



Investigating the Methods of Construction and Stability of Dome and Arch Structures With Sustainable Materials in Sassanid Period Architecture (Case Study: SIAHGEL Ivan Fire Temple)

Mansour Mansouri¹

Received: 2023-09-27, Accepted: 2024-02-17

DOI: 10.22034/RAU.2024.2012486.1066

Abstract

Over the centuries, Iranian architects have created magnificent masterpieces of architectural works. One of the most substantial structural components of a building in Iranian indigenous architecture, which significantly influences the formation and durability of the architectural work, is the coverings, especially domes and arches. A notable point about the dome-shaped architectural forms is the static nature of these traditional structures. The Sassanian era is significant for Iranians, with many analyses discussing its building structures. At the beginning of the Sassanian Empire, when Zoroastrianism was declared the official religion, Zoroastrian fire temples were found to be a stable stronghold for their rule. In Zoroastrianism, the four essential elements (water, fire, air, and earth) are regarded as sacred, and contaminating them is considered sinful. Among these, fire was given the most importance because, besides being pure and sacred, they benefited from its light and warmth. For this reason, during the Sassanian period, besides constructing significant and large fire temples, many chahartaqs were also built where religious ceremonies were held.

On the other hand, Iranian architects have traditionally used the dome in buildings as a symbol of the sky and a means of connection between earth and God, and they were even the first people to present creative ways of constructing this element on a square base. They have extensively used this identity-forming element in structures such as mosques and mausoleums. Since then, Iranian architects have created various types of domes with the best form and shape using traditional methods. Sassanian architects had great skill in erecting arch and dome coverings on a square base, and their method of erecting domes spread and continued in various regions. During the Sassanian period, dome construction became so prevalent and evolved that since then, the dome

1. Department of Architecture and Urban Planning, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran. Email: m-mansori@tvu.ac.com



covering has been used as a general pattern and guideline for construction and durability. However, traditional architects designed the functional properties of the building elements in religious structures so that their hidden meanings would be revealed.

General studies on well-known religious buildings of the Sassanian period show that religious buildings of this era often have a chahartaq plan. One of the important issues in the construction of arches and domes is the method of construction and the stability of these structures. The present research is applied in terms of purpose. The research method is qualitative, and the analysis method is descriptive, in such a way that using the cognitive background and the results obtained from field research and collecting information and documentary studies, it seeks to achieve the development of applied knowledge and achieve a practical goal. The main objective of this research is to produce knowledge and awareness in examining various dome and arch structures in the Sassanian period and the methods of construction and stability. In this study, first, by collecting findings and scientific documents, the construction methods of dome and arch structures are studied, and finally, the statics and stability of these structures are examined and analyzed. Ultimately, using observations, field surveys, maps, and existing documents, we examine the materials, construction methods, and statics of the SIAHGEL fire temple. The research findings indicate that the structural stability of the SIAHGEL fire temple is attributed to the use of durable materials like stone, lime, plaster, and sarooj mortar, along with construction methods like chahartaq and the incorporation of porticoes around the dome, as well as the distribution of forces onto four pillars. On the other hand, identifying Sassanian chahartaqs and associating them with the Sassanian era and the utilization of fire temples poses a challenge when studying religious structures from this time. Before this, any chahartaq identified with mortar, rubble stone, and sarooj was attributed to the Sassanian period, but perhaps a more careful examination could reveal that the construction of buildings in this style continued even in the early Islamic period. The Sassanian chahartaqs, known as fire temples, have a circumambulation hall around the building and also benefit from a central hall with the fire temple located in the central hall, which the examined example, the SIAHGEL fire temple, has all these characteristics that are specific to the buildings of the Sassanian period.

Besides the wide variety of materials used in this period (rubble stone, cut stone, brick, mud brick, clay, mud, plaster, wood, etc.), the masterful use of rubble stone and plaster mortar for constructing various buildings is a distinctive feature of the architecture of this period. About the SIAHGEL fire temple, we can say that the use of durable materials such as rubble stone, sarooj, and plaster mortar, as well as the masterful application of large arches (porticoes) around the dome chamber, are among the reasons for the structural stability of this chahartaq building.

Keywords: Sustainable materials, Dome, Arch, Sassanid architecture, Siahgel fire temple

بررسی شیوه‌های ساخت و پایداری سازه‌های گنبدی و طاقی با مصالح پایدار در معماری دوره ساسانی (نمونه موردی: آتشکده سیاهگل ایوان)

منصور منصوری^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲-۰۷-۰۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲-۱۱-۲۸

DOI: 10.22034/RAU.2024.2012486.1066

چکیده

معماران ایرانی طی قرن‌های متمادی توانسته‌اند شاهکارهای باشکوهی از آثار معماری را خلق کنند. یکی از مهم‌ترین بخش‌های سازه‌ای بنا در معماری بومی ایران که بر شکل‌گیری و ماندگاری اثر معماری تأثیر بسزایی دارد، پوشش‌ها به‌ویژه گنبدها و طاق‌ها است. از نکات برجسته‌ای که در مورد فرم‌های ساختمانی گنبدی باید به آن اشاره نمود خاصیت ایستایی این نوع ساختارهای سنتی است. معماران ساسانی توانایی بسیاری در برپایی پوشش‌های طاق و گنبد بر زیربنای چهارگوش داشتند و شیوه آنها در برپایی گنبد در مناطق مختلفی گسترش و تداوم یافت. همچنین تأثیر مذهب در معماری این دوره و وجود آیین زرتشتی سبب ایجاد آتشکده‌های گوناگونی شده است. یکی از مسائل مهم در بنای طاق‌ها و گنبدها شیوه ساخت و نحوه پایداری سازه‌ای این بناها است. در این پژوهش آتشکده سیاهگل در شهرستان ایوان واقع در استان ایلام، به عنوان نمونه مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش با هدف بررسی و علل شناخت پایداری سازه‌ای و نحوه ساخت چهارطاقی و گنبد در دوره ساسانی با استفاده از منابع و اسناد کتابخانه‌ای و همچنین با تکیه بر روش کیفی و مطالعات میدانی صورت گرفته است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از مصالح پایدار از قبیل سنگ، آهک، گچ و ملات ساروج، همچنین شیوه‌های ساخت چهارطاقی و استفاده از رواق در اطراف گنبد و انتقال نیرو بر روی چهار پایه از جمله دلایل پایداری سازه‌ای در آتشکده سیاهگل است.

کلمات کلیدی: مصالح پایدار، گنبد، طاق، معماری ساسانی، آتشکده سیاهگل.

۱. گروه معماری و شهرسازی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.



۱. مقدمه

هندسه به عنوان زبان مشترک بین معماری و سازه است، تا بتوان دیالکتیکی مناسب فی‌مابین ایجاد گردد. بهره‌گیری از علم هندسه در پیمایش همساز میان فرم، ایستایی و تناسب به عنوان اصلی جاری در تعامل سازه و معماری سنتی ایران همواره برقرار بوده است (مردمی، سهیلی فرد و آقاعیزی، ۱۳۹۴: ۶۵).

گنبد و طاق در بناهای ایران باستان از جنبه‌های مختلف مانند نحوه ساخت، تفاوت فرم، سیستم سازه‌ای و فرآیندی که برای اجرای آن‌ها طی شده قابل بررسی است. اما در این پژوهش هدف از بررسی گنبد و طاق شناخت شیوه‌های ساخت، مقاومت و پایداری سازه‌ای و نحوه ایستایی آن‌ها است.

۲. تعاریف و مبانی نظری

۱. مفهوم چهارطاقی

چهارطاقی به معنای گونه‌ای بنا، نوعی خیمه، نوعی کلاه و به عنوان اسامی علم (نام چند روستا) به کار می‌رود و معانی کنایی نیز از آن برداشت می‌شود (احمدی و همکاران، ۱۳۹۰: ۸۵). لغت‌نامه‌ها بنای چهارطاقی را این‌چنین تعریف کرده‌اند:

قبه و گنبدی که بر چهار پایه و ستون استوار شود و از هر جانب طاقی هلالی دارد و هر یک از طاق‌های چهارگانه بر دو پایه و ستون نهاده شود و سقف و گنبد بر این پایه‌ها و طاق‌ها قرار گیرد (دهخدا، ۱۳۷۲: ۱۵۹). سقف یا گنبدی که بر روی چهار پایه بنا شده و چهار طرف آن باز باشد (معین، ۱۳۶۳: ۱۰۷).

۲. نظریات و اندیشه‌ها

معماری ساسانی هرچند تا حدودی تداوم معماری دوره اشکانی به شمار می‌رود، اما در معماری ساسانی است که شیوه پارتی شکل کامل و مستقلی به خود می‌گیرد. معماری ساسانی شیوه‌ای مستقل، متمایز با طرح‌ها، اجزا، عناصر و مصالح مختص به خود است. بناهای به‌جامانده از این دوره عمدتاً در دو گونه کاخ‌ها و بناهای مذهبی قرار گرفته و پل‌ها و قلعه‌ها در رتبه بعدی قرار می‌گیرند و مدارک نشان می‌دهد بیشتر توان معماری این دوره به ساخت بنای کاخ‌ها و آتشکده‌ها اختصاص یافته است (ابوبی مهریزی، ۱۳۹۳: ۷۲). علی‌رغم حیات طولانی مدت سلسله ساسانی، آثار معماری زیادی از این دوره برجای نمانده است؛ لذا مشکلاتی در مطالعه سبک‌شناسی، تاریخ‌گذاری و جنبه‌های مختلف معماری این دوره وجود دارد (Reuther, 1939: 499).

دوران ساسانی برای ایرانیان جایگاه ویژه‌ای دارد و تحلیل‌های گوناگونی درباره ساختار آن ارائه شده است. امپراطوری ساسانی در آغاز اعلام دین زرتشت به عنوان دین رسمی خویش، آتشکده‌های زرتشتی را چون تکیه‌گاهی پایدار جهت فرمانروایی خود یافتند. در دین زرتشتی چهار عنصر حیاتی (آب، آتش، باد، خاک) مقدس شمرده می‌شود و آلوده کردن آنها گناه شمرده می‌شود. در این میان به آتش از همه بیشتر اهمیت داده می‌شده، زیرا به‌جز جنبه پاک و مقدس بودن از نور و گرمای آن بهره می‌برده‌اند (دریایی، ۱۳۸۸: ۷۴). سلسله ساسانی، نخستین سلسله در تاریخ ایران باستان است که دین زرتشتی را در دولت خود به رسمیت شناخت و دولتی مذهبی را پایه‌گذاری کرد. مذهب زرتشتی تأثیر خاصی بر هنر و معماری دوران ساسانی داشته است؛ در دوران ساسانیان، علاوه بر احداث آتشکده‌های مهم و بزرگ، چهارطاقی‌های فراوانی نیز ساخته شده که در آن‌ها مراسم مذهبی برپا می‌گردید. در متون تاریخی به‌جامانده از این دوره، از جمله کتیبه شاپور اول در کعبه زرتشت، کتیبه‌های مهرپرستی و کتیبه‌های کرتیر (اکبرزاده و طاووسی، ۱۳۸۵: ۱۲)، به‌کرات به اخبار و یا دستور ساخت چهارطاقی‌ها توسط فرمانروایان و یا مقامات برخورد می‌کنیم، که نشانگر جایگاه مهم ساخت آتشکده و بناهای عام‌المنفعه است (دریایی، ۱۳۸۸: ۸۱).

ایرانیان از گذشته گنبد را در بناها به عنوان نماد آسمان و راهی برای اتصال بین زمین و خداوند تلقی و به کار می‌بردند و حتی اولین اقوامی می‌باشند که در ترقی و ساخت این عنصر بر زمینه چهارگوش راه‌های خلاقانه ارائه نموده‌اند و در بناهایی مانند مساجد و آرامگاه‌ها به فراوانی از این عنصر هویت‌بخش استفاده کرده‌اند. قدمت ساخت گنبد در ایران به هزاره سوم پیش از میلاد بازمی‌گردد. از آن زمان معماران ایرانی انواع مختلفی از گنبد را با بهترین فرم و شکل با استفاده از روش‌های سنتی به وجود آورده‌اند (حجازی و میرقادری، ۱۳۸۳: ۵۳). در دوران ساسانی گنبدسازی آن‌چنان رواج پیدا می‌کند و تکامل می‌یابد که از آن‌پس تاکنون پوشش گنبدی از نظر ساخت و شیوه پایداری به صورت الگو و دستورالعمل کلی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد (محمدی، نیستانی و موسوی، ۱۳۹۰: ۲۹).

از طرفی معماران سنتی در ساخت بناهای مذهبی خاصیت‌های عملکردی عناصر ساختمانی را چنان طرح‌ریزی می‌کردند که مفاهیم پنهان آن عیان گردد. برای این امر

جدول ۱. دسته‌بندی و ویژگی‌های بناهای مذهبی دوره ساسانی (کیانی، ۱۳۷۹: ۴۰۱-۴۰۲).

نوع بنای مذهبی	مجموعه‌های مذهبی	آتشکده‌های مستقل	چهارطاقی‌ها
فرم بنا	چهارطاقی گنبددار و فضاهای پیرامون	چهارطاقی گنبددار و راهرو مسقف پیرامون	چهارطاقی‌های گنبددار و مستقل
ویژگی‌های فضایی	هسته مرکزی یک چهارطاقی گنبددار است و فضاهایی با کارکردهای مختلف پیرامون این بخش قرار می‌گیرد.	هسته مرکزی یک گنبدخانه و راهروهای سرپوشیده در اطراف آن قرار دارند.	چهار دهانه وسیع و گشاده به اطراف دارند و فضای داخلی آنها از همه طرف قابل مشاهده است.

رواج پیدا می‌کند و تکامل می‌یابد که از آن پس تا امروز پوشش گنبدی از نظر ساخت به صورت الگو و دستورالعمل کلی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. روش گنبدسازی در دوران ساسانی آنچنان با استفاده از نظم دقیق هندسی در شکل‌بندی و ساختمان و با کاربست شیوه‌های صحیح صورت می‌گیرد که در همه انواع، گنبد‌ها بدون احتیاج به تکیه‌گاه، کالبد و قالب در برابر همه نیروهای فشاری و رانشی به‌خوبی مقاومت می‌کنند (محمدی، نیستانی و موسوی، ۱۳۹۰: ۳۲).

۳. روش تحقیق

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی است. روش تحقیق کیفی و روش تحلیل آن توصیفی است، به این ترتیب که با استفاده از زمینه و بستر شناختی و نتایج به دست آمده از تحقیقات میدانی و جمع‌آوری اطلاعات و مطالعات اسنادی در جستجوی دستیابی به توسعه دانش کاربردی و حصول یک هدف عملی است. هدف اصلی این تحقیق، تولید دانش و آگاهی در زمینه بررسی انواع سازه‌های گنبدی و طاقی در دوره ساسانی و شیوه‌های ساخت و پایداری آنها است. در این پژوهش ابتدا با گردآوری یافته‌ها و مستندات علمی شیوه‌های ساخت سازه‌های گنبدی و طاقی مورد مطالعه قرار گرفته و در نهایت نحوه ایستایی و پایداری این سازه‌ها مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در نهایت با استفاده از مشاهدات، برداشت میدانی، نقشه‌ها و اسناد موجود به بررسی مصالح، نحوه ساخت و ایستایی آتشکده سیاهگل می‌پردازیم.

۴. محدوده و قلمرو پژوهش

آتشکده سیاهگل در ۲۵ کیلومتری شهر ایوان واقع در استان

آیین زرتشتی دین رسمی ایران در دوره ساسانی بود و بناهای مرتبط با این دین از جایگاه مهمی برخوردار بودند. ساختمان اصلی معابد، بناهای چهارطاقی مستقلی بودند که در زیر آنها آتش مقدس فروزان بوده و در طول مراسم مذهبی از دهانه‌های چهارگانه برای مؤمنان قابل مشاهده بوده است و همچنین مجموعه‌هایی وجود داشته که آتش در مواقع دیگر در داخل آن نگهداری می‌شده است (Boyce, 1975: 466).

مطالعات کلی صورت گرفته درباره بناهای مذهبی شناخته شده در دوره ساسانی نشان می‌دهد که بناهای مذهبی این دوره اغلب دارای پلان چهارطاقی هستند. کلاوس شیپمان^۱ در پی تحقیقاتی که درباره چهارطاقی‌ها انجام داده است، چهارطاقی‌های ساسانی را به دو گروه اصلی تقسیم کرده است: گروه نخست، چهارطاقی‌هایی که با ساختارهای بزرگ در ارتباط هستند (تخت سلیمان) و گروه دوم چهارطاقی‌های منفردی که گاه آتشگاه یا سایر اتاق‌های فرعی به آن اضافه می‌شده است (آتشکده نیاسر)، (هاشمی زرج‌آبادی، ۱۳۸۹: ۹۰).

از نقطه نظر معماری بناهای مذهبی دوره ساسانی را می‌توان مطابق «جدول ۱» به سه دسته کلی تقسیم‌بندی نمود.

در ارتباط با کارکرد و تاریخ‌گذاری گروه سوم مباحث زیادی مطرح است. به نوشته هوف^۲، اصطلاح چهارطاقی در اصل یک بنای چهارگوش را می‌رساند که مشتمل بر چهار قوس در میان جرزهای گوشه ایست یا این که فقط به چهار دیوار ختم می‌شود و فضای میانی آن با کمک فیلیپوش‌ها مسقف می‌شود. این بناها به اعتقاد آرنده گدار^۳ و ک. اردمان^۴، ویرانه‌های آتشکده‌های ساسانی هستند که به صورت چتری بر روی آتش مقدس کشیده می‌شده است و آتش از فاصله دور از میان دهانه‌های چهارطاقی قابل مشاهده بوده است. برخلاف این نظر، شواهد نشان می‌دهد معابد کهن ایرانی نسبت به فضای بیرون کاملاً بسته بوده است (کیانی، ۱۳۷۹: ۴۰۱-۴۰۲). فقدان سبک‌شناسی و تاریخ‌گذاری مشخص سبب شده است تا هر نوع بنای چهارطاقی مستقل که فاقد مدارک مشخص تاریخ‌گذاری است، به عنوان آتشکده به این دوره نسبت داده شود.

معماری پارسی ساسانی به احتمال زیاد معماری گنبدسازی بین‌النهرین را به ارث برده است. خرابه‌های کاخ اردشیر بابکان و قلعه دختر (فیروزآباد) در استان فارس، توسط اردشیر اول (۲۴۰-۲۲۴) ساخته شده است. استفاده از گنبد توسط امپراطوری ساسانی را نشان می‌دهد. در دوران ساسانی، گنبدسازی آنچنان



ایلام، در بخش زرنه و در ساحل جنوبی رودخانه‌ای به نام کنگیر با فاصله تقریبی ۷۰۰ متر از آن رودخانه واقع شده است (شکل ۱). این آتشکده که در سال ۱۳۴۹ توسط اندنبرگ، باستان‌شناس بلژیکی کشف شد، وسط دشتی کوچک ساخته شده که احتمالاً در آن دشت منازل مسکونی اهالی این منطقه، یعنی جایی نزدیک به آتشکده قرار داشته و همچنین زمین‌های حاصلخیز و آبرفتی که در آنجا وجود دارد، مطابق با رسم معمول آن زمان همگی وقف آتشکده بوده است (ناصری، ۱۳۸۲: ۳۶).

اطراف این بنا به وسیله دیواری محصور بوده، ولی اکنون به علت عوامل طبیعی و غیرطبیعی تخریب شده است. نوع معماری بنا مربوط به دوره ساسانی است. همچنین وجود حیاطی که آتشکده را در خود جای داده، اگرچه در گذشته بر اثر عوامل اقلیمی و بی‌توجهی تخریب شده است، همگی نشانگر سبک معماری دوره ساسانی است (شکل ۲)، (ناصری، ۱۳۸۲: ۳۷).

۵. یافته‌های پژوهش

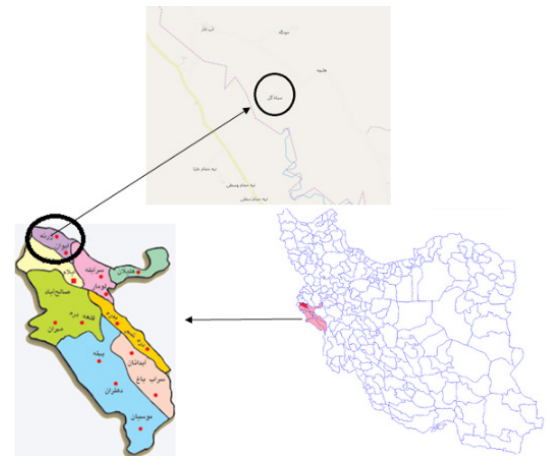
۵.۱. انواع پوشش گنبدی در دوره ساسانی

گنبدها در دوران مختلف تاریخی ویژگی‌های متفاوت و معماری‌های متنوعی داشتند. در دوران ساسانی گنبدسازی آنچنان رواج می‌گیرد و تکامل می‌یابد که از آن‌پس تا امروز پوشش گنبدی از نظر ساخت به صورت الگو و دستورالعمل کلی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد (Al-Jahwari, Kennet, Priestman, Saue & et. al, 2018: 726).

اگرچه گنبدهای پیشین بر پایه مدور قرار می‌گرفتند، اما



شکل ۲. نمای جنوبی و شرقی آتشکده سیاهگل ایوان.

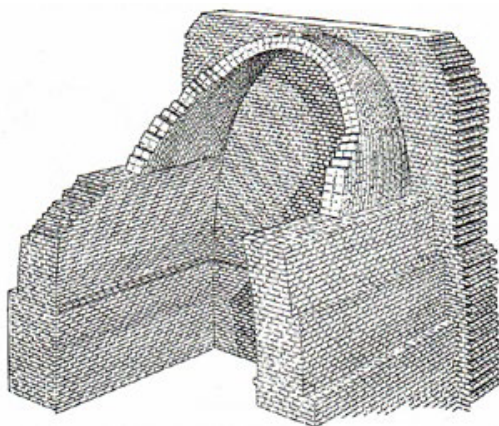


شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهرستان ایوان در شمال استان ایلام و آتشکده سیاهگل.

ستون‌های گوشه و طاق‌ها هستند که در این بین دسته‌هایی وجود دارد که در آنها اتاق گنبددار مرکزی با راهرویی تنگ به نام رواق احاطه شده است. گروه سوم نیز که به تعداد کمتری از آن یافت شده، دارای اجزایی مشابه نمونه چهارطاقی‌های دسته دوم هستند، با این تفاوت که به جای راهروی طواف گرد بخش مرکزی، با اتاق‌ها، ایوان‌ها و غیره احاطه شده‌اند (Huff, 1987: 329).

۵.۲. انواع پوشش‌های طاقی در دوره ساسانی

اشکانیان در معماری خود از طاق گهواره‌ای، قوس و رگچین با سنگ قلوه و برجسته‌کاری تزئینی و گاهی ستون توکار هم استفاده می‌کردند. از ویژگی‌های معماری و هنر این دوره انتقال برخی از عناصر معماری و هنر است که به دوره بیزانس و ساسانی منتقل شده است. شاید تاریخ معماری «طاق دار» که در ایران بسیار معروف است، از دوره اشکانیان آغاز شده و در دوره ساسانیان تکامل یافته باشد (Askari Chaverdi, 2013: 183). یکی از شاخصه‌ها و عناصر مهم معماری ساسانی استفاده گسترده از سازه‌ها و پوشش‌های طاقی است. تکنیک طاق‌زنی ساسانی عمدتاً متکی به کیفیت ویژه ملات گچی است که سریع سفت شده و اجازه اجرای طاق را بدون استفاده از قالب می‌داده است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۰: ۳۴). طاق‌های نیم‌دایره (گهواره‌ای) متداول‌ترین طاق‌ها بودند که به گونه استاندارد اجرا می‌شدند و تنها به یک دیوار پشتی یا تکیه‌گاه نیاز داشت یا یک نوار باریکی از قالب برای رج اول و بقیه رج‌ها چسبیده به آن ادامه می‌یافت (شکل ۴). این شیوه علی‌رغم پیشرفته بودن، مانع از پیشرفت ساختمان‌سازی بر اساس هندسه می‌شود (Huff, 1987: 331).



شکل ۴. شیوه اجرای طاق‌های گهواره‌ای (Huff, 1987: 331).

این ویژگی است که معمولاً کمترین تنش کششی در این فرم‌ها به وجود می‌آید. بنابراین ساختن گنبدها با مصالح ساختمانی (گل، آجر، سنگ) که قابلیت تحمل نیروهای خمشی را ندارند کاملاً امکان‌پذیر است. از دیدگاه تکامل فرم‌های ساختمانی، فرم‌های گنبدی دارای توانایی و برتری نسبت به فرم‌های ساختمانی تخت و حتی فرم‌های ساختمانی طاقی هستند. از مزایای دیگر طاق قوسی و گنبد این است که باد از روی سطح محدب، با سهولت بیشتری رد می‌شود و فرسایش و تخریب کمتری را موجب می‌گردد (مولایی و ثبوتی، ۱۳۹۵: ۲۲).

آندره گذار معتقد است معماران ساسانی با انحنای دادن به قسمت‌های پایین گنبد که با کمک و یا بدون کمک گوشه‌بندی‌ها و یا طاق‌های کوچک مخروطی شکل ساخته می‌شدند، به برپایی گنبد توفیق یافتند (گذار، ۱۳۷۱: ۱۹-۲۴). معماران ساسانی برای برپایی تعدادی از گنبدها از تویزه‌های گچی سود می‌جستند (شکل ۳). در این روش بعد از آماده شدن پاتاق گنبد، طرحی از مقطع گنبد بر سطح زمین کشیده می‌شد و بر اساس آن تویزه‌هایی با استفاده از قطعات نی و ملات گچ تهیه می‌شد و آنها را به فواصل معین بر روی پاتاق گنبد به گونه‌ای که رأس آنها به یکدیگر متصل و پایه آنها در میان آخرین رج پاتاق مهار می‌شد، قرار می‌دادند. بعد از این مرحله، بدنه اصلی گنبد در حفاصل و پیرامون تویزه‌ها به صورت هماهنگ سنگ چینی می‌شد (گذار، ۱۳۷۱: ۲۶-۲۸).

دیتریش هوف بناهای چهارطاقی را از لحاظ نوع و جزئیات پلان به سه گروه تقسیم کرده است که به ترتیب: گروه نخست، چهارطاقی‌های مجرد چهارگوش که در حقیقت بدون ستون‌های گوشه و طاق‌های مرتبط کننده هستند، ولی دیوارهایی راست و نازک با سه یا چهار ورودی دارند. گروه دوم، چهارطاقی‌ها با



شکل ۳. شیوه پوشش چهارطاقی نیاسر با کمک تویزه گچی (گذار، ۱۳۷۱: ۳۱).



طاق‌های دوره ساسانی را می‌توان از نظر مقطع و شکل به انواع نیم‌دایره و نیم‌بیضی طبقه‌بندی کرد؛ هرچند مواردی از طاق‌های تیزه دار و نعل اسبی نیز در این دوره شناسایی شده است (محمدی، نیستانی و موسوی، ۱۳۹۰: ۳۶). در شیوه نیم‌دایره‌ای لایهٔ نازکی از سنگ و ملات گچ ابتدا روی چوب‌بست قرار گرفته و سپس وقتی ملات خودش را می‌گرفت، این لایه، نقش قالب طاق زنی را برای توده سنگ و ملات که طاق واقعی را تشکیل می‌داد، ایفا می‌کرد. در این روش فقط به یک داربست طاق زنی نسبتاً سبک احتیاج بود که بر روی دیوارهای باربری که تا محل پاتاق قوس بالا آمده بودند، قرار می‌گرفت. در نتیجه طاق گهواره‌ای شکل خاصی پیدا می‌کرد که نوع ویژه و مختص دوره ساسانی شناخته می‌شود. قطر دهانهٔ قوس در این شیوه از پهنای اتاق یا درگاه بزرگ‌تر بود، بنابراین پاتاق قوس اندکی عقب‌تر از دیواره‌های زیرین قرار می‌گرفت. در این شیوه، مقطع طاق‌ها نیم‌دایره است (روتز، ۱۳۸۷: ۶۴۴-۶۴۳).

گونهٔ دیگر طاق‌ها بدون داربست طاق زنی ساخته می‌شد و طرحی نیم بیضی داشتند. در این شیوه معماران برای طاق‌زنی بر روی فضاهای بزرگ به منظور کاهش عرض دهانه با ایجاد انحنا ملایمی در دیواره‌های پاتاق، آنها را به طرف داخل متمایل ساخته و سپس دهانهٔ فوقانی را با رج‌های عمودی می‌پوشاندند. بنابراین طرح نیم بیضی طاق‌های دوره ساسانی، نتیجه در نظر گرفتن استحکام و ثبات نیست بلکه ناشی از فرایند عملی ساخت بناست. پوشش عظیم طاق کسری (شکل ۵) شاخص‌ترین نمونه از این نوع است (keall, 1989: 156).

از دیگر انواع طاق‌ها که در معماری ساسانی دیده می‌شود، نمونه‌های ابتدایی پوشش طاق و تویزه است. این نوع پوشش مرکب است از یک سلسله طاق و تویزه که در طول یکدیگر قرار می‌گیرند. در این روش رانش طاق به جای آنکه بر دیوارهای جانبی فشار وارد سازد، بر روی نقاط معینی از قوس‌های مستحکم‌تر تقسیم می‌شود. این شیوه به معمار اجازه می‌دهد در فاصلهٔ میان دو قوس، پنجره‌هایی تعبیه کند (شکل ۶). این شیوه در معماری اسلامی تداوم پیدا کرد (تجویدی، ۱۳۸۳:



شکل ۶. پوشش بنا با سیستم طاق و تویزه (تجویدی، ۱۳۸۳: ۱۸).



شکل ۵. نقشه و وضع موجود طاق کسری، تیسفون (keall, 1989: 156).

به‌طورکلی بخش‌های یک قوس که تأثیر نیروها در آنجا مشاهده می‌شود عبارت‌اند از:

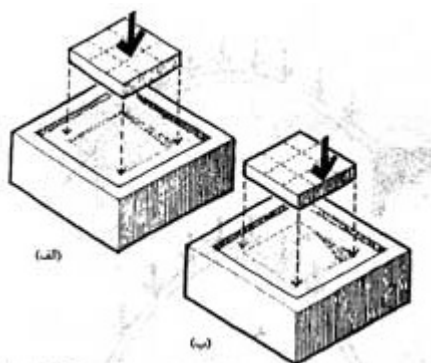
۱. **زاویه شکرگاه:** در این نقطه اولین شکاف‌ها و خرابی چفد مشاهده می‌شود، در قوس‌های ایرانی این زاویه در حدود $22/50^\circ$ درجه است.

۲. **پشت بغل:** بار وارده از طرف دیوار بالای چفد است که وظیفه تعادل دادن به کل سازه را دارد. قسمتی از نیروی رانش قوس که به‌طور مایل به شانه آن وارد می‌شود با وزن وارده از این قسمت ترکیب شده و در مواقعی خود باعث تعادل قوس می‌شود.

۳. **مجردی یا جرز:** عنصر قائم بر زمین است که وظیفه انتقال نیروهای وارده از طرف قوس بر زمین را دارد. با اضافه نمودن عرض آن بر سطحی که به اندازه $3:1$ ضخامت قوس است، برآیند نیروهای قوس می‌بایست از سطح بگذرد در غیر این صورت سازه دارای تعادل نخواهد بود.

۴. **عرض یا کلفتی پایه:** اگر برشی از پایه قوس بزنیم و آن را تقسیم به سه کنیم و یک قسمت آن را که در وسط است جدا نماییم این قسمت به $1/3$ کلفتی پایه معروف است (معماریان، ۱۳۶۷: ۱۳۴).

در مدل نمایشی قانون یک‌سوم وسط (شکل ۸): الف. نیروی وارده روی قطعه پی در مرکز آن است و نتیجه آن فقط نیروی فشاری روی خاک تکیه‌گاهی است؛ ب. نیروی روی بخش یک‌سوم وسط پی که نتیجه آن کشش روی بخش‌هایی از خاک تکیه‌گاهی است. این قانون کلی از کشش ممانعت به عمل می‌آورد و در سازه‌های فشاری (مانند قوس‌ها) خط رانشی درون مرکز ایجاد می‌کند (معماریان، ۱۳۶۷: ۱۳۴).



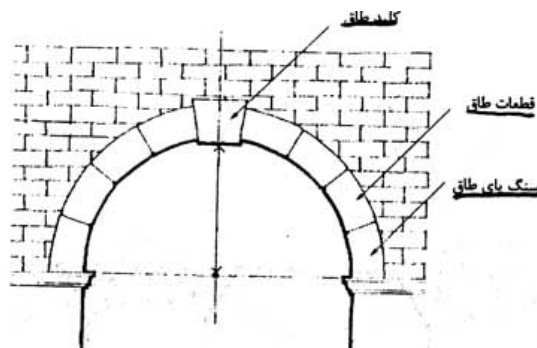
شکل ۸. مدل نمایشی قانون یک‌سوم وسط (شمسی‌پور، جعفری و نقدی، ۱۳۹۲: ۷۸).

۱۸). نمونه شاخص این نوع طاق در ایوان کرخه دیده می‌شود. در اینجا طاق گهواره‌ای معمول دوره ساسانی اجرا شده و پنج قوس یا تویزه در عرض فضا اجرا شده و حد فاصل آنها با طاق پوشش یافته است (شیپمان، ۱۳۸۴: ۱۳۱).

۵. ۳. سیستم سازه و ایستایی در طاق‌ها

در این‌به ساسانی اعم از کاخ‌ها و آتشکده‌ها، پوشش‌های گنبدی و ساختن ایوان‌های دارای طاق ضربی و چهارطاقی‌های مخصوص آتشکده متداول و اساس معماری این زمان بوده است (امان الهی و قدری، ۱۴۰۲: ۵۹). از نظر ایستایی، فرم‌های قوسی اعم از گنبدی و طاقی فرم‌هایی هستند که در آنها انتقال وزن و سایر نیروها اصولاً با مکانیسم نیروی غشایی (و اندکی نیروی خمشی) انجام می‌گیرد. از این‌رو فرم‌های قوسی شکل فنی‌تر و به منحنی نیروها، که منحنی کامل فرم ساختمانی است، نزدیک‌تر و نسبت به فرم‌های تخت دارای برتری فرمی هستند (فرشاد، ۱۳۷۶: ۳۱۷).

قوس‌های آجری که برای پوشش درگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند از پیوند رگه‌های آجری گوه‌ای شکل، که هرکدام با فشار عناصر کنار خود درجای خود نگاه داشته می‌شود، تشکیل شده‌اند (شکل ۷). در کل بارهای وارده از بالا به وسیله آنها به شانه قوس وارد شده، توسط پایه‌ها به زمین انتقال پیدا می‌کنند. باید توجه داشت که نیروی منتقل شده در محل پاتاق، خود به دو مؤلفه تجزیه خواهد شد. تعادل قوس پیوند نزدیکی با پایه یا جرز و گشتاور چرخشی وارد شده از طرف بارها که به شانه قوس انتقال پیدا می‌کند، دارد (تقی زاده، ۱۳۸۷: ۳۷).

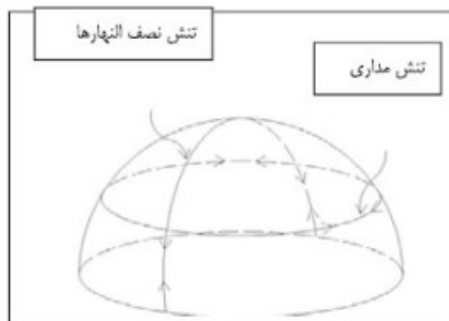


شکل ۷. بخش‌های مختلف یک قوس با مصالح بنایی (شمسی‌پور، جعفری و نقدی، ۱۳۹۲: ۷۵).

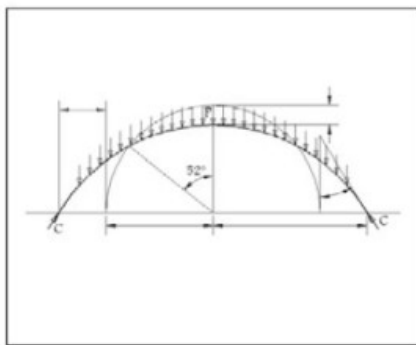


اثر وزن و غیره به‌طور یکنواخت در آن توزیع شده که در مسیر نصف‌النهارها تنش‌ها فشاری‌اند و در طول مدار به‌طور ثابت اثر می‌کند (ضیاءآبادی، ۱۳۸۶: ۶۵).

لذا لازم به ذکر است که جهت درک آسان‌تر موضوع هر گنبد را متشکل از تعدادی المان‌های نصف‌النهاری و تعداد المان‌های مداری در نظر گرفته که در واقع از آنها به عنوان مقاطع متحمل تنش‌های اصلی نام می‌بریم. اکنون برای تشریح نحوه عملکرد نصف‌النهار و مدارها، یک گنبد با خیز نسبتاً زیاد که تحت بارهای وزنی خود قرار گرفته را در نظر می‌گیریم و با استفاده از تغییر شکل حاصله نیروها وارده را تحلیل می‌کنیم. همان‌طور که مشاهده می‌شود قسمت بالایی آن مسطح و قسمت پایینی آن بازمی‌گردد و نقاطی که در بخش بالایی قرار دارند تحت اثر بارها به سمت داخل حرکت می‌کنند اما نقاط پایینی به سمت خارج و دور از محور حرکت می‌نمایند. بر همین اساس مدارها در قسمت بالایی گنبد کوتاه می‌شوند و در آنها تنش‌های فشاری ایجاد می‌گردد (شکل ۱۱). در حالی که مدارها قسمت پایینی گنبد کشیده شده و تحت تأثیر تنش‌های کششی



شکل ۱۰. انواع تنش‌های غشایی روی گنبد (ضیاءآبادی، ۱۳۸۶: ۶۵).



شکل ۱۱. انواع تنش‌های غشایی روی گنبد (بیرنیا، ۱۳۵۲: ۱۳۶).

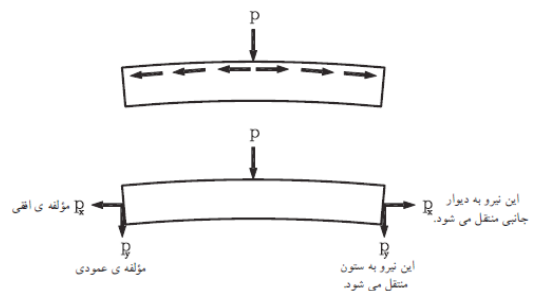
از طرفی شرایط داشتن تعادل در یک قوس از قرار زیر است:

الف. منحنی فشار داخل قوس باشد.
ب. در هر مقطع از قوس، از به وجود آمدن نیروی کششی جلوگیری شود، این بدین معنی است که برآیند نیروهای هر مقطع در داخل $1/3$ کلفتی ضخامت قوس بیفتد.
چنانچه بر قوس‌ها، نیروی فشاری وارد شود، این نیرو از تیزه قوس به پایه دو طرف قوس‌ها منتقل می‌شود. این نیرو که حاصل وزن تیر و دیواره بر روی قوس‌ها است، در محل تکیه‌گاه به دو مؤلفه افقی و قائم تجزیه شده، این دو نیرو که از نیروی اصلی منشعب شده‌اند از طریق دیوار و ستون‌های جانبی به زمین منتقل می‌شود (شکل ۹)، (شمسی‌پور، جعفری و نقدی، ۱۳۹۲: ۸۹)

۵. ۴. سیستم سازه و ایستایی در گنبدها

گنبد نوعی پوسته است و از این لحاظ رفتار سازه‌ای متمایزی را نسبت به طاق‌ها کسب کرده است. به‌طوری‌که بارهای وارده را بیشتر از طریق نیروهای غشایی (نیروهای در صفحه) منتقل می‌نماید و لنگر خمشی در آن بسیار محدود بوده و این موضوع دلیلی است بر ضخامت کم گنبد نسبت به تیرهای قوسی و لذا رفتار سازه‌ای این پوسته (غشا) متأثر از خصوصیات هندسی آن است. نقطه قوت دیگر گنبد (پوسته) آن است که معمولاً تحت بارهای وارده، تنش‌ها در قسمت اعظم سازه از یک نوع (فشاری یا کششی) بوده و بر همین اساس در ساخت گنبد توانسته‌اند از مصالح بنایی که قابلیت تحمل نیروها را دارند به خوبی استفاده نمایند (شکل ۱۰)، (ضیاءآبادی، ۱۳۸۶: ۶۴).

همان‌طور که گفته شد گنبد نوعی پوسته است که نسبت به محورش تقارن دارد. لذا تنش‌های حاصله از نیروهای وارده بر

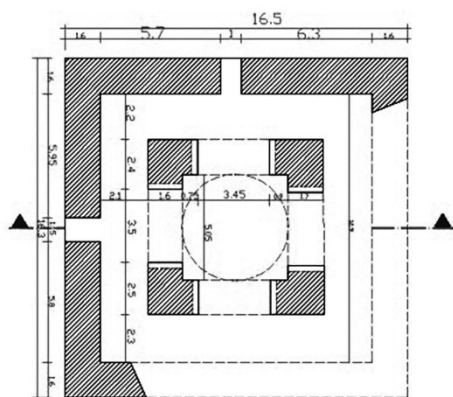


شکل ۹. نحوه انتقال نیرو در قوس‌ها (شمسی‌پور، جعفری و نقدی، ۱۳۹۲: ۸۹).

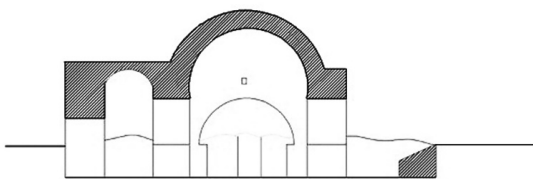
جدول ۲. مقایسه اجمالی ویژگی‌ها، مزایا و معایب چیدمان انواع طاق.

نوع طاق	رومی	ضربی	چپله (لاپوش)
روش اجرا	تا پیش از رسیدن دو لنگه طاق به هم نیاز به قالب سنگین دارد. که منجر به طولانی و دشوار شدن ساخت آن می‌شود.	نیاز به قاب سبک تنها به عنوان الگوی شکل طاق دارد، که به عنوان امتیازی بزرگ در برابر چیدمان گهواره‌ای به شمار می‌رود.	بدون قالب اجرا شده و کنترل انحنای آن با چشم انجام می‌شود.
توان باربری	توان باربری بالا بدون تغییر فرم جانی	توان باربری بالا با تغییر فرم جانی	فاقد توان باربری
همگنی	همگنی بیشتری در هرز ملات دارد.	همگنی کمتری در هرز ملات دارد.	-
سیستم سازه	لغز آن در طاق و تویزه ریشه دارد و هشت و گبر است.	لغز آن در تاق و تویزه ریشه ندارد.	فاقد تویزه

دیوارهایش یک متر، دارای آتشدان و در قسمت فوقانی یک روزنه (چشمه) وجود دارد که برای خروج دود حاصل از سوخت آتش تعبیه شده است (شکل‌های ۱۲ و ۱۳). در این آتشکده روش ساخت ستون‌ها و ترکیب ساختار آن همانند بسیاری از چهارطاقی‌های ساسانی از جمله چهارطاقی بازه هور، چهارطاقی فراش‌بند، چهارطاقی چن‌زیه ایلام، میل میلگه کرمانشاه، مولاب آبدانان و تاق رستم شیروان و چرداول است (مرادی، ۱۳۸۸: ۱۵۸). در این بناها لاشه‌سنگ‌هایی در اندازه‌های مختلف و بی‌شکل با نظم خاصی در کنار هم و به وسیله ملات گچ قرار داده شده‌اند (آزاد، ۱۳۸۴: ۲۲۰-۲۲۲).



شکل ۱۲. پلان آتشکده سیاهگل.



شکل ۱۳. مقطع آتشکده سیاهگل.

قرار می‌گیرند. به طوری که در یک گنبد این چنین مداری که در زاویه ۵۲ درجه از محور اصلی قرار دارد تغییر در اثر انتقال نیروی نصف‌النهار ایجاد می‌گردد و همین موضوع (کشش و فشار در مدارها) باعث هماهنگ شدن یا رفتار یکنواخت (طنابی) نصف‌النهارها می‌شود (پیرنیا، ۱۳۵۲: ۱۳۶).

۵.۵. جمع‌بندی

ابداع و مهارت بسیار در برپایی سازه‌های طاق و گنبد بر روی فضاهای چهارگوش وسیع از مهم‌ترین دستاوردهای معماری ساسانی است. در زمینه برپایی گنبد بر سطوح چهارگوش، معماری جهان مدیون دستاوردهای معماران ساسانی است. اولین گنبد‌های ساسانی مربوط به سال‌های نخستین ساسانی (و شاید سال‌های پایانی اشکانی) است، اما مطالعات نشان می‌دهد که این تکنیک در ابتدای راه خود قرار داشته است. اجرای طاق‌های گهواره‌ای و شلجمی شکل (رومی)، در کنار آشنایی معماران ساسانی با طاق‌های نعل اسبی و تیزه‌دار و نیز پوشش‌های طاق و تویزه به سه روش ساخت رومی، ضربی و چپله و همچنین استفاده از قوس‌ها یا تویزه‌های گلی و گچی پیش‌ساخته و تیرهای چوبی بکار رفته در سازه‌ها از مشخصه‌های دیگر این معماری است. در جدول شماره (۲) مقایسه اجمالی بین انواع چیدمان و روش‌های ساخت طاق‌ها ارائه شده است، که نشان‌دهنده برتری همه‌جانبه طاق دوره ساسانی یعنی طاق گهواره‌ای یا رومی از نظر سازه‌ای بر سایر رقبا است.

۶. بحث و نتایج

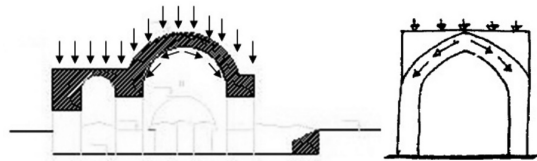
۶.۱. تحلیل نقشه‌ها و الگوی معماری در آتشکده سیاهگل

آتشکده سیاهگل دارای مقصوره (صحن) مربع شکل به اندازه تقریبی ۵/۵۰ در ۵/۵۰ متر و ارتفاع حدوداً ۱۲ متر است. قطر



تحت بار عمودی یا افقی قرار گیرند نیروها را در امتداد قوس به پطاق و در نتیجه پایه‌ها منتقل می‌کنند و چنانچه قوس‌ها تحت تأثیر نیرویی عمود بر میانه‌های آن وارد گردد، بهترین شکل را برای انتقال نیروهای عمودی دارند و می‌توان با انتخاب منحنی مورد نظر دهانه مورد لزوم را با استفاده از مصالح ساده‌ای اجرا نمود. در طاق‌ها چنانچه پطاق‌ها را از حالت تعادل و ایستای خود خارج نشوند هر قسمت و یا هر واحد عرض طاق به صورت مستقل عمل نموده و به بقیه قسمت‌های طاق بستگی نداشته و عملاً به صورت یک تیر مستقل عمل می‌نماید. همان‌طور که در «شکل ۱۵» در مقطع آتشکده سیاهگل مشاهده می‌کنید؛ معماران این بنا با استفاده از دهانه بزرگ توانسته‌اند خمش و کشش را به حداقل مقدار برسانند و فشارهای وارده به وسیله امتداد قوس به پطاق‌ها منتقل می‌شود.

نوع طاق به‌کاررفته شده در آتشکده سیاهگل طاق چهاربخشی است. این نوع طاق مانند ترکیب از تقاطع دو طاق آهنگ به وجود می‌آید با این تفاوت که در این نوع طاق به جای اینکه چهار ضلع طاق بر روی چهار سطح تکیه کنند، بر روی چهار نقطه استوارند. یکی از دلایل پایداری در آتشکده سیاهگل استفاده از همین نوع طاق است (شکل ۱۶).



شکل ۱۵. نحوه عمل طاق‌ها در آتشکده سیاهگل در مقابله با نیروها و فشارهای وارده.

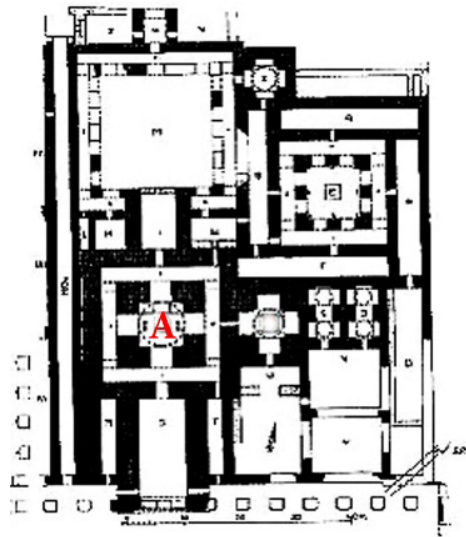


شکل ۱۶. نوع طاق و تکیه‌گاه‌های به‌کاررفته در بنای آتشکده سیاهگل.

در این پژوهش به‌جز دستیابی به هویت و کاربری بنا، شناخت سبک و الگوی معماری به‌کاررفته در این آتشکده از دیگر اهداف بود. رودلف ناومان^۵، الگویی را برای آتشکده‌های باستانی دنبال می‌نمود که توسط آندره گدار (۱۹۳۸) و کورت اردمان (۱۹۴۱) مطرح شده بود، که به‌عنوان مثال در مجموعه تخت سلیمان به اتاق A آتشکده آذرگشنسب (شکل ۱۴) به عنوان آتشگاه توجه می‌کرد، محلی که در آن آتش مقدس نگهداری می‌شد و با اینکه اتاق A در معرض تماشای عمومی نبود، اما در معرض دید نیايشگرانی بود که در راهروها و دالان‌های مجاور می‌گشتند (Naumann & et.al, 1965: 53). مهم‌ترین عنصر اتصال چهارطاقی‌ها به آتشکده، وجود تالار طواف پیرامون این آثار است. چهارطاقی سیاهگل دارای تالار طواف مرکزی هست و اتاق‌های متعدد پیرامون این تالار مرکزی قرار داشته است؛ محل قرارگیری آتشدان، احتمالاً در همین تالار مرکزی است. همان‌طور که قبلاً اشاره شد و با توجه به دسته‌بندی‌ای که هوف انجام داده است، آتشکده سیاهگل در گروه دوم یعنی؛ چهارطاقی‌هایی چهارگوش با رواقی در اطراف، قرار می‌گیرد.

۲.۶. ایستایی سازه‌ای و نحوه پایداری در آتشکده سیاهگل

عملکرد در این نوع سازه‌ها بر مبنای انتقال سریع نیروی وزن زیاد بنا به شالوده و کم کردن تأثیر خمش است. طاق‌ها چنانچه



شکل ۱۴. بناهای آتشکده آذرگشنسب در مجموعه تخت سلیمان (Naumann & et al., 1965: 53)

گیرش سریع، چسبندگی بالا و استحکام لازم و مناسب گچ باعث به‌کارگیری وسیع آن در اجرای ساختمان‌های طاقی شده است و در واقع بر پا کردن یک سازه طاقی مثل گنبد انواع طاق‌ها و قوس‌ها که در آنها از قالب چوبی استفاده شده است، ملزم به استفاده از این ماده است. همچنین از ملات‌های حاوی آهک نیز در ساخت آتشکده سیاهگل استفاده شده است. اهمیت این ملات در ساخت سازه‌های طاقی بیشتر به خاطر استفاده از آن در پایه‌ریزی پی‌ها است. یکی از مهم‌ترین ملات‌های حاوی آهک به‌کاررفته در بنای آتشکده سیاهگل، ملات یا ترکیبی است به نام «ساروج»، که اگرچه در اجرا مشکلاتی دارد، ولی دارای مقاومت نهایی قابل توجهی است.

۷. نتیجه‌گیری

دوره ساسانیان هرچند تا حدودی تداوم معماری دوره اشکانی به شمار می‌رود، اما در معماری ساسانی است که تکنیک طاق و گنبد، شکل کامل و مستقلی به خود می‌گیرد. معماری ساسانی شیوه‌ای مستقل و متمایز، با طرح‌ها، اجزا، عناصر و مصالح مختص به خود است. مدارک نشان می‌دهد که بیشتر توان معماری این دوره به ساخت بنای کاخ‌ها و آتشکده‌ها اختصاص می‌یافته است. از جمله مهم‌ترین دستاوردهای این دوره اجرای گنبد بر زیربنای چهارگوش بود که از این نظر، معماری جهان‌مديون معماران ساسانی است. آیین زرتشتی دین رسمی ایران در دوره ساسانی بود و بناهای مرتبط با این دین از جایگاه مهمی برخوردار بودند. ساختمان اصلی معابد، بناهای چهارطاقی مستقلی بودند که در زیر آنها آتش مقدس فروزان بوده و در طول مراسم مذهبی از دهانه‌های چهارگانه برای مؤمنان قابل مشاهده بوده است و مجموعه‌هایی وجود داشته که آتش در مواقع دیگر در داخل آن نگهداری می‌شده است. چهارطاقی‌ها یا همان آتشکده‌ها بر پایه چهار دهانه وسیع ساخته شده است و معمولاً دارای چهار دروازه است. شناخت چهارطاقی‌های ساسانی و انتصاب آنها به دوره ساسانی و کاربری آتشکده، یکی از چالش‌های پیش رو در بررسی بناهای مذهبی این دوره است. تا پیش از این، هر چهارطاقی که با ملات، لاشه‌سنگ و ساروج شناسایی می‌شد به دوران ساسانی نسبت داده می‌شد، اما شاید با بررسی دقیق‌تر بتوان درک کرد که در اوایل دوران اسلامی نیز ساخت بناهایی به این سبک هنوز ادامه داشته است. چهارطاقی‌های دوره ساسانی که به آتشکده معروف

قسمت برابر طاق‌های چهار بخش از چهارطاق و چهار ترک تشکیل شده است. بارهای وارده کلاً توسط مجموعه‌ای از قوس‌های به هم چسبیده که ترک‌ها را می‌سازند، به چهار تکیه‌گاه منتقل می‌شوند. اجرای این طاق از چهارگوشه آن شروع و به رأس آن ختم می‌شود. با توجه به تخریب بخش‌های از بنا و رواق جنوبی، در «شکل ۱۷» فرم کلی بازسازی شده از چهارطاقی آتشکده و رواق جنوبی آن مشخص شده است.

۳-۶. شناخت نوع مصالح در آتشکده سیاهگل

در سازه‌های طاق و گنبدی، ملات‌ها همیشه نقش مهمی را در شکل‌گیری این سازه‌های پیچیده ایفا کرده‌اند. ملات به عنوان یک ماده چسبنده عمل می‌کند. در ساخت سازه‌های طاقی سازندگان از ملات‌های مختلفی استفاده می‌کرده‌اند. در آتشکده سیاهگل از ملات ساروج و گچ استفاده شده است (شکل ۱۸).



شکل ۱۷. تصویر سه‌بعدی بازسازی شده از بنا و سایت آتشکده سیاهگل.



شکل ۱۸. نوع مصالح و ملات بکاررفته در بنای آتشکده سیاهگل.



استفاده استنادانه از سنگ لاشه و ملات گچ برای ساخت بناهای مختلف، ویژگی شاخص معماری این دوره است. که در مورد آتشکده سیاهگل می‌توان گفت استفاده از مصالح پایدار از قبیل سنگ لاشه، ساروج و ملات گچ و همچنین کاربرد استنادانه قوس با دهانه بزرگ (رواق) در اطراف گنبدخانه از جمله دلایل پایداری سازه‌ای این بنای چهارطاقی است.

هستند دارای تالار طواف پیرامون بنا و همچنین برخوردار از تالار مرکزی و قرارگیری آتشکده در تالار مرکزی است. که نمونه بررسی شده یعنی آتشکده سیاهگل تمام این خصوصیات که مختص بناهای دوره ساسانی است را دارا است. در کنار تنوع گسترده‌ای از مصالح که در این دوره مورد استفاده بوده (سنگ لاشه، سنگ تراشیده، آجر، خشت، چینه، گل و گچ و چوب و غیره) استفاده از مصالح در دسترس،

پی‌نوشت‌ها

1. Klaus Schippmann 2. Huff 3. André Godard 4. Erdmann, Kurt 5. Naumann

فهرست منابع

- ابویی‌مه‌ریزی، نادیه (۱۳۹۳)، معماری در ایران از آغاز تا پایان عصر ساسانی، نشریه پژوهش‌های علوم انسانی، ۱۹(۴)، ۹۰-۶۳.
- احمدی، مریم، نیستانی، جواد، موسوی، سیدمهدی، و هژبری، علیرضا (۱۳۹۰)، مطالعه گونه‌شناسی عناصر و اجزای معماری ایران در دوره ساسانی، پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، ۱(۱)، ۱۰۴-۸۳.
- آزاد، میترا (۱۳۸۴)، بررسی تحول بناهای مذهبی دوره ساسانی به بناهای مذهبی قرون اولیه اسلامی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه باستان‌شناسی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.
- اکبرزاده، داریوش، طاووسی، محمود (۱۳۸۵)، کتیبه‌های فارسی میانه (پهلوی ساسانی)، تهران: انتشارات نقش هستی.
- امان‌اللهی، حمید، قدری، محمدرضا (۱۴۰۲)، پیشنهادی برای گاه‌نگاری و تعیین کاربری بقایای معماری دفاعی کوه اشکوت محمودآباد (شمال غربی ایران)، نشریه پیام باستان‌شناس، ۱۵(۲۸)، ۷۰-۵۷.
- پیرنیا، محمدرکیم (۱۳۵۲)، ارمغان ایران به جهان معماری گنبد، نشریه هنر و مردم، ۴(۱۲)، ۱۳۷-۱۳۶.
- تجویدی، اکبر (۱۳۸۳)، تداوم در معماری ایران، تهران: انتشارات مجرد.
- تقی‌زاده آذری، کتابیون (۱۳۸۷)، طراحی عملکردی در مهندسی سازه و تأثیر آن بر طراحی، نشریه هنرهای زیبا، ۳(۳۴)، ۴۳-۳۷.
- حجازی، مهرداد، میرقادر، رسول (۱۳۸۳)، تحلیل لرزه‌ای گنبد‌های ایرانی، نشریه دانشکده فنی، ۶(۳۸)، ۶۱-۵۳.
- دریایی، تورج (۱۳۸۸)، شهرستان‌های ایران‌شهر، تهران: انتشارات توس.
- دهخدا، علی‌اکبر (۱۳۷۲)، لغت‌نامه دهخدا، زیر نظر محمد معین و سید جعفر شهیدی، تهران: دانشگاه تهران.
- روتز، اسکار (۱۳۸۷)، تاریخچه معماری دوره ساسانی در بررسی هنر ایران، به کوشش آرتور پوپ و فیلیس اکرم، تهران: انتشارات علمی و فرهنگی.
- شمسی‌پور دهکردی، اکرم؛ جعفری‌فارسانی، مریم؛ نقدی‌دورباطی، زهرا (۱۳۹۲)، ایستایی گنبد و قوس با مصالح پایدار در معماری سنتی ایران، اولین همایش ملی جغرافیا، شهرسازی و توسعه پایدار در تهران، ۸۹-۷۵.
- شپیمان، کلاروس (۱۳۸۴)، مبانی تاریخ ساسانیان، ترجمه کیکاوس جهان‌داری، تهران: انتشارات فرزاد.
- ضیاء‌آبادی، آرش (۱۳۸۶)، کاربردی خاستگاه سازه‌های فضاکار، دومین کنفرانس ملی سازه‌های فضا کار در تهران دانشگاه تهران، ۶۷-۵۱.
- فرشاد، مهدی (۱۳۷۶)، تاریخ‌مهندسی در ایران (جلد سوم)، تهران: نشر بلخ.
- کیانی، محمدیوسف (۱۳۷۹)، معماری ایران در دوره اسلامی، تهران: انتشارات سمت.
- گدار، آندره (۱۳۷۱)، آثار ایران (جلد سوم)، ترجمه ابوالحسن سروقد مقدم، مشهد: انتشارات بنیاد پژوهش‌های اسلامی آستان.
- محمدی، مریم؛ نیستانی، جواد؛ موسوی، سیدمهدی (۱۳۹۰)، مطالعه گونه‌شناسی، عناصر و اجزای معماری ایران در دوره ساسانی، فصلنامه باستان‌شناسی، ۱(۱)، ۳۶-۲۹.
- مرادی، یوسف (۱۳۸۸)، چهارطاقی میل میله گه: آتشکده‌ای از دوره ساسانی، نشریه مطالعات باستان‌شناسی، ۱(۱)، ۱۸۳-۱۵۵.
- مردمی، کریم؛ سهیلی‌فرد، مهدی؛ آقاعزیزی، مجید (۱۳۹۴)، همسازی سازه و معماری در راستای جانمایی بهینه تکیه‌گاه‌ها به روش الگوریتم ژنتیک (نمونه موردی: پوشانه‌های با فرم آزاد، طراحی شده بر اساس هندسه گره ایرانی)، نشریه نقش جهان، ۵(۳)، ۶۹-۶۰.
- معماریان، غلامحسین (۱۳۶۷)، نیارش سازه‌های طاقی، تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه علم و صنعت.
- معین، محمد (۱۳۶۳)، فرهنگ فارسی، تهران: انتشارات امیر کبیر.
- مولایی، یوسف، ثبوتی، هومن (۱۳۹۵)، بررسی شیوه‌های ساخت و پایداری سازه‌های گنبدی و طاقی با مصالح پایدار در معماری ایرانی اسلامی، سومین کنفرانس علمی پژوهشی افق‌های نوین در علوم جغرافیا و برنامه‌ریزی معماری و شهرسازی ایران در تهران، ۳۰-۲۱.
- ناصری، علیرضا (۱۳۸۲)، معرفی طاق شیرین و فرهاد و آتشکده سیاهگل، نشریه فرهنگ ایلام، ۱(۱۵)، ۳۷-۳۴.
- هاشمی زرج‌آبادی، حسن (۱۳۸۹)، چهارطاقی خانه دیو آتشکده ای نویافته از دوره ساسانی، مجله باغ نظر، ۷(۱۵)، ۹۲-۷۹.



- Al-Jahwari, N. S., Kennet, D., Priestman, S., & Sauer, E. (2018). Fulayj: A Late Sasanian fort on the Arabian coast. *antiquity*, 92(363), 724-741.
- Askari Chaverdi, A., & Cereti, C. G. (2013). Preliminary notes on two small groups of Sasanian bullae recently discovered in Fārs. In *Commentationes iranicae. Vladimiro f. Aaron Livschits nonagenario donum natalicium* (pp. 182-190). Nestor-Istorija.
- Boyce, M. (1975). On the Zoroastrian temple cult of fire. *Journal of the American oriental Society*, 454-465.
- Keall, E. J. (1989). Ayvan (or Tag)-Khosrow. Encyclopaedia Iranica, 3, 155-159.**
- Naumann, R., Huff, D., Kleiss, W., Boehmer, R. M., & Wiegartz, H. (1965). *Takht-i Suleiman und zendan-I Sulei-*
- man: vorläufiger bericht die ausgrabungen in den Jahren 1963 und 1964.* Gruyter.
- Pope, A. U. (1933). A Sasanian Garden palace. *The Art Bulletin*, 15(1), 75-85.
- Creswell, K.A.C. (1914).** The History and Evolution of the Dome in Persia. *Journal of the Royal Asiatic society of Great Britain and Ireland*, pp.681-701.
- Huff, D. (1987). Architecture II. Sassanian Period. *Encyclopaedia Iranica*, vol II. Routledge & Kegan Paul. London and New York. pp. 329-334.
- Reuther, Oscar. (1939). *Sasanian Architecture in A survey of Persian art.* ed by Arthur Upham Pope.vol(2) oxford university Prss. pp. 493-578.