Downloaded from jra-tabriziau.ir at 7:50 +0330 on Wednesday June 10th 2026

Journal of Research on Archaeometry 2024; 10 (2); 85-110

Journal of Reserarch on Archaeometry

DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jra.10.2.448

Original Paper Open Access

# Analysis of Influential Features in the Construction Techniques of Barrel Vaults in Elamite and Elymaean Tombs of Khuzestan

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

1. Ph.D. Candidate, Department of Conservation of Historical Monuments and Sites, Faculty of Conservation and Restoration, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran
2. Associate Professor, Department of Conservation of Historical Monuments and Sites, Faculty of Conservation and Restoration, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran
3. Professor, Department of Restoration, School of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 2024/10/1 Accepted: 2024/12/2

**Abstract**

The earliest recorded examples of barrel vault construction in Iran, particularly in the Khuzestan province, belong to the Elamite period. Understanding the geometric characteristics of these vaults can contribute to both the comprehension of construction techniques and the conservation of these historical structures while maintaining their original architectural authenticity. This study aims to identify the geometrical and technological factors affecting the arrangement methods influenced by the bonding relationships of elements, the span, and the rise of the vaults, with the goal of reconstructing collapsed sections of these historical barrel vaults. The primary research question is: What are the construction characteristics of Elamite brick-barrel vaults in Khuzestan that are influenced by the bonding of elements and the relationship between span and rise? This research adopts a historical-interpretive methodology, utilizing both library research and field studies. Fifteen barrel-vaulted tombs with square-shaped materials (three from early Elamite, seven from Middle Elamite, one from Neo-Elamite, and four from Elymaean periods) and six tombs with trapezoidal materials were selected based on archaeological reports and field surveys. The findings indicate that the construction techniques included the use of Persian, Roman, and hybrid bonding methods, the employment of pointed arches, a logical relationship between the type of material geometry and vault span, a consistent pattern between span and rise ratios in Elamite and Elymaean periods, and a uniform vault thickness to enhance resistance. This study highlights that the geometry, thickness, span-to-rise ratio, and brick arrangement significantly impact the stability and durability of barrel vaults, providing valuable insights for reconstructing collapsed vaults from this historical period.

**Keywords:**

Barrel vault, construction techniques, vaulted tombs, Elamite and Elymaean periods, Khuzestan province

* Corresponding Author: s.nasekhian@aui.ac.ir

©2024 by the Authours.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: 10.61882/jra.10.2.448 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 7:50 +0330 on Wednesday June 10th 2026

## Introduction

Underground vaulted tombs represent a distinctive form of burial in Elamite culture. These structures required advanced construction knowledge, particularly in the execution of vaulted ceilings. One of the key architectural challenges of these tombs was their roofing system, where the barrel vault was a predominant solution. This type of vaulting has a long-standing presence in southwestern Iran, particularly in Khuzestan, evolving through various modifications over time. Differences in the execution of barrel vaults can be observed across mountainous and lowland regions. In the plains and lowlands of Khuzestan, vaults were predominantly built using mudbrick and baked brick, influenced by both climatic conditions and material availability. Given the historical continuity of these materials in barrel vault construction, this study focuses on the mudbrick and brick-built vaulted structures within Khuzestan's lowland regions, particularly in Dezful, Shush, and Shushtar.

The barrel vault, often constructed on horizontal surfaces and supported by two to four walls, is one of the oldest and most widespread roofing techniques in Iranian architecture. Evidence of such vaults dating back to around 1500 BCE can be found at Haft Tappeh, Chogha Zanbil, and Susa, marking a significant architectural advancement during the Elamite period. Over time, the construction techniques of these vaulted tombs evolved, influenced by practical and aesthetic considerations. Given the high regard for the afterlife in ancient cultures, burial chambers were constructed with durable vaulted forms to ensure longevity.

Previous studies have primarily referenced two construction methods for these vaults. However, architectural evidence suggests a greater diversity in techniques employed by ancient builders. The choice of brick arrangement played a crucial role in determining the vault's geometry and structural stability. By analyzing these structures, it is evident that Elamite architects carefully considered the thickness of the span, the vault rise, and the wall dimensions to establish specific architectural proportions. Despite variations across different periods, there appears to be a consistent relationship between vault bonding techniques, structural proportions, and construction technologies in the Elamite and Elymaean periods. Identifying and analyzing these characteristics not only enhances the understanding of the structural authenticity of these vaulted tombs but also provides valuable insights for restoring collapsed sections. In many cases, direct analogs for these structures are rare; however, by identifying recurrent architectural features, effective restoration methods can be proposed. Furthermore, such research contributes to archaeological studies by introducing new methodologies for dating historical structures based on their construction techniques.

## Materials and Methods

This study adopts an applied research approach, aimed at expanding practical knowledge in the field of historical architecture and restoration. It utilizes a mixed-method research design, incorporating both qualitative and quantitative data analysis. The historical-interpretive approach facilitates a comprehensive understanding of past construction techniques through the examination of historical sources, comparative studies, and field observations. Data collection was conducted through field surveys (including observations and interviews) as well as library research.The research sample comprises barrel-vaulted tombs from the Elamite and Elymaean periods in Khuzestan, selected based on the availability of documented plans and measurements. A total of 15 tombs constructed with square-shaped materials were analyzed, including three from Early Elamite, seven from Middle Elamite, one from Neo-Elamite, and four from the Elymaean period. Additionally, six tombs featuring trapezoidal construction materials from the Elamite period were examined. The analysis was conducted using

[ DOI: 10.61882/jra.10.2.448 ]

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 7:50 +0330 on Wednesday June 10th 2026

AutoCAD software to reconstruct the geometric proportions of the vaults, supplemented by the study of historical photographs and excavation reports**.**

## Results and Discussion

The analysis of Elamite and Elymaean barrel vaults in Khuzestan revealed several recurring architectural characteristics:

1. Vault Arrangement:

Elamite vaults were constructed using Roman (Elamite) and Persian (herringbone) bonding techniques, with vault layers either leaning against the rear wall or arranged perpendicularly.

Elymaean tombs introduced a hybrid technique combining Roman and Persian methods, where the initial arc of the vault used Roman bonding while the upper section employed Persian bonding.

2. Span-to-Rise Ratio:

In Elamite tombs, the vault rise was consistently greater than the span, with an approximate ratio of 1.3.

This ratio gradually decreased over time, reaching values below 1 in the Elymaean period.

3. Vault Thickness:

Vaults with spans of up to 3 meters were constructed with a single-layer brick thickness.

For spans exceeding 3 meters, the thickness increased to one and a half brick layers.

4. Supporting Walls:

Throughout all periods, vertical or slightly inclined supporting walls were used under the vaults.

5. Mortar Thickness:

The mortar thickness between bricks remained consistent at approximately 1.5 to 2 cm, despite a reduction in brick thickness from 10 cm in the Elamite period to 6 cm in the Elymaean period.

6. Material Usage:

Square bricks were predominantly used for large-span vaults, while trapezoidal bricks were preferred for smaller vaults under 1 meter in span.

7. Vault Thickness-to-Span Ratio:

The average ratio ranged between 1:8 and 1:9 in Elamite tombs, increasing to 1:12 in Elymaean structures.

8. Orientation:

Vaults were consistently aligned along the longitudinal axis of the burial chamber.

9. Geometric Plan:

The burial chambers were consistently rectangular, with the length typically more than twice the width in Elamite structures but reduced to a ratio of less than 2:1 in Elymaean tombs.

10. Adjacent Vault Connections:

In L-shaped burial spaces, vaults were either separated by a wall or a corridor, with no direct connection between them.

In linear arrangements, vaults were separated by an entrance arch.

These findings emphasize the critical role of geometry, thickness, span-to-rise ratio, and brick bonding techniques in ensuring the stability and durability of barrel vaults. The study also underscores the importance of preserving these historical architectural features in restoration efforts.

## Conclusion

The study concludes that from the Early Elamite to Elymaean periods, the span-to-rise ratio decreased, while certain architectural elements, such as rectangular burial chambers, single-layer vault thickness, and consistent vault orientation, remained unchanged. The results also highlight the significance of vault arrangement techniques, including Persian, Roman, and hybrid methods, in shaping the structural integrity of these tombs. These insights provide valuable guidance for conservation and restoration efforts, allowing for the reconstruction of collapsed vaults based on their geometric and structural characteristics.

[ DOI: 10.61882/jra.10.2.448 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 7:50 +0330 on Wednesday June 10th 2026

پژوهه باستان سنجی، ۱۴۰۳؛ ۱۰ (۲): ۱۱۰-۸۵

پژوهه باستان سنجی

DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jra.10.2.448

مقاله پژوهشی

دسترسی آزاد

# واکاوی ویژگی‌های تاثیرگذار در فن ساخت طاق آهنگ مقابر عیلام و الیمایی خوزستان

**هانی زارعی[۱]، شهریار ناسخیان[۲*]، محمدحسن طالبیان[۳]**

۱. دانشجوی دکتری، گروه مرمت بناها و بافت‌های تاریخی، دانشکده حفاظت‌ومرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران

۲. دانشیار، گروه مرمت بناها و بافت‌های تاریخی، دانشکده حفاظت‌ومرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران

۳. استاد، گروه مرمت، دانشکدگان هنرهای زیبا، دانشکده معماری، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۷/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۹/۱۲

## چکیده

قدیمی‌ترین نمونه‌های ثبت‌شده از ساخت طاق آهنگ در ایران مربوط به استان خوزستان و مقابر طاقدار دوره عیلامیان است. شناخت ویژگی‌های هندسی طاق‌های آهنگ، علاوه بر درک فنون ساخت مرتبط با روش‌های چینش، می‌تواند در حفاظت این آثار تاریخی بر اساس اصالت کالبدی مبتنی بر فن ساخت نیز مؤثر باشد. پژوهش حاضر به بررسی این ویژگی‌ها پرداخته و هدف آن، شناسایی عوامل هندسی و فناوری ساخت تأثیرگذار بر شیوه‌های چینش، با تأکید بر روابط خاص پیوند اجزا و ارتباط میان دهلنه و افراز طاق‌ها، به‌منظور بازیابی بخش‌های فروریخته طاق‌های آهنگ این دوره تاریخی است. مهم‌ترین پرسش پژوهش این است که: ویژگی‌های چینش طاق‌های آهنگ خشتی-آجری دوره عیلام در خوزستان، با توجه به روابط خاص پیوند اجزا و ارتباط دهانه و افراز طاق‌ها چیست؟ این پژوهش با رویکرد تاریخی-تفسیری انجام و اطلاعات آن از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی‌های میدانی گردآوری شده است. بر این اساس، ۱۵ نمونه از مقابر طاقدار با مصالح مربع شکل (شامل مقابر دوره عیلام اول، دوره عیلام میانه، دوره نئوعیلامی و دوره الیمایی)، بر اساس گزارش‌های باستان‌شناسی یا بررسی‌های میدانی انتخاب و تحلیل شده‌اند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که اجرای طاق آهنگ با چینش ضربی، رومی و ترکیبی، وجود روابط بین مصالح و دهانه طاق، ارتباط معنادار میان افراز و دهانه در دوره‌های عیلامی و الیمایی، ثابت بودن ضخامت طاق و تناسب میان تعداد لایه‌های طاق و ابعاد دهانه از مهم‌ترین ویژگی‌های این طاق‌ها هستند. این پژوهش نشان می‌دهد که هندسه طاق، ضخامت، نسبت دهانه به افراز و روش چینش آجرها تأثیر مستقیمی بر پایداری و مقاومت طاق‌ها دارند و درک صحیح این عوامل می‌تواند در بازسازی طاق‌های فروریخته این دوره تاریخی نقش مؤثری ایفا کند.

## واژگان کلیدی

طاق آهنگ، شیوه چینش، مقابر طاقدار، دوره عیلام و الیمایی، استان خوزستان

*مسئول مکاتبات: s.nasekhian@aui.ac.ir

©2024 by the Authours.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: 10.61882/jra.10.2.448 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 7:50 +0330 on Wednesday June 10th 2026

## ۱. مقدمه

مقبره‌های طاقدار زیرزمینی در استان خوزستان یکی از نمونه‌های شاخص تدفین در فرهنگ عیلامی محسوب می‌شوند. این مقابر دارای ساختاری پیچیده هستند که اجرای آن‌ها مستلزم دانش فنی خاصی، به‌ویژه در ساخت پوشش طاقی است. از مهم‌ترین چالش‌های معماری این نوع بناها، پوشش فضاها بوده که یکی از رایج‌ترین آن، طاق آهنگ است. این نوع پوشش، پیشینه‌ای طولانی در جنوب غرب ایران، به ویژه در استان خوزستان دارد و از دوران عیلامیان تاکنون، همراه با تغییرات مختلف، استمرار و تکامل یافته است. در مناطق کوهستانی و جلگه‌ای این حوزه جغرافیایی، تفاوت‌هایی در نحوه اجرای طاق آهنگ مشاهده می‌شود. در نواحی جلگه‌ای و دشت‌های خوزستان، طاق‌ها عمدتاً با استفاده از خشت و آجر ساخته شده‌اند. انتخاب این مصالح، علاوه بر هماهنگی با شرایط اقلیمی منطقه، به سبب فراوانی آن‌ها نیز بوده است. از این رو، در این پژوهش بناهای طاقدار خشتی و آجری مورد بررسی قرار گرفته‌اند. تمرکز این مطالعه بر بخش‌های جلگه‌ای و پست استان خوزستان است. طاق آهنگ معمولاً بر سطحی افقی و بر روی دو و سه دیوار اجرا می‌شود. به دلیل سادگی اجرا، یکی از کهن‌ترین و متداول‌ترین انواع پوشش در معماری ایران محسوب می‌شود. نمونه‌هایی از این نوع طاق در محوطه‌های هفت‌تپه، چغازنبیل و شوش به‌جای مانده‌اند که نشانگر دوره‌ای درخشان در معماری عیلامی هستند (نگهبان، ۱۳۷۲: ۹۷). از منظر فن ساخت، طاق‌های آهنگ خشتی و آجری در دوران تاریخی دارای ویژگی‌های خاصی بوده‌اند که در طول زمان دچار تغییر و تکامل شده است. از آنجا که مقابر تدفینی، به دلیل نگاه ویژه انسان باستان به مرگ، از اهمیت خاصی برخوردار بوده‌اند، در ساخت آن‌ها از پوشش بادوام‌تر طاقدار استفاده می‌شده است (کروچی، ۱۳۹۵: ۳۸؛ نگهبان، ۱۳۷۲).

به طور کلی مطالعات پیشین عمدتاً به دو نوع شیوه چینش در طاق آهنگ در این منطقه اشاره کرده‌اند؛ اما شواهد معماری نشان می‌دهد که معماران گذشته از روش‌های متنوع‌تری نیز بهره گرفته‌اند. در اجرای طاق آهنگ، انواع آجرچینی تأثیر بسزایی در تعیین فرم و هندسه طاق داشته است. بررسی این بناها نشان می‌دهد که معماران با در نظر گرفتن ضخامت دهانه، میزان خیز طاق و ضخامت جرزها، توانسته‌اند نسبت‌های خاصی را در معماری این دوره به کار ببرند. اگرچه این نسبت‌ها در دوره‌های مختلف دچار تغییراتی شده است، اما به نظر می‌رسد پیوندهای مشخصی میان شیوه‌های چینش طاق، تناسبات سازه‌ای و ویژگی‌های فنی در دوره‌های عیلامی و الیمایی وجود دارد (محمدی‌فر و خوانایی، ۱۳۹۶: ۵۴؛ رهبر، ۱۳۷۳؛ سرفراز، ۱۳۸۹). بر این اساس مهمترین پرسش پژوهش این است که ویژگی‌های چینش متأثر از روابط خاص پیوند اجزاء و ارتباط دهانه و افراز در طاق‌های آهنگ خشتی– آجری دوره عیلام و الیمایی خوزستان کدامند؟ طاق‌های آهنگ خشتی و آجری در جنوب غرب ایران، به‌ویژه در خوزستان، با وجود تنوع در شیوه‌های اجرا، از اصول هندسی مشخص و ویژگی‌های فنی منحصربه‌فردی برخوردار بوده‌اند. استخراج و تحلیل این ویژگی‌ها، علاوه بر کمک به شناخت بهتر اصالت کالبدی بناهای دارای این گونه طاق، به دلیل اینکه در بسیاری موارد، نمونه‌های مشابه این طاق‌ها به ندرت یافت می‌شوند؛ می‌تواند روش‌های مناسبی برای مرمت بخش‌های فروریخته آن‌ها را ارائه دهد. افزون بر این می‌تواند رویکردی نوین در باستان‌سنجی آثار تاریخی بر اساس ویژگی‌های ساختاری و چینش طاق‌ها محسوب گردد؛ بنابراین این پژوهش با تمرکز بر شناسایی این ویژگی‌ها، می‌تواند راهنمایی برای مرمت آثار تاریخی و ایجاد رویکردهای نوین در مطالعات باستان‌شناسی و حفاظت بناهای تاریخی ارائه دهد. روش تحقیق این مقاله، تاریخی–تفسیری است و تحلیل داده‌ها بر اساس منابع تاریخی، مطالعات تطبیقی و مشاهدات میدانی انجام شده است.

## ۲. پیشینه پژوهش

پیشینه پژوهش‌های مرتبط با طاق آهنگ در معماری ایران پیش از اسلام شامل مطالعات و نظرات اندیشمندان مختلفی است که از طریق بررسی‌های مستقیم، تحلیل آثار، یا ارجاع به تحقیقات پیشین به این موضوع پرداخته‌اند. مطالعات مرتبط با فناوری اجرای پوشش‌های طاق آهنگ توسط پژوهشگرانی چون آندره گدار (۱۳۶۹)، پیرنیا (۱۳۷۳ و ۱۳۸۷)، معماریان (۱۳۶۷، ۱۳۹۴) و ولی‌بیگ (۱۳۹۱) انجام شده است. پیرنیا (۱۳۷۳) پیشینه چفد را بیان کرده است و بیان می‌کند هر دو نوع چَفد مازه‌دار و جناغی دارای پیشینه‌ای طولانی هستند و بهترین نمونه‌های آن‌ها را می‌توان در معبد چغازنبیل (۱۲۵۰ ق.م) و آرامگاه‌های بیرون شهر دورانتاش مشاهده کرد. او همچنین درباره چینش طاق‌ها، به چینش ضربی اشاره کرده و آن را مختص ایران با پیشینه‌ای حدود ۳۵۰۰ سال دانسته است(پیرنیا، ۱۳۷۳: ۴۸). در میان پژوهش‌های اخیر، مطالعات معماریان و صفائیان (۱۳۹۴) روند شکل‌گیری و جزئیات اجرایی این نوع طاق‌ها را به طور کلی بررسی کرده است. بزنوال (۱۳۷۹) فناوری طاق در خاور کهن را مورد مطالعه قرار داده و به انواع چینش طاق‌ها بدون ذکر دوره تاریخی بناها پرداخته است، همچنین، فرشاد (۱۳۶۲: ۳۰۸) اشاره می‌کند که قوس‌های ایرانی از هزاره دوم پیش از میلاد در شوش باقی مانده‌اند. ابوالقاسمی(۱۳۷۶) نیز در مقاله‌ای با عنوان «رومی و پر» به بررسی شیوه‌های مختلف اجرای طاق، از جمله

[ DOI: 10.61882/jra.10.2.448 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 7:50 +0330 on Wednesday June 10th 2026

روش‌های رومی( پر)، چپیله ( تیغه یا لاپوش) و ترکیب رومی و ضربی، اما بدون ارائه اطلاعات دقیق درباره دوره تاریخی و منشأ این روش‌ها پرداخته است. همچنین پیرنیا (۱۳۷۳) به چهار شیوه اصلی ضربی، رومی، چپیله و ترکیب رومی و ضربی اشاره کرده، اما تنها برای شیوه‌های ضربی و رومی به دوره تاریخی آن‌ها پرداخته است (پیرنیا، ۱۳۷۳: ۵۶). آندره گدار (۱۳۶۹) نیز صرفاً به دو شیوه ضربی و رومی اشاره کرده است. از جدیدترین پژوهش‌ها، می‌توان به مطالعات خزائلی و مترجم (۱۴۰۰) اشاره کرد. بر این اساس بررسی فناوری ساخت طاق در مقابر طاقدار خوزستان در دوران عیلام چندان مورد توجه قرار نگرفته است.

در دسته دیگر، برخی مطالعات به مقابر پیش از اسلام در استان خوزستان، شامل دوره‌های عیلامی و الیمایی پرداخته‌اند. بخشی از این مطالعات شامل گزارش‌های کاوشگران اولیه این منطقه است. دمرگان (۱۹۰۰) صرفاً ابعاد آجرهای عیلامی را ذکر و تصویری از یک مقبره با پوشش رومی و ضربی بدون توضیح جزئیات آن ارائه کرده است. گزارش‌های دیگر، از جمله دمرگان (۱۹۰۵ م)، دمکنوم (De Mecquenem) (۱۹۴۳–۱۹۴۲ و ۱۹۴۷)، گریشمن (۱۹۶۸ و ۱۹۷۱) و Dafi۴ (مخفف: هیئت (نمایندگی) باستانشناسی فرانسه در ایران Francais en -Iran -Archéologique -Délégation ) (۱۹۷۴) و ۱۲ (۱۹۸۱) ، در بخشی از آن‌ها به مقابر طاقدار خوزستان دوران تاریخی اشاره شده است. گزارش حفاری‌های شوش گریشمن و استیو (M.-J. Steve) (۱۹۶۵–۱۹۶۲ و ۱۹۷۱) نیز حاوی اطلاعات کلی در مورد این مقابر و بدون ارائه جزئیات لازم است. در پژوهش‌های جدید، مطالعات مربوط به ویژگی‌های سازه‌ای بناهای طاقدار دوره عیلامی در خوزستان بسیار محدود است. از جدیدترین تحلیل‌ها، توسط حسینی و همکاران (۲۰۲۰) انجام شده که به بررسی پنج مقبره چغازنبیل از نظر سازه‌ای و تحلیل نرم‌افزاری، به برخی ویژگی‌های خاص چینش طاق آهنگ موثر در مقاومت طاق در این مقابر پرداخته است. دالای (۲۰۱۸) در بررسی مقابر زیرزمینی ایران و بین التهرین، مقابر صالح داوود، شوش، هفت‌تپه و چغازنبیل را از نظر فنی و روش‌های چینش ضربی و رومی در ساخت طاق‌های آهنگ و فنون اجرایی آن‌ها را بررسی کرده است. رهبر (۱۳۷۶، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۸) در مطالعات خود به مقابر طاقدار دوره الیمایی شوشتر و صالح داوود اشاره کرده و شیوه‌های چینش این مقابر را به‌طور کلی بررسی کرده است، اما ویژگی‌های هندسی، نوع چینش و روابط خیز و دهانه این سازه‌ها را به‌تفصیل مورد مطالعه قرار نداده است. سایر مطالعات موجود عمدتاً بر اساس بررسی اسناد و مطالعات پیشین انجام شده‌اند که به پژوهش‌های کوثری (۱۳۷۳)، مفیدی نصرآبادی (۲۰۱۲) و (پیر (Pierre) ۱۹۸۱) می‌توان اشاره کرد. همچنین زلقی (۲۰۱۸) نیز به بازنگری مقابر عیلامی شوش در تپه ۴۹۷ پرداخته و تنها بر تدقیق دوره تاریخی این مقابر تمرکز داشته است. نیز شیشه‌گر (۱۳۹۴)، آرامگاه دو بانوی عیلامی از دوره عیلام نو را بررسی کرده است. در مجموع، با وجود تلاش‌های ارزشمند پژوهشگران پیشین و ارائه دسته‌بندی‌های اولیه درباره انواع طاق و شیوه‌های چینش ضربی و رومی، همچنان بررسی دقیق فن ساخت و چینش طاق‌ها در دوره عیلام و الیمایی و اجرای پوشش‌های طاقی در این منطقه نیازمند مطالعات بیشتری است. بسیاری از پژوهش‌های موجود تنها به توصیف کلی سازه‌ها پرداخته‌اند و کمتر به بررسی دقیق شیوه‌های چینش، ویژگی‌های خاص اجرا و تأثیر این عوامل در شناخت دوران تاریخی بناها توجه شده است؛ بنابراین خلأ این مطالعات همچنان احساس می‌شود و نیازمند تحقیقات جامع‌تری است.

## ۳. روش پژوهش

با توجه به اینکه در پژوهش‌های کاربردی، هدف؛کشف دانش تازه‌ای است که کاربرد مشخصی درباره فرآورده یا فرآیندی در واقعیت را دنبال می‌کند (جین و دیگران، ۱۳۸۱: ۱۲) و توسعه دانش کاربردی در یک زمینه خاص است(حبیبی،۱۳۹۱)، پژوهش پیش رو از لحاظ هدف، یک پژوهش کاربردی است و بر اساس ماهیت داده‌ها، کیفی و کمی (کی بین، ۱۳۷۸: ۱۷) و بر اساس روش، تکیه بر روش‌های ترکیبی (تاریخی – تفسیری)(عینی فر، ۱۳۹۶: ۱۳۷ و معماریان، ۱۳۹۳) دارد. روش داده اندوزی بصورت میدانی ( مشاهده– مصاحبه) و کتابخانه‌ای بوده است. جامعه آماری پژوهش شامل مقابر طاقدار دوران عیلام و الیمایی استان خوزستان است که دارای اطلاعات میدانی و یا کتابخانه‌ای (پیشینه، نقشه‌های بنا (پلان–نما–برش) در دسترس باشند، است. بر این اساس تعداد ۱۵ نمونه از مقابر طاقدار با مصالح مربع و مستطیل شکل( شامل ۳ مقبره دوره عیلام اول– ۷ مقبره دوره عیلام میانه–۱ مقبره دوره نئوعیلامی و ۴ مقبره دوره الیمایی) بر اساس گزارش‌های کاوش باستان شناسان و یا بررسی میدانی انتخاب و براساس جزئیات ابعادی ذکر شده در منابع مورد اشاره به منظور تدقیق و بازیابی ابعاد مورد نظر از طریق نرم افزار اتوکد بررسی مجدد و باز ترسیم دوبعدی شده است. در بخشی دیگر، خوانش تصاویر قدیمی ثبت شده انجام و داده های بدست آمده تحلیل شده است.

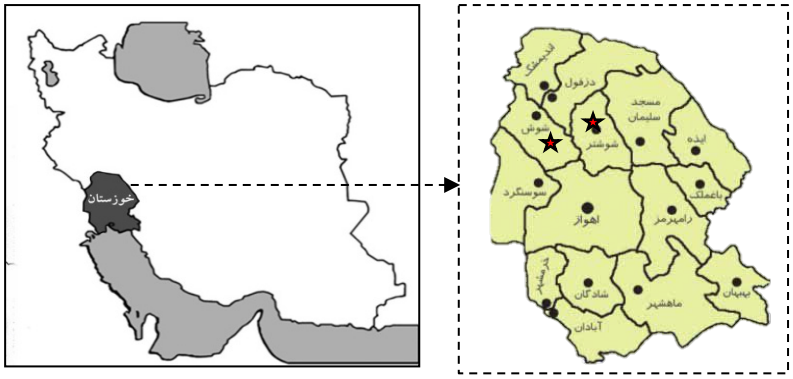
## ٤. جلگه خوزستان

فلات ایران از نظر تاریخی به دو بخش متمایز تقسیم می‌شود؛ نیمه غربی و جنوب غربی زودتر وارد دوران تاریخی شده‌اند.

[ DOI: 10.61882/jra.10.2.448 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 7:50 +0330 on Wednesday June 10th 2026

نخستین شواهد نگارش در ایران از جنوب غربی فلات ایران و اوایل هزاره سوم پیش از میلاد به دست آمده است (ملکزاده، ۱۳۷۳: ۱۷۲). پیشینه حکومت‌های نخستین این منطقه به تمدن پیش‌عیلامی (Perto- Elamite)(۳۱۰۰ ق.م) بازمی‌گردد و سه دوره عیلام کهن (۲۷۰۰–۱۵۰۰ ق.م)، عیلام میانه (۱۱۰۰–۱۴۵۰ ق.م) و عیلام نو (۸۱۴ ق.م تا دوره کوروش) در این منطقه شکل گرفته است (گروه نویسندگان، ۱۳۸۷؛ ملکزاده، ۱۳۷۳؛ سرفراز، ۱۳۸۹؛ رهبر، ۱۳۷۳). مرکز حکومت عیلامیان در دشت خوزستان بوده و این منطقه، به ویژه شوش، تحت تأثیر حکومت‌های میانرودانی قرار داشته است (خراشادی و انتشاری نجف‌آبادی، ۱۴۰۲: ۴۰). دشت خوزستان یکی از دشت‌های حاصلخیز و رسوبی مهم در جهان باستان بوده (سرفراز، ۱۳۸۹: ۸؛ نگهبان، ۱۳۷۲: ۲۶) و جغرافیای عیلام را می‌توان به دو بخش پست (جلگه شوش) و بخش مرتفع کوهستانی (زاگرس میانی و جنوبی) تقسیم کرد (ملکزاده، ۱۳۷۳: ۱۷۶). دشت خوزستان یکی از مهم‌ترین مراکز تمدنی ایران باستان به شمار می‌رود (ارفعی، ۱۳۸۷: ۱۷؛ سرفراز، ۱۳۸۹؛ ملکزاده، ۱۳۷۳). این منطقه از حدود ۳ تا ۴ هزار سال قبل از میلاد وارد دوره تاریخی شد و از آن زمان، عیلامیان در آنجا ساکن بوده‌اند (سرفراز، ۱۳۸۹).

به غیر از عیلامیان، الیمایی‌ها یکی دیگر از اقوامی بودند که در این محدوده جغرافیایی سکونت داشتند. آنان از کوهستان‌های شمال شرق دشت خوزستان برخاسته و حوزه سکونتشان بخش‌های وسیعی از خوزستان، اصفهان تا خلیج فارس را شامل می‌شده است. هنر معماری بومی آنان از دوره عیلام میانه تا دوره حکومتشان ادامه داشت (سرفراز، ۱۳۸۹: ۲۳۷). برخی پژوهشگران، الیمایی‌ها را با عیلامیان مرتبط دانسته‌اند، اما به لحاظ قومی تفاوت‌هایی میان این دو وجود داشته است (محمدی‌فر و خوانایی، ۱۳۹۶: ۱۵۴). الیمایی‌ها ابتدا در ایذه (حدود ۱۶۲م) و سپس در شوشتر (دستوا) ساکن شدند. آرامگاه‌های کنار شهر دستوا به شاهان الیمایی تعلق دارد و در حدود سال ۸۵ م، شاهزادگان اشکانی جایگزین آنان شدند (رهبر، ۱۳۷۳). بر این اساس به بررسی معماری طاق آهنگ در دوران عیلام و الیمایی پرداخته شده است. ازسویی به دلیل گستردگی نفوذ عیلامیان و وجود ابهاماتی در مورد مرزهای دقیق جغرافیایی حکومت عیلام، این پژوهش محدوده استان خوزستان را دربرمی‌گیرد. این استان که در جنوب غرب ایران واقع شده، دارای آثار تاریخی ارزشمندی از جمله بناهای طاقدار است که روند شکل‌گیری و تکامل این نوع معماری را در طول تاریخ نشان می‌دهند (اطلس راهنمای استان‌های ایران، ۱۳۸۴).




**شکل ۱.** موقعیت جغرافیایی خوزستان در ایران و موقعیت مقابر بررسی شده در دوره عیلام و الیمایی

**Figure 1.** Geographical location of Khuzestan in Iran and the erea of the tombs surveyed in the Elamite and Elymais periods

## ۵. فناوری ساخت طاق آهنگ

برای درک بهتر مطالب، ابتدا نکات کلیدی مرتبط با ساخت طاق آهنگ بررسی شده است:

ـ طاق آهنگ: طاق آهنگ که به نام‌های گهواره‌ای یا لوله‌ای نیز شناخته می‌شود، ساده‌ترین نوع طاق ایرانی است که در واقع ادامه‌ای از یک چفد در امتداد مشخصی به شمار می‌رود (پیرنیا، ۱۳۷۳: ۵۸). این طاق از نظر هندسی به‌صورت یک سطح پوشانده شده با دو دیوار در دو سوی آن ساخته می‌شود که در برخی موارد، از دیوار پشت‌بند برای افزایش پایداری استفاده می‌شود. این طاق معمولاً به‌صورت نیم‌استوانه‌ای در بخش میانی یا در تمام طول سازه اجرا می‌گردد (ولی‌بیگ، ۱۳۹۱: ۱۵). استان خوزستان یکی از مناطق پیشرو در تاریخ معماری ایران است (گریشمن، ۱۹۶۶: ۴) که آثار معماری متعددی از جمله طاق‌ها و مقابر طاقدار را در خود جای داده است. این آثار به شیوه‌های مختلف، از جمله قالب‌گذاری رومی و چینش ضربی بدون قالب ساخته شده‌اند که نوع چینش در آن‌ها بسیار متنوع است.

علاوه بر قالب، یکی دیگر از عوامل مهم در استحکام طاق؛ هندسه تاق، فرم پوسته یا قوس است که شامل اشکال هندسی

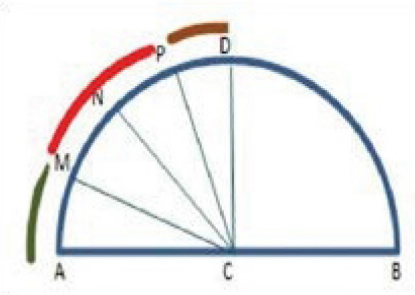
[ DOI: 10.61882/jra.10.2.448 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 7:50 +0330 on Wednesday June 10th 2026

خاصی است که به طور معمول چفد یا قوس نامیده می‌شود؛ به عبارت دیگر، یک طاق زمانی امن می‌شود که شکل آن دارای هندسه ای باشد که به آن اجازه دهد در هنگام قرار گرفتن تحت بارگذاری خود را مهار کند(A. Etlin, 2015:1). استادکاران سنتی معتقدند که ابعاد دهانه، افراز، ضخامت طاق، گاز و شکل هندسی مصالح در مقاومت طاق نقش بسیار مهمی دارند. همچنین، رابطه میان دهانه، افراز و نوع چفد تأثیر مستقیمی بر حجم و مساحت مصالح مورد استفاده در ساخت طاق نیز دارد (ولی‌بیگ و دیگران، ۱۳۹۱). هر چفد از اجزایی چون دهانه، افراز، پاکار و رأس تشکیل شده است که هر کدام در پایداری طاق تأثیر دارند (جدول ۱).

**جدول ۱.** بخش‌های گوناگون چفد (ولی بیگ و دیگران، ۱۳۹۱: ۴۱)

**Table 1.**Various sections of Chafd (Vali Beg et al., 2012: 41)

| | | |
|---|---|---|
| تیزه=D | کلاله=PD | افراز (بلندا)=CD |
| ایوارگاه=P | | |
| میان‌شانه=N | شانه=MP | دهانه=AB |
| شکرگاه=M | | |
| پاکار=A | بالنج=AM | خیز=CD/AB |
| میان دهانه=C | | |

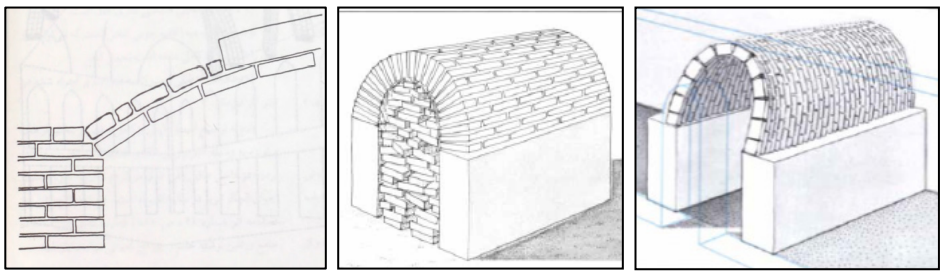



انواع چینش طاق آهنگ: در طبقه‌بندی انواع چینش طاق‌های آهنگ، روش‌های مختلفی از جمله چینش رگ چین(کوربل)، ضربی، رومی یا عیلامی، چپیله و ترکیب رومی– ضربی شناسایی شده است (پیرنیا، ۱۳۷۳؛ گدار، ۱۳۶۹).

چینش ضربی (پر یا زخم): در این شیوه، آجر یا خشت عمود بر مقطع آجرهای دیوارهای پاکار قرار می‌گیرد و از روبه‌رو به‌صورت کامل در صفحه خود دیده می‌شود، در حالی‌که از زیر به‌صورت نره در مقطع افقی مشاهده می‌شود (پیرنیا، ۱۳۷۳: ۴۸).

چینش رومی (عیلامی): در این نوع، آجرها به‌گونه‌ای قرار می‌گیرند که در مقطع عمودی از روبه‌رو به‌صورت نره مشاهده می‌شوند و در مقطع افقی به‌صورت صفحه کامل نمایان می‌شوند (پیرنیا، ۱۳۷۳: ۵۳).

چینش چپیله (تیغه‌ای یا لاپوش): در این شیوه، لبه آجر به صورت لایه‌های باریک در مقطع عمودی قرار دارد و بیشترین سطح آجر از زیر قابل مشاهده است (پیرنیا، ۱۳۷۳: ۵۷؛ ولی‌بیگ، ۱۳۹۱: ۷۲) ( شکل ۲).



**شکل ۲.** از راست به ترتیب: ۱ـ چینش ضربی متمایل ۲ـ چینش رومی یا عیلامی (وان بیک، ۱۹۸۷: ۹۸)– ۳ـ چینش چپیله (تهرانی، ۱۳۷۱: ۳۸).

**Figure 2.** From right to left: 1- Inclined multiplication arrangement 2- Roman or Elamite arrangement (Van Beek, 1987: 98)- 3- Chapile arrangement (Tehran, 1992: 38).

به طور کلی ساخت طاق آهنگ با استفاده از آجر چالش‌های خاص خود را دارد. در این ساختار، از آجرهای ذوزنقه‌ای یا آجرهای مستطیل و مربع استفاده می‌شود. آجرهای ذوزنقه‌ای شکل قالب گرفته شده برای قوس‌های کوچک مناسب هستند، در حالی‌که در طاق‌های بزرگ این آجرها چندان کاربردی ندارند (هولزر، ۲۰۲۱: ۷۵۸). روش دیگر، تراش آجرهای مستطیل‌شکل به صورت گوه‌ای است. استفاده از آجرهایی با اشکال هندسی مختلف مانند مربع، مستطیل، ذوزنقه و منحنی در ساخت طاق‌های آهنگ در مناطق مختلف از جمله بین‌النهرین، مصر، روم و ایران رایج بوده است و قدمت آن به هزاران سال پیش بازمی‌گردد (دالای، ۲۰۱۸: ۱۵۴؛ وان‌بیک(Van Beek)، ۱۹۸۷). در دوره عیلامی، آجرها در ابعاد بسیار بزرگ و بسیار ضخیم هستند، لذا امکان برش منظم آنها وجود

[ DOI: 10.61882/jra.10.2.448 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 7:50 +0330 on Wednesday June 10th 2026

نداشت و آنها مواد را مخصوصاً برای استفاده‌ای که برای آن در نظر گرفته شده بود قالب گیری می کردند (دمرگان،۱۹۰۰: ۱۹۷). متداول‌ترین آجرهای عیلامی مربع هستند، اما استفاده از آجرهای مستطیل و ذوزنقه‌ای نیز برای تأمین استحکام بیشتر طاق‌ها مرسوم بوده است (طالبیان و فدایی، ۱۳۹۷: ۳۵) و (گریشمن، ۱۳۷۵: ۸۷).

## ٦. بررسی نمونه‌ها

پوشش فضاها از جمله مسائل مهم در معماری باستان بوده که در مقابر به دلیل ویژگی‌های فنی و ماندگاری خاص خود، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این پوشش، به دلیل پیچیدگی‌های ساخت و اهمیت استحکام، غالباً در بناهای مهم مانند مقابر و فضاهای خاص مسکونی مورد استفاده قرار می‌گرفتند. بر اساس منابع موجود، مقابر طاقدار زیرزمینی یکی از اشکال رایج تدفین در فرهنگ عیلامی و الیمایی بوده است. عیلامیان مردگان خود را در زیر کف خانه‌هایشان دفن می‌کردند و مقابر افراد مرفه به صورت سردابه‌ای و با طاق هلالی ساخته می‌شد (گریشمن، کتاب چغازنبیل، ۸۳). این نوع سازه تدفینی در کاوش‌های اولیه شوش مربوط به آغاز عیلامی (شکری و نیکنامی، ۱۴۰۲: ۴۵)، هفت تپه، چغازنبیل و کاوش‌های اخیر در شوشتر مر بوط به دوره الیمایی شناسایی شده است (زلقی، ۲۰۱۸: ۲۷۷).

بر این اساس نمونه‌های بررسی‌شده شامل مقابر طاقدار در دوره‌های مختلف تاریخی از جمله عیلام قدیم (هزاره دوم ق.م: ۱۹۰۰–۱۵۰۰ ق.م، سلسله سوکل مخ)، ۳ نمونه، عیلام میانه (۱۴۵۰–۱۱۰۰ ق.م)، ۷ نمونه (شامل ۲ نمونه از هفت‌تپه و ۵ نمونه از چغازنبیل)، نئو عیلامی، ۱ نمونه، دوره الیمایی، ۴ نمونه است. بررسی نمونه‌ها نشان می‌دهد که شکل هندسی مصالح به‌کاررفته به دو دسته مربع ، مستطیل و ذوزنقه تقسیم می‌شوند. باتوجه به اینکه در معماری الیمایی مصالح ذوزنقه شکل دیده نشده است، لذا بر این اساس در این پژوهش به بررسی مقابر تاقدار با مصالح مربع و مستطیل پرداخته شده و بررسی مصالح ذورنقه می‌تواند در پژوهشی دیگر پرداخته شود.

### ٦-١. عیلام (هزاره دوم ق.م : ۱۹۰۰–۱۵۰۰ ق.م سلسله سوکل مخ)

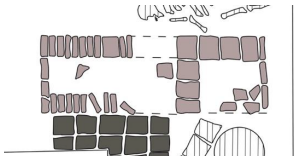
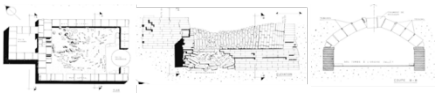
پوشش‌های طاق‌دار در هزاره سوم پیش از میلاد در بین‌النهرین به‌طور پراکنده مشاهده شده‌اند و ساختارهای پیچیده‌ای داشتند که نیازمند دانش فنی ویژه‌ای برای تحقق سقف‌های طاق‌دار بودند (دالای، ۲۰۱۸: ۱۵۴). مقابر عیلامیان معمولاً طاق‌دار بودند و گاهی برای دسترسی به داخل مقبره یک میل (کانال عمودی) نیز داشتند (گریشمن و استیو، ۱۹۶۴–۱۹۶۵). در کاوش‌های شوش، انواع مختلفی از قبور طاق‌دار با طراحی‌های متفاوت مشاهده شده‌اند که شامل طاق‌های گهواره‌ای با چینش رگ‌چین(کوربل)( Corbel)، ضربی، رومی و ترکیبی می‌شوند (دومنکم، ۱۹۴۶). در نیمه دوم هزاره دوم پیش از میلاد، شوش شاهد نوع جدیدی از طاق‌های هلالی بود. در این طاق‌ها از همان ابتدای قوس، آجرها به صورت راسته چیده شده و بر روی آن‌ها آجرهای دیگری به تدریج اضافه می‌شدند تا به شکل قوس‌های پشت سر هم درآیند. قوس اول کمی متمایل به عقب است و به دیوار انتهایی مقبره تکیه می‌کند. این قوس‌ها به تدریج که از دیوار دور می‌شوند، به حالت عمودی نزدیک می‌شوند. این شیوه اجرایی که به شیوه ضربی متمایل (Pitched vault) معروف است، به‌طور خاص در مقابر عیلامی دیده می‌شود (گریشمن، ۱۳۷۵). بررسی سه مقبره مربوط به ۳۲۰۰ ق.م در دوره عیلام کهن(دومنکم، ۱۹۴۶)، همچنین در هزاره دوم ق.م در شوش (زلقی، ۲۰۱۸) نشان می‌دهد که شیوه چینش طاق‌ها ضربی متمایل به دیوار عقب (Pitched vault: سه شیوه چیدمان تاق‌های خاور نزدیک باستان، ضربی شیبدار(Pitched) ضربی عمودی (Vertical) – رومی، تاق‌های شعاعی (Radial) – لنگه‌ای)(Rib vaulting) و هندسه مصالح ذوزنقه‌ای( Wedge shaped) brick و چهار گوش شناخته شده است (وان بیک، ۱۹۸۷). بوده و ضخامت آن‌ها یک لایه است (جدول ۳). طاق‌ها بر روی سه دیوار باربر ساخته شده و جرز زیر طاق، کوتاه و عمودی است. همچنین، جهت اجرای طاق در محور طولی اتاق تدفین و بر روی دو دیوار طولی صورت گرفته است.

ویژگی‌های هندسی و اجرایی قابل ذکر مقابر این دوره این است که، آجرهای به‌کاررفته دارای شکل مربع هستند. پلان مقبره‌ها نیز مستطیل‌شکل است. بررسی نسبت ابعادی مقابر نشان می‌دهد که نسبت طول به عرض آن‌ها بین ۱۶ تا ۱۸ است، همچنین دهانه طاق شامل ۵ آجر است، درحالی‌که طول مقبره ۱۰ آجر مربع کامل است. در مقبره شماره ۳ (تنها مقبره‌ای که طاق آن سالم باقی مانده است)، نسبت دهانه به افراز ۰.۶ است. یکی از نکات جالب توجه در این سازه‌ها، اجرای طاق با آجرهای کامل است. به نظر می‌رسد این روش به‌منظور کاهش برش آجر، جلوگیری از تبدیل آجر کامل به نیمه، افزایش سرعت اجرا و کاهش هزینه‌ها به کار گرفته شده است. این ویژگی از نظر فنی و اقتصادی قابل توجه بوده و نشان‌دهنده مهارت وتوجه استادکاران در ساخت طاق آهنگ

[ DOI: 10.61882/jra.10.2.448 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 7:50 +0330 on Wednesday June 10th 2026

در این منطقه جغرافیایی است (جدول ۲).

**جدول ۲.** مقابر طاقدار دوره عیلام- هزاره دوم ق.م با مصالح مربع و مستطیل شکل(زلقی، ۲۰۱۸ و گریشمن ۱۹۶۳-۶۴)
**Table 2.** Vaulted tombs of the Elamite period - 2nd millennium BC with square and rectangular materials (Zalghi, 2018 and Grishman 1963-64)

| ردیف | نوع بنا | شکل | نقشه | موقعیت قرارگیری | دوره تاریخی |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | مقبره KS 53 | |  | شوش | |
| 2 | مقبره KS 53 | | | شوش | عیلام هزاره دوم ق.م |
| 3 | مقبره شماره 3 | |  | شوش | |

## ۶-۲. بررسی مقابر عیلام میانه (۱۵۰۰-۱۲۵۰ ق.م)

بررسی مقابر عیلام میانه (۱۵۰۰ ق.م-۱۲۵۰ ق.م) شامل مقابر هفت تپه و چغازنبیل نشان‌دهنده ویژگی‌های خاص و تحولاتی در فن ساخت طاق‌های آهنگ آجری است که در آن دوره به‌کار گرفته شده است.

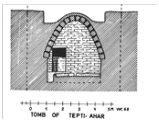
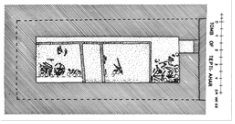
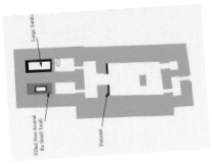
در دوره عیلام میانه، دو مقبره از هفت‌تپه (۱۵۰۰ ق.م)، مورد بررسی قرار گرفته است. هفت تپه، به‌ویژه در زمینه ساخت فضاهای طاقدار اهمیت دارد. طاق‌های کشف‌شده در هفت تپه از شاهکارهای معماری عیلامی به شمار می‌روند و نشان‌دهنده تداوم و پیشرفت در فنون ساخت طاق‌ها در این منطقه هستند و در ساختار و استحکام خود بی‌نظیر بودند که در برخی موارد، پس از گذشت بیش از ۳۵۰۰ سال، هنوز سالم مانده‌اند (نگهبان، ۱۳۷۲: ۷۵). چینش طاق‌های آرامگاه هفت‌تپه به شیوه ضربی با لایه‌های متمایل به دیوار انتهایی اجرا شده است. در این مقابر، دیوار انتهایی که نیروی لایه‌های طاق را تحمل می‌کند، ضخامت بیشتری نسبت به دیوارهای جانبی دارد. طاق‌ها از آجرهای مربعی‌شکل به ابعاد ۳۷×۳۷ و ضخامت ۷-۸ سانتی‌متر ساخته شده و برای به هم چسباندن این آجرها از ملاط تندگیر گچ استفاده شده است. همچنین، به‌منظور جلوگیری از رانش جانبی ناشی از لایه‌های طاق، دیوارهای جانبی ضخیم‌تر و مرتفع‌تر از ارتفاع طاق ساخته شده است.

ویژگی‌های اجرایی طاق در این مقابر شامل این موارد است که جرزهای زیر طاق به‌صورت عمودی و با رج‌چینی افقی اجرا شده است. طاق حدود ۳ سانتی‌متر پیش‌نشستگی از جرز زیرین دارد. افراز طاق از دهانه بلندتر است و نسبت بین دهانه و افراز در مقبره شماره ۱ برابر با ۱.۱ است. ضخامت رأس و پاطاق نیز برابر است و معادل ضخامت یک آجر مربع کامل می‌باشد. این ویژگی نشان‌دهنده یکی از روش‌های بهینه‌سازی ساخت طاق در این دوره است. همچنین، پلان فضای دارای طاق گهواره‌ای به‌صورت مستطیل‌شکل است و سطح طاق کاملاً مسطح و بدون شیب است و در یک لایه به ضخامت یک آجر مربع اجرا شده است (جدول۳).

[ DOI: 10.61882/jra.10.2.448 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 7:50 +0330 on Wednesday June 10th 2026

**جدول ۳.** مقابر طاقدار دوره عیلام میانه– هفت تپه با مصالح مربع و مستطیل شکل (نگهبان، ۱۳۷۲: ۷۵ و مفیدی، ۱۳۹۸)

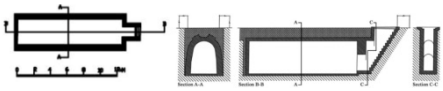
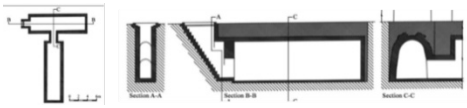
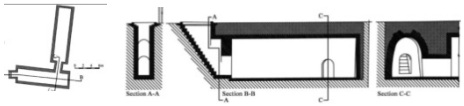
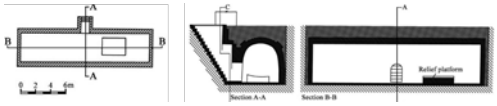
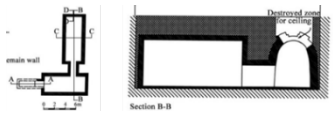
**Table 3.** Vaulted tombs of the Middle Elamite period - Haft Tappeh with square and rectangular materials (Nagheban, 1993: 75 and Mofidi, 2019)

| ردیف | نوع بنا | شکل | نقشه | محل قرارگیری | دوره تاریخی |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | مقبره زیرزمینی | |   | هفت تپه | عیلام میانه 1500ق.م |
| 2 | مقبره زیرزمینی | |  | هفت تپه | عیلام میانه 1500 ق.م |

در مقابر چغازنبیل که مربوط به دوره عیلام میانه و حدود ۱۲۵۰ ق.م است، شیوه ساخت طاق‌ها به‌طور قابل‌توجهی متفاوت از هفت تپه است. طاق‌ها در چغازنبیل بر دیوارهای طولی مقبره تکیه دارند و بر روی دیوار انتهایی مقبره که قوس طاق را شکل می‌دهد، می‌پیوندند (گریشمن، ۱۳۷۵: ۸۶–۸۸). این دو دیوار انتهایی نقش قالب ثابت را دارا هستند. در این طاق‌ها، آجرهای استفاده‌شده، آجرهای معمولی مربع‌شکل هستند و هیچ‌گونه آجر قالب‌گیری شده با شکل هندسی ویژه ( ذوزنقه) برای ساخت طاق‌ها به‌کار نرفته است. یکی از ویژگی‌های برجسته طاق‌های مقابر زیرزمینی چغازنبیل، یکپارچگی ساخت آن‌ها از سقف تا کف است. این ویژگی باعث می‌شود که طاق‌ها در برابر نیروهای خارجی مقاوم باقی بمانند. همچنین، افزایش ارتفاع در بخش‌های بالایی قوس‌ها در مقابر چغازنبیل باعث بهینه‌سازی پایداری طاق‌ها می‌شود (حسینی و همکاران، ۲۰۲۱). چینش طاق‌ها به شیوه رومی(عیلامی)(Radial brick : به این روش رومی گفته می شود اما به دلایلی از نظر تاریخی صحیح نیست. یکی از قدیمی‌ترین نمونه‌های این روش در چغازنبیل دیده می شود که چون ۱۲۰۰ سال قبل از سازه های رومی در ایران است لذا نامیدن آن به نام رومی صحیح نیست (معماریان، ۱۳۹۴: ۱۱۶). اجرا شده است. طاق‌ها از آجرهای مربعی‌شکل به ابعاد ۳۷×۳۷ و ضخامت۱۰ سانتی‌متر ساخته شده است. برخلاف مقابر هفت‌تپه؛جرزهای زیر طاق یکپارچه و مورب به صورت رگ چین اجرا و طاق به‌صورت هم‌باد با جرز ساخته شده است. در این مقابر، سطح طاق‌ها نیز مسطح و بدون شیب است و طاق آهنگ بر روی دو دیوار قوسی‌شکل با چینش رگ چین افقی در ابتدا و انتهای فضا اجرا شده‌اند که این دیوارها نقش نگهدارنده طاق در حین اجرا را داشته‌اند. بدین ترتیب تعداد دیوارهای باربر به چهار عدد افزایش یافته است. نسبت بین دهانه و افراز در چهار مقبره از پنج مقبره مورد بررسی حدود ۱.۳ است که نسبت به مقابر هفت‌تپه افزایش یافته است. همچنین، در این مقابر، ضخامت رأس و پاطاق برابر با ضخامت یک و نیم آجر است که یکی از روش‌های بهینه‌سازی در ساخت طاق‌های گهواره‌ای در این دوره به شمار می‌رود (خزائلی و مترجم، ۱۴۰۲: ۹۸). نسبت ضخامت طاق به دهانه در بیشتر مقابر بین ۱:۸ تا ۱:۹ است. به طور کلی در مقابر هفت‌تپه و چغازنبیل، دو شیوه مختلف در اجرای طاق‌ها وجود دارد. در هفت‌تپه از شیوه ضربی و لایه‌های متمایل به دیوار انتهایی با سه دیوار باربر استفاده شده است، در حالی که در چغازنبیل، شیوه رومی (عیلامی) با چهار دیوار باربر به‌کار گرفته شده که تفاوت‌های ساختاری و اجرایی قابل توجهی با یکدیگر دارند و نشان دهنده تکامل و پیشرفت فن ساخت طاق با چینش ضربی و رومی با آجرهای در ابعاد بزرگ و سنگین مربع شکل در هفت تپه و چغازنبیل است (جدول ۴).

[ DOI: 10.61882/jra.10.2.448 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 7:50 +0330 on Wednesday June 10th 2026

**جدول ٤.** مقابر طاقدار دوره عیلام میانه- چغازنبیل با مصالح مربع و مستطیل شکل (حسینی و همکاران، ۲۰۲۱)
**Table 4.** Arched tombs of the Middle Elamite period - Chogha Zanbil with square and rectangular materials (Hosseini et al., 2021)

| ردیف | نوع بنا | شکل | نقشه | محل قرارگیری | دوره تاریخی |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | مقبره زیرزمینی | |  | چغازنبیل | عیلام میانه |
| 2 | مقبره زیرزمینی | |  | | |
| 3 | مقبره زیرزمینی | |  | | |
| 4 | مقبره زیرزمینی | |  | | |
| 5 | مقبره زیرزمینی | |  | | |

در مجموع، طاق‌های دوره عیلامی خوزستان، به‌ویژه در مقابر طاقدار چغازنبیل و هفت تپه، نشانه‌ای از پیشرفت‌های قابل‌توجه در فنون ساخت طاق و گویای پیچیدگی‌های فنی و هنری بالای این دوران است. این سازه‌ها نه‌تنها از جنبه معماری بلکه از دیدگاه مقاومتی نیز اهمیت بسیاری دارند و تأثیرات آن‌ها در دوره‌های بعدی معماری باستانی مشهود است.

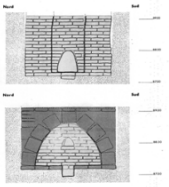
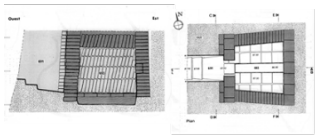
## ٦-٣. بررسی مقابر نئو عیلامی

گریشمن دوره نئو عیلامی را با نام‌های مختلفی همچون «دوران بابلی»، «عیلام متأخر»، «انحطاط عیلامی» و «پیش از هخامنشیان» معرفی کرده است (Miroschedji, 1981: 260). قابل توجه‌ترین تدفین این دوره، مقبره‌ای زیرزمینی با پوشش طاقدار در سطح B۷ شهر شاهی شوش است. این مقبره دارای ورودی با طاق کوربل بوده و در اضلاع بلند آن، آجرها به صورت ضربی و مستقیماً بر روی کف‌سازی قرار گرفته‌اند. همچنین، پهنای دیوار پشتی بیشتر از دیوار جلویی است (Miroschedji, 1981). ویژگی‌های قابل توجه مقبره نئو عیلامی شوش نشان می‌دهد: پلان سطح زیر طاق این مقبره، برخلاف نمونه‌های پیشین، ذوزنقه‌ای است. افراز کوتاه‌تر از دهانه است و نسبت آن ۰.۷ است که در مقایسه با سایر نمونه‌های دوره عیلامی، افراز کوتاه‌تری دارد. طاق در جهت محور طولی اتاق و رو به دیوار پشتی اجرا شده است. طاق به صورت ضربی متمایل از پاطاق تا رأس، بر روی سه دیوار ساخته شده است. نسبت دهانه طاق به ضخامت طاق برابر ۵:۱ است. نسبت ضخامت جرز به دهانه نیز برابر ۷:۱ است.

[ DOI: 10.61882/jra.10.2.448 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 7:50 +0330 on Wednesday June 10th 2026

**جدول ۵.** مقابر طاقدار دوره نئوعیلامی- شوش با مصالح مربع و مستطیل شکل (Miroschedji,1981)

**Table 5.** Neo-Elamite-Susa vaulted tombs with square materials and rectangular shapes (Miroschedji, 1981)

| ردیف | نوع بنا | شکل | نقشه | محل قرارگیری | دوره تاریخ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | آرامگاه 693 | |   | Ville Royale IIشوش | نئو عیلامی |

## ٦-٤. بررسی مقابر الیمایی

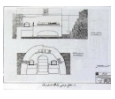
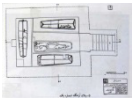
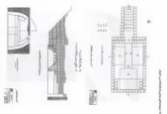
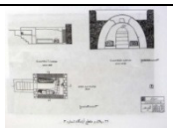
پنج مقبره گلالک شوشتر متعلق به دوره الیمایی هستند که از این میان، سه مقبره (۱، ۲ و ۳) دارای پوشش طاقدار هستند (جدول ۶). این مقابر کاملاً ایرانی بوده و به‌طور چشمگیری تحت تأثیر هنر عیلامی قرار دارند، به‌گونه‌ای که می‌توان به وضوح استمرار ساختارهای معماری بومی از دوره عیلام میانه تا دوران الیمایی را در آن‌ها مشاهده کرد (رهبر، ۱۳۷۳). . این تأثیرات نه‌تنها در شیوه‌های ساخت بلکه در نوع خاکسپاری و باورهای مذهبی مرتبط با آن‌ها نیز دیده می‌شود که در محوطه باستانی صالح داوود به‌طور خاص نمایان است (آقاعلی‌گل، ۱۳۹۸: ۱۴۶). بررسی آرامگاه‌های شوشتر، صالح داوود و سایر نمونه‌های مرتبط نشان می‌دهد که تمامی مقابر گلالک شوشتر به‌صورت زیرزمینی ساخته شده‌اند و دارای طاق‌های آهنگ آجری هستند. دیوارها و پوشش طاق‌ها با آجرهای مربع‌شکل پخته به ابعاد ۲۶×۲۶ و ضخامت ۶ تا ۷ سانتی‌متر ساخته شده‌اند و ملاط استفاده‌شده در این ساختارها گچ است. نکته قابل توجه این است که همانند سایر نمونه‌های بررسی شده، ضخامت طاق‌ها عموماً برابر با ضخامت یک آجر مربع است و جرزهای زیر طاق‌ها مشابه مقابر چغازنبیل به‌طور مایل اجرا شده‌اند. چینش طاق‌ها در این مقابر به‌ویژه در آرامگاه‌های ۱ و ۲ و صالح داوود، با ترکیب روش‌های رومی و ضربی صورت گرفته است. در این مقابر، طاق سکوها نیز با همان ترکیب رومی-ضربی ساخته شده است که خیز بسیار کمی دارد. برخلاف منابع پیشین که به چینش ترکیبی در دوران تاریخی اشاره نکرده‌اند؛ در مقابر الیمایی شوشتر، چینش طاق‌ها به شیوه ترکیبی از ضربی- رومی اجرا شده است. این ویژگی‌ها در مقابر الیمایی شوشتر به ویژه در ساخت طاق‌های آهنگ بسیار قابل توجه است. آرامگاه شماره ۳ در شوشتر دارای طاقی با شیوه ضربی و متمایل به دیوار عقب است که در مقابر صالح داوود نیز دیده می‌شود. در این مقابر، طاق‌های راهروها نیز با شیوه ضربی متمایل ساخته شده‌اند.

از نظر ابعادی، ضخامت طاق‌ها در مقابر مختلف متفاوت است. به‌طور مثال، در روش رومی، ضخامت طاق‌ها دو آجر و در روش ضربی، ضخامت طاق‌ها یک و نیم آجر است. نکته قابل توجه دیگر این است که در تمامی مقابر ضخامت رأس و پاطاق برابر و یک لایه است که یکی از ویژگی‌های ثابت در ساخت طاق‌های این دوره محسوب می‌شود. همچنین، افراز طاق‌ها در تمامی مقابر نسبت به دهانه کوتاه‌تر بوده و نسبت افراز به دهانه در تمامی نمونه‌ها مشابه نمونه‌های دوره نئو عیلامی، کمتر از یک است. نسبت ضخامت طاق به دهانه در مقابر الیمایی شوشتر شامل، آرامگاه شماره ۱: ۱:۱۱- آرامگاه شماره ۲: ۱:۱۲.۸- آرامگاه شماره ۳: ۱:۸.۵ و آرامگاه صالح داوود: ۱:۷ است. این مقادیر نشان می‌دهند که نمی‌توان یک رابطه ثابت و مشترک برای این ویژگی در مقابر این دوره بیان نمود. علاوه بر این، ارتفاع افراز از سطح زمین در مقابر صالح داوود و شوشتر برابر با ۲.۲ متر است که به نوعی به تلاش برای استانداردسازی ابعاد و تناسبات طاق در معماری این دوره اشاره دارد. پلان اتاق‌های تدفین در تمامی این مقابر مستطیل‌شکل است و نسبت طول به عرض این اتاق‌ها کمتر از ۲ است. در نهایت، بررسی این مقابر نشان می‌دهد که معماری طاقی در دوره الیمایی از تنوع فنی بالایی برخوردار بوده و استفاده از ترکیب روش‌های ضربی و رومی، همراه با ویژگی‌های خاص در ابعاد و ساختار طاق‌ها، از جمله نقاط بارز آن به‌شمار می‌رود. همچنین، ادامه‌دار بودن ویژگی‌های معماری عیلامی در این مقابر، نشان‌دهنده تداوم ساختارهای سنتی به همراه نوآوری‌های فنی در این دوره تاریخی است.

[ DOI: 10.61882/jra.10.2.448 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 7:50 +0330 on Wednesday June 10th 2026

**جدول٦.** مقابر طاقدار دوره الیمایی با مصالح مربع و مستطیل شکل (رهبر، ۱۳۷۳)

**Table 6.** Vaulted tombs of the Elymian period with square and rectangular materials (Rahbar, 1994)

| ردیف | نوع بنا | شکل | نقشه | محل قرارگیری | دوره تاریخی |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | مقبره زیرزمینی شماره 1 | |   | شوشتر | الیمایی |
| 2 | مقبره زیرزمینی شماره 2 | |  | شوشتر | الیمایی |
| 3 | مقبره زیرزمینی شماره 3 | |  | شوشتر | الیمایی |
| 4 | مقبره صالح داوود | | | صالح داوود | الیمایی |

## ۷. بحث در یافته‌ها

به طور کلی با درک و شناخت ویژگی‌های تکرار شونده در شیوه‌های چینش طاق‌های آهنگ و دستیابی به گونه‌های مختلف چینش و ارتباط اجزاء آن، امکان مرمت بخش‌های فرو ریخته که گاهی ممکن است نمونه مشابه آن نیز به ندرت یافت شود؛ بر اساس بخش‌های باقیمانده پوشش طاقی آن، به وسیله دقت در ویژگی‌های ثابت و گاهی تکرار شونده این گونه نظیر روابط خاص پیوند اجزا و یا روابط هندسی دهانه و خیز طاق و غیره می‌تواند فراهم گردد. از سوی دیگر خوانش این ویژگی‌ها، کمک بسیاری در حفاظت و ارزش گذاری یک اثر مبتنی بر فهم اصالت کالبدی آن و گاهی کمک به تاریخ گذاری از نگاه ویژگی‌های معماری یک اثر تاریخی می‌کند. بر این اساس ویژگی‌های تاثیرگذار در فن ساخت طاق آهنگ مقابر عیلام و الیمایی خوزستان در سه بخش ۱) ویژگی فن ساخت از نظر روابط هندسی و پیوند اجزاء ، ۲) فن ساخت از نظر شیوه چینش و نوع مصالح و ۳) ویژگی معماری و سازه‌ای قابل ذکر است:

### ۷-۱. ویژگی فن ساخت طاق آهنگ از نظر روابط هندسی تکرار شونده و پیوند اجزاء

ویژگی‌های تاثیرگذار در فن ساخت طاق آهنگ مقابر عیلام و الیمایی خوزستان در سه بخش از نظر روابط هندسی و پیوند اجزاء به شرح زیر است:

۱. نسبت افراز و دهانه: در بناهای دوره عیلامی، افراز همواره بلندتر و بیشتر از طول دهانه با نسبت تقریبی ۱.۳ بوده است و تا دوره الیمایی کاهش یافته و به زیر ۱ رسیده است.

۲. ضخامت طاق: در تمامی دوره‌ها طاق آهنگ تا ۳ متر دهانه، به شکل تک لایه و با ضخامت یک آجر مربع شکل و بالای ۳ متر دهانه حداکثر ۱.۵ آجر اجرا شده است.

۳. ضخامت ملاط بین آجرها: ضخامت ملاط در طاق آهنگ در تمامی دوره‌ها حدود دو تا یک و نیم سانتیمتر است و نشان می‌دهد در حالی که ضخامت آجر از دوره عیلامی تا الیمایی کمتر شده است و از ۱۰ سانتی متر به حدود ۶ سانتی متر کاهش یافته است، اما ضخامت ملاط همواره مقدار ثابتی باقی مانده است.

۴. رابطه ضخامت طاق و دهانه: در تمامی نمونه‌ها به طور میانگین بین ۸ تا ۹ برابر ضخامت طاق است و در دوره الیمایی تا ۱۲ نیز افزایش یافته است.

۵. مصالح: در هر دوره در اجرای طاق، آجرهایی با اندازه‌های متفاوت با وزن زیاد استفاد شده است. آجرهای مربع در دهانه‌های

[ DOI: 10.61882/jra.10.2.448 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 7:50 +0330 on Wednesday June 10th 2026

بزرگ‌تر از ۱ و آجرهای ذوزنقه در دهانه‌های زیر ۱ متر بیشتر استفاده شده است. فراوانی آجرهای مربعی به دلیل تولید راحت‌تر و مقاومت بیشتر از آجرهای مستطیل، بیشتر بوده است. در هیچ کدام از نمونه‌ها چینش طاق اصلی با آجرهای مستطیل شکل یا آجرهای نیمه اجرا نشده است. ضخامت مصالح در دوره عیلام هزاره دو ق.م ( ۶–۷ سانتی متر) دوره عیلام میانه ( ۸–۱۰ سانتی متر) و الیمایی ( ۷–۶ ) سانتی متر متغیر است( جدول ۷، ۸ و شکل ۳).

۶. ضخامت چفد در نواحی مختلف آن به‌طور ثابت در تمام بخش‌ها ثابت است تا پایداری و استحکام طاق افزایش یابد.

نتایج پژوهش نشان می‌دهد که هندسه طاق، ضخامت، نسبت دهانه به افراز و روش چینش آجرها تأثیر مستقیمی بر پایداری و مقاومت طاق‌ها دارند و در ساخت پوشش‌های طاقی از انواع آجرچینی استفاده می‌شود( جدول ۹). درواقع، تفاوت هندسی سقف‌ها نیز ناشی از روش‌های متفاوت آجرچینی است (تهرانی، ۱۳۷۱: ۳۵). همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، ابعاد دهانه و افراز، ضخامت طاق و تأثیر مستقیم آن بر حجم و مساحت مصالح مصرفی، در استحکام طاق نقش بسزایی دارند. یکی از روش‌های بهینه‌سازی مقاومت طاق، حفظ ضخامت یکسان در تمامی بخش‌ها به‌منظور قرارگیری منحنی نیروها در ضخامت چفد و یک‌سوم میانی آن است. در قوس‌های دوره عیلامی و الیمایی، برای بهینه‌سازی چفد، ضخامت قوس در تمام بخش‌های آن ثابت در نظر گرفته شده است، اما هندسه بخش بالایی قوس تغییر کرده و با ایجاد رأسی بلندتر، پایداری بیشتری به دست آمده است. از دیگر عوامل مؤثر بر افزایش مقاومت طاق در برابر نیروهای رانشی، ضخامت آن و نسبت آن به دهانه است. به بیان دیگر، حد نهایی پایداری قوس‌ها با نسبت ضخامت به دهانه ارتباط دارد، به‌طوری‌که با افزایش دهانه قوس، نیروی رانش آن افزایش می‌یابد (ایزدپناه و کمالی، ۱۴۰۳: ۴۷). در این میان، افزایش نسبت ضخامت به دهانه باعث بهبود پایداری قوس در برابر جابه‌جایی پای آن می‌شود.

**جدول ۷.** بررسی ویژگی‌های هندسی طاق آهنگ مقابر دوران عیلام و الیمایی خوزستان با مصالح مربع و مستطیل

**Table 7.** Study of the geometric characteristics of the Tahg-Ahang arche of tombs from the Elamite and Elymais periods in Khuzestan with square and rectangular materials

| ردیف | دوره تاریخی | موقعیت | نسبت دهانه به ارتفاع طاق | | نسبت دهانه طاق به ضخامت طاق | شکل هندسی مصالح | شکل هندسی فضای زیر طاق | نسبت طول به عرض فضای طاقدار | نسبت دهانه طاق به ضخامت جز | ابعاد مصالح* (cm) | ابعاد فضای اصلی طاقدار (m) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | از زمین | از پاطاق | | | | | | | طول | عرض | ارتفاع |
| 1 | عیلام هزاره دوم | شوش KS 53 | – | – | – | مربع | مستطیل | 1.80 | – | –28<br>7×25×27<br>–24–28<br>7×23 | 2.35 | 1.3 | تخریب شده |
| 2 | عیلام هزاره دوم | شوش KS 53 | – | – | – | مربع | مستطیل | 1.6 | 1-5 | 8×36×35<br>6.5×32×32 | 3.40 | 2.10 | تخریب شده |
| 3 | عیلام هزاره دوم | شوش | 0.6 | – | 1-6 | مربع | مستطیل | 1.6 | 1-6 | –6×30×30<br>7 | 1.51 | 0.95 | 0.53 |
| 4 | عیلام میانه | هفت تپه1 | 1.13 | 0.65 | 1-9 | مربع | مستطیل | 3.04 | – | –7×37×37<br>8 | 10.12 | 3.32 | 3.75 |
| 5 | عیلام میانه | هفت تپه2 | – | – | 1-5 | مربع | مستطیل | 2.60 | – | –7×37×37<br>8 | 4.80 | 1.85 | تخریب |
| 6 | عیلام میانه | چغازنبیل1 | 1.26 | – | –8.1<br>1 | مربع | مستطیل | 4.20 | | 10×37×37 | 12.60 | 3 | 3.78 |
| 7 | عیلام میانه | چغازنبیل2 | 1.26 | – | 1–8 | مربع | مستطیل | 1.80 | 1-6 | 10×37×37 | 6.85 | 3.08 | 3.90 |
| 8 | عیلام میانه | چغازنبیل3 | 1.30 | – | –8.5<br>1 | مربع | مستطیل | 1.95 | – | 10×37×37 | 6.15 | 3.15 | 4.20 |
| 9 | عیلام میانه | چغازنبیل4 | 1.06 | – | –9.8<br>1 | مربع | مستطیل | 4.14 | – | 10×37×37 | 15 | 3.62 | 3.85 |
| 10 | عیلام میانه | چغازنبیل5 | 1.26 | – | –8.4<br>1 | مربع | مستطیل | 2.67 | 1-6 | 10×37×37 | 8.30 | 3.10 | 3.92 |
| 11 | عیلام نو | شوش | 0.7 | 0.7 | 1-5 | مربع | ذوزنقه | – | 1-7 | –7×37×37<br>8 | 2.80 | 2.75 | 1.30 |

[ DOI: 10.61882/jra.10.2.448 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 7:50 +0330 on Wednesday June 10th 2026

| ردیف | دوره تاریخی | موقعیت | نسبت دهانه به ارتفاع طاق | | نسبت دهانه طاق به ضخامت طاق | شکل هندسی مصالح | شکل هندسی فضای زیر طاق | نسبت طول به عرض فضای طاقدار | نسبت دهانه طاق به ضخامت جز | ابعاد مصالح* (cm) | ابعاد فضای اصلی طاقدار (m) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | از زمین | از پاطاق | | | | | | | طول | عرض | ارتفاع |
| 12 | | شوشتر1 | 0.7 | 0.7 | 1-11 | مربع | مستطیل | 1.26 | 1-11 | -26<br>-27×27<br>6×26 | 3.60 | 2.85 | 2.20 |
| 13 | الیمایی | شوشتر2 | – | – | 1-12.8 | مربع | مستطیل | 1.26 | 1-12.8 | 7×29×29<br>-6 ×26×26<br>7 | 4.20 | 3.34 | حدود 2.20 |
| 14 | | شوشتر3 | 0.79 | 0.79 | -8.5<br>1 | مربع | مستطیل | 1.73 | 1-8.5 | -6 ×26×26<br>7 | 3.82 | 2.20 | 1.74 |
| 15 | | صالح داوود | 0.95 | 0.95 | -6.9<br>1 | مربع | مستطیل | 1.82 | 1-6.9 | 7×32×32<br>6×31×31 | 4.20 | 2.30 | 2.20 |

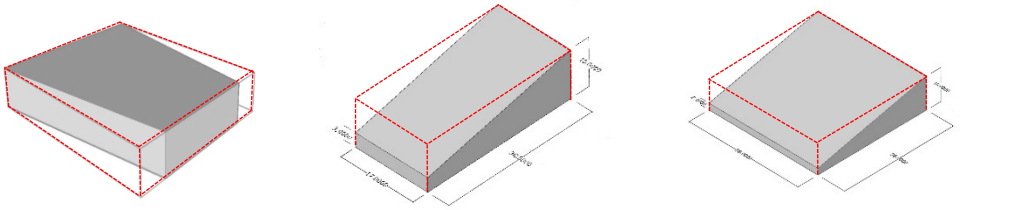
*** ابعاد مصالح ذکر شده در جدول ۷ به ترتیب از چپ شامل ( طول × عرض × ضخامت ) است.**

**جدول ۸.** جمع بندی ویژگی هندسی طاق آهنگ بر اساس (دهانه- افراز- پلان و مصالح) در دوره عیلام و الیمایی

**Table 8.** Summary of geometric characteristics of the Tagh Ahang arch based on (opening - division - plan and materials) in the Elamite and Elymais periods

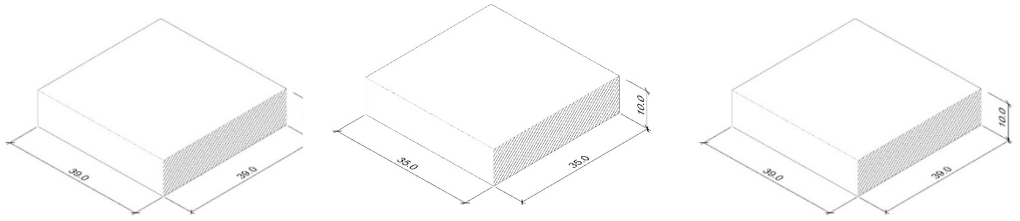
| دوره تاریخی | هندسه پلان طاق | تناسب افراز | تناسب پلان | ضخامت طاق و چفد | هندسه مصالح |
|---|---|---|---|---|---|
| **عیلام هزاره دو تا ۱۱۰۰ ق.م** | مستطیل | 1.1-1.3 | 2-3 | یک آجر و یک لایه ثابت | مربع- مستطیل- ذوزنقه 10*37*37 |
| **نئوعیلامی** | ذوزنقه | 0.7 | زیر 2 | یک لایه ثابت | مربع 8-7 *37*37 |
| **الیمایی** | مستطیل | 0.8 | زیر 2 | یک آجر و یک لایه ثابت | مربع- مستطیل 7-6.5*26*26 و 6-7*31-32*31-32 |

*** ابعاد مصالح ذکر شده در جدول ۸ به ترتیب از چپ شامل ( طول × عرض × ضخامت ) است.**



الف-A ب-B ج-C

[ DOI: 10.61882/jra.10.2.448 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 7:50 +0330 on Wednesday June 10th 2026



D-د E-چ F-خ

**شکل ۳.** ابعاد و شکل هندسی آجرهای ذوزنقه شکل قالب گیری شده و آجرهای مربع شکل دوره عیلام و الیمایی، الف) عیلام میانه- چغازنبیل 38*38*10 (آجر ذوزنقه نوع 1)، ب) عیلام میانه – چغازنبیل 17*38*10 (آجر ذوزنقه نیمه نوع 1-1)، ج) عیلام میانه- نئوعیلامی شوش 24*20*13*6 (آجر ذوزنقه نوع 2)، د) عیلام میانه- هفت تپه 39*39*10 (آجر مربع)، چ) عیلام میانه- چغازنبیل35*35*10 (آجر مربع)، خ) الیمایی- دستوا 26*26*6 (آجر مربع)

**Figure 3.** Dimensions and geometric shape of molded trapezoidal bricks and square bricks from the Elamite and Elymais periods, A) Middle Elamite – Chogha Zanbil, 10 × 38 × 38 cm, Trapezoidal Brick, Type 1, B) Middle Elamite – Chogha Zanbil, 10 × 38 × 17 cm, Semi-trapezoidal Brick, Type 1-1, C) Middle to Neo-Elamite – Susa, 6 × 13 × 20 × 24 cm, Trapezoidal Brick, Type 2, D) Middle Elamite – Haft Tappeh, 39 × 39 × 10 cm, Square Brick, E) Middle Elamite – Chogha Zanbil, 35 × 35 × 10 cm, Square Brick, F) Elymaean – Dastva, 26 × 26 × 6 cm, Square Brick

## ۷-۲. فن ساخت از نظر شیوه چینش

در دوره عیلامیان طاق با چینش رومی یا عیلامی و چینش ضربی متمایل به دیوار عقب و یا به صورت لایه‌های عمود بر سطح با مصالح مربع و ذوزنقه اجرا شده است. دو نوع چینش ترکیب رومی و ضربی با لایه‌های متمایل و لایه‌های عمود بر سطح در دوران عیلام و بعدها در در بناهای دوره الیمایی برای نخستین بار دیده می‌شود. در بخش ابتدایی طاق در محدوده کمان اول قوس، شیوه رومی و در محدوده کمان دوم قوس طاق، شیوه ضربی اجرا شده است. شیوه دیگر مورد استفاده چینش رگ‌چین(کوربل) در ابتدای عیلام و نئو عیلامی و ترکیب چینش رگ‌چین(کوربل) و چینش ضربی یا رومی در چغازنبیل در عیلام میانه است ( جدول ۹و ۱۰).

بررسی شیوه‌های چینش طاق‌آهنگ در این دوران تاریخی نشان می‌دهد که به طور کلی می‌توان ۸ شکل چینش حاصل از چینش ضربی و رومی و ترکیب آن بیان نمود. در چینش نوع ۱، طاق با چینش ضربی و آجرهای ذوزنقه استاندارد شده و قالب گرفته شده با اجرای یک ردیف اول رج چینی عمودی اجرا می‌شود. در چینش نوع ۲، طاق با آجرهای ذوزنقه استاندارد شده و قالب گرفته شده بر روی زمین یا دیواره کوتاه عمودی با چیدمان افقی اجرا می‌شود. اتصال بخش طاق و جرز به دو گونه پیش آمده از جرز و همباد است. در چینش نوع ۳، دیواره زیرین قدری متمایل اجرا می‌شود و چینش آجرها به صورت رگ چین و افقی است و در بخش بالایی آن طاق با چینش ضربی با آجرهای ذوزنقه اجرا شده است. در چینش نوع ۴، دیواره پایین تا نزدیک آوارگاه به حالت انحنا و بر اساس منحنی قوس طاق اجرا می‌شود و در ادامه به صورت ضربی با آجرهای مربع یا مستطیل یا ذوزنقه ادامه می‌یابد. پنجمین نوع چینش شامل ترکیب دیواره عمود با چینش افقی و اجرای پیش آمده طاق آهنگ با چینش ضربی متمایل به دیوار عقب است که در آرامگاه‌های هفت تپه در دوره عیلام میانه (۱۵۰۰ ق.م) دیده می‌شود. در چینش نوع ۶، دیواره زیرین به حالت عمود و با رج چینی افقی به صورت رگ چین انجام می‌شود و طاق به صورت رومی اجرا می‌گردد. در نوع ۷، دیواره به صورت رگ چین متمایل به درون در بخش ابتدایی طاق و اجرای چینش رومی در ادامه است که این فن ساخت در آرامگاه‌های چغازنبیل دیده می‌شود. در نوع ۸ نیز که نشان دهنده تحول در ساخت طاق آهنگ است، ترکیب شیوه رومی از پاطاق تا شکن‌گاه و در ادامه ضربی با خیز بسیار کم می‌باشد که در دوره الیمایی و در شوشتر دیده می‌شود. وجه اشتراک تمامی هشت شیوه چینش، وجود یک دیوار در زیر طاق است که گاهی عمود و گاهی متمایل اجرا شده است. در بخش بالایی دیوار نیز به طور کلی دو شیوه چینش رومی و ضربی اجرا شده است. جهت اجرای طاق نیز در همه دوره‌ها در امتداد محور طولی فضای اصلی بوده است (شکل۴).

[ DOI: 10.61882/jra.10.2.448 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 7:50 +0330 on Wednesday June 10th 2026

**جدول ۹.** بررسی ویژگی‌های چینش طاق آهنگ مقابر دوره عیلام و الیمایی

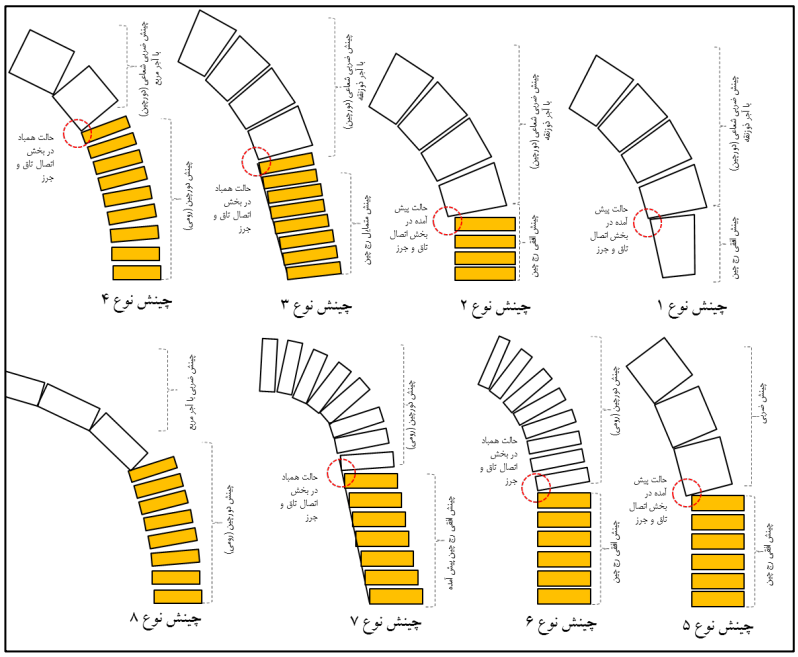
**Table 9.** Study of the characteristics of the arch arrangement of tombs of the Elamite and Elymais periods

| ردیف | نوع بنا | موقعیت | دوره تاریخی | نوع چینش اتاق تدفین | | جنس مصالح | ضخامت دیواره زیر تاق | سطح تاق اتاق تدفین | دیوار زیر تاق (عمود- مایل) | جهت قرار گیری تاق | تعداد دیوار اصلی باربر اتاق تدفین |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | در پایه تا شکن گاه | از شکن گاه تا راس | | | | | | |
| **مقابر بررسی شده دوره عیلام – هزاره دوم ق.م** | | | | | | | | | | | |
| 1 | مقبره شماره 1 KS 53 | شوش | عیلام هزاره دوم ق.م | ضربی شیبدار | ضربی شیبدار | آجر مربع | یک آجر | مسطح | عمود | محور طولی اتاق | سه دیوار |
| 2 | مقبره شماره 2 KS 53 | شوش | عیلام هزاره دوم ق.م | ضربی شیبدار | ضربی شیبدار | آجر مربع | یک آجر | مسطح | عمود | محور طولی اتاق | سه دیوار |
| 3 | مقبره شماره 3 | شوش | عیلام هزاره دومق.م | ضربی شیبدار | ضربی شیبدار | آجر مربع | یک آجر | مسطح | عمود | محور طولی اتاق | سه دیوار |
| **مقابر بررسی شده هفت تپه دوره عیلام میانه–1500-1100ق.م** | | | | | | | | | | | |
| 4 | مقبره تپتی آهار | هفت تپه | عیلام میانه 1500ق.م | ضربی شیبدار | ضربی شیب دار | آجر پخنه مربعی | 1.30: دیوار طولی 1.40: دیوارعرضی | مسطح | عمود به ارتفاع ۱.۵۰ | محور طولی اتاق | سه دیوار |
| 5 | مقبره دوم | هفت تپه | عیلام میانه 1500ق.م | ضربی شیبدار | تخریب شده طبق شواهد موجود ضربی شیب دار | آجرپخته مربعی | یک آجر مربع | مسطح | عمود | محور طولی اتاق | سه دیوار |
| **مقابر بررسی شده چغازنبیل دوره عیلام میانه -1250 ق.م** | | | | | | | | | | | |
| 6 | آرامگاه 1 | چغازنبیل | ایلام میانه | رومی راهرو: ضربی | رومی | آجر پخته مربعی | یک و نیم آجر مربع | مسطح | مایل | محور طولی اتاق | چهار دیوار |
| 7 | آرامگاه 2 | چغازنبیل | ایلام میانه | رومی راهرو: ضربی | رومی | آجر پخته مربعی | یک و نیم آجر مربع | مسطح | مایل | محور طولی اتاق | چهار دیوار |
| 8 | آرامگاه 3 | چغازنبیل | ایلام میانه | رومی راهرو: ضربی | رومی | آجر پخته مربعی | یک و نیم آجر مربع | مسطح | مایل | محور طولی اتاق | چهار دیوار |
| 9 | آرامگاه 4 | چغازنبیل | ایلام میانه | رومی راهرو: ضربی | رومی | آجر پخته مربعی | یک و نیم آجر مربع | مسطح | مایل | محور طولی اتاق | چهار دیوار |
| 10 | آرامگاه 5 | چغازنبیل | ایلام میانه | رومی راهرو: ضربی | رومی | آجر پخته مربعی | یک و نیم آجر مربع | مسطح | مایل | محور طولی اتاق | چهار دیوار |
| **مقابر دوره نئو عیلامی** | | | | | | | | | | | |
| 11 | مقبره KS 53 | Ville Royal شوش | نئو ایلامی | ضربی شیبدار | ضربی شیبدار | خشت مربعی | یک خشت | مسطح | فاقد دیوار و اجرای | محور طولی اتاق | سه دیوار |

[ DOI: 10.61882/jra.10.2.448 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 7:50 +0330 on Wednesday June 10th 2026

| ردیف | نوع بنا | موقعیت | دوره تاریخی | نوع چینش اتاق تدفین | | جنس مصالح | ضخامت دیواره زیر تاق | سطح تاق اتاق تدفین | دیوار زیر تاق (عمود- مایل) | جهت قرار گیری تاق | تعداد دیوار اصلی باربر اتاق تدفین |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | در پایه تا شکن گاه | از شکن گاه تا راس | | | | | | |
| | | | | | | | | | تاق از روی زمین | | |
| **مقابر دوره الیمایی** | | | | | | | | | | | |
| 12 | مقبره شماره 1 | شوشتر | الیمایی | رومی راهرو: تخریب شده سکوها: رومی | تخریب شده بر اساس بخش موجود ضربی سکوها: ضربی | آجر پخته مربعی | یک آجر | مسطح | مایل یکپارچه | محور طول اتاق | دو دیوار |
| 13 | مقبره شماره 2 | شوشتر | الیمایی | تدفین: رومی مایل راهرو: تخریب سکوها: رومی | اتاق تدفین: تخریب شده راهرو: تخریب سکوها: ضربی | آجر مربعی | یک آجر | مسطح | مایل یکپارچه | محور طول اتاق | سه دیوار |
| 14 | مقبره شماره3 | شوشتر | الیمایی | ضربی شیبدار راهرو: ضربی شیب دار سکو تاق ندارد. | ضربی شیب دار راهرو: ضربی شیب دار | آجر مربع | یک آجر | مسطح | مایل اجرای تاق روی زمین | محور طول اتاق | سه دیوار |
| 15 | مقبره شماره4 | صالح داوود | الیمایی | تدفین: رومی راهرو: رومی | تدفین: ضربی شیب دار راهرو: رومی | آجر مربع | یک آجر | مسطح | عمود | محور طول اتاق | سه دیوار |

[ DOI: 10.61882/jra.10.2.448 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 7:50 +0330 on Wednesday June 10th 2026



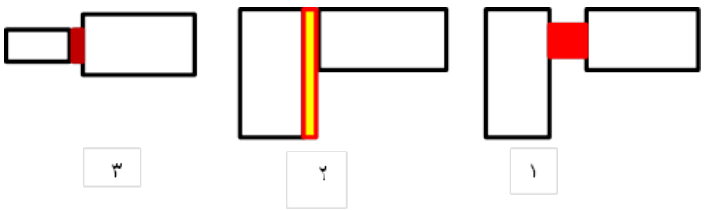

**شکل ٤.** انواع چینش با مصالح آجری در دوره عیلام و الیمایی.

**Figure 4.** Types of arrangement with brick materials in the Elamite and Elymais periods

## ۷-۳. ویژگی معماری و سازه‌ای طاق آهنگ

۱. پلان هندسی طاق آهنگ: پلان فضای زیر طاق عموماً مستطیل شکل است. در دوره عیلامی طول پلان طاق بیش از دو برابر عرض آن است ولی در مقابر الیمایی بین ۱ تا ۲ و کمتر از ۲ برابر است. تنها یک نمونه از دوره نئو عیلامی دارای پلان ذوزنقه است.

۲. نحوه اتصال دو طاق مجاور: طاق فضاهای ال شکل با یک دیوار(طرح ۱) یا راهرو(طرح ۲) از یکدیگر کاملا مجزا شده‌اند و اتصال طاق به یکدیگر وجود ندارد. طاق‌های فضاهای در امتداد یکدیگر در تمام دوره‌ها صرفاً با تویزه درگاه ورودی از یکدیگر مجزا شده اند. . جهت اجرای طاق نیز در همه دوره‌ها در امتداد محور طولی فضای اصلی بوده است (شکل ۵).




**شکل ۵.** نحوه اتصال دو طاق مجاور هم

**Figure 5.** How to connect two adjacent arches

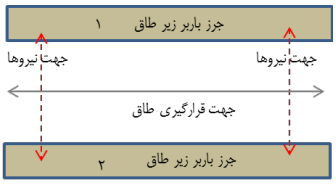
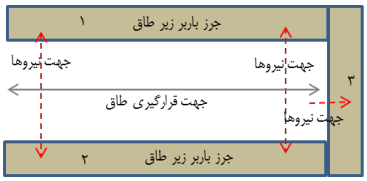
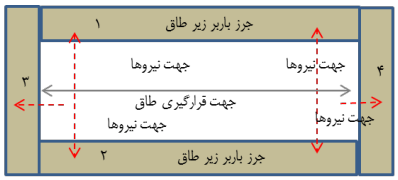
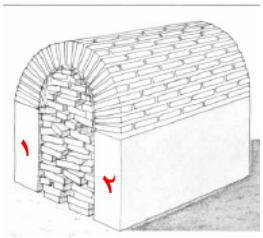
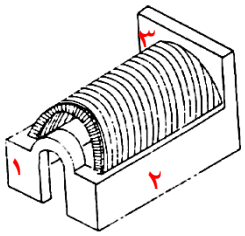
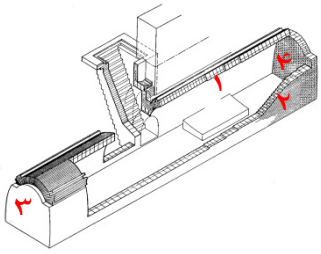
۲. چینش دیوار زیر طاق: در تمامی دوره‌ها دیواره‌های عمود و یا مایل زیر طاق آهنگ اجرا شده است. گاهی نیز طاق مستقیما بر روی کف سازی مقبره اجرا شده است. در طاق با چینش ترکیبی، چینش عیلامی (رومی) و در چینش ضربی شیب دار از دیوارهای مایل نیز استفاده شده است. . دیوار زیرین طاق عموماً دارای رج چینی افقی و گاهی عمودی است.

۳. تعداد دیوارهای باربر: بررسی طاق‌های آهنگ دوره عیلام و الیمایی نشان می‌دهد که سه شکل اجرای دیوار زیر طاق انجام شده است: ۱) اجرای طاق گهواره‌ای بر روی دو دیوار باربر با چینش رومی و ضربی دارای لایه‌های عمود بر سطح است.۲) اجرای تاق بر روی سه دیوار باربر که در چینش ضربی متمایل به دیوار عقب اجرا شده است. در این نوع، دیوار سوم نقش مهار و پشتبند در انتهای طاق را دارد و گاهی به شکل تیغه‌ای به ضخامت آجر و متصل به خاک زمین طبیعی پشت آن اجرا شده است. ۳) طاق گهوارهای دارای چهار دیوار باربر در طاق با چینش رومی. در این روش ساخت، دیوار ۳ و ۴ به شکل منحنی قوس طاق اجرا و نقش قالب دائم زیر طاق را دارد. نیروی طاق به چهار دیوار وارد می‌شود. این شیوه صرفاً در دوره عیلام میانه در چغازنبیل قابل مشاهده

است و نشان دهنده پیشرفت فن ساخت طاق به شیوه رومی به منظور حذف قالب چوبی زیر طاق بوده است (جدول ۱۰ و ۱۱).

**جدول ۱۰.** تعداد دیوارای باربر در طاق آهنگ دوره عیلام و الیمایی

**Table 10.** Number of load-bearing walls in the Taghe- Ahang arch from Elamite and Elymais periods

| ۱) طاق گهواره ای دارای دو دیوار باربر | ۲) طاق گهوارهای دارای سه دیوار باربر | ۳) طاق گهوارهای دارای چهار دیوار باربر |
|---|---|---|
|  |  |  |
|  |  |  |
| ( وان بیک، ۱۹۸۷: ۹۸) | (زمرشیدی، ۱۳۸۰: ۹۷) | (گریشمن، ۱۳۷۵: ۹۶) |

یافته‌ها نشان‌دهنده ویژگی‌های تاثیرگذار در فن ساخت طاق آهنگ مقابر عیلام و الیمایی خوزستان و اهمیت ارتباط بین ضخامت طاق، دهانه، افراز و نسبت آن‌ها به یکدیگر، در کنار نوع چفد و روش چینش آجرها، در افزایش مقاومت سازه است. همچنین، مطالعه دقیق ویژگی‌های معماری در دوره‌های مختلف، امکان مرمت اصولی سازه‌های تاریخی را فراهم کرده و در شناخت اصالت کالبدی و تاریخ‌گذاری این آثار نیز نقش مؤثری دارد. در پایان نتایج کلی ویژگی‌های تاثیرگذار مشترک در فن ساخت طاق آهنگ مقابر عیلام و الیمایی خوزستان در جدول ۱۱ و ۱۲ ارائه شده است.

**جدول ۱۱.** شیوه‌های چینش و نوع مصالح در نمونه‌های بررسی شده دوره عیلامی و الیمایی

**Table 12.** Arrangement methods and types of materials in the studied samples from the Elamite and Elymais periods

| نوع چینش | عیلام هزاره دوم تا 1100 ق.م | نئوعیلام | الیمایی | مصالح چینش |
|---|---|---|---|---|
| **ضربی** | ✓ | ✓ | ✓ | با مصالح مربع- ذوزنقه |
| **رومی** | ✓ | ✓ | ✓ | با مصالح مربع |
| **رومی+ ضربی متمایل به دیوار عقب** | ✓ | ✓ | ✓ | با مصالح مربع و ذوزنقه |
| **رومی+ ضربی عمود بر سطح** | ✓ | – | ✓ | با مصالح مربع و ذوزنقه |
| **رگ چین(کوربل) – رومی** | ✓ | – | – | با مصالح مربع |
| **رگ چین(کوربل)** | ✓ | ✓ | – | با مصالح مربع |



[ DOI: 10.61882/jra.10.2.448 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 7:50 +0330 on Wednesday June 10th 2026

[ DOI: 10.61882/jra.10.2.448 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 7:50 +0330 on Wednesday June 10th 2026

**جدول۱۲.** ویژگی‌های مشترک ساخت طاق آهنگ در دوره عیلام و الیمایی استان خوزستان

**Table 12.** Common features of the construction of the Taq-e-Ahang in the Elamite and Elymais periods of Khuzestan province

| ویژگی‌های ساخت طاق آهنگ دوره عیلام و الیمایی خوزستان | | |
|---|---|---|
| روابط هندسی | نسبت افراز و دهانه | افراز بلندتر از دهانه در دوره عیلام. در دوره عیلام بیش از 1.3 و در دوره الیمایی کاهش نسبت به زیر 1 |
| | نسبت ضخامت طاق به دهانه | به طور میانگین 8 تا 9 برابر ضخامت طاق و در دوره الیمایی به 12 برابر رسیده است. |
| | پلان فضای طاقدار | در همه دوران عیلام و الیمایی مستطیل شکل است. تنها یک نمونه در دوره نئو عیلامی ذوزنقه است. |
| | نسبت طول و عرض فضا | در دوره عیلام نسبت طول به عرض بیشتر از 2 و در دوره الیمایی بین 1و2.<br>طول و عرض فضا و دهانه ارتباط مستقیمی با کاربرد آجر به صورت آجرکامل دارد. |
| ویژگی ساخت / ویژگی‌های تکرارشونده پیوند اجزا | نوع چینش | ـ چینش ضربی به صورت شیبدار با تکیه به دیوار انتهایی و یا به صورت لایه‌های عمود<br>ـ چینش رومی یا عیلامی با دو دیوار باربر و گاهی چهار دیوار باربر<br>ـ ترکیب رومی و ضربی<br>ـ ترکیب چینش رگ چین (کوربل) و چینش ضربی یا رومی<br>ـ رگ چین (کوربل) |
| | جرز زیر طاق | بدون جرز یا دارای جرز عمود یا مایل زیر طاق |
| | نحوه اتصال دو طاق مجاور | ـــ اتصال مستقیم طاق به یکدیگر وجود ندارد: در فضاهای ال شکل: جداسازی با دیوار یا راهرو و در فضاهای امتدادی جداسازی با تویزه درگاه ورودی. |
| | ضخامت طاق | عموما تک لایه و رابطه معنادار میان طول دهانه و ضخامت طاق:<br>(اجرای طاق آهنگ تا 3 متر دهانه، به شکل تک لایه و با ضخامت یک آجر مربع شکل و بالای 3 متر دهانه حداکثر 1.5 آجر)<br>ضخامت چفد در نواحی مختلف آن به‌طور ثابت در تمام بخش‌ها یکسان است تا پایداری و استحکام طاق افزایش یابد. |
| | ضخامت جرز زیر طاق | به صورت یک آجره و صرفا در چغازنبیل به صورت یک و نیم آجر.<br>(اجرای جرز طاق آهنگ تا 3 متر دهانه و افراز زیر 1، با ضخامت یک آجر مربع شکل و بالای 3 متر دهانه و افراز 1.3 – 1.1 حداکثر 1.5 آجر).<br>در دوره عیلام نسبت دهانه طاق به ضخامت جرز 1به 6 و در دوران الیمایی تا 1 به 12 افزایش یافته. |
| | جهت اجرای طاق | در امتداد محور طولی فضای اصلی. |
| | ضخامت ملاط بین آجرها | ثابت بودن ضخامت ملاط بین 1.5 تا 2 سانتی‌متر در تمامی دوره‌ها |
| | مصالح ( ابعاد- شکل هندسی) | ـ کاربرد ابعاد متفاوت مصالح با وزن زیاد.<br>ـ کاربرد بیشتر آجرهای مربع در دهانه‌های بزرگ‌تر از 1.<br>ـ کاربرد آجرهای ذوزنقه در دهانه‌های زیر 1 متر.<br>ضخامت مصالح در دوره عیلام هزاره دوم ق.م ( 6-7 سانتی متر) دوره عیلام میانه ( 8-10 سانتی متر) و الیمایی ( 6-7 ) سانتی متر متغیر است. |
| | ملاط | استفاده از ملاط تندگیر گچ |
| | سطح محور طولی تاق | سطح طاق در تمامی دوران عیلام و الیمای مسطح و بدون شیب است. |

## ۸. نتیجه گیری

با توجه به پرسش پژوهش و بررسی روابط هندسی و ویژگی‌های تکرارشونده در پیوند اجزا، می‌توان چنین نتیجه گرفت که از اوایل دوره عیلام تا دوره الیمایی، نسبت دهانه به افراز از ۱/۱—۱/۳ به کمتر از ۱ کاهش یافته و نسبت طول به عرض فضای مقبره نیز به کمتر از ۲ رسیده است. با این حال، برخی ویژگی‌های معماری در تمامی این دوره‌ها ثابت مانده‌اند، از جمله شکل مستطیلی پلان مقبره، یک‌لایه بودن ضخامت طاق، استفاده از سه دیوار باربر در چینش ضربی و دو و چهار دیوار باربر در چینش رومی، افقی بودن سطح رویی طاق و ثابت بودن ضخامت طاق در بخش‌های مختلف چفد. در دهانه‌های کمتر از ۱ متر، آجرهای ذوزنقه‌ای شکل به کار رفته است، درحالی‌که در طاق‌های آهنگ با دهانه ۱ تا ۳ متر، آجرهای مربعی شکل استفاده شده‌اند. به‌کارگیری چفدهای مازه‌دار و روش‌های متنوع چینش از جمله رگ‌چین رومی، ضربی عمود و متمایل، رومی و ترکیبی از ضربی–رومی، از دیگر ویژگی‌های

[ DOI: 10.61882/jra.10.2.448 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 7:50 +0330 on Wednesday June 10th 2026

طاق‌های آهنگ در دوره عیلام و الیمایی است. در تمامی این دوره‌ها، طاق‌ها همواره در امتداد محور طولی فضای اصلی اجرا شده‌اند. همچنین، ضخامت طاق در دهانه‌های تا ۳ متر، یک آجر و در دهانه‌های بیش از ۳ متر، یک‌ونیم آجر بوده است که نشان‌دهنده آگاهی از ارتباط میان ابعاد دهانه و ضخامت طاق در این دوره‌ها است. برای افزایش مقاومت طاق، ضخامت آن در طول چفد از رأس تا پایه ثابت و برابر در نظر گرفته شده است. براساس یافته‌های پژوهش (شکل ۳)، هشت شیوه مختلف در اجرای طاق‌ها شناسایی شده است که شامل این موارد است: ۱) اجرای طاق با چینش ضربی متمایل با آجرهای ذوزنقه‌ای و رج‌چینی عمودی در ابتدا، ۲) اجرای طاق با آجرهای ذوزنقه‌ای بر روی زمین یا یک دیواره کوتاه عمودی، ۳) اجرای دیواره متمایل با چینش آجرها به‌صورت رگ‌چین افقی و اجرای طاق با چینش ضربی آجرهای ذوزنقه‌ای، ۴) اجرای دیواره نزدیک آوارگاه و چینش طاق به‌صورت ضربی با آجرهای مربع، مستطیل یا ذوزنقه‌ای، ۵) ترکیب دیواره عمودی با چینش افقی و اجرای پیش‌آمده طاق آهنگ با چینش ضربی متمایل به دیوار عقب، ۶) اجرای دیواره عمودی به‌صورت رگ‌چین و چینش طاق به‌صورت رومی، ۷) اجرای دیواره با رگ‌چین متمایل به درون در بخش ابتدایی طاق و چینش رومی و ۸) ترکیب روش رومی از پاطاق تا شکن‌گاه و در ادامه چینش ضربی با خیز کم که نشان‌دهنده تحول در ساخت طاق آهنگ است. این پژوهش نشان می‌دهد که هندسه طاق، ضخامت، نسبت دهانه به افراز و روش چینش آجرها تأثیر مستقیمی بر پایداری و مقاومت طاق‌ها دارند. همچنین، بررسی دقیق ویژگی‌های معماری این دوره‌ها نه‌تنها در مرمت سازه‌های تاریخی و شناخت اصالت کالبدی مؤثر است، بلکه در تاریخ‌گذاری این آثار نیز نقش مهمی ایفا می‌کند. دقت در ویژگی‌های ثابت و گاهی تکرارشونده، مانند روابط خاص پیوند اجزا یا نسبت‌های هندسی دهانه و خیز طاق، می‌تواند امکان مرمت بخش‌های فرو ریخته را فراهم کند.

در راستای نتایج این مقاله پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آینده به بررسی مؤلفه‌های اصالت کالبدی و بازسازی طاق‌های فروریخته پیش از دوره اسلامی، همچنین مطالعه سایر ویژگی‌های مقابر طاق‌دار دوره عیلام از منظر روابط فضایی و بررسی مصالح ذورنقه شکل در طاق آهنگ پرداخته شود.

**سپاسگزاری:** مقاله حاضر بخشی از مطالعات پژوهشی رساله دکتری نگارنده اول با عنوان «خوانش دگرگونی‌ها در چینش تاق آهنگ از عیلام تا پایان دوره ساسانی با رویکرد حفاظت بناها بر مبنای اصالت کالبدی (مطالعه موردی استان خوزستان)» است که با راهنمایی سایر نگارندگان در دانشگاه هنر اصفهان انجام شده است. نگارندگان بر خود واجب می‌دانند از خانم دکتر آرمان شیشه گر، دکتر نیما ولی بیگ، دکتر مهدی رهبر، مهندس عاطفه رشنویی، محمد شیخ و پایگاه جهانی شوش سپاسگزاری نمایند.

**مشارکت نویسندگان:** نویسنده اول، مسئول تهیه تمامی بخش های مقاله شامل جمع آوری داده ها و نگارش مقاله بوده است. نویسنده دوم و سوم راهنمایی نگارش مقاله و جمع بندی بخش های مربوطه در مراحل انجام کار را انجام داده اند.

**تامین مالی:** این مقاله حامی مالی نداشته است.

**تضاد منافع:** مقاله حاضر بخشی از مطالعات پژوهشی رساله دکتری نگارنده اول با عنوان «خوانش دگرگونی‌ها در چینش تاق آهنگ از عیلام تا پایان دوره ساسانی با رویکرد حفاظت بناها بر مبنای اصالت کالبدی (مطالعه موردی استان خوزستان)» است که با راهنمایی سایر نگارندگان در دانشگاه هنر اصفهان انجام شده است.

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

## منابع

## References

Abolghasemi, L. (1997). Por and Rumi. Honarhā-ye Zībā, (2), 64–67. [In Persian].https://journals.ut.ac.ir/article_17148_ff772778ada3056c4f8cf2155f82bb1e.pdf

Agha Aligol, D., Jafarizadeh, M., Rahbar, M., & Mardani, M. (2019). Application of micro-PIXE technique for elemental analysis of glass beads excavated from Saleh-Davoud tombs, Khuzestan: Evidence of glass artifact trade in the Parthian period. Pazhohesh-e Bastanshenāsi, 5(1), 144–166. [In Persian] http://dx.doi.org/10.29252/jra.5.1.143

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

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. http://hdl.handle.net/10077/30232

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.

[ DOI: 10.61882/jra.10.2.448 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 7:50 +0330 on Wednesday June 10th 2026

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 (with G. Jéquier & 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

Etlin, R. A. (2015). The strength of vaults. In 5th International Congress on Construction History.

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. https://doi.org/10.3406/arasi.1964.902

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

Ghirshman, R. (1968). Choğā Zanbīl. 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. https://doi.org/10.3406/arasi.1966.945

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.. http://dx.doi.org/10.7764/rdlc.19.3.366

Izadpanah, F., & Kamali, F. (2024). Analysis of behavior and ultimate stability of Iranian pointed and flattened five-seventh and clover-pointed arches under thrust loads. Iranian Architecture Studies, (25), 47–62. [In Persian]https://doi.org/10.22052/jias.2024.255188.1312

Kharashadi, S., & Enteshari Najafabadi, A. (2023). A glance at iron and blacksmithing in ancient Elam based on archaeological evidence and cuneiform texts. Iranian Archaeological Research, 13(38), 33–68. [In Persian]https://doi.org/10.22084/nb.2023.27429.2554

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.

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. (2014). A Study of Theoretical Foundations of Architecture (9th ed.). Tehran: Simā-ye Dānesh. [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.

[ DOI: 10.61882/jra.10.2.448 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 7:50 +0330 on Wednesday June 10th 2026

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]https://doi.org/10.22084/nbsh.2017.7876.1535

Negahban, E. O. (1993). Excavations at Haft Tappeh, Khuzestan Plain. 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. Āthar, (24). Iranian Cultural Heritage Organization. [In Persian]

Pirnia, M. K. (2008). Stylistics of Iranian Architecture. Tehran: Nashr-e Pazhuhandeh. [In Persian]

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]https://doi.org/10.22084/nb.2023.27791.2589

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. Spring and Summer, 2(3), 39–49. [In Persian]https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23453850.1391.2.3.2.1

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]

Zalaghi, A. (2018). Digging up the past: Revisiting the Elamite underground vaulted tombs at Tappeh 497 (KS 53?), Susiana Plain. Elamica, 8.

Zokavi, S. (2019). Study and evaluation of clay deposits around Chogha Zanbil for optimized restoration brick production. Pazhohesh-e Bastanshenāsi, 5(2), 35–46. [In Persian] http://dx.doi.org/10.29252/jra.5.2.35

ابوالقاسمی، ل. (۱۳۷۶). پر و رومی. هنرهای زیبا، ۱(۲)، ۶۴–۶۷.
https://journals.ut.ac.ir/article_17148_ff772778ada3056c4f8cf2155f82bb1e.pdf

ارفعی، ع.، و گروه نویسندگان. (۱۳۸۵). کتاب اطلس تاریخ ایران. سازمان نقشه‌برداری کشور.

ایزدپناه، ف.، و کمالی، ف. (۱۴۰۳). بررسی رفتار و میزان حد نهایی پایداری قوس‌های ایرانی پنج و هفت کند و شبدری کند بر اثر رانش. مطالعات معماری ایران،(۱۳). ۲۵، ۴۷–۶۲. https://doi.org/10.22052/jias.2024.255188.1312

آقاعلی‌گل، د.، جعفری‌زاده، م.، رهبر، م.، و مردای، م. (۱۳۹۸). کاربرد روش میکروپیکسی جهت آنالیز عنصری مهره‌های شیشه‌ای مکشوفه از آرامگاه‌های صالح‌داود خوزستان: شواهدی از تجارت مصوعات شیشه‌ای در دوره اشکانی. پژوهه باستان‌سنجی، ۵(۱)، ۱۴۴–۱۶۶. http://dx.doi.org/10.29252/jra.5.1.143

بزنوال، ر. (۱۳۷۹). فن‌اوری طاق در ایران کهن (م. حبیبی، مترجم). سازمان میراث فرهنگی. (اصل اثر در ۱۹۸۵ منتشر شده است).

پیرنیا، م. ک. (۱۳۷۳). چفدها و طاق‌ها (اثر شماره ۲۴). تهران: سازمان میراث فرهنگی.

پیرنیا، م. ک. (۱۳۸۷). سبک‌شناسی معماری ایرانی. تهران: پژوهنده.

خراشادی، س.، و انتشاری نجف‌آبادی، ع. (۱۴۰۲). نگاهی به آهن و آهنگری در عیلام باستان براساس شواهد باستان‌شناختی و اسناد مکتوب میخی. پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، ۱۳(۳۸)، ۳۳–۶۸. https://doi.org/10.22084/nb.2023.27429.2554

خزائلی، پ.، و مترجم، ب. (۱۴۰۰). اجرای طاق‌های خشتی تهران: کتابکده کسری.

خزائلی، پ.، و مترجم، ب. (۱۴۰۲). محاسبه ترسیمی قوس بنایی تهران: کتابکده کسری.

ذکوی، س. (۱۳۹۸). مطالعه و بررسی ذخایر رسی در اطراف منطقه چغازنبیل در راستای تهیه خشت مرمتی بهینه. پژوهه باستان‌سنجی، ۵(۲)، ۳۵–۴۶. http://dx.doi.org/10.29252/jra.5.2.35

رهبر، م. (۱۳۷۳). کاوش باستان‌شناسی در گلالک شوشتر. در یادنامه گردهمایی باستان‌شناسی شوش (ص. ۱۷۵–۲۰۸). سازمان میراث فرهنگی.

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. https://doi.org/10.22084/nb.2023.27791.2589

[ DOI: 10.61882/jra.10.2.448 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 7:50 +0330 on Wednesday June 10th 2026

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.

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).

کی‌بین، 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؛ چاپ اول). 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. https://doi.org/10.22084/nbsh.2017.7876.1535

معماریان، غ. (۱۳۶۷). نیارش سازه‌های طاقی در معماری اسلامی ایران. تهران: جهاد دانشگاهی.

معماریان، غ. (۱۳۹۳). سیری در مبانی نظری معماری (چاپ نهم). تهران: سیمای دانش.

معماریان، غ.، و صفایی‌پور، ه. (۱۳۹۴). معماری ایران: نیارش – طاق و گنبد. تهران: نغمه نواندیش.

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. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23453850.1391.2.3.2.1

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.