‌ویژه در کاوش‌های دومکنوم و گیرشمن، شواهد تصویری و توصیفی قابل‌توجهی از این نوع معماری ارائه شده است.

پژوهش حاضر با تمرکز بر آرامگاه‌های طاقدار زیرزمینی دوره عیلام در شوش، می‌کوشد ویژگی‌های چینش طاق‌های آهنگ خشتی ـ آجری با مصالح ذوزنقه‌ای‌شکل را تحلیل کند و به این پرسش‌های بنیادین پاسخ دهد: چگونه استفاده از آجرهای ذوزنقه‌ای در طاق‌های آهنگ عیلامی، در کنار تناسبات ابعادی دهانه و ارتفاع قوس، بر سهولت اجرای طاق ضربی و حذف قالب تأثیرگذار بوده است؟ ویژگی‌های چینش طاق‌های آهنگ خشتی ـ آجری با مصالح ذوزنقه‌ای‌شکل در آرامگاه‌های دوره عیلام در شوش باستان کدام‌اند؟ بر این اساس، پژوهش حاضر با رویکرد تاریخی ـ تفسیری، بهره‌گیری از داده‌های کتابخانه‌ای و میدانی و استفاده از روش تطبیقی، تلاش دارد با تحلیل الگوهای چینش مصالح، به تبیین دقیق‌تری از فنون ساخت و منطق سازه‌ای معماری عیلامی دست یابد.

۲. پیشینه پژوهش

به‌طور کلی، پیشینه مطالعات انجام‌شده دربارهٔ آرامگاه‌های طاقدار را می‌توان در سه دسته اصلی طبقه‌بندی کرد: نخست، پژوهش‌های مربوط به پیشینه و شیوه‌های چینش طاق آهنگ؛ دوم، پژوهش‌های مربوط به آرامگاه‌های طاقدار خوزستان در دوران عیلام؛ و سوم، مطالعات مربوط به اجرای طاق آهنگ با آجرهای منحنی و ذوزنقه‌ای‌شکل. در ادامه، به این دسته‌ها پرداخته می‌شود.

در بررسی پیشینهٔ طاق آهنگ در معماری پیش از اسلام ایران، اندیشمندان متعددی ساختار و فنون اجرای آن را تحلیل کرده‌اند. طاق آهنگ، که با نام‌های طاق گهواره‌ای و لوله‌ای نیز شناخته می‌شود، ساده‌ترین نوع طاق ایرانی است. این طاق در واقع امتداد یک نوع چفد در راستایی معین است و آهنگ نیز نام دیگر آن به شمار می‌رود (پیرنیا، ۱۳۷۳: ۵۸). از دیدگاه هندسهٔ عملی، طاق آهنگ از پوشاندن یک سطح با ایجاد دو دیوار در دو سوی آن، با یا بدون استفاده از دیوار پشت‌بند، به‌صورت فرمی نیم‌استوانه‌ای در بخش میانی یا در تمام طول بنا ساخته می‌شود (ولی‌بیگ، ۱۳۹۱: ۱۵). در میان معماران سنتی خوزستان این نوع طاق "پی‌کو" یا "پیکو" دورانتاش معرفی کرده است (پیرنیا، ۱۳۷۳: ۹، ۴۸). وی همچنین به طاق ضربی به‌عنوان نوعی مختص ایران اشاره می‌کند. در قرن نوزدهم، پژوهشگرانی چون شوازی (۱۳۹۴/۱۸۹۹) و مارسل دیولافوا (۱۸۵۵) به تحلیل تاریخی و فنی طاق‌ها پرداختند. دیولافوا احتمال داده است که طاق‌های خوزستان با استفاده از دسته‌های نی ساخته شده باشند. در قرن

[1] نامیده می‌شود. پیرنیا (۱۳۷۳) و گدار (۱۳۶۹) شیوه‌های چینش طاق آهنگ را در قالب دسته‌بندی‌هایی شامل چینش کوربل، ضربی یا پُر، رومی یا عیلامی، چپیله و ترکیب رومی ـ ضربی بررسی کرده‌اند.

پیرنیا قدمت این طاق‌ها را به ۳۵۰۰ سال پیش نسبت داده و نمونه‌هایی از طاق‌های مازه‌دار و جناغی را در معبد چغازنبیل و آرامگاه‌های بیرون شهر

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.109]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:40 +0330 on Sunday November 15th 2026

بیستم نیز آندره گدار (۱۳۶۹)، پیرنیا (۱۳۷۳، ۱۳۸۷) و معماریان (۱۳۶۷، ۱۳۹۴) به بررسی روش‌های اجرای طاق پرداختند. معماریان، با استناد به پیرنیا، قدمت اجرای طاق آهنگ در خوزستان را با توجه به آرامگاه تبتی آهار، به حدود ۱۲۷۰ ق.م.، معادل ۳۲۷۰ سال پیش، نسبت می‌دهد (معماریان، ۱۳۹۴: ۱۱۲ـ۱۱۳). ابوالقاسمی به چهار روش رومی، ضربی، چپیله و ترکیبی اشاره کرده، اما منشأ تاریخی آن‌ها را مشخص نکرده است. گدار (۱۳۶۹) صرفاً به دو شیوهٔ ضربی و رومی اشاره دارد و گیرشمن (۱۳۷۵) نیز شیوه‌های چینش عمودی متمایل (ضربی) و افقی دورچین (رومی) را در آثار شوش و چغازنبیل معرفی کرده است.

پژوهش‌های جدیدتر، از جمله آثار خزائلی و مترجم (۱۴۰۰، ۱۴۰۲)، توجه بیشتری به هندسهٔ مصالح، نقش آجرهای ذوزنقه‌ای و روش‌های دقیق‌تر چینش، مانند تویزه‌های رومی، ضربی و چپیله، داشته‌اند. تهرانی (۱۳۷۱: ۳۵) نیز یادآور می‌شود که درک هندسهٔ سقف‌های سنتی بدون شناخت مهارت‌های اجرایی آجرچینی ممکن نیست و تفاوت‌های هندسی این طاق‌ها از روش‌های متفاوت آجرچینی ناشی می‌شود. در میان پژوهش‌های متأخر، مطالعات زارعی و همکاران (۱۴۰۳، ۱۴۰۴) از معدود پژوهش‌هایی هستند که به‌طور تخصصی و با رویکردی فنی، آرامگاه‌های طاقدار پیش از اسلام خوزستان را بررسی کرده‌اند. زارعی و همکاران (۱۴۰۳)، ضمن تحلیل فنون ساخت و تمهیدات پایداری این آرامگاه‌ها، جزئیات مربوط به شیوه‌های اجرای طاق آهنگ، نحوهٔ چینش مصالح و نقش آجرهای ذوزنقه‌ای در ساخت طاق‌ها را بررسی کرده‌اند. همچنین، در پژوهشی دیگر، آرامگاه‌های دوره‌های عیلامی و الیمایی از منظر فناوری ساخت، ویژگی‌های معماری و شیوه‌های اجرای طاق به‌صورت متمرکز مطالعه شده‌اند (زارعی و همکاران، ۱۴۰۴). این پژوهش‌ها از جمله جامع‌ترین مطالعات اخیر در زمینهٔ بررسی ابعاد فنی آرامگاه‌های طاقدار خوزستان محسوب می‌شوند و بخشی از خلأ موجود در شناخت فناوری ساخت این بناها را پوشش داده‌اند.

در حوزهٔ مطالعات باستان‌شناسی پیش از اسلام در خوزستان، به‌ویژه دربارهٔ آرامگاه‌های دوره‌های عیلامی، اشکانی، الیمایی و ساسانی، پژوهش‌های متعددی انجام شده است. بسیاری از این مطالعات بر پایه گزارش‌های کاوشگران اولیه همچون گیرشمن، دومورگان[۲] و دومکنوم شکل گرفته که حفاری‌های گسترده‌ای در این منطقه به‌ویژه در شوش انجام داده‌اند. همچنین، پژوهشگرانی چون نگهبان (۱۳۷۲) در هفت‌تپه، رهبر (۱۳۷۳)، گنجوی، و مارسل دیولافوا (۱۸۸۵) نیز به بررسی این حوزه پرداخته‌اند. دیولافوا، از جمله، به ایوان کرخه و طاق‌های تویزه‌ای آن اشاره کرده است. فرشاد (۱۳۶۲: ۲۹۹ـ۳۰۰) نیز تحلیل‌های فنی دربارهٔ این نوع سازه‌ها ارائه داده است. برخی دیگر از پژوهش‌ها، مانند آثار کوثری (۱۳۷۳)، مفیدی نصرآبادی و زلقی (۲۰۱۸)، بر پایهٔ تحلیل آرامگاه‌های در دسترس یا بازنگری داده‌های پیشین انجام شده‌اند. زلقی در پژوهش خود در تپه ۴۹۷ شوش، به طبقه‌بندی دوره‌ای پرداخته، اما به فنون ساخت یا شیوهٔ چینش آجرها اشاره‌ای نکرده است. همچنین، دومورگان (۱۹۰۰) تنها به ذکر ابعاد آجرها و ارائهٔ تصویری ساده از یک آرامگاه با چینش رومی و ضربی بسنده کرده است. دیگر منابع مهم شامل گزارش‌های فرانسوی از جمله دافی[۳] (۱۹۷۴، ۱۹۸۱)، دمکنوم (۱۹۴۲–۱۹۴۷)، و گیرشمن (۱۹۶۸، ۱۹۷۱) هستند که اطلاعات ارزشمندی اما بدون جزئیات کافی درباره آرامگاه‌های طاقدار ارائه داده‌اند. در میان پژوهش‌های جدید، مقالهٔ حسینی و همکاران (۲۰۲۰) به تحلیل نرم‌افزاری و سازه‌ای پنج آرامگاه چغازنبیل پرداخته است. همچنین، دالایی (Dallai, 2020) روش‌های چینش طاق‌های ضربی و رومی را در آرامگاه‌های شوش، هفت‌تپه و چغازنبیل بررسی کرده است. آلوارز-مون (Álvarez-Mon, 2020) نیز معماری دورهٔ عیلام را به تفصیل مطالعه کرده است.

در دسته سوم، پژوهش‌های مربوط به اجرای طاق آهنگ با آجرهای منحنی و ذوزنقه‌ای‌شکل قرار می‌گیرند. به‌طور کلی، در ساخت بناهای دارای طاق گهواره‌ای در دوران باستان، در مناطقی چون بین‌النهرین، مصر، روم و ایران، از مصالح خشتی و آجری با اشکال هندسی مربع، مستطیل، ذوزنقه، منحنی و برخی اشکال خاص دیگر استفاده شده است و پیشینهٔ کاربرد این مصالح به چند هزار سال پیش می‌رسد (Dalai, 2018: 154). در ایران، نمونه‌هایی از کاربرد مصالح خشتی منحنی‌شکل در ساخت طاق آهنگ در قومسِ دورهٔ اشکانی (Stronach, 1967؛ محمدی‌فر، ۱۳۹۳)، تپهٔ نوشیجان در دورهٔ مادها (ملازاده، ۱۳۹۰، ۱۳۹۱) و دهانهٔ غلامان گزارش شده‌اند (Van Beek, 1987: 96–103).

دالایی (Dalai, 2018) دسته‌بندی جامعی از طاق‌های خاور نزدیک باستان ارائه کرده است. بر این اساس، در خاور نزدیک از طاق‌هایی با آجرهای گوه‌ای‌شکل[۴] و ذوزنقه‌ای‌شکل استفاده شده است. مصالح مورد استفاده در اجرای طاق‌های ضربی خاور نزدیک باستان را می‌توان از نظر شکل به چهار گروه مربع، مستطیل، گوه‌ای و منحنی‌شکل تقسیم کرد. به گفتهٔ دومورگان، «متداول‌ترین آجرهای عیلامی مربع هستند، اما آجرهای نیمه و ربع را نیز می‌یابیم که همگی دارای ابعادی متناسب با آجرهای مربع کامل هستند. بسته به دورهٔ تاریخی، ابعاد مصالح در ساخت‌وسازهای سوزیانا متفاوت بود. در دورهٔ عیلامی، آجرها ابعاد بسیار بزرگ و ضخامت زیادی داشتند؛ ازاین‌رو، امکان برش منظم آن‌ها وجود نداشت و مصالح را به‌طور خاص و متناسب با کاربرد موردنظر قالب‌گیری می‌کردند» (De Morgan, 1900: 197). استفاده از آجرهای مربع، مستطیل و ذوزنقه‌ای‌شکل، که شکل‌دهی آن‌ها در بخش ضخامت آجر صورت می‌گرفت، در ساخت طاق‌های عیلامی نیز متداول بوده است. استحکام بیشتر طاق از جمله دلایل کاربرد آجرهای ذوزنقه‌ای‌شکل دانسته شده است (طالبیان و فدایی، ۱۳۹۷: ۳۵).

گیرشمن نیز آجرهای به‌کاررفته در سقف آرامگاه‌های چغازنبیل را آجرهایی می‌داند که به‌طور ویژه برای این منظور قالب‌گیری شده‌اند. در شوشِ هزارهٔ دوم پیش از میلاد نیز فن خاصی برای پوشش سقف دخمه‌های تدفینی با آجر وجود داشته است. این روش شامل اجرای پوشش سقف به شیوهٔ ضربی بود؛ به‌گونه‌ای که آجرهای بخش نخست به‌صورت مایل بر روی

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.109]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:40 +0330 on Sunday November 15th 2026

دیوار انتهایی قرار می‌گرفتند (Dalai, 2013: 210؛ گیرشمن، ۱۳۷۵: ۸۷) و آجرهای ذوزنقه‌ای‌شکل نیز در اجرای این شیوهٔ چینش کاربرد داشتند. در این نوع اجرا، آجر یا خشت عمود بر مقطع آجرهای دیوارهای پاکار قرار می‌گیرد (ولی‌بیگ، ۱۳۹۱: ۶۹) و از روبه‌رو، سطح کامل آن، یعنی کف آجر، دیده می‌شود؛ درحالی‌که از زیر، در مقطع افقی، به‌صورت نَره نمایان است (پیرنیا، ۱۳۷۳: ۴۸). در این شیوه، سطح تماس کف آجر با صفحات عمودی به حداکثر می‌رسد. همان‌طور که بیان شد، شکل هندسی مصالح یکی از عوامل مؤثر در نحوهٔ چینش و مقاومت طاق است. همچنین، شکل هندسی مصالح و نحوهٔ اتصال اجزای آن‌ها به یکدیگر بر میزان اصطکاک لغزشی میان اجزای طاق تأثیر می‌گذارد؛ ازاین‌رو، شکل ذوزنقه‌ای می‌تواند از نظر سازه‌ای، شکل مناسبی برای این منظور باشد (خزائلی و مترجم، ۱۴۰۲: ۷۹).

استان خوزستان یکی از مناطق پیشرو در توسعهٔ معماری ایران باستان بوده است (Ghirshman & Stève, 1966: 4) و بناها و آرامگاه‌های طاقدار متعددی با تنوع در نوع چینش، هندسهٔ مصالح و زاویهٔ قرارگیری آن‌ها در این منطقه شناسایی شده‌اند. طاق‌های آرامگاه‌های شوش در دورهٔ عیلامی، از نظر شکل هندسی آجرها، ویژگی‌های خاصی دارند که در دیگر نقاط خوزستان مشاهده نشده‌اند (Álvarez-Mon, 2020: 260) و در ادامه به آن‌ها پرداخته خواهد شد. بااین‌حال، تاکنون فن ساخت و نحوهٔ چینش مصالح در طاق‌های عیلامی شوش کمتر به‌صورت دقیق تحلیل شده است. در پژوهش حاضر، ابتدا نمونه‌های قابل‌دسترس آرامگاه‌های دارای طاق آهنگ که به‌طور مشخص با مصالح ذوزنقه‌ای‌شکل ساخته شده‌اند، مستندنگاری می‌شوند. سپس، چگونگی ساخت، ابعاد و ویژگی‌های مصالح، ابعاد اجزای مؤثر در ساخت طاق، نظیر دهانه و افراز، و دیگر عوامل تأثیرگذار بر پایداری آن بررسی خواهند شد. در این بررسی، نقش فن ساخت و نحوهٔ قرارگیری اجزایی مانند مصالح و قطعات گاز نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. همچنین، برای نخستین بار، ترسیمات دقیق دوبعدی و سه‌بعدی با هدف درک بهتر ویژگی‌های ساختاری طاق‌ها و نشان‌دادن اهمیت مستندنگاری دقیق آن‌ها ارائه خواهد شد.

۳. مواد و روش‌ها

پژوهش پیش‌رو از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت، کیفی ـ کمی است. این پژوهش بر اساس پرسش اصلی تحقیق (کی‌بین، ۱۳۷۸: ۱۷) و با تکیه بر رویکرد تاریخی ـ تفسیری (عینی‌فر، ۱۳۹۶: ۱۳۷؛ معماریان، ۱۳۹۳) و بهره‌گیری از مطالعات کتابخانه‌ای، بررسی گزارش‌های باستان‌شناسی، مستندات معماری و داده‌های حاصل از نمونه‌های مورد مطالعه انجام شده است. در این راستا، شواهد موجود گردآوری، طبقه‌بندی و تحلیل شده و با استفاده از روش تطبیقی، ویژگی‌های کالبدی، ساختاری و اجرایی آرامگاه‌های طاقدار دورهٔ عیلامی بررسی شده است. هدف از این فرایند، شناخت و تبیین فنون ساخت، شیوه‌های اجرای طاق، ویژگی‌های معماری و عوامل مؤثر در شکل‌گیری و توسعهٔ این‌گونه فضاهای تدفینی در خوزستان است.

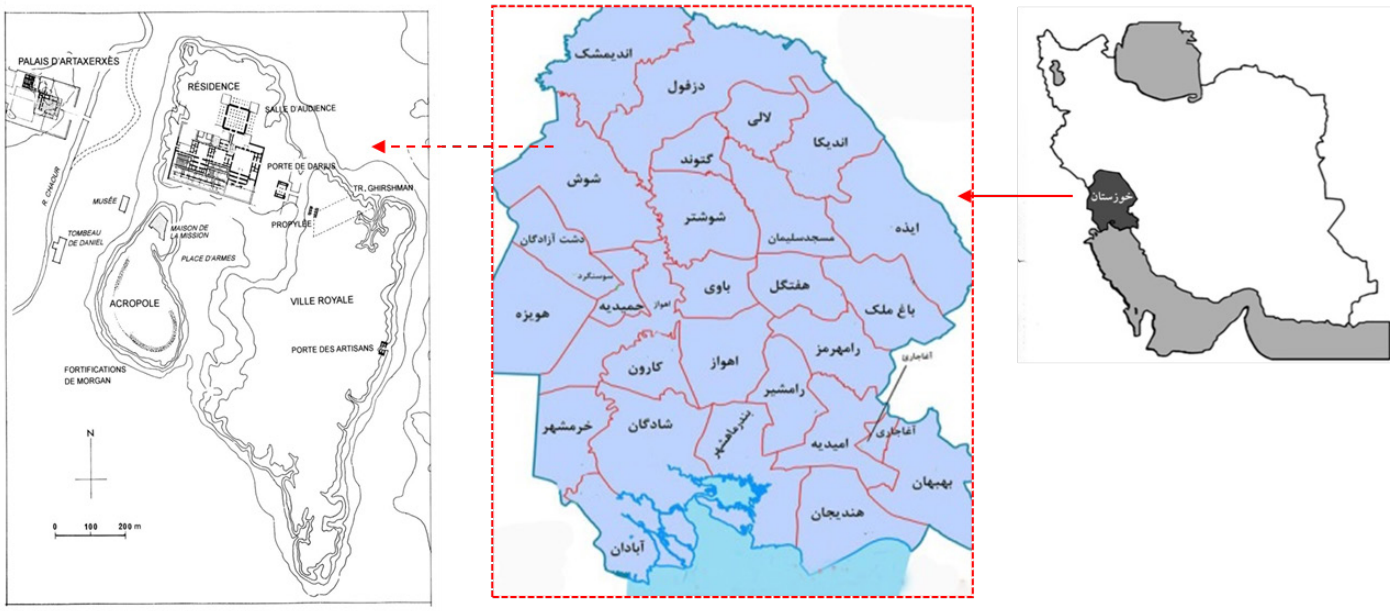
ازآنجاکه بناهای مذهبی، به‌ویژه آرامگاه‌های تدفینی، به دلیل نگرش خاص انسان باستان به مرگ، از ویژگی‌های خاصی در شیوهٔ ساخت و به‌کارگیری فرم‌های طاقی با هدف افزایش ماندگاری بنا برخوردار بوده‌اند، جامعهٔ آماری پژوهش شامل گزیده‌ای از آرامگاه‌های طاقدار عیلامی و الیمایی استان خوزستان است که اطلاعات میدانی یا کتابخانه‌ای، از جمله پیشینه و نقشه‌های بنا (پلان، نما و برش)، دربارهٔ آن‌ها در دسترس بوده است. بر این اساس، ۱۵ آرامگاه، شامل ۱۰ نمونه از کاوش‌های دومکنوم و پنج نمونه از گزارش‌های گیرشمن، بر پایهٔ داده‌های گزارش‌های کاوش و بررسی‌های میدانی انتخاب شدند. معیارهای انتخاب نمونه‌ها عبارت بودند از برخورداری از طاق‌های آهنگ خشتی یا آجری متعلق به دورهٔ عیلام و استفاده از مصالح با شکل هندسی ذوزنقه‌ای. سپس، به‌منظور تدقیق و بازیابی ابعاد و جزئیات اندازه‌های ارائه‌شده در این گزارش‌ها، نقشه‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای اتوکد ۲۰۱۲ و اسکچ‌آپ مجدداً بررسی و بازترسیم شدند و ترسیمات دوبعدی و سه‌بعدی آن‌ها تهیه شد. همچنین، تصاویر قدیمی ثبت‌شده بازخوانی و داده‌های حاصل از آن‌ها تحلیل شدند.

٤. جلگه خوزستان و محوطه تاریخی شوش

استان خوزستان در جنوب‌غربی ایران واقع شده است (شکل ۱) و از گذشته‌های دور، یکی از دشت‌های مهم و حاصلخیز باستانی به شمار می‌رفته است. این منطقه که در دنیای باستان به سوزیانا معروف بود (ارفعی، ۱۳۸۷: ۱۷؛ سرفراز، ۱۳۸۹؛ ملک‌زاده، ۱۳۷۳)، به‌ویژه دشت خوزستان و شهر شوش، محل استقرار تمدن‌های اولیه، از جمله تمدن عیلام، بوده است. پیدایش حکومت‌های اولیه در جنوب‌غرب ایران به نیاکان اقوام پیش‌عیلامی (حدود ۳۱۰۰ ق.م.) نسبت داده می‌شود (ملک‌زاده، ۱۳۷۳). این روند در سه دوره عیلام کهن (۲۷۰۰ تا ۱۵۰۰ ق.م.)، عیلام میانه (حدود ۱۴۵۰ تا ۱۱۰۰ ق.م.) و عیلام نو (از ۸۱۴ ق.م. تا دورهٔ هخامنشی) تداوم یافت (گروه نویسندگان، اطلس تاریخ ایران، ۱۳۸۷؛ ملک‌زاده، ۱۳۷۳؛ سرفراز، ۱۳۸۹؛ رهبر، ۱۳۷۳).

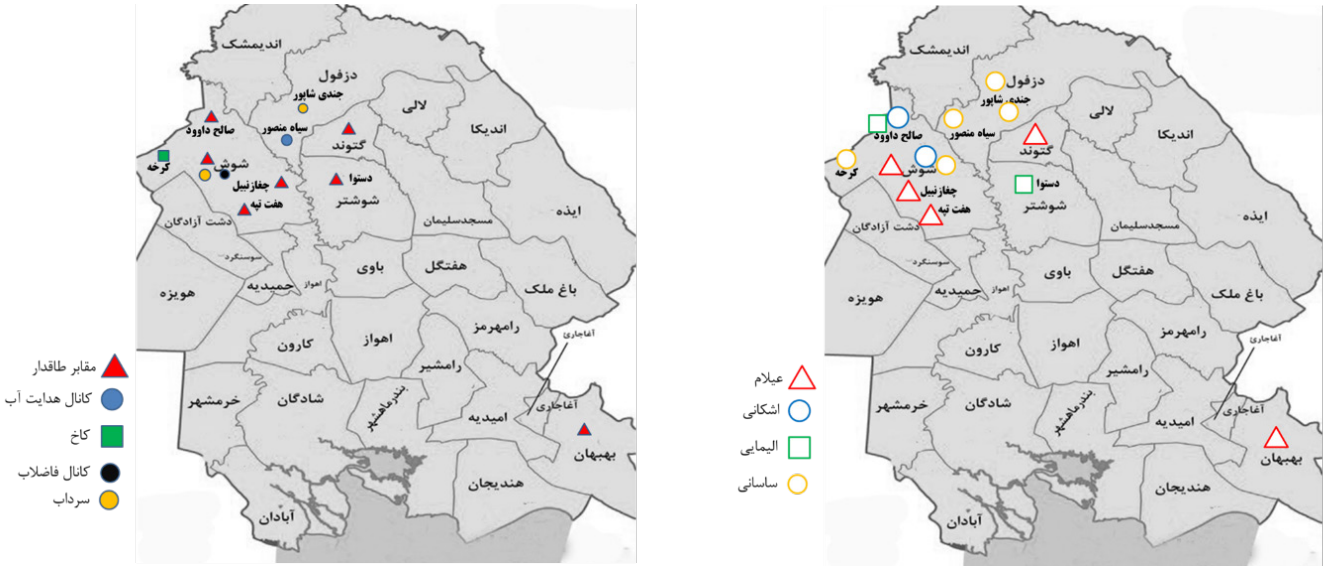
مرکز حکومت عیلامیان در دشت خوزستان و به‌ویژه محوطهٔ باستانی شوش قرار داشت. اهمیت تاریخی و تداوم فرهنگی این محوطه، آن را از دیگر محوطه‌های باستانی ایران متمایز می‌سازد (کابلی، ۱۳۷۳: ۱۲۱). محوطهٔ باستانی شوش به‌دست باستان‌شناسان فرانسوی به چهار بخش تقسیم شده است: ارگ (تپهٔ جنوب‌غربی)، آپادانا (تپهٔ شمالی)، شهر شاهی (در شرق دو تپهٔ پیشین) و شهر پیشه‌وران (در شرق و شمال مجموعه). تداوم استقرار و حضور تمدن در این ناحیه، بیانگر جایگاه ویژهٔ آن در شکل‌گیری تمدن ایران باستان است (شکل‌های ۱ و ۲).

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.109]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:40 +0330 on Sunday November 15th 2026



شکل ۱. راست و وسط: موقعیت جغرافیایی خوزستان در ایران و شهرستان‌های خوزستان. (iraniju.ir, n.d.)، چپ: محوطه باستانی شوش و موقعیت تپه‌های باستانی آن (Achaemenet – International Project on Achaemenid Studies, n.d.).

Figure 1. Right and center: Geographic location of Khuzestan Province within Iran and its administrative counties (iraniju.ir, n.d.). Left: The archaeological site of Susa and the location of its principal archaeological mounds (Achaemenet – International Project on Achaemenid Studies, n.d.).



شکل۲. راست: نقشه پراکندگی آثار طاقدار خشتی– آجری بررسی شده خوزستان بر اساس دوره تاریخی– چپ: نقشه پراکندگی آثار طاقدار خشتی– آجری بررسی شده خوزستان بر اساس نوع کاربری اثر.

Figure 2. Right:Distribution map of the investigated mudbrick- and brick-vaulted structures in Khuzestan according to historical period. Left: Distribution map of the investigated mudbrick- and brick-vaulted structures according to building function.

همان‌گونه که در ابتدای مقاله نیز بیان گردید، با توجه به اینکه بخش بسیاری از آرامگاه‌های طاقدار کاوش‌شده با مصالح آجری ذوزنقه‌ای‌شکل در محوطهٔ باستانی شوش در زمان دومکنوم و گیرشمن بوده است؛ لذا در ادامه به معرفی این نمونه‌ها پرداخته شده است (جدول ۱).

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.109]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:40 +0330 on Sunday November 15th 2026

جدول ۱. آرامگاه‌های طاقدار مورد مطالعه عیلامی در محوطهٔ شوش با مصالح ذوزنقه و ویژگی آن بر اساس داده‌های باستان‌شناسی دومکنوم در سال‌های (۱۹۱۴–۱۹۲۸).

Table 1. Elamite vaulted tombs at Susa constructed with trapezoidal bricks and their architectural characteristics based on the archaeological excavations of de Mecquenem (1914–1928).

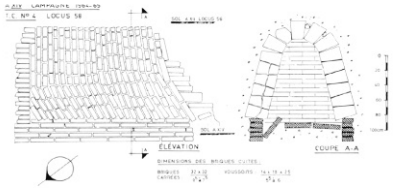
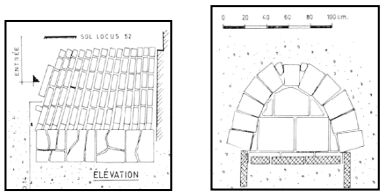
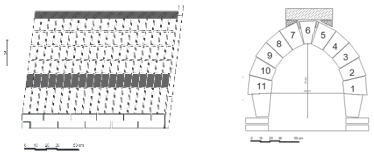
ردیف	نام بنا/تصویر	قدمت	موقعیت	شیوه چینش	ابعاد مصالح ذوزنقه‌ای			
					قاعده بزرگ	قاعده کوچک	ضلع مورب	ضخامت
۱	آرامگاه شماره ۱ (بدون تصویر)	عیلامی؛ بین قرن هشتم و هفتم پیش از میلاد (De Mecquenem, 1914)	شوش؛ گوشه شمال شرقی تراس بزرگ کاخ داریوش	ضربی شیب‌دار، متمایل به دیوار عقب؛ دارای دیواره زیر طاق روی زمین	–	–	–	–
۲	آرامگاه شماره ۲ (بدون تصویر)	عیلامی؛ بین قرن هشتم و هفتم پیش از میلاد (De Mecquenem, 1914)	شوش؛ گوشه شمال شرقی تراس بزرگ کاخ داریوش	ضربی شیب‌دار، متمایل به دیوار عقب؛ اجراشده روی کف‌سازی، بدون پایه‌های عمودی	–	–	–	–
۳	آرامگاه شماره ۳ (بدون تصویر)	اواخر دوره عیلامی؛ از قرن نهم تا هفتم پیش از میلاد (De Mecquenem, 1921: 2)	شوش؛ شهر سلطنتی (Ville Royale)	ضربی شیب‌دار، متمایل به دیوار عقب؛ دارای دیواره زیر طاق روی زمین	–	–	–	–
۴	آرامگاه شماره ۴ (بدون تصویر)	اواخر دوره عیلامی تا دوره نو بابلی؛ مربوط به کاوش‌های شرق کاخ آپادانا (De Mecquenem, 1923: 2, 5)	شوش؛ شرق کاخ آپادانا	ضربی شیب‌دار، متمایل به دیوار عقب	–	–	–	–
۵	آرامگاه شماره ۵ (بدون تصویر)	نو بابلی یا متعلق به دوره انحطاط عیلامی (De Mecquenem, 1921)	شوش؛ شهر سلطنتی (Ville Royale)	ضربی شیب‌دار، متمایل به دیوار عقب	–	–	–	–
۶	آرامگاه شماره ۶ 	عیلامی؛ جهت‌گیری شرقی ـ غربی (De Mecquenem, 1924)	شوش؛ شهر سلطنتی (Ville Royale)	ضربی شیب‌دار، متمایل به دیوار عقب	–	–	–	–
۷	آرامگاه شماره ۷ (بدون تصویر)	عیلامی (De Mecquenem, 1928)؛ جهت‌گیری جنوبی ـ شمالی	شوش؛ شهر سلطنتی (Ville Royale)	ضربی شیب‌دار، متمایل به دیوار عقب؛ اجراشده روی کف‌سازی، بدون پایه‌های مستقیم	۱۸	۱۳	۲۴	۷
۸	آرامگاه شماره ۸ (بدون تصویر)	عیلامی؛ جهت‌گیری شرقی ـ غربی (De Mecquenem ,1928)	شوش؛ شهر سلطنتی (Ville Royale)	ضربی شیب‌دار، متمایل به دیوار عقب؛ دارای دیواره زیر طاق روی زمین	۲۰	–	۳۵	–
۹	آرامگاه شماره ۹ (بدون تصویر)	عیلامی؛ جهت‌گیری ۶۶ درجه غربی نسبت به شمال (De Mecquenem ,1928)	شوش؛ شهر سلطنتی (Ville Royale)	ضربی شیب‌دار، متمایل به دیوار عقب	–	–	–	–
۱۰	آرامگاه شماره ۱۰ 	عیلامی؛ جهت‌گیری شرقی ـ غربی (De Mecquenem ,1928)	شوش؛ شهر سلطنتی (Ville Royale)	ضربی شیب‌دار، متمایل به دیوار عقب؛ دارای دیواره زیر طاق روی زمین	۲۰	۱۵	۲۰	۶

از سوی دیگر، بر اساس بررسی انجام‌شده، پنج آرامگاه دارای طاق‌های گهواره‌ای با مصالح ذوزنقه‌ای در کاوش‌های گیرشمن نیز گزارش و مستندنگاری شده است. گیرشمن در گزارش کاوش‌های شهر شاهی سال 1962-1963 شوش می‌گوید: «در خانه‌های شهر دوازدهم آرامگاه‌هایی را می‌یابیم که اغلب متعلق به طبقه یازدهم بودند (Ghirshman,1964:7) (جدول ۲).

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.109]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:40 +0330 on Sunday November 15th 2026

جدول ۲. آرامگاه‌های طاقدار با مصالح ذوزنقه شکل و ویژگی آن بر اساس داده‌های باستان‌شناسی گیرشمن در سال‌های (۱۹۶۸-۱۹۶۲).

Table 2. Vaulted tombs constructed with trapezoidal bricks and their architectural characteristics based on Ghirshman's excavations (1962–1968).

ردیف	تصویر	قدمت	موقیت	شیوه چینش	ابعاد مصالح			
					قاعده بزرگ	قاعده کوچک	یال مورب	ضخامت
۱۱	**آرامگاه شماره ۱**  (Ghirshman & Brinkman, 1968: 29)	سلسله عیلامی جدید-قرن نوزدهم ق.م (Ghirshman & Brinkman, 1968: 4)	شوش- شهر سلطنتی	ضربی	-	-	-	-
۱۲	**آرامگاه شماره ۲**  (Ghirshman & Steve, 1964, 1965: 25)	بزنوال، ۱۳۸۵: ۱۴۸: نیمه دوم قرن ۱۸ ق.م گیرشمن: عیلامی (Ghirshman & Steve, 1964, 1965: 4-9)	شوش- شهر سلطنتی Ville Royale	ضربی شیب دار متمایل به دیوار عقب	۱۹	۱۴	۲۵	۶-۵
۱۳	**آرامگاه شماره ۳**  (Ghirshman, 1963-64:17)	سطح سیزدهم عیلام (گیرشمن، ۱۹۶۳-۶۴ : ۳) به گفته پیر دی میروشجی سطح سیزدهم مربوط به عیلام میانه است (Pierre de Miroschedji, 1981: 12)	شوش- شهر سلطنتی Ville Royale	ضربی شیب دار متمایل به دیوار عقب	-	-	-	-
۱۴	**آرامگاه شماره ٤**  (Ghirshman, 1963-64:17)	سطح سیزدهم عیلام (گیرشمن، ۱۹۶۳-۶۴ : ۳) به گفته پیر دی میروشچی سطح سیزدهم مربوط به عیلام میانه است (Pierre de Miroschedji, 1981:12)	شوش- شهر سلطنتی Ville Royale	ضربی شیب دار متمایل به دیوار عقب	۱۸	۱۳	۲۴	۵
۱۵	**آرامگاه شماره ۵**  نگارنده، ۱۴۰۳	عیلام	شوش	ضربی شیب دار متمایل به دیوار عقب	۱۸ ۲۰	۱۳ ۱۳	۲۴ ۲۴	۶ ۶

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.109]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:40 +0330 on Sunday November 15th 2026

۵. دانش فنون کاربرد مصالح در ساخت طاق آهنگ آرامگاه‌های عیلامی شوش باستان

بر اساس داده‌های باستان‌شناسی دومکنوم و گیرشمن

یکی از عناصر سازه‌ای بنا، پوشش‌ها هستند که از اجزای مختلفی تشکیل می‌شوند. نوع پیوند میان این اجزا، گونه‌های متفاوتی از چینش را پدید می‌آورد که ارتباط مستقیمی با ویژگی‌های سازه‌ای بنا دارد. اساساً تفاوت در هندسهٔ سقف‌ها ناشی از تفاوت در روش آجرچینی است (تهرانی، ۱۳۷۱: ۳۵) و این روش‌ها با ویژگی‌های معماری و تاریخ بنا ارتباط دارند. در این میان، ساختمان‌های مذهبی، نظیر آرامگاه‌ها، معمولاً با مصالح مرغوب‌تر و مهارت بیشتری نسبت به مساکن معمولی ساخته می‌شوند و ازاین‌رو، نمونه‌های پایدارتری از معماری گذشته را به دست می‌دهند (کروچی، ۱۳۹۵: ۳۸).

آرامگاه طاقدار زیرزمینی یکی از گونه‌های تدفین در فرهنگ عیلامی است. این نوع سازهٔ تدفینی در کاوش‌های اولیهٔ شوش، مربوط به آغاز دورهٔ عیلامی (شکری و نیکنامی، ۱۴۰۲: ۴۵)، هفت‌تپه و چغازنبیل و نیز در کاوش‌های سال‌های اخیر خوزستان شناسایی شده است (زلقی، ۲۰۱۸: ۲۷۷). بااین‌حال، آلوارزمون (۲۰۲۰)، با استناد به یافته‌های آکروپل شوش، پیشینهٔ این ساختارها را به حدود ۲۱۰۰ تا ۲۰۵۰ ق.م. می‌رساند و آن‌ها را در منطقهٔ بین‌النهرین بی‌نظیر می‌داند. این سازه‌ها ساختاری پیچیده دارند و ساخت آن‌ها، به‌ویژه اجرای سقف طاق، مستلزم برخورداری از دانش فنی خاصی است. طاق‌های این آرامگاه‌ها به شیوه‌های ضربی، رومی و کوربل اجرا شده‌اند (Dalai, 2018: 154). در این میان، عیلامیان در ساخت طاق مهارت بسیاری داشتند و طاق‌های گهواره‌ای عظیم و اتاق‌های متعددی در کاخ‌های شوش وجود داشته است (هیل و دیگران، ۱۹۹۰: ۷۲–۷۳) که برخی از این طاق‌ها بدون قالب اجرا شده‌اند.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از آرامگاه‌های طاقدار کاوش‌شده در محوطهٔ باستانی شوش، در زمان فعالیت‌های دومکنوم، دمورگان و گیرشمن کشف شده‌اند. دومکنوم که از سنت عیلامیان در تدفین مردگان در زیر کف اتاق‌ها آگاهی نداشت (عبدی، ۱۳۷۳: ۹۶)، در جریان حفاری‌های خود در شوش با شمار زیادی از قبور طاقی‌شکل مواجه شد که دارای طاق‌های گهواره‌ای با چینش کوربل، ضربی، رومی و ترکیبی بودند (De Mecquenem, 1908–1946). در تصاویر و گزارش‌های حفاری دومکنوم (۱۹۱۲–۱۹۳۹)، آرامگاه‌هایی با طاق آهنگ و مصالح ذوزنقه‌ای دیده می‌شود که آجرهای آن‌ها به شیوهٔ ضربی چیده شده‌اند. این آرامگاه‌ها عموماً، بر اساس نظر وی، به دورهٔ عیلام و اواخر این دوره تعلق دارند. گیرشمن نیز سرانجام در سال ۱۹۶۶، در عمق تقریبی ۱۵ متری از سطح تپهٔ شهر شاهی، به خاک بکر رسید و موفق شد بخش وسیعی از شهر عیلامی را آشکار سازد. این کاوش‌ها اطلاعات فراوانی دربارهٔ شهرسازی و زندگی شهری در شوش، از هزارهٔ سوم تا پایان هزارهٔ دوم پیش از میلاد، فراهم آوردند (عبدی، ۱۳۷۳: ۱۰۰).

با استناد به داده‌های میدانی حاصل از کاوش‌های باستان‌شناختی دومکنوم در شوش، می‌توان برخی ویژگی‌های مشترک آرامگاه‌های طاقدار دورهٔ عیلامی با مصالح خشتی و آجری ذوزنقه‌شکل را به شرح زیر برشمرد:

نخست، آجرهای به‌کاررفته در این طاق‌ها عمدتاً شکل ذوزنقه‌ای و ابعاد نسبتاً همسانی داشتند؛ به‌گونه‌ای که ضخامت آن‌ها عموماً بین ۶ تا ۷ سانتی‌متر، طول ضلع کوچک حدود ۱۳ تا ۱۵ سانتی‌متر، طول دو ضلع بلند بین ۲۴ تا ۲۵ سانتی‌متر و طول ضلع دیگر بین ۱۸ تا ۲۰ سانتی‌متر بوده است. دوم، در برخی نمونه‌ها، از جمله آرامگاه‌های شمارهٔ ۱، ۳، ۸، ۹ و ۱۰، طاق بر روی دیوارهای کوتاه عمودی در دو طرف اجرا شده است، درحالی‌که در نمونه‌های دیگر، از جمله آرامگاه‌های شمارهٔ ۲، ۴ و ۶، طاق بدون دیواره‌های جانبی و مستقیماً از سطح کف آغاز شده است. سوم، لایه‌های آجرچینی به سمت عقب متمایل‌اند؛ ویژگی‌ای که از مشخصه‌های مهم شیوهٔ اجرای طاق‌های ضربی به شمار می‌رود. نکتهٔ حائز اهمیت دیگر، مشاهده شیوهٔ چینش ترکیبی در آرامگاه‌های شمارهٔ ۴ و ۵ است. در این نمونه‌ها، بخش ابتدایی طاق به شیوهٔ رومی، مشابه نمونه‌های چغازنبیل، و ادامهٔ آن به شیوهٔ ضربی اجرا شده است. این ترکیب ساختاری که در منابع پیشین به آن اشاره نشده است، در باستان‌شناسی پیش از اسلام در خوزستان بی‌سابقه است (جدول ۳).

٦. بحث و تحلیل

در این بخش، ضمن تحلیل شکل هندسی مصالح و برخی جزئیات فن ساخت، الگوهای متنوع چینش آجرهای ذوزنقه‌ای و لایه‌های ضربی بررسی می‌شوند. همچنین، رابطهٔ میان دهانه، خیز و انحنای قوس و نقش دیوارهٔ زیر طاق در پایداری سازه‌ای طاق‌ها بررسی می‌شود. در نهایت، تمهیدات سازه‌ای به‌کاررفته برای تأمین پایداری این سازه‌ها تحلیل خواهند شد. این بررسی‌ها با هدف درک عمیق‌تر فنون ساخت و نوآوری‌های معماران عیلامی و بازشناسی ویژگی‌های متمایز معماری طاق‌سازی در این دوره انجام می‌شوند.

٦-١. تحلیل شکل هندسی مصالح در طاق آهنگ آرامگاه‌ها

بررسی هندسهٔ مصالح به‌کاررفته در ساخت طاق‌ها نشان می‌دهد که آجرهای مورد استفاده با شیوهٔ خاصی قالب‌گیری شده‌اند؛ به‌گونه‌ای که سطح فوقانی آن‌ها به شکل ذوزنقه‌ای درآمده است. این ویژگی، آجرهای مذکور را از آجرهای گوه‌ای‌شکلِ به‌کاررفته در چغازنبیل متمایز می‌سازد. در این نوع آجرها، قاعدهٔ کوچک بین ۱۳ تا ۱۵ سانتی‌متر و قاعدهٔ بزرگ حدود ۱۸ تا ۲۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شده است. طول ضلع مورب نیز در اغلب موارد بین ۲۴ تا ۲۵ سانتی‌متر و ضخامت آن‌ها معمولاً بین ۵ تا ۶ سانتی‌متر بوده است. تکرار این ابعاد در نمونه‌ها، حاکی از وجود شیوهٔ قالب‌گیری منسجم و یکسان در فرایند تولید آجرهاست (شکل‌های ۳ و ۴). در این آرامگاه‌ها، طاق‌ها به شیوهٔ ضربی و با لایه‌هایی متمایل به سمت دیوارهٔ پشتی اجرا شده‌اند. افزون بر این، دیواره‌های زیر طاق به دو صورت ساخته شده‌اند: عمودی با رج‌چینی افقی یا متمایل. آجرهای ذوزنقه‌ای بر اساس سطح کف آجرهای مربع‌شکل قالب‌گیری شده‌اند (شکل C۶)؛ به این صورت که بخش‌هایی مثلثی‌شکل از سطح آجر مربع حذف شده و

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.109]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:40 +0330 on Sunday November 15th 2026

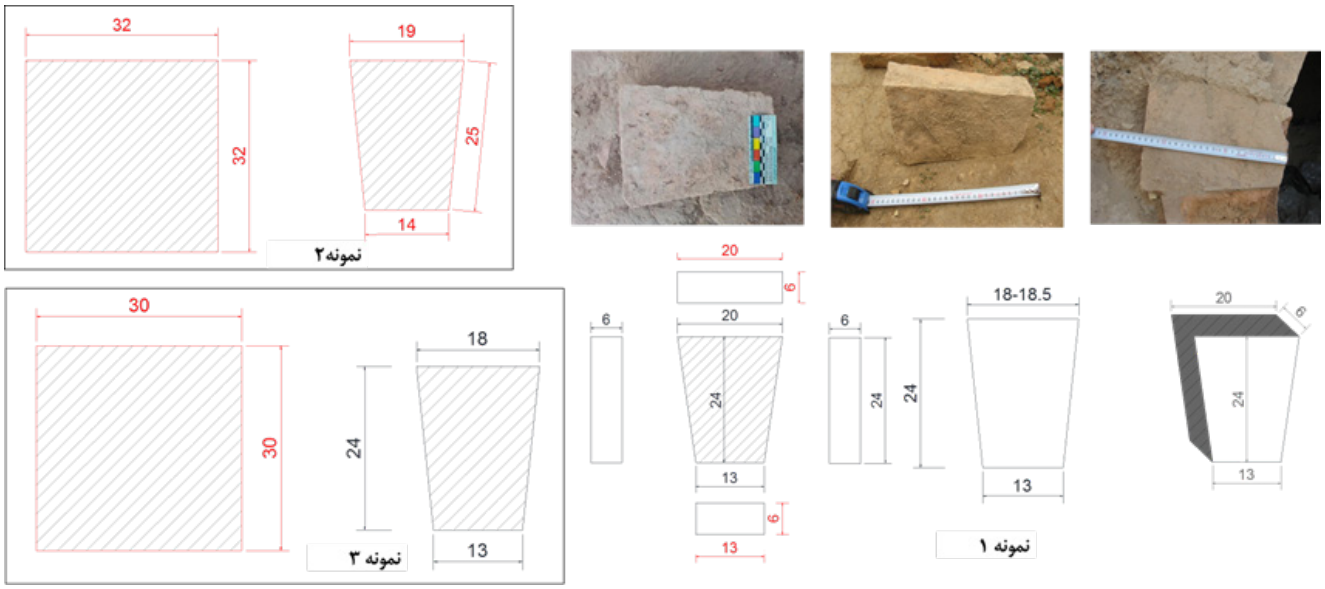
ضخامت آجر در تمام قسمت‌ها یکسان باقی مانده است. در مقابل، آجرهای گوه‌ای‌شکل که بیشتر در آرامگاه‌های چغازنبیل، بالای ناودان‌ها و ورودی معبد چغازنبیل به کار رفته‌اند، از ابتدا برای این منظور قالب‌گیری نشده‌اند (گیرشمن، ۱۳۷۳: ۸۶–۸۷). در ساخت این آجرها، بخش‌هایی از آجر برش خورده و بخشی از ضخامت آن، برخلاف آجرهای ذوزنقه‌ای، حذف شده و به شکل نوک‌تیز درآمده است؛ در نتیجه، آجر شکلی گوه‌مانند پیدا کرده است (شکل‌های A۴ و B۴). این آجرها در میان رج‌های بالایی طاق به‌منظور قفل‌شدن رج‌ها در کنار یکدیگر به کار رفته‌اند. به نظر می‌رسد این فن، افزون بر هدف یادشده، برای یکسان‌سازی میزان ملات میان آجرها و نیز هماهنگی بیشتر شکل آجرها با انحنای قوس طاق به کار گرفته شده باشد.

جدول۳. ویژگی‌های ساخت آرامگاه‌های طاقدار بررسی شده عیلامی شوش

Table 3. Constructional and architectural characteristics of the investigated vaulted tombs at Susa.

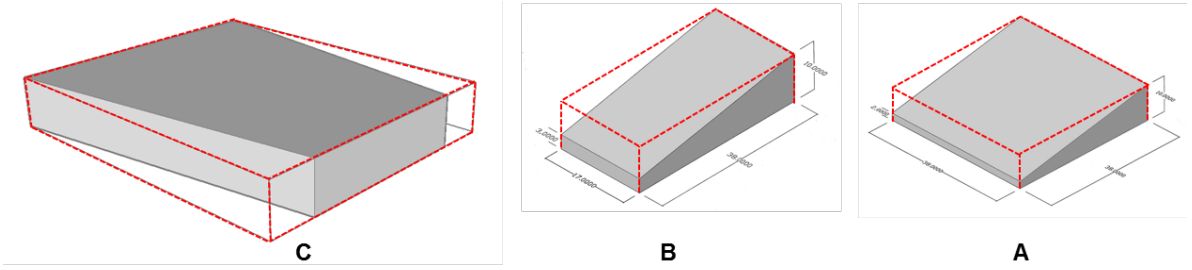
ردیف		نام	نسبت خیز به دهانه	نوع قوس آرامگاه	شیوه چینش	اجزای معماری آرامگاه طاقدار
۱	آرامگاه‌های عیلامی کاوش شده دومگنوم	آرامگاه شماره۱	–	–	ضربی شیب‌دار متمایل به دیوار عقب	ـدیوار عقب ـ دیواره زیر طاق روی زمین
۲		آرامگاه شماره ۱–۱	-	–	ضربی شیب‌دار متمایل به دیوار عقب	ـ روی کف سازی بدون پایه‌های عمود
۳		آرامگاه شماره ۲	بلندتر از دهانه	دارای دو بخش صاف و هلالی بالایی	ضربی شیب دار متمایل به دیوار عقب	ـ دارای دیواره زیر طاق
٤		آرامگاه شماره ۳	بلندتر از دهانه	دارای دو بخش صاف و هلالی بالایی	ضربی شیب دار با چینش ابتدایی کوربل متمایل به دیوار عقب	ـ دیوار عقب ـ دارای دیواره متمایل زیر طاق
٥		آرامگاه شماره ٤	بلندتر از دهانه	دو بخش صاف و هلالی بالایی	ضربی شیب دار با چینش ابتدایی کوربل متمایل به دیوار عقب	ـ دیوار عقب ـ دارای دیواره متمایل زیر طاق
٦		آرامگاه شماره ٥	بلندتر از دهانه	–	ضربی شیب‌دار متمایل به دیوار عقب	ـ دیوار عقب
۷		آرامگاه شماره٦	–	–	ضربی شیب‌دار متمایل به دیوار عقب	ـ دیوار عقب بدون پایه‌های مستقیم
۸		آرامگاه شماره ۷	–	–	ضربی شیب‌دار متمایل به دیوار عقب	ـ دیوار عقب ـ دارای دیواره زیر طاق روی زمین
۹		آرامگاه شماره ۸	–	–	ضربی شیب‌دار متمایل به دیوار عقب	ـ دیوار عقب
۱۰		آرامگاه شماره ۹	–	–	ضربی شیب‌دار متمایل به دیوار عقب	دارای دیواره زیر طاق روی زمین
۱۱	آرامگاه‌های عیلامی کاوش شده گیرشمن	آرامگاه شماره ۱۰	بلندتر از دهانه	دو بخش صاف و هلالی بالایی	ضربی	–
۱۲		آرامگاه شماره ۱۱	بلندتر از دهانه	دو بخش صاف و هلالی بالایی	ضربی شیب‌دار متمایل به دیوار عقب	ـ دیوار عقب ـ دارای دیواره زیر طاق روی زمین
۱۳		آرامگاه شماره ۱۲	بلندتر از دهانه	دو بخش صاف و هلالی بالایی	ضربی شیب‌دار متمایل به دیوار عقب	ـ دیوار عقب ـ دارای دیواره زیر طاق روی زمین
۱٤		آرامگاه شماره۱۳	بلندتر از دهانه	منحنی در دو بخش	ضربی شیب‌دار متمایل به دیوار عقب	ـ دیوار عقب ـ دارای دیواره زیر طاق روی زمین
۱٥		آرامگاه شماره ۱٤	بلندتر از دهانه	منحنی در دو بخش	ضربی شیب‌دار متمایل به دیوار عقب	ـ دیوار عقب ـ دارای دیواره عمودی و افقی زیر طاق روی زمین

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.109]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:40 +0330 on Sunday November 15th 2026



شکل ۳. ابعاد آجرهای ذوزنقه‌ای شکل آرامگاه‌های کاوش شده توسط گیرشمن در شوش. نمونه ۱: آرامگاه شماره ۵، نمونه ۲: آرامگاه شماره ۴، نمونه ۳: آرامگاه شماره ۲ .

Figure 3. Dimensions of trapezoidal bricks recovered from the tombs excavated by Ghirshman at Susa. Sample 1: Tomb No. 5; Sample 2: Tomb No. 4; Sample 3: Tomb No. 2.



شکل ٤. نحوه ایجاد شکل هندسی آجرهای گوه‌ای شکل در پوشش طاق‌های چغازنبیل (A,B) و آجرهای ذوزنقه‌ای شکل قالب گیری شده آرامگاه‌های شوش بر اساس هندسه آجرکامل.

Figure 4. Geometric formation of wedge-shaped bricks employed in the vaults of Chogha Zanbil (A, B) and mould-made trapezoidal bricks from the tombs of Susa based on the geometry of a complete rectangular brick.

٦-۲. الگوهای چینش آجرهای ذوزنقه‌ای در طاق آهنگ آرامگاه‌ها

بررسی نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که شیوهٔ قرارگیری آجرهای ابتدایی و ادامه رج‌های طاق در آرامگاه‌های دورهٔ عیلامی شوش را می‌توان عمدتاً در سه الگوی متفاوت دسته‌بندی کرد.

حالت نخست: در این الگو، از آجرهایی با شکل و اندازهٔ یکنواخت استفاده شده است که در ابتدای قوس، به‌صورت یکی‌درمیان چرخانده شده‌اند. این روش موجب ایجاد خطی مورب و کاملاً مستقیم در بخش آغازین قوس می‌شود که تا ارتفاع مشخصی فاقد انحناست و خیز بلندی ایجاد می‌کند. از نقطه‌ای مشخص به بعد، انحنای قوس آغاز می‌شود.

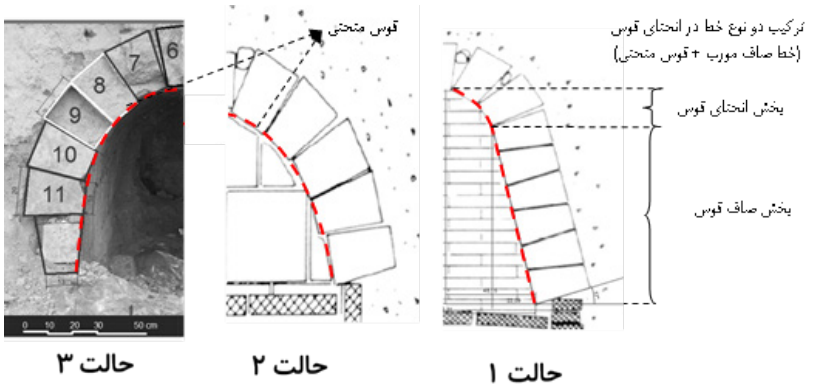
حالت دوم: در این شیوه، قوس با آجری با جهت‌گیری متفاوت آغاز می‌شود و از همان ابتدای پاطاق، انحنایی پیوسته و یکپارچه در امتداد قوس شکل می‌گیرد. بنابراین، قوس از ابتدا دارای خیز و انحناست.

حالت سوم: این الگو به حالت دوم شباهت دارد، با این تفاوت که در آن، دو نوع آجر ذوزنقه‌ای با ابعاد متفاوت به‌طور هم‌زمان به کار رفته‌اند. در این حالت نیز، استفاده از گاز در رأس قوس اهمیت دارد و برای تثبیت چینش آجرها به کار می‌رود (شکل ۵).

بنابراین، با بهره‌گیری از آجرهای ذوزنقه‌ای، اضلاع دو آجر مجاور در یک رج طاق می‌توانند کاملاً به یکدیگر بچسبند و پیوستگی کاملی ایجاد کنند. این امر نه‌تنها موجب افزایش استحکام ساختار طاق می‌شود، بلکه امکان اجرای طاق در دهانه‌های کوچک را نیز فراهم می‌کرده است؛ شرایطی که در آن، افزایش فاصلهٔ پشت مصالح می‌توانسته به کاهش پایداری سازه منجر شود.

از منظر سازه‌ای نیز، نحوهٔ چیدمان آجرها تأثیر مستقیمی بر شکل‌گیری و عملکرد نهایی طاق دارد. این نکته نشان می‌دهد که معماران سنتی از تأثیر الگوی چینش آجرها بر توزیع نیرو در سازهٔ طاق آگاهی داشته‌اند. هرچند شیوهٔ ضربی، به دلیل امتداد عمودی چینش آجرها نسبت به جهت نیرو، در برابر بارهای فشاری متمرکز بر تاج طاق مقاومت کمتری دارد، اما به سبب سادگی اجرا، کاهش هزینه‌ها و حذف نیاز به قالب، روشی کارآمد، مقرون‌به‌صرفه و سازگار با شرایط بومی معماری ایران تلقی می‌شده است (شکل ۵).

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.109]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:40 +0330 on Sunday November 15th 2026



شکل ۵. چگونگی اجرای طاق با آجرهای ذوزنقه و نوع قوس در آرامگاه‌های طاقدار شوش از پاطاق تا رأس.

Figure 5. Construction sequence of vaults built with trapezoidal bricks and the corresponding arch profile in the vaulted tombs of Susa, from the springing course to the crown.

نکتهٔ دیگرِ حائز اهمیت، شیب چینش آجرها در اجرای طاق است. در تمامی نمونه‌های مورد بررسی، آجرها به‌سمت دیوار انتهایی آرامگاه و به‌صورت لایه‌های ضربیِ مورب[5] چیده شده‌اند. هر آجر ذوزنقه‌ای‌شکل بر روی ضلع مورب بلندتر خود (c) به‌گونه‌ای قرار گرفته است که قاعدهٔ بزرگ‌تر آجر (a) در بخش بیرونی طاق (اکسترادوس) و قاعدهٔ کوچک‌تر آن (b) به‌سمت داخل طاق (اینترادوس) قرار می‌گیرد (شکل ۶). این شیوهٔ قرارگیری به سازندگان، اعم از ماهر و کم‌تجربه، امکان می‌داده است تا شکل هندسی قوس طاق را بر اساس هندسهٔ مصالح شکل دهند. در نتیجه، ایجاد زوایای بازشدگی میان مصالح، که در اجرای طاق با مصالح مربع و مستطیل معمول است، اهمیت کمتری داشته و این امر به سهولت و سرعت اجرای طاق به‌دست استادکار کمک می‌کرده است.

بر اساس بررسی انجام‌شده، در این شیوهٔ چینش، هر آجر از لبهٔ بالایی تا لبهٔ پایینی حدود ۶ تا ۷ سانتی‌متر نسبت به محور عمودی خود انحراف دارد و در تقریباً تمامی نمونه‌ها، میزان این شیب در همین محدوده قرار می‌گیرد. این شیوهٔ خاص در چیدمان دیوارهٔ زیر طاق و آغاز رج‌های ضربی، به استادکاران این دوره امکان می‌داده است تا طاق‌های گهواره‌ای را بدون نیاز به قالب اجرا کنند؛ روشی که می‌توان آن را نقطهٔ عطفی در تحول فن ساخت طاق‌های بدون قالب در معماری باستانی ایران دانست. این شیوه نقش مهمی در افزایش سرعت ساخت، به‌ویژه در سازه‌های تدفینی چون آرامگاه‌ها، ایفا می‌کرده است. ترکیب خلاقانهٔ دیواره‌های کوتاه عمودی یا متمایل با آغاز طاق ضربی از رج‌های مایلِ چسبیده به دیوارهٔ انتهایی، نمونه‌ای از طراحی سازه‌ای هدفمند و متناسب با امکانات و مصالح بومی در دورهٔ عیلام است که تاکنون کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

یکی از عوامل مؤثر در این امر، شکل هندسی مصالح است. از آنجا که تأثیر چیدمان آجر بر عملکرد سازه به شکل طاق بستگی دارد (حجازی، ۲۰۲۲: ۲۱)، بنایان و معماران در این دورهٔ پیشامدرن دریافته بودند که چیدمان سنگ‌ها یا آجرها در طاق بر توزیع نیروها تأثیر می‌گذارد. همان‌گونه که پیش‌تر نیز بیان شد، شکل هندسی مصالح و نحوهٔ اتصال اجزای آن‌ها به یکدیگر، بر میزان اصطکاک لغزشی میان اجزای طاق تأثیرگذار است. شکل هندسی ذوزنقه‌ای مصالح به‌عنوان الگویی بهینه مورد توجه بوده است؛ زیرا بیشترین میزان اتصال میان وجوه دو آجر مجاور را فراهم می‌کند و بیشترین ایستایی آجرها را، هم‌زمان با حذف قالب زیر طاق، امکان‌پذیر می‌سازد. همچنین، به‌دلیل قرارگیری شیب‌دار آجرها در حین اجرا و افزایش پایداری آن‌ها، سرعت کار افزایش می‌یافته و اجرای طاق نیز آسان‌تر می‌شده است (شکل‌های ۶، ۷ و ۸؛ جدول ۴).

۶-۳. جزئیات ساخت دیواره زیر طاق آهنگ آرامگاه‌ها

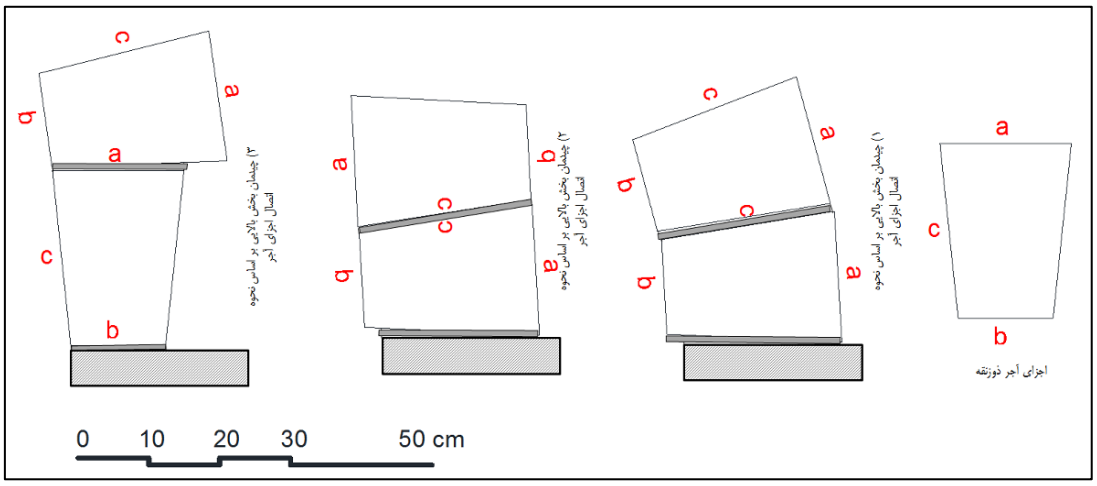
از دیگر ویژگی‌های شاخص در شیوهٔ چینش طاق‌های آهنگ در آرامگاه‌های دورهٔ عیلام، وجود دیواره‌ای کوتاه در زیر نخستین رج طاق است که در تمامی نمونه‌های مورد مطالعه به‌کار رفته و به سه شیوهٔ متمایز اجرا شده است.

در شیوهٔ نخست، دیواره به‌صورت کاملاً عمودی و با چند رج آجرچینی افقی در زیر آن ساخته شده است. در شیوهٔ دوم، که جالب توجه است، بر روی دیوار عمودی زیر طاق، ابتدا یک ردیف آجر ذوزنقه‌ای به‌صورت عمودی و با قرارگیری بر روی قاعدهٔ کوچک‌تر چیده شده و سپس اجرای لایه‌های ضربی طاق بر روی آن ادامه یافته است. این تمهید احتمالاً به‌منظور افزایش ارتفاع و خیز قوس طاق به‌کار رفته است. نکتهٔ درخور توجه آن‌که نمونه‌ای مشابه از این شیوه در آرامگاه‌های دورهٔ اشکانی شوش نیز دیده می‌شود که به نظر می‌رسد ریشه و منشأ آن به دورهٔ عیلام بازمی‌گردد.

در شیوهٔ سوم، دیواره با رج‌های افقی و موازی با سطح افق اجرا شده است؛ درحالی‌که در شیوهٔ چهارم، رج‌های آجرچینی به‌صورت مورب و با شیب نسبت به سطح افق قرار گرفته‌اند. الگویی که شکل تکامل‌یافتهٔ آن در آرامگاه‌های دورهٔ عیلام میانه، به‌ویژه در چغازنبیل، قابل مشاهده است. نکتهٔ قابل‌توجه آن‌که این دیواره‌های زیر طاق، بدون هیچ‌گونه زیرسازی و مستقیماً بر روی خاک طبیعی احداث شده‌اند (شکل ۹).

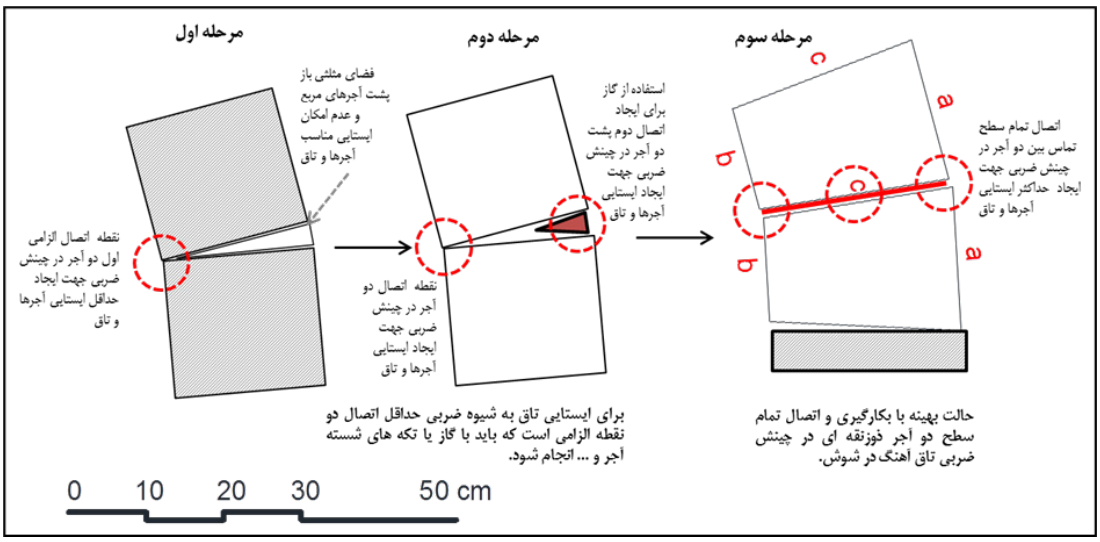
نکتهٔ محتوایی برای بررسی: در متن اولیه گفته شده است که این ویژگی به سه شیوه اجرا شده، اما در شرح شیوه‌ها، چهار حالت از یکدیگر قابل تفکیک است: دیوارهٔ عمودی با رج‌های افقی در زیر آن، ردیف آجر ذوزنقه‌ای عمودی بر روی قاعدهٔ کوچک‌تر، رج‌های افقی موازی با سطح افق و رج‌های مورب. در ویرایش بالا، برای حفظ تمایز توصیف‌ها، این حالت‌ها تفکیک شده‌اند. بنابراین، لازم است تعداد شیوه‌ها با تصاویر و طبقه‌بندی اصلی پژوهش تطبیق داده شود.

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.109]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:40 +0330 on Sunday November 15th 2026



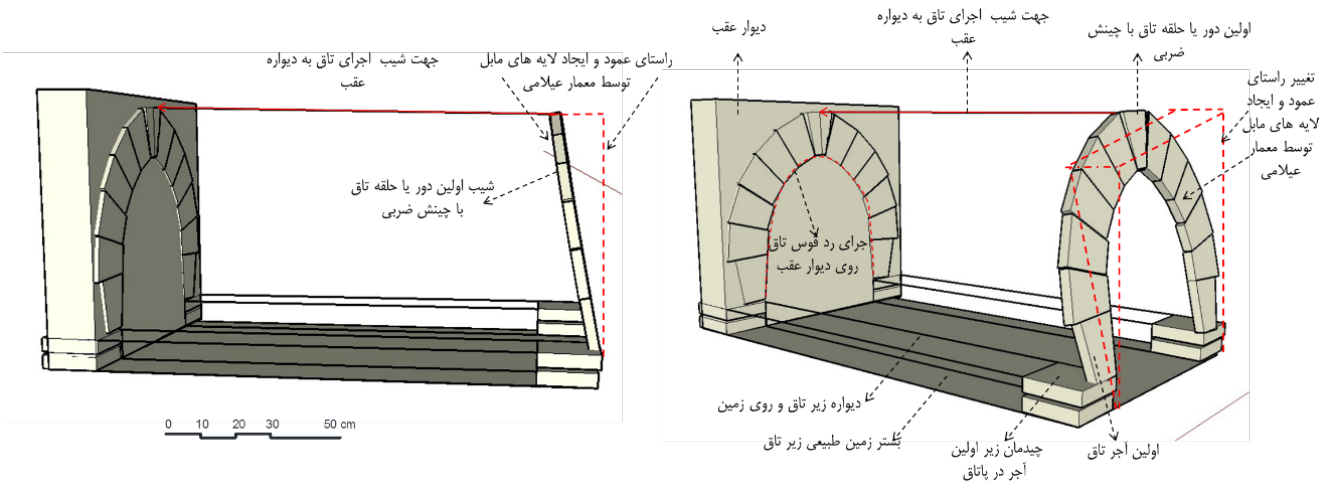
شکل ٦. سه شیوه چینش در مرحله شروع (پاطاق) بر روی دیواره بر اساس نوع اتصال بخش‌های آجر ذوزنقه.

Figure 6. Three brick-laying arrangements at the springing course based on the bonding configuration of trapezoidal bricks.



شکل۷. مراحل دستیابی به چینش بهینه با تغییرشکل هندسه آجر در چینش اجزای طاق در شوش.

Figure 7. Stages in achieving an optimal vault arrangement through geometric modification of brick forms in the vault construction at Susa.



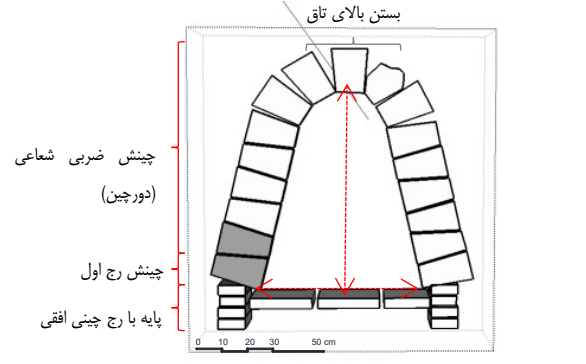
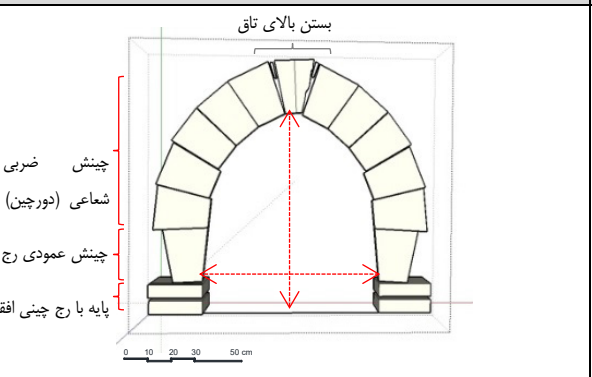
شکل۸. چگونگی اجرای طاق با آجرهای ذوزنقه در آرامگاه‌های طاقدار شوش بر اساس زاویه چینش به منظور حذف قالب (نمونه: آرامگاه ۱۴).

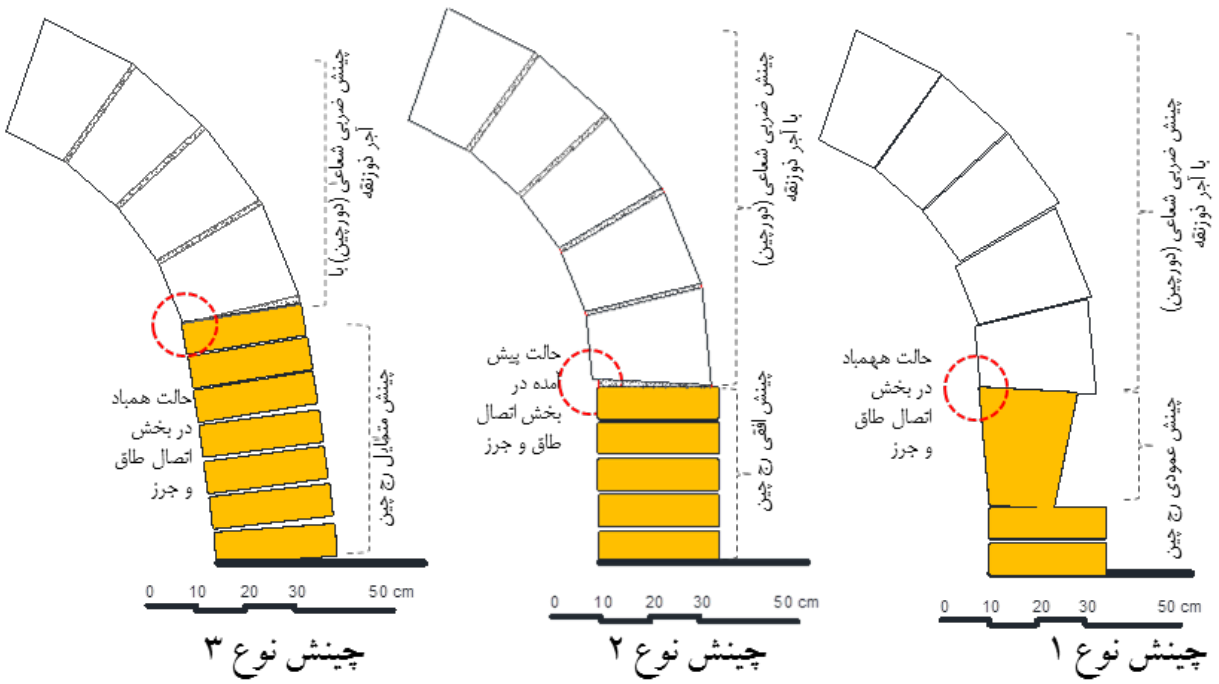
Figure 8. Construction technique of trapezoidal-brick vaults in the vaulted tombs of Susa based on brick inclination angles to enable centering-free construction (example: Tomb No. 14).

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.109]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:40 +0330 on Sunday November 15th 2026

جدول ٤. ویژگی افراز و دهانه و اجرای طاق با آجرهای ذوزنقه و تفاوت نوع قوس در چهار آرامگاه طاقدار شوش از پاطاق تا رأس.

Table 4. Rise-to-span ratio, construction technique of trapezoidal-brick vaults, and variations in arch

	آرامگاه شماره ٤	آرامگاه شماره ١٢
چگونگی اجرای اجزاء تاق		
	آرامگاه شماره ١٤	**آرامگاه شماره ١٥**
چگونگی اجرای اجزاء تاق		



شکل۹. انواع چینش در طاق‌های شوش از منظر نوع استفاده و ترکیب نحوه چینش مصالح در بخش‌های مختلف طاق.

Figure 9. Types of vault construction at Susa based on masonry arrangement and the combination of brick-laying techniques employed in different parts of the vault.

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.109]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:40 +0330 on Sunday November 15th 2026

٦-٤. الگوهای متنوع در چینش لایه‌های ضربی طاق آهنگ آرامگاه‌ها

از دیگر ویژگی‌های ساختاری قابل‌توجه در طاق‌های آرامگاه‌های دورهٔ عیلام، تنوع در شیوهٔ چینش لایه‌های ضربی در بخش‌های آغازین، میانی و انتهایی قوس است (زارعی و همکاران، ۱۴۰۴: ۱۶۲؛ ۱۴۰۳: ۱۰۴). بررسی نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که در این زمینه، چهار الگوی متمایز به‌کار رفته است.

الگوی نخست: چینش ضربی با لایه‌های متمایل از ابتدای کار آغاز شده است. این لایه‌ها با زاویه‌ای نسبت به دیوارهٔ انتهایی اجرا شده و به‌طور پیوسته تا رأس طاق ادامه یافته‌اند.

الگوی دوم: چینش طاق با چند لایهٔ عمودی که بر روی دیوارهٔ انتهایی قرار گرفته‌اند، آغاز شده و پس از آن، لایه‌های بعدی به‌صورت متمایل اجرا شده‌اند. این شیوه در دورهٔ عیلام میانه نیز تکرار شده است و نمونهٔ مشخص آن را می‌توان در طاق آرامگاه تپتی‌آهار در هفت‌تپه (۱۵۰۰ تا ۱۳۲۵ ق.م.) مشاهده کرد (شکل ۱۱، حالت چهارم).

الگوی سوم: در این الگو، لایه‌های عمودی و مایل به‌صورت متناوب در هر رج به‌کار رفته‌اند و چینش با یک لایهٔ عمودی آغاز شده است. این الگو نوعی انعطاف‌پذیری سازه‌ای را در پاسخ به شرایط اجرایی و نیروهای وارد بر قوس نشان می‌دهد.

الگوی چهارم: چینش ضربی با لایه‌های مایل در بخش‌های آغازین و انتهایی و لایه‌های مایل در بخش میانی طاق اجرا شده است.

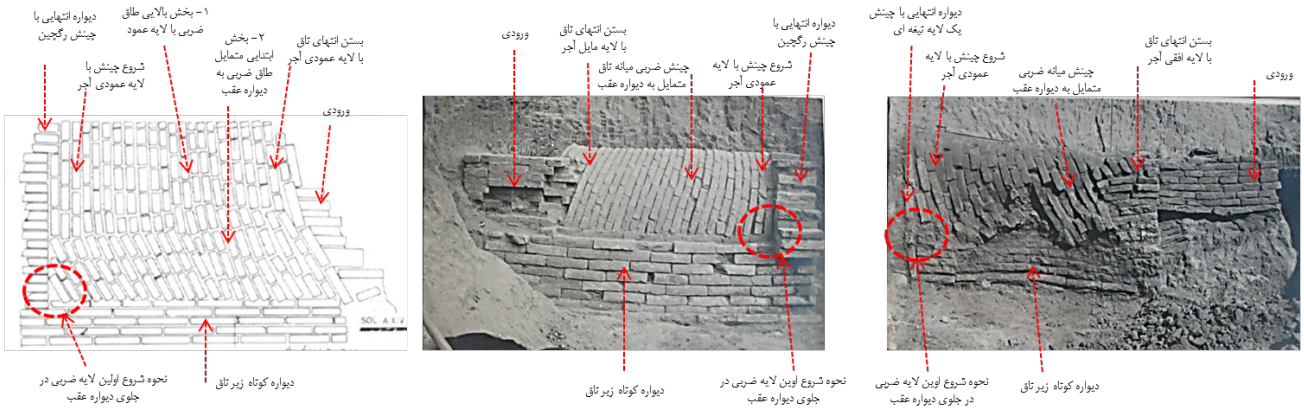
ویژگی مشترک و درخور توجه در هر چهار الگو، نحوهٔ جای‌گیری نخستین آجرِ چسبیده به دیوارهٔ انتهایی است. در تمامی موارد، این آجر به‌صورت مایل به دیواره تکیه داده شده است تا بستری برای آغاز چینش ضربی فراهم شود (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). به‌کارگیری این چهار شیوهٔ خلاقانه را می‌توان نشانه‌ای از درک سازه‌ای معماران عیلامی، به‌ویژه در زمینهٔ مهار نیروهای فشاری، جلوگیری از لغزش آجرها در حین ساخت و تنوع‌بخشی به شیوهٔ آغاز و پایان اجرای قوس، دانست. این تنوع همچنین نشان می‌دهد که فن چینش ضربی در ساخت طاق‌های شوش تجربه و آزموده شده است.

٦-٥. تمهیدات سازه‌ای و پایداری

٦-٥-١. نقش و شیوه‌های کاربرد قطعات گاز در بخش فوقانی طاق‌ها

نکتهٔ حائز اهمیت در بررسی آرامگاه‌های طاقدار شناسایی‌شده در کاوش‌های گیرشمن، استفاده از گاز یا قطعات مکمل در بخش فوقانی طاق است. در میان نمونه‌های بررسی‌شده، گاز به‌صورت قطعه‌ای سفال و گاه قطعه‌ای آجر یا سنگ به‌کار رفته است. از سوی دیگر، همان‌گونه که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، به نظر می‌رسد سه شیوهٔ متفاوت برای قرارگیری گاز و بستن بخش بالایی طاق وجود داشته است: ۱) قرارگیری یک آجر کامل در رأس طاق؛ ۲) استفاده از گاز یا قطعه‌ای آجر شکسته؛ و ۳) به‌کارگیری آجری ذوزنقه‌ای و کوچک‌تر در رأس طاق (شکل ۱۲).

از آنجا که گاز به‌عنوان نگهدارنده‌ای مهم برای آجرهای طاق عمل می‌کند و امکان پیشروی یکپارچهٔ طاق را فراهم می‌سازد (پیرنیا، ۱۳۷۳: ۵۶)، تنوع در شیوهٔ استفاده از آن در طاق‌های دورهٔ عیلام نشان‌دهندهٔ آگاهی معماران این دوره از عملکرد سازه‌ای گاز و نقش آن در استحکام‌بخشی به طاق و شکل‌دهی به انحنای قوس است؛ به‌ویژه در مواردی که افزایش انحنا و تکمیل فرم قوس ضرورت داشته است (زارعی و همکاران، ۱۴۰۴: ۱۶۶).

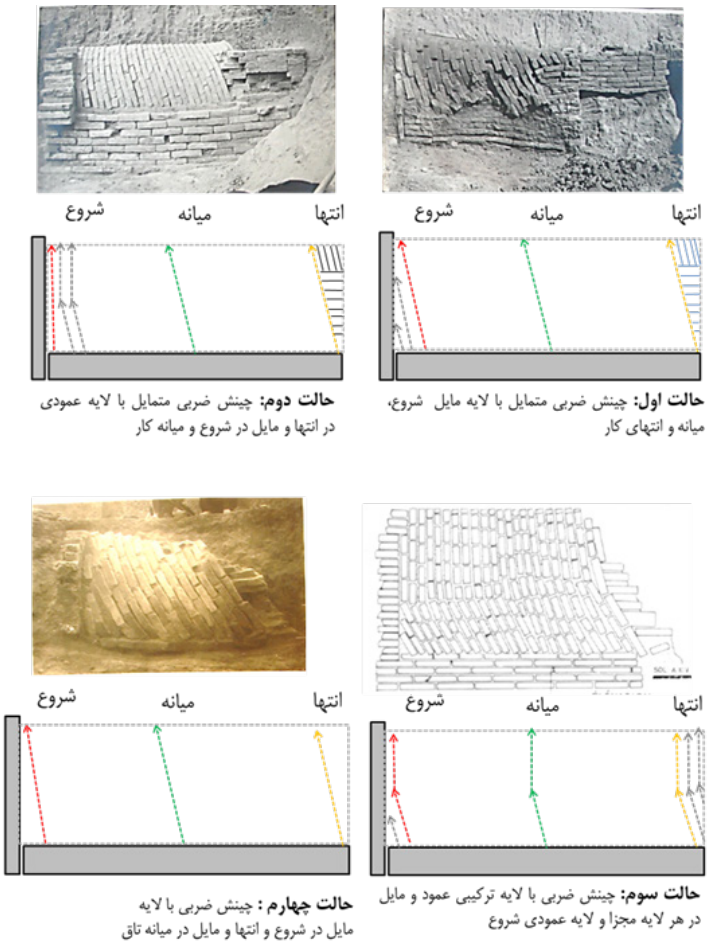


حالت سوم: چینش ضربی با لایه ترکیبی عمود و مایل در هر لایه مجزا و لایه عمودی شروع — حالت دوم: چینش ضربی متمایل با لایه عمودی شروع کار — حالت اول: چینش ضربی متمایل با لایه مایل شروع کار

شکل ۱۰. سه شیوه متفاوت اجرای طاق با چینش ضربی با آجرهای ذوزنقه در آرامگاه‌های طاقدار شوش (Ghirshman & STEVE. 1964 1965- de Mecquenem, 1928).

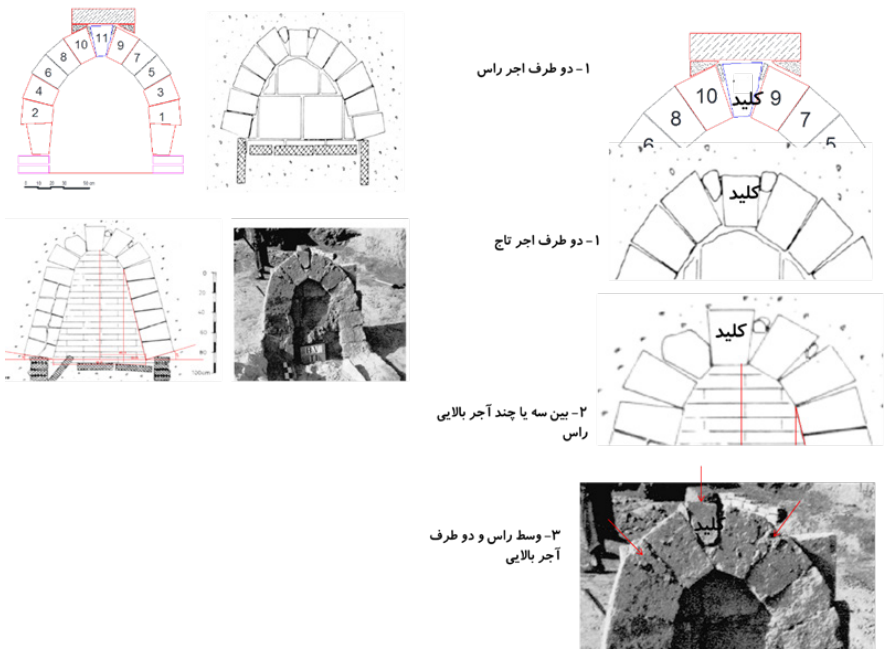
Figure 10. Three different methods of pitched-brick vault construction using trapezoidal bricks in the vaulted tombs of Susa (Ghirshman & Steve, 1964–1965; de Mecquenem, 1928).

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.109]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:40 +0330 on Sunday November 15th 2026



شکل ۱۱. نمایش شماتیک زاویه چینش آجرها در سه بخش شروع، میانه و انتهای طاق با چینش ضربی با آجرهای ذوزنقه در آرامگاه‌های طاقدار شوش (Vill Royale- de Mecquenem, 1928).

Figure 11. Schematic representation of brick inclination angles in the lower, middle, and upper sections of pitched-brick vaults constructed with trapezoidal bricks in the vaulted tombs of Susa (Ville Royale, de Mecquenem, 1928).



شکل ۱۲. شیوه اجرای آجر در راس و گاز در آرامگاه‌های طاقدار دوره عیلام با مصالح آجری ذوزنقه شکل (Ghirshman&Brinkman, 1968: 29).

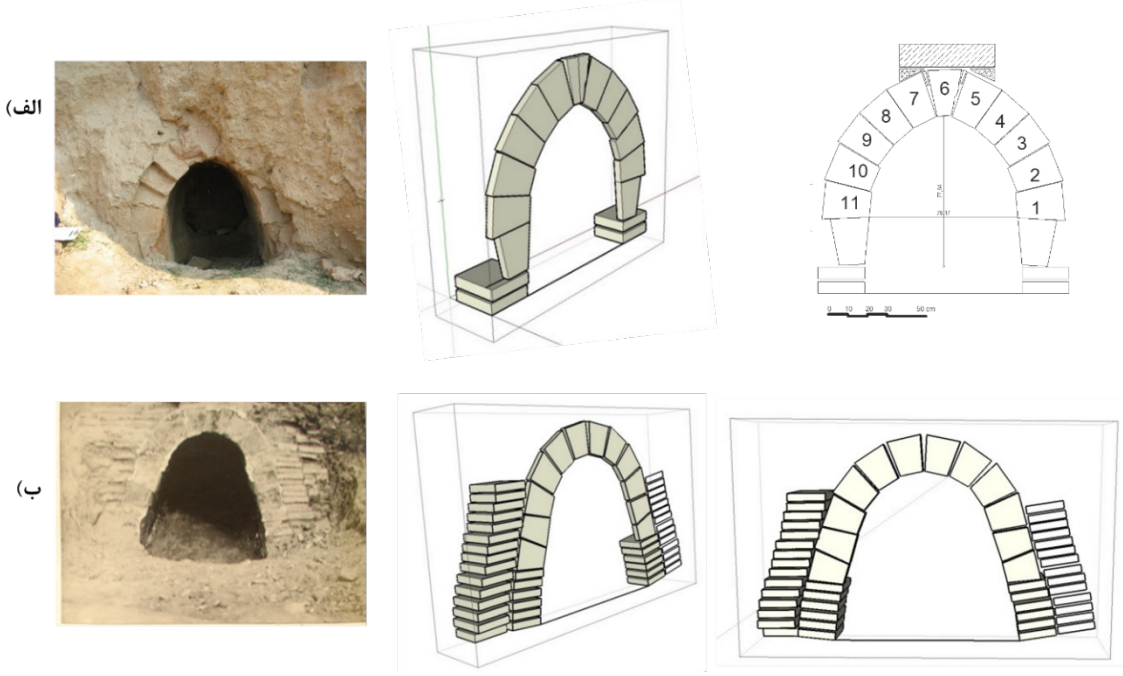
Figure 12. Brick-placement techniques at the vault crown and the use of gaz (small triangular wedge bricks) in Elamite vaulted tombs constructed with trapezoidal bricks (Ghirshman & Brinkman, 1968: 29).

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.109]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:40 +0330 on Sunday November 15th 2026

٦-٥-٢. سایر ویژگی‌های سازه‌ای و پایداری

تحلیل داده‌های میدانی و بررسی شواهد معماری در زمینهٔ طاق‌زنی در دوره‌های پیش از اسلام در خوزستان، به‌ویژه در شوشِ دورهٔ عیلام، نشان می‌دهد که ساخت طاق‌ها تنها حاصل انطباق با شرایط اقلیمی و نوع مصالح در دسترس نبوده، بلکه بر پایهٔ دانش فنی، تجربیات استادکاران و تمهیدات سازه‌ای پیچیده‌تری شکل گرفته است. در این میان، تدابیری چون تقویت اتصال آجرهای رأس طاق و استفاده از آجر در بالای رأس طاق برای جلوگیری از کلکن‌شدن، نقش مهمی در استحکام نهایی بنا ایفا کرده‌اند. همچنین، در ساخت طاق‌های زیرزمینی، اتصال مؤثر بدنهٔ دیواره‌ها به خاک اطراف، از طریق کارگذاری آجرهای طولی به‌سمت تودهٔ خاک، عامل مؤثری در توزیع مناسب فشار و جلوگیری از ریزش بوده است. به‌منظور مهار نیروهای مورب، ساختار طاق با افزایش تدریجی سطح مقطع در جهت بالا طراحی شده و دیوارهای نگهدارنده در پشت طاق‌ها نیز به‌عنوان پشتیبان سازه عمل کرده‌اند. پیوستگی کامل میان دیوار و طاق و رعایت تناسب میان عرض دهانه، ارتفاع دیوار، ابعاد جرزها و ابعاد خشت‌ها و آجرهای مورد استفاده نیز از دیگر اصول سازه‌ای در این منطقه به شمار می‌روند (زارعی و همکاران، ۱۴۰۴: ۱۷۰).

استفاده از چینش ضربیِ شیب‌دار، بدون بهره‌گیری از قالب، و انتخاب آجرهای ذوزنقه‌ای یا دارای انحنای ملایم به‌منظور ایجاد اتصال بهتر در قوس طاق، از نوآوری‌های فنی درخور توجهی است که به‌روشنی نشان می‌دهد معماران این دوره، با شناخت دقیق ویژگی‌های مصالح و نیروهای وارد بر سازه، به راهکارهایی دست یافته بودند که به‌طور هم‌زمان پایداری، دوام و سرعت ساخت را تأمین می‌کردند (شکل ۱۳).



شکل ۱۳. دو شیوه از تمهیدات پایداری در طاق‌های آهنگ در دوره عیلام. بالا: قرار دادن یک آجر بر روی راس تاق. پایین: پرکردن پشت تاق از شروع تا شانه طاق.

Figure 13. Two structural stabilization measures employed in Elamite barrel vaults. Top: Placement of a locking brick at the vault crown. Bottom: Backfilling behind the vault from the springing course to the haunch.

در پایان، مطالعهٔ آرامگاه‌های طاق‌دار ساخته‌شده با مصالح ذوزنقه‌ای‌شکل در این دوره، نکات درخور توجهی را دربارهٔ فنون اجرای طاق‌های آهنگ آشکار می‌کند. در این آرامگاه‌ها، طاق‌ها به شیوهٔ ضربی و با لایه‌هایی متمایل به دیوارهٔ عقب اجرا شده‌اند. افزون بر این، دیواره‌های زیر طاق‌ها به دو صورت عمودی با رج‌چینی افقی یا متمایل ساخته شده‌اند که در حالت دوم، دیوارهای متمایل در حین اجرا نقش نگهدارندهٔ طاق را ایفا می‌کردند (زارعی و همکاران، ۱۴۰۴: ۱۷۰). همچنین، استفاده از مصالح ذوزنقه‌ای‌شکلِ قالب‌گیری‌شده با ابعاد استاندارد، علاوه بر افزایش استحکام، موجب سهولت و سرعت بیشتر در اجرای طاق شده است. این ویژگی، همراه با اجرای طاق‌های آهنگ با خیز بلندتر از دهانه در نمونه‌هایی با دهانهٔ کوچک، نشان‌دهندهٔ روند بهینه‌سازی ساختار طاق‌ها در این دورهٔ تاریخی است.

الگوی قوس‌های این طاق‌ها نیز درخور توجه است. در برخی نمونه‌ها، قوس با ترکیبی از بخش ابتدایی صاف و انحنای ملایم در بخش بالایی اجرا شده است؛ درحالی‌که در برخی دیگر، انحنای قوس از ابتدای پاطاق آغاز شده و به‌صورت پیوسته تا رأس طاق ادامه دارد. در هر دو حالت، خیز طاق از دهانهٔ آن بلندتر است که یکی از ویژگی‌های کلیدی معماری این دوره محسوب می‌شود. در زمینهٔ چینش لایه‌های ضربی طاق نیز سه شیوهٔ متفاوت به کار گرفته شده است. در برخی موارد، لایه‌های ضربی از ابتدا با زاویه‌ای متمایل اجرا شده‌اند؛ درحالی‌که در برخی دیگر، اجرای اولیهٔ طاق با چند لایهٔ عمودی بر روی دیوار انتهایی آغاز شده است. در برخی نمونه‌ها نیز، چینش لایه‌های ضربی به‌صورت ترکیبی از چینش عمودی و مایل در هر لایهٔ مجزا دیده می‌شود. این تنوع در فنون اجرا، نشان‌دهندهٔ پیشرفت تدریجی فناوری ساخت طاق‌های ضربی و سازگاری آن‌ها با نیازهای سازه‌ای و اجرایی است. استفاده

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.109]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:40 +0330 on Sunday November 15th 2026

از این شیوه‌های متنوع، بیانگر سطح بالای مهارت و دانش معماران عیلامی در بهینه‌سازی ساختارهای طاقی است. در مجموع، بررسی آرامگاه‌های عیلامی نشان می‌دهد که این دورهٔ تاریخی از نظر توسعهٔ فناوری ساخت طاق‌های آهنگ، دوره‌ای مهم و تحول‌آفرین بوده است.

در نهایت، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از آجرهای ذوزنقه‌ایِ قالب‌گیری‌شده در طاق‌های آهنگ آرامگاه‌های عیلامی شوش، یکی از نوآوری‌های شاخص در فن ساخت پوشش‌های طاقی به شمار می‌آید. ابعاد منظم و یکنواخت این نوع آجرها، همراه با تنوع در شیوه‌های چینش ضربی و متمایل، گویای سطح بالای دانش فنی و مهارت استادکاران عیلامی در بهینه‌سازی پایداری سازه و تسریع روند اجراست. همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، بر پایهٔ دیدگاه برخی پژوهشگران، آجرهای ذوزنقه‌ای به دلیل امکان اتصال کامل و بدون درز دو ضلع کناری، از نظر هندسی بهینه‌ترین گزینه برای اجرای طاق‌های ضربی محسوب می‌شوند (خزائلی، ۱۴۰۰). گیرشمن و طالبیان نیز این دیدگاه را مطرح کرده و این ویژگی را عاملی در افزایش استحکام طاق دانسته‌اند.

هرچند برخی پژوهشگران به کاربرد آجرهای منحنی و ذوزنقه‌ای در بناهای دوران روم (Lancaster, 2009)، دورهٔ هخامنشی در شوش (Perrot, 2013)، دورهٔ ماد در تپهٔ نوشیجان (ملازاده، ۱۳۹۰؛ استروناخ، ۱۹۶۷) و نواحی میان‌رودان (Van Bieck, 1987: 96–103; Dalai, 2018: 154) اشاره کرده‌اند، بررسی ساختاری و تاریخی مصالح ذوزنقه‌ای در ارتباط با طاق‌های آهنگ، به‌ویژه در شوشِ دورهٔ عیلام، کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

معماران در اینجا شیوه‌های متنوعی را برای چیدن آجرها بر روی یکدیگر به کار برده‌اند. این تنوع ممکن است ناشی از تفاوت در نوع قوس یا میزان مهارت استادکاران بوده باشد. بااین‌حال، آجرهای ذوزنقه‌ای آرامگاه‌های شوش معمولاً در دهانه‌هایی کوچک‌تر از یک متر یا در حدود یک متر به کار رفته‌اند (زارعی و همکاران، ۱۴۰۴: ۱۶۷). به نظر می‌رسد محدودیت ابعاد دهانه و شیوهٔ تولید مصالح در این موضوع تأثیرگذار بوده و به همین دلیل، این آجرها بیشتر در ساخت طاق آرامگاه‌هایی با دهانهٔ کوچک کاربرد داشته‌اند. بهره‌گیری از گاز در بالای طاق به‌عنوان نگهدارنده‌ای مهم نیز نقش کلیدی در افزایش استحکام سازه ایفا کرده است. این تمهیدات سازه‌ای، هماهنگ با ویژگی‌های هندسی مصالح و شرایط اقلیمی منطقه طراحی شده‌اند و بیانگر سطح بالای تخصص و تجربهٔ معماران عیلامی هستند. ساختارهای مورد بررسی نه‌تنها پاسخ‌گوی نیازهای فنی و سازه‌ای بوده‌اند، بلکه نشان‌دهندهٔ درک عمیق معماران از رفتار مصالح و نیروهای وارد بر طاق نیز هستند؛ درکی که به توسعهٔ فن طاق‌زنی بدون قالب و افزایش دوام بنا انجامیده است.

۷. نتیجه‌گیری

در نهایت، در پاسخ به پرسش اصلی پژوهش دربارهٔ ویژگی‌های آرایش طاق‌های آهنگ در ساختارهای خشتی ـ آجری با استفاده از مصالح ذوزنقه‌ای در آرامگاه‌های دورهٔ عیلامیِ شوش باستان، می‌توان استدلال کرد که در آرامگاه‌های کاوش‌شده، از اوایل دورهٔ عیلام تا دورهٔ عیلام نو، استفاده از آجرهایی با هندسهٔ ذوزنقه‌ای و ابعاد تقریباً یکسان، امری مستمر بوده است. الگوی چینش آجرها به‌صورت ضربی و با تمایل به‌سمت دیوار عقبی اجرا شده است. این شیوهٔ آرایش، امکان اجرای طاق را بدون نیاز به قالب‌بندی برای استادکار فراهم می‌کرد که خود، نوعی تحول در تکوین طاق‌های گهواره‌ایِ بدون قالب، مبتنی بر زاویهٔ چینش مصالح، در این دورهٔ تاریخی محسوب می‌شود. افزون‌براین، به‌منظور تسهیل و تسریع فرایند اجرا و نیز امکان ساخت طاق در دهانه‌های کوچک، همراه با تأمین استحکام مطلوب، استادکاران عیلامی آجرهای ذوزنقه‌ایِ قالب‌گیری‌شده را ابداع کرده‌اند؛ امری که نشان‌دهندهٔ قابلیت اجرای این طاق‌ها با استفاده از نیروی کار غیرماهر در آن دوران است.

بر اساس یافته‌ها، ویژگی‌های شاخص طاق‌های آهنگ با مصالح ذوزنقه‌ای در دورهٔ عیلامیِ شوش عبارت‌اند از: خیز بیشتر از دهانه، اجرای دیوارهٔ کوتاه به‌صورت متمایل یا عمودی، رج‌چینی افقی زیر طاق و ترکیب آرایش رج‌چین (کوربل) با الگوی ضربیِ متمایل به دیوار عقب، یا صرفاً چینش ضربیِ متمایل به دیوار عقب؛ شیوه‌ای که در برخی موارد با اجرای عمودی رج نخست و پی‌گذاری دیواره بر روی سطح خاک همراه بوده است. ویژگی متمایز دیگر در آرامگاه‌های این دوره، بهره‌گیری از ترکیب دو شیوهٔ چینش رومی و ضربی است. در نهایت، برای افزایش خیز یا تغییر قوس، از راهکارهایی نظیر استفاده از یک نوع چینش آجر، تفاوت در اندازهٔ آجرها یا تغییر جهت قرارگیری آن‌ها استفاده شده است.

افزون بر موارد مذکور، در یافته‌های این پژوهش دو الگوی قوس شناسایی شده است: ۱) ترکیبی از بخش ابتداییِ صاف و متمایل با انحنای بخش بالایی؛ و ۲) آغاز انحنای قوس از ابتدای پاطاق. در هر دو حالت، ویژگی «خیز بلندتر از دهانه» از خصوصیات برجسته و شاخص این دوره تاریخی محسوب می‌شود. از دیگر یافته‌های حائز اهمیت، شناسایی و تمایز سه الگوی متفاوت در نحوهٔ آرایش لایه‌های ضربی طاق است. در شیوهٔ نخست، چینش ضربی با لایه‌های متمایل از نخستین مراحل اجرا آغاز می‌شود. در شیوهٔ دوم، اجرای چندین لایهٔ عمودی در امتداد دیوار انتهایی، زمینه را برای آغاز چینش متمایل در لایه‌های بعدی فراهم می‌آورد. در شیوهٔ سوم، هر لایه مشتمل بر ترکیبی از آجرچینی عمودی و مایل است که غالباً با یک لایهٔ عمودی در ابتدای فرایند همراه می‌شود. نقطهٔ اشتراک هر سه روش آن است که نخستین آجر در مجاورت دیوار انتهایی طاق، همواره با شیبی متمایل به آن قرار گرفته است؛ امری که نشان‌دهندهٔ درک عمیق سازه‌ای و اتخاذ رویکردی خلاقانه در آغاز فرایند ساخت طاق است. تنوع و خلاقیت در این سه شیوه، بیانگر پیشرفت در فنون ساخت طاق‌های ضربی در دورهٔ عیلام و سازگاری آن‌ها با ویژگی‌های هندسی مصالح ذوزنقه‌ایِ قالب‌گیری‌شده است.

این یافته‌ها با گشودن افق‌های تازه‌ای در پژوهش‌های آتی در حوزهٔ معماری تاریخی ایران و حفاظت سازه‌ای، در شناخت دقیق فنون سنتی و ارتقای روش‌های مرمت و حفاظت از آثار تاریخی اهمیت ویژه‌ای دارند.

سپاسگزاری: نگارندگان بر خود واجب می‌دانند از خانم دکتر آرمان شیشه‌گر، دکتر مهدی رهبر و محمد شیخ و پایگاه جهانی شوش سپاسگزاری نمایند.

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.109]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:40 +0330 on Sunday November 15th 2026

مشارکت نویسندگان: نویسنده اول مسئول تهیه تمامی بخش‌های مقاله شامل جمع‌آوری داده‌ها و نگارش مقاله بود. نویسنده دوم و سوم راهنمایی نگارش مقاله و جمع‌بندی بخش‌های مربوطه در مراحل انجام کار را انجام داده است.

تأمین مالی: این مقاله حامی مالی نداشته است.

تضاد منافع: تضاد منافع ندارد.

دسترسی به داده‌ها و مواد: داده‌های خام این پژوهش در اختیار نویسندگان است و با مکاتبات قابل دسترسی است.

پی‌نوشت‌ها

۱. پی کو با فتحَ بر روی «پ» یا پیکو نام طاق گهواره‌ای در بیان استادکاران سنتی خوزستان در شهرهای شوشتر و دزفول است.

2. De Morgan, J.D.

۳. Dafi: مخفف هیئت (نمایندگی) باستان‌شناسی فرانسه در ایران Délégation Archéologique-Iran en Francais است. با شروع فعالیت ژان پرو به‌عنوان رئیس هیئت حفاری فرانسه در ایران انتشار مجموعه M.D.P متوقف و بجای آن نشریه هیئت باستان‌شناسی فرانسه در ایران تحت عنوان اختصاری «دافی» زیر نظر ژان پرو از سال ۱۹۷۱ انتشار یافت و نشر آن تاکنون ادامه دارد (ریاضی، ۱۳۸۰: ۳۴-۳۵).

4. Wedge-shaped Brick

5. pitched brick:

طاق‌های آجری شیب‌دار، طاق‌هایی که در آن‌ها ردیف‌های آجر به صورت عمودی یا با کمی شیب چیده می‌شوند و به ردیف قبلی تکیه می‌دهند (اولین ردیف به دیوار انتهایی تکیه می‌دهد) و بنابراین نیاز به ساخت قالب زیر طاق را برطرف می‌کنند. Pitched: شیب‌دار رو به عقب ـ متمایل به دیوار عقب. اصطلاحی است که در شیوه چینش ضربی شیب‌دار و متمایل به دیوار عقب در معماری خارج از ایران کاربرد دارد.

References

Abolghasemi, L. (1997). Por and Rumi. *Honarhā-ye Ziba,* (2), 64–67. [In Persian].

Arefi, A., & Group of Authors. (2006). Atlas of Iranian History. Tehran: National Cartographic Center of Iran. [In Persian].

Álvarez-Mo, J. (2020). *The Art of Elam ca. 4200–525 BC*, by Routledge Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon OX14 4RN and by Routledge52 Vanderbilt Avenue, New York, NY 10017.

Bessonneau, R. (1985). *Technology of Vaults in Ancient Iran* (S. M. Habibi, Trans., 1999). Tehran: Iranian Cultural Heritage Organization. [In Persian]

Croci, G. (1936). *Structural Conservation and Restoration of Architectural Heritage* (B. Ayatollahi Shirazi & M. Hejazi, Trans., 2016). Tehran: Cultural Research Bureau. [In Persian]

Dallai, M. (2020). The vaulted funerary hypogea in Mesopotamia between the second and first millennium BC: Localization and architectural features. West & East, 4, 153–169.

De Mecquenem, R. M. (1943–1944). *Fouilles de Suse, 1933–1939. Mémoires de la Mission Archéologique en Iran, Vol. 29*. Paris: Presses Universitaires de France.

De Mecquenem, R. M. (1947). *Contribution à l'étude du palais achéménide de Suse. Mémoires de la Mission Archéologique en Iran, Vol. 30*. Paris: Ernest Leroux Éditeur.

De Morgan, J. (1897). *Recherches archéologiques, Vol. 1: Fouilles à Suse en 1897–1898 et 1898–1899* (avec G. Jéquier et G. Lampre). Classic Reprint

De Morgan, J. D. (1900). *Délégation en Perse – Mémoires (Vol. 1). Fouilles à Suse en 1897–1898 et 1898–1899.*

De Morgan, J. D. (1905a). *Trouvaille du masque d'argent. In Mémoires de la Mission Archéologique en Iran (Vol. 7).* Paris: Ernest Leroux Éditeur.

El-Derby, A., & Elyamani, A. (2016). The adobe barrel vaulted structures in ancient Egypt: A study of two case studies for conservation purposes. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry, 16*(1), 295–315. https://doi.org/10.5281/zenodo.46361

Fadaei, H., & Talebian, M. H. (2018). A review of the morphology and manufacturing techniques of Middle Elamite bricks at Chogha Zanbil World Heritage Site. In *Proceedings of the First Conference on Brick and Brickwork in Iranian Art and Architecture* (pp. 29–57). [In Persian]

Fakhar Tehrani, F. (1992). Beyond the Geometry of Vaults and Domes. *Soffeh, 2*(2) [Serial No. 6], 34–45.

Farshad, M. (1983). *History of Engineering in Iran* (2nd ed.). [No place]: Gooyesh Publishing. [In Persian]

Ghirshman, R. (1964). Suse. Campagne de fouilles 1962–1963. Rapport préliminaire. *Arts Asiatiques, 10*(1), 3–20.

Ghirshman, R. (1965). Suse du temps des Sukkalmah. Campagne de fouilles 1963–1964. Rapport préliminaire. *Arts Asiatiques, 11*(2), 3–22.

Ghirshman, R. (1968). *Choğa Zanbil. Temenos-Temples-Palais-Tombs (Vol. 2). Mémoires de la Délégation en Perse, Vol. 39*. Paris: Ernest Leroux Éditeur.

Ghirshman, R. (1968). *Chogha Zanbil, Vol. II: Temenos, Temples, Palaces, Tombs* (A. Karimi, Trans., 1996). Tehran: Iranian Cultural Heritage Organization.

Ghirshman, R. (1971). *Acropole at Susa (Vol. 46). Mémoires de la Délégation en Perse.*

Ghirshman, R., & Brinkman, J. A. (1968). Suse au tournant du IIIe au IIe millénaire avant notre ère. *Arts Asiatiques, 17*, 3–44.

Ghirshman, R., & Stève, M.-J. (1966). Suse. Campagne de l'hiver 1964–1965. Rapport préliminaire. *Arts Asiatiques, 13*, 3–32.

Godard, A. (1990). *Iranian Vaults* (K. Afsar, Trans.). Tehran: Farhangsara. [In Persian]

Group of Authors. (2005). *Atlas of Iran's Provinces: Khuzestan*. Tehran: Geographical Organization of the Armed Forces. [In Persian]

Hejazi, M., & Sadeghi, R. (2022). Effect of brick arrangement on structural behaviour of Persian brick masonry barrel vaults by micro-modelling. *Engineering Failure Analysis, 134*, 1–24.

Hill, H. D., Jacobsen, T., Delougaz, P., Holland, A., & McMahon, A. (1990). *Old Babylonian public buildings in the Diyala region: Part 1: Excavations at Ishchali; Part 2: Khafajah Mounds B, C, and D* (Oriental Institute Publication No. 98). Oriental Institute of the University of Chicago.

Hosseini, S., Niroumand, H., Gültekin, B., Barceló, A., Osmadi, A., & Mahdavi, F. (2020). Structural analysis of earth construction's vaults: Case of underground tombs of Chogha Zanbil. *Revista de la Construcción, 19*(3), 336–370.

Khazali, P., & Translator: Behnaz. (2021). *Construction of Mudbrick Vaults* (1st ed.). Mashhad: Ketabkadeh-ye Kasra. [In Persian]

Khazali, P., & Translator: Behnaz. (2023). *Graphical Calculation of Masonry Arches* (1st ed.). Mashhad: Ketabkadeh-ye Kasra. [In Persian]

Kirk, F. J. (1998). *A dictionary of ancient Near Eastern architecture*. Routledge.

Lancaster, L. C. (2009). *Early Examples of So–Called Pitched Brick Barrel Vaulting in Roman Greece and Asia Minor: A Question of Origin and Intention*, Internationale Konferenz-13.-16. Juni 2007 in Istanbul BYZAS 9, 371-391.

Malekzadeh, M. (1994). The West and Southwest of Iran at the Dawn of History. *Mirās-e Farhangi, Special Issue of the First Archaeological Symposium of Iran*, (12), 172–192. [In Persian].

Memarian, G. H. (1988). *Structural Performance of Vaults in Islamic Architecture of Iran*. Tehran: Jahad-e Daneshgahi. [In Persian]

Memarian, G. H., & Safaei Pour, H. (2015). *Architecture of Iran: Niyāresh – Vaults and Domes*. Tehran: Naghmeh Nowandish. [In Persian]

Miroschedji, P. (1981). *Fouilles du chantier Ville Royale II à Suse (1975–1977)*. I. Niveaux élamites. DAFI, 12.

Mofidi-Nasrabadi, B. (2016). Elam and its neighbors—Recent research and new perspectives. In *Proceedings of the International Congress Held at Johannes Gutenberg University Mainz*, September 21–23, 2016 (ELAMICA, Vol. 8). Verlag Franzbecker. ISBN 978-3-88120-868-0

Mohammadi Far, Y., & Khonaei, A. (2017). A review of Elymaean studies. *Iranian Archaeological Research, 7*(12), 151–174. [In Persian]

Negahban, E. O. (1993). *Excavations at Haft Tappeh, Khuzestan Plain.*

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.109]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:40 +0330 on Sunday November 15th 2026

Tehran: Iranian Cultural Heritage Organization. [In Persian].
Negahban, E. O. (1997). *A Review of Fifty Years of Archaeology in Iran*. Tehran: Iranian Cultural Heritage Organization. [In Persian]
Pirnia, M. K. (1994). *Chafds and Vaults. Athar, (24)*. Iranian Cultural Heritage Organization. [In Persian].
Pirnia, M. K. (2008). *Stylistics of Iranian Architecture*. Tehran: Nashr-e Pazhuhandeh. [In Persian].
Perrot. Jean. (2013). *The Palace of Darius at Susa: The Great Royal Residence of Achaemenid Persia*. Translated by: Gérard Collon. Bloomsbury Academic.
Perrot.J. (1974). Recherches dans le secter est du tepe de l'apadana". *DAFI*, No. 4.
Rahbar, M. (1994). Archaeological excavations at Galalak, Shushtar. In *Proceedings of the Archaeology Conference of Susa* (pp. 175–208). Tehran: Iranian Cultural Heritage Publishing. [In Persian].
Sarfaraz, A. A., & Firoozmandi, B. (2010). *Archaeology and Art of the Historical Periods: Median, Achaemenid, Parthian, Sasanian* (6th ed.). Tehran: Marlik Publishing. [In Persian].
Shokri, T., & Niknami, K. (2023). A study on the iconography of selected cylinder seals from Susa. *Iranian Archaeological Research, 13*(39), 39–60. [In Persian]
Vali Beig, N., et al. (2015). The impact of brick arrangement on the formation of barrel vaults built on a slope. In *Proceedings of the 3rd International Congress on Civil Engineering, Architecture and Urban Development*. [In Persian].
Vali Beig, N., Mehdizadeh Seraj, F., & Tehrani, F. (2012). Geometrical and mathematical characteristics in the structure of five-seventh chafds in Iranian barrel vaults. *Conservation and Architecture of Iran, 2*(3), 39–49. [In Persian]
Van Beek, W. (1987). Arches and vaults in the ancient Near East. *Scientific American, 257*(1), 96–103.
Yin, R. (1999). *Research Design and Case Study Methods* (H. Nayebi, Trans.). Tehran: Ayandeh Pouyan Institute. (Original work by D. T. Campbell). [In Persian].
Zarei, H., Nasakhiyan, S., & Taleban, M. H. (2024). Investigating the influential characteristics in the construction technology of barrel vaults in Elamite and Elymaean tombs of Khuzestan. *Pazhuheh-ye Bastan Sanji (Archaeometry Research Journal), 10*(2), 85–110. [In Persian].
Zarei, H., Nasakhiyan, S., & Taleban, M. H. (2024). Technical analysis and stability measures in barrel-vaulted buildings of Khuzestan from the Elamite period to the end of the Sasanian era. *Parseh Archaeological Studies, 34*(9), 145–183. [In Persian].
Zalaghi, A. (2018). *Digging up the past: Revisiting the Elamite underground vaulted tombs at Tappeh 497 (KS 53?), Susiana Plain*. Elamica, 8.

ابوالقاسمی، ل. (۱۳۷۶). پر و رومی. *هنرهای زیبا، ۱*(۲)، ۶۴–۶۷.
ارفعی، ع.، و گروه نویسندگان. (۱۳۸۵). *کتاب اطلس تاریخ ایران*. سازمان نقشه‌برداری کشور.
استروناخ، د و رُف، م. (۱۳۹۰). *نوشیجان ۱– بناهای بزرگ دوره ماد*. ترجمه کاظم ملازاده. همدان: انتشارات دانشگاه بوعلی سینا.
بزنوال، ر. (۱۳۷۹). *فناوری طاق در ایران کهن* (م. حبیبی، مترجم). سازمان میراث فرهنگی. (اصل اثر در ۱۹۸۵ منتشر شده است).
پیرنیا، م. ک. (۱۳۸۷). *سبک‌شناسی معماری ایرانی*. تهران: پژوهنده.
پیرنیا، م. ک. (۱۳۷۳). *چفدها و طاق‌ها* (اثر شماره ۲۴). تهران: سازمان میراث فرهنگی.
خزائلی، پ.، و مترجم، ب. (۱۴۰۰). *اجرای طاق‌های خشتی*. تهران: کتابکده کسری.
دیولافوا، م. (۱۸۸۵). *هنر باستان ایران هخامنشیان، اشکانیان، ساسانیان*. پاریس.
رهبر، م. (۱۳۷۳). کاوش باستان‌شناسی در گلالک شوشتر. در *یادنامه گردهمایی باستان‌شناسی شوش* (ص. ۱۷۵–۲۰۸). سازمان میراث فرهنگی.
زارعی، هانی، ناسخیان، شهریار و طالبان، محمد حسن. (۱۴۰۳). واکاوی ویژگی‌های تاثیرگذار در فن ساخت طاق آهنگ مقابر عیلام و الیمایی خوزستان. *پژوهه باستان‌سنجی، ۱۰*(۲)، ۸۵–۱۱۰.
زارعی، هانی، ناسخیان، شهریار و طالبان، محمد حسن. (۱۴۰۳). بررسی فنی و تمهیدات پایداری در بناهای دارای طاق آهنگ خوزستان از ایلام تا پایان ساسانی. *مطالعات باستان‌شناسی پارسه، ۳۴*(۹)، ۱۸۳–۱۴۵.
سرفراز، ع. ا.، و فیروزمندی، ب. (۱۳۸۹). *باستان‌شناسی و هنر دوران تاریخی ماد، هخامنشی، اشکانی، ساسانی* (چاپ ششم). انتشارات مارلیک.
شکری، ط.، و نیکنامی، ک. (۱۴۰۲). پژوهشی در شمایل‌نگاریِ گزیده‌ای از مُهرهای استوانه‌ای شوش. *پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، ۱۳*(۳۹)، ۳۹–۶۰ .
شوازی، آ. (---). *تاریخ معماری. ترجمه لطیف ابوالقاسمی*. (۱۳۸۱). تهران: دانشگاه تهران.
عبدی، ک. (۱۳۷۳). صد و سی سال حفاری در شوش. *ویژه‌نامه نخستین گردهمایی باستان‌شناسی ایران*، شماره ۱۲، تابستان و پاییز، صص: ۸۷_۱۰۶.
فخار تهرانی، ف. (۱۳۷۱). ورای هندسه طاق و گنبد. *صفه، ۲*(۶)، ۳۴–۴۵.
فدایی، ح.، و طالبیان، م. ح. (۱۳۹۷). مروری بر ریخت‌شناسی و فنون ساخت آجرهای عیلام میانه در محوطه میراث جهانی چغازنبیل. در م. مکی‌نژاد (گردآورنده)، *مجموعه مقالات اولین همایش آجر و آجرکاری در هنر و معماری ایران* (ص. ۲۹–۵۷). فرهنگستان هنر.
فرشاد، م. (۱۳۶۲). *تاریخ مهندسی در ایران* (چاپ دوم). تهران: گویش.
کابلی، م. (۱۳۷۳). شوش و میراث باستان شناسی دشت شوشان، *ویژه‌نامه نخستین گردهمایی باستان شناسی ایران*، شماره ۱۲، تابستان و پاییز، صص: ۱۳۹_۱۱۹.
کروچی، ج. (۱۳۹۵). *حفاظت و مرمت سازه‌ای میراث معماری* (ب. آیت‌الله‌زاده شیرازی و م. حجازی، مترجمان). دفتر پژوهش‌های فرهنگی. (اصل اثر در ۱۹۳۶ منتشر شده است).
کی‌یین، ر. (۱۳۷۸). *طرح تحقیق و روش‌های موردپژوهی* (ه. نایبی، مترجم). مؤسسه فرهنگی آینده پویان. (اصل اثر توسط دونالد تی. کمبل مقدمه‌نویسی شده است).
گدار، آ. (۱۳۶۹). *طاق‌های ایرانی* (ک. افسر، مترجم). تهران: فرهنگسرا.
گروه نویسندگان. (۱۳۸۴). *اطلس راهنمای استان‌های ایران، خوزستان*. تهران: سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.
گریشمن، ر. (۱۳۷۵). *چغازنبیل (جلد دوم): تمنوس، معابد، کاخ‌ها، قبور* (ع. کریمی، مترجم). تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور. (اصل اثر در ۱۹۶۸ منتشر شده است).
محمدی‌فر، ی.، و خونایی، ع. (۱۳۹۶). مروری بر مطالعات الیمایی. *پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، ۷*(۱۲)، ۱۵۱–۱۷۴.
معماریان، غ. (۱۳۶۷). *نیارش سازه‌های طاقی در معماری اسلامی ایران*. تهران: جهاد دانشگاهی.
معماریان، غ.، و صفایی‌پور، ه. (۱۳۹۴). *معماری ایران: نیارش – طاق و گنبد*. تهران: نغمه نواندیش.
ملازاده، ک و محمدیان منصور، ص. (۱۳۹۰).مطالعه و معرفی شیوه بدیع تاق زنی دوره ماد در تپه نوشیجان ملایر. *مطالعات باستان‌شناسی،۳*(۲)، ۱۱۹–۱۳۸.
ملک‌زاده، م. (۱۳۷۳). غرب و جنوب غرب ایران در پگاه تاریخ. *میراث فرهنگی (ویژه‌نامه نخستین گردهمایی باستان‌شناسی ایران)*، ۱۲، ۱۷۲–۱۹۲.
نگهبان، ع. ا. (۱۳۷۲). *حفاری هفت‌تپه دشت خوزستان*. تهران: سازمان میراث فرهنگی.
نگهبان، ع. ا. (۱۳۷۶). *مروری بر پنجاه سال باستان‌شناسی ایران*. تهران: سازمان میراث فرهنگی.
ولی‌بیگ، ن.، مهدی‌زاده سراج، ف.، و تهرانی، ف. (۱۳۹۱). ویژگی‌های هندسی و ریاضی در ساختار چفد پنج و هفت تند در پوشش طاق آهنگ ایرانی. *مرمت و*

معماری ایران، ۲(۳)، ۳۹–۴۹.

ولی‌بیگ، ن.، و دیگران. (۱۳۹۴). تأثیر چیدمان آجرها بر شکل‌گیری طاق‌های آهنگ آجری ساخته شده در شیب. *سومین کنگره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهری*.

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.109]

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:40 +0330 on Sunday November 15th 2026

APA REF
Zarei, H., Nasekhian, S., & Talebian, M. H. (2026). Investigating the Construction Technology of Elamite Vaulted Tombs at Susa: A Study Based on Trapezoidal (Wedge-Shaped) Brick Materials. *Journal of Research on Archaeometry, 12*(1), 12109, DOI: 10.66224/jra.2026.12.109